



TECHNOLOGIES CLÉS

Préparer l'industrie du futur



SOMMAIRE

PRÉFACE DU MINISTRE	5	TECHNOLOGIES CLÉS	
AVANT-PROPOS	7	1 Matériaux avancés et actifs	219
PROPOS INTRODUCTIFS	9	2 Capteurs	229
MÉTHODOLOGIE	17	3 Valorisation et intelligence des données massives	237
DOMAINES D'APPLICATION	23	4 Modélisation, simulation et ingénierie numérique	249
- ALIMENTATION	25	5 Internet des objets	259
- SANTÉ ET BIEN-ÊTRE	41	6 Infrastructures de 5ème génération	269
- SÉCURITÉ	73	7 Systèmes embarqués et distribués, sécurisés et sûrs	277
- ENVIRONNEMENT	91	8 Procédés relatifs à la chimie verte	285
- HABITAT	109	9 Fabrication additive	293
- ÉNERGIE	125	10 Cobotique et humain augmenté	301
- MOBILITÉ	143	11 Intelligence artificielle	309
- NUMÉRIQUE	161	12 Robotique autonome	321
- LOISIRS ET CULTURE	189	13 Communications sécurisées	331
ANNUAIRE	617	14 Technologies immersives	337
MEMBRES DU COMITÉ STRATÉGIQUE	641	15 Procédés relatifs à la chimie du pétrole	349
MEMBRES DU COMITÉ DE PILOTAGE	641	16 Recyclage des métaux critiques et terres rares	357
		17 Microfluidique	365
		18 Métaomique	371
		19 Analyse comportementale	379
		20 Nouvelles intégrations matériel-logiciel ..	387
		21 Supercalculateurs	393
		22 Réseaux électriques intelligents	401

TECHNOLOGIES CLÉS

23 Batteries électrochimiques de nouvelle génération	409	42 Solaire photovoltaïque	561
24 Carburants de synthèse	419	43 Énergies éoliennes	569
25 Technologies de l'hydrogène	427	44 Technologies pour l'énergie nucléaire	577
26 Ingénierie génomique	435	45 Technologies pour la propulsion	585
27 Solutions innovantes de protection et de stimulation des végétaux	443	46 Nanoélectronique	595
28 Souches de probiotiques pour la biopréservation et la nutrition	451	47 Technologies de conception de contenus et d'expériences	605
29 Ingénierie tissulaire et cellulaire	459		
30 Nouvelles modalités d'immunothérapie ...	467		
31 Dispositifs bio-embarqués	475		
32 Technologies d'imagerie pour la santé	483		
33 Exploitation numérique des données de santé	491		
34 Authentification forte	499		
35 Gestion intelligente de l'eau	507		
36 Technologies de diagnostic rapide (eau, air, sol)	515		
37 Traitement des sols pollués	523		
38 Systèmes de rénovation du bâti existant ..	531		
39 Systèmes constructifs à haute qualité environnementale pour le neuf	539		
40 Systèmes énergétiques intégrés à l'échelle du bâtiment	547		
41 Technologies de récupération de chaleur à basse température	555		

TECHNOLOGIES

CLÉS 2020

Un guide opérationnel pour l'Industrie du futur

L'innovation, par définition, est imprévisible.

Il y a dix ans, qui imaginait que le numérique entrerait à ce point dans nos usines ? Qui pensait que le secteur de l'hôtellerie serait bouleversé par des plateformes internet, alors qu'il n'y a rien de plus physique et de moins virtuel qu'une chambre ? Qui se doutait qu'en un rien de temps, autant de petites startups deviendraient des entreprises mondiales ?

Personne. Et aujourd'hui, personne non plus ne peut prévoir avec certitude le monde tel qu'il sera au cours de la prochaine décennie.

Toutefois, l'enjeu n'est pas de prévoir. C'est de permettre. Permettre à l'innovation d'éclorre, de rencontrer un marché, de se diffuser, d'accroître notre productivité, d'améliorer nos modes de vie. Pour ce faire, le rôle de la puissance publique est multiple.

Il faut d'abord inciter les acteurs économiques à innover. C'est le sens de la stabilisation du crédit d'impôt recherche (CIR), ce dispositif fiscal que l'Europe entière nous envie, de tous les dispositifs de transfert de technologie et des pôles de compétitivité.

Il faut ensuite fixer le bon cadre. Je pense notamment au cadre de financement. Dans une économie de rattrapage, le financement se fait par l'endettement. Dans une économie d'innovation, le financement doit se faire par fonds propres car les investissements sont très importants, avec une forte composante technologique et immatérielle, et plus risqués. C'est cela que nous devons permettre !

Il faut investir. Investir dans la recherche, dans la modernisation de l'appareil productif. Investir dans la formation et le capital humain, car les technologies clés 2020, ce seront de nouveaux gestes, de nouvelles compétences, de nouveaux métiers. Il faut les préparer.

Dans le même temps, il faut permettre à tous, et notamment aux acteurs existants, de se saisir de l'innovation. C'est l'un des objectifs de la FrenchTech, qui organise et encourage le rapprochement entre les grandes entreprises et les startups, et de la Nouvelle France Industrielle qui crée les conditions d'une renaissance industrielle. C'est l'objet, aussi, de *Technologies clés 2020*. Ce bel ouvrage identifie les opportunités

et les acteurs clés de nos écosystèmes d'innovation et formule des recommandations pour favoriser le déploiement de ces technologies, tout particulièrement au sein des PME. Il constitue un guide opérationnel et interactif pour les entreprises, les ingénieurs, les étudiants, pour toutes celles et ceux qui veulent faire autrement. Il ouvre les portes de l'Industrie du Futur.

Merci à Philippe VARIN et Claudie HAIGNERE, ainsi qu'aux équipes qui ont travaillé avec eux, d'avoir accepté de mener ces travaux.

Donner aux acteurs les moyens d'oser et de prendre des risques : voilà comment nous industrialiserons l'innovation, comment nous tirerons notre économie tout entière vers la frontière technologique. C'est l'enjeu crucial des prochaines années.

Emmanuel MACRON

Ministre de l'économie, de l'industrie et du numérique

AVANT-PROPOS

Pascal FAURE, Directeur général des entreprises, m'a proposé de prendre la présidence du Comité stratégique de l'étude Technologies Clés 2020, en me chargeant de la bonne conduite de l'étude aux plans scientifique, technologique et industriel, et en me demandant particulièrement de veiller à ce que l'ouvrage guide de manière opérationnelle dans leurs choix stratégiques les acteurs de l'innovation technologiques, au premier plan desquels on trouve les chefs d'entreprises, les chercheurs académiques et les décideurs publics. Pour accomplir cette mission, je me suis entouré de personnalités représentant à la fois des entreprises de toutes tailles, des organismes de recherche publics et des centres de compétences favorisant la fertilisation croisée menant au transfert de connaissance.

Cette cinquième édition des Technologies Clés revêt une ambition encore plus forte que les précédentes dans la mesure où elle doit servir de guide à l'orientation des stratégies de R&D de nos entreprises, en premier lieu les PME, pour encourager et favoriser l'émergence d'innovations en France.

Notre démarche nous a conduit dans un premier temps à identifier et à comprendre les besoins des nouveaux usages et les nouveaux marchés pour, dans un deuxième temps, sélectionner les technologies nécessaires à leur comblement.

À l'instar de la théorie de Maslow, les domaines applicatifs ont été recensés à partir des besoins primaires pour l'homme et la société que sont l'alimentation, l'habitat, la sécurité, la santé et le bien-être, puis des besoins secondaires que sont l'énergie, la mobilité et l'environnement et enfin avec un besoin de nos sociétés évoluées au travers du domaine de la culture et des loisirs. Un dernier domaine applicatif a été retenu, le numérique, correspondant moins à un besoin qu'à un moyen pour catalyser les autres.

Les technologies analysées proviennent d'une part des feuilles de routes stratégiques des pôles de compétitivité, des propositions émanant des services techniques de l'État ainsi que des études menées en France comme à l'international.

Nous avons réuni plus de 200 experts académiques et industriels pour nous permettre de caractériser et sélectionner les technologies cohérentes avec notre horizon 2020 pour lesquelles la France possède des atouts crédibles face à la concurrence mondiale.

C'est ainsi que nous avons mis en avant 47 technologies clés répondant à 9 domaines applicatifs. Afin d'avoir une caution supplémentaire dans la validité de nos choix, nous avons fait appel à l'Académie des Technologies lors de nos travaux d'analyses et de sélection.

Dans la continuité de l'édition précédente, cette étude confirme le rôle prédominant du numérique dans tous les secteurs de marché puisqu'en effet, les technologies qui en sont issues sont totalement transverses à tous les domaines applicatifs.

L'ensemble des fiches relatives aux technologies clés mettent en avant les principaux acteurs français et comportent également un volet synthétisant les forces, faiblesses, opportunités et menaces en regard de la concurrence internationale. Elles se concluent par un jeu de recommandations opérationnelles à l'attention des entreprises en premier lieu mais également des décideurs publics et du monde académique.

Ces recommandations, si elles sont suivies, devraient permettre aux entreprises françaises de gagner en compétitivité et donc de conquérir plus de parts de marché.

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué, à quelque niveau que ce soit, à la réalisation de cette étude et forme le vœu qu'elle soit utilisée le plus largement possible au sein de nos PME, ETI et grands groupes pour que ses résultats soient source de progrès humain et de développement économique pour la France.

Philippe VARIN

Président du Comité stratégique

PROPOS INTRODUCTIFS

L'étude prospective sur les technologies clés est devenue au fil des éditions un document de référence pour l'ensemble des parties prenantes. Elle s'adresse autant aux entreprises quelle que soit leur taille qu'aux responsables académiques, économiques ou politiques. Elle complète les divers exercices stratégiques menés ces dernières années tant au niveau national qu'europpéen ; cette étude arrive à point nommé dans le contexte des décisions à venir dans le cadre du PIA (Programme d'Investissements d'Avenir), des plans industriels et de la Stratégie Nationale de la Recherche, de H2020 et du Fonds Européen d'Investissements.

Basée sur une méthodologie robuste et sur une concertation large, ce rapport présente une analyse approfondie des défis auxquels nous sommes confrontés et des opportunités qu'il faut saisir. Elle fournit une liste de technologies dont la maîtrise permettra de disposer d'avantages compétitifs dans une concurrence mondiale de plus en plus forte.

L'Académie des technologies a eu l'honneur de contribuer à ce projet. Les académiciens ont participé à la sélection des technologies clés et à leur évaluation. Au-delà, nous souhaitons présenter ici nos réflexions sur les défis technologiques de notre pays afin d'éclairer les débats futurs auxquels ce rapport donnera lieu.

DONNER DU TEMPS À LA MATURATION DES TECHNOLOGIES

L'étude se fixe de façon pragmatique un horizon 2020. Les auteurs, à raison, ont choisi un juste milieu entre des technologies matures qui sont en cours de déploiement et des technologies futuristes au déploiement plus aléatoire. Il convient en effet de se méfier de « l'air du temps ». Le temps du milieu politico-médiatique dans lequel nous baignons est l'immédiateté. Celui de la technologie est un temps long. Il se passe le plus souvent des années entre des premiers résultats positifs au niveau du laboratoire et le déploiement d'une technologie. L'existence de 9 niveaux de TRL (Technology Readiness Level ou niveau de maturité de la technologie) est là pour nous rappeler que l'innovation est un processus long. En outre, de nombreux secteurs d'activité présentent une grande inertie : par exemple le rythme de renouvellement du parc immobilier résidentiel et tertiaire est de l'ordre de 100 ans. Enfin le déploiement d'une technologie innovante se heurte au poids des investissements réalisés dans le secteur. Il est clair que les stratégies de déploiement des technologies doivent intégrer ces différents aspects.

INTÉGRER PLEINEMENT LA TRANSFORMATION DE LA SOCIÉTÉ PAR LE NUMÉRIQUE

Au-delà des progrès qu'on a pu constater par exemple dans le domaine des matériaux ou de l'énergie, cette cinquième édition est marquée bien entendu par la transformation de la société par le numérique, qui s'est fortement amplifiée ces dernières années. Le numérique a à l'évidence un impact fort sur les technologies dans tous les domaines. Ainsi de nombreuses technologies transversales retenues dans ce rapport sont liées d'une façon ou d'une autre au numérique ; c'est par exemple le cas des technologies des capteurs, de la cobotique, des objets connectés ou du traitement des données.

Le numérique amène aussi à s'interroger sur l'impact qu'il peut avoir sur le business model de tous les secteurs. Le cas d'Uber est symbolique de cette révolution : cette start-up américaine, fondée en 2009, menace après 6 années d'existence le secteur traditionnel des taxis dans de nombreux pays. L'approche des nouveaux acteurs consiste à mettre en relation des fournisseurs dispersés et des clients via des plateformes informatiques de services et produits accessibles en ligne ou grâce à des applications pour smartphone. Ainsi les particuliers ont la possibilité de partager leur véhicule pour du co-voiturage (Blablacar), de louer leur logement (Airbnb) ; ils deviennent de fait les partenaires de ces nouveaux entrants, bousculant les modèles économiques classiques.

Cette « désintermédiation » (suppression des intermédiaires traditionnels) provoquée par le numérique impacte aussi la plupart des secteurs industriels traditionnels. C'est le cas par exemple du secteur automobile. Il est significatif que deux champions du numérique aient lancé leur *concept car* ; la Google Car et plus récemment l'Apple Car. Ainsi en réponse à ces initiatives, la stratégie des constructeurs automobiles vise maintenant le développement du véhicule autonome et du véhicule interconnecté à côté du véhicule économe. Hier conçue autour d'un moteur, demain la voiture sera conçue autour d'un système d'exploitation. Apple et Google sont bien entendu déjà sur les rangs. Tous les secteurs d'activité sont potentiellement impactés par le numérique, tant pour la production de biens que de services. Il convient de revisiter les business model dans ce contexte et d'analyser en quoi les technologies clés présentées dans ce rapport peuvent offrir des opportunités de développement. Non seulement le numérique transforme des métiers, mais il peut aussi contribuer à créer de véritables monopoles mondiaux en permettant dans des secteurs traditionnels, l'arrivée de nouveaux entrants (Google dans le domaine de la publicité, Apple dans le secteur des smartphones). C'est le concept de GAFA (Google/Amazon/Facebook/Apple).

VISER UN BUSINESS MODEL À L'INTERNATIONAL

Les auteurs du rapport insistent à juste raison dans leur analyse sur une vision internationale. En effet les technologies n'ont pas de frontière et nos entreprises doivent intégrer cette dimension mondiale des marchés. Le succès d'une innovation réside dans une combinaison d'approches *Technology push* et *Market driven*. Trop souvent nos entreprises se focalisent sur la seule approche scientifique et technologique et passent à côté de marchés porteurs pour avoir considéré tardivement les enjeux de marché. Il faut se rappeler qu'une innovation est une invention qui rencontre son marché. La technologie doit attirer des investisseurs pour la mettre en œuvre et des clients pour l'utiliser. Dans ce contexte, il est indispensable

de considérer dès les premières phases du développement la chaîne de valeur et d'élaborer un business model.

Cette vision internationale du déploiement des technologies conduit à accorder une priorité à celles dans lesquelles nos entreprises disposent d'avantages compétitifs tant au niveau technologique que commercial. La qualité de la recherche réalisée en France et l'implantation mondiale de certains de nos champions industriels sont des atouts à valoriser.

PRENDRE EN COMPTE LA CONTRIBUTION DE LA TECHNOLOGIE À LA CRÉATION DE VALEUR

Ce rapport devrait contribuer à réconcilier nos concitoyens avec la technologie. En effet, les liens entre technologies, innovation, croissance et emploi sont complexes. Certains de nos concitoyens perçoivent l'introduction de nouvelles technologies dans l'ensemble des fonctions de l'entreprise comme destructrice d'un grand nombre de postes de travail. Les nombreuses tâches exécutées par des robots sur les lignes de production ou par des logiciels illustrent cette perception alors même qu'elles peuvent réduire la pénibilité ou la répétitivité de certaines tâches, améliorant ainsi la valeur ajoutée du poste de travail. D'autres pensent que les effets de l'innovation sont très différents selon la période considérée : on ne peut mesurer les effets positifs sur l'emploi global d'une technologie disruptive que de nombreuses années après. Au niveau micro-économique, les nouvelles technologies peuvent créer des entreprises ou des activités. C'est le cas par exemple des technologies de l'information et de la communication qui créent des emplois dans les services.

FAVORISER L'APPROPRIATION DES TECHNOLOGIES PAR LA SOCIÉTÉ

Afin que les innovations technologiques proposées sur le marché créent des emplois en France, liés aux usages, elles doivent cependant être adoptées par les citoyens. Leur appropriation par la société est donc un enjeu majeur pour leur diffusion à grande échelle et la création de nouveaux marchés.

Cette appropriation est favorisée par un certain nombre de facteurs. Outre les exigences de fonctionnalité auxquelles doivent répondre les nouveaux objets techniques (commodité, efficacité, fiabilité...), d'autres dimensions interviennent. Les objets techniques doivent pouvoir être modifiés pour les détourner de l'usage envisagé initialement et en créer de nouveaux. Leur design, dont la reconnaissance est inégale selon les secteurs, conditionne la première impression visuelle, tactile, auditive que l'on peut en avoir, ce qui va permettre de préjuger de leur caractère convivial. La dimension socio-culturelle intervient aussi. Il y a d'une part le sentiment de proximité culturelle avec ceux qui ont élaboré les objets. Il y a d'autre part l'usage plus symbolique qu'utilitaire d'objets dont la fonctionnalité est pourtant identique à celle d'objets semblables mais moins onéreux (notion de luxe), ou encore le rapport entre le prix des objets et l'utilité qu'on leur prête. Enfin, les conditions dans lesquelles ils ont été élaborés, par quelles entreprises et dans quels pays comptent.

Par ailleurs, le passage rendu possible par les technologies de l'information et de la communication, d'une société structurée par des rapports verticaux de pouvoir (à l'école, au travail...), à une société où les rapports horizontaux entre « égaux », prennent une importance économique, sociale et politique croissante.

Dans ces conditions, les objets ne devraient plus être pensés dans une logique verticale (consommateur vs producteur) car les usages qui en sont faits (ou attendus) cherchent au contraire à les insérer dans des logiques horizontales de réseaux interactifs. L'expérience utilisateur, « user's exp » joue en ce sens un rôle croissant.

La capacité des innovateurs à nous changer en profondeur, aussi bien dans notre perception de l'environnement, de nous-même que de nos semblables est considérable. Les innovateurs doivent intégrer les conséquences sociales potentielles induites par leurs innovations technologiques, qui peuvent être perçues comme des risques par la société, et être à son écoute. Reconnaître le potentiel de changement dont les technologies sont porteuses est une étape fondatrice pour pouvoir ensuite débattre avec toutes les parties prenantes des aspects perçus comme étant positifs ou négatifs de ces changements.

S'APPUYER SUR LES ÉCOSYSTÈMES D'INNOVATION

Les entreprises innovantes doivent s'appuyer sur la force des écosystèmes d'innovation pour franchir les différentes étapes de leur parcours d'innovation et de croissance, quels que soient leur taille et leur secteur. Ces écosystèmes se construisent autour des pôles de compétitivité qui fêtent leurs 10 ans d'existence. Ces structures permettent en effet la montée en puissance de nouveaux champions industriels. Les PME membres des pôles nouent beaucoup plus de partenariats à l'étranger sur un projet innovant que les autres PME (20 % contre 2 %). Par ailleurs, la participation aux projets collaboratifs du Fonds Unique Interministériel, programme destiné à soutenir la recherche appliquée, se traduirait en moyenne par un supplément de croissance de 2 % par an entre 2005 et 2012 pour les entreprises présentes dans les pôles, comparée à celles restées en dehors des pôles.

Les pôles ont d'autres intérêts. Ils ont cette capacité à assumer à la fois une vocation internationale et un ancrage local. La valeur créée par l'innovation (chiffre d'affaires, emplois, savoir-faire) est ainsi ancrée dans les territoires. Ils s'adaptent aussi bien aux industries traditionnelles que high tech, aux milieux académiques, aux TPE, aux PME qu'aux ETI et grands groupes, ainsi qu'aux différents besoins qu'ils rencontrent sur leur parcours de croissance. Ce sont des lieux privilégiés pour développer l'interdisciplinarité, la fertilisation croisée et l'open innovation.

Ils sont enfin des lieux d'apprentissage de la solidarité industrielle entre donneurs d'ordre et sous-traitants, fournisseurs et grands clients : de plus en plus d'initiatives leur apprennent à travailler ensemble. Les PME qui y adhèrent apprennent à développer une stratégie de réseau.

À l'évidence, les pôles de compétitivité auront un rôle important dans la valorisation de ce rapport.

RENFORCER LE CAPITAL FRANÇAIS ACTUEL DE SOFT POWER

Le soft power se définit traditionnellement comme la « capacité de séduire ou de persuader les autres États sans faire usage de la force ou de la menace ». Il se différencie de l'influence, en ce que l'influence peut s'exercer par la force. Il s'agit ici de créer le désir et de changer l'intérêt de l'autre.

La culture est l'un des piliers du soft power, et une distinction est généralement faite entre la « culture héritée » (patrimoine historique architectural, artistique, littéraire...) et la « culture vivante » (manifestation de la créativité contemporaine dans

tous les domaines comprenant une dimension artistique et esthétique). La France bénéficie d'un capital exceptionnel en matière de « culture héritée », ce qui fait notamment de ce pays la première destination touristique du monde. La « culture héritée » constitue la meilleure et la plus stable des références, fait autorité, communique des valeurs sous-jacentes et impressionne d'autant plus que le patrimoine est ancien et visible. La « culture vivante » est un enjeu de plus en plus important. Il n'est pas neutre à cet égard que le terme d'industrie créative est désormais davantage utilisé que celui d'industrie culturelle.

C'est donc en vitalisant sa « culture héritée » par sa « culture vivante » qu'un pays peut aujourd'hui offrir l'image d'un « pays de culture » et bénéficier du soft power qui en résulte. Trois activités sont directement concernées par le soft power. La culture bien sûr, la mode et le tourisme. Pour se développer, ces activités ont besoin de s'appuyer sur des technologies spécifiques et originales leur permettant d'être plus efficaces (artisanat d'art pour la mode, systèmes de réservation pour le tourisme) et plus attractives. Renforcer, mettre en valeur, moderniser le capital français actuel de soft power est un défi d'autant plus pertinent que les industries créatives développent des technologies et des procédés partagés davantage qu'autrefois avec d'autres secteurs économiques. Une aptitude à développer des produits créatifs est donc interprétée comme une aptitude générale à créer et apparaît ainsi comme un signal fort pour les investisseurs et les talents.

INTÉGRER LES FREINS AU DÉPLOIEMENT DES TECHNOLOGIES

Il ne faut pas sous-estimer les freins au déploiement des technologies, en particulier les réglementations. Dans le domaine pharmaceutique par exemple, on voit se développer des dogmes méthodologiques déconnectés de la nature des médicaments, du contexte de leur utilisation, de leur utilité, de la fréquence de la maladie cible, des besoins non satisfaits des patients et du contexte économique. Cette complication méthodologique et le coût associé freinent l'innovation, en particulier pour le développement de médicaments peu coûteux. La simplification des réglementations doit être poursuivie. On doit cependant noter que les réglementations peuvent aussi être déclencheuses d'innovations.

L'axe de développement que constitue celui des éco-quartiers qui seront une composante de la ville de demain nécessite aussi de revoir de nombreux aspects réglementaires tels que celui de rendre possible la mutualisation et l'échange, localement, de l'énergie produite par des bâtiments de nouvelle génération (à énergie positive, autonome, basse consommation). Ces aspects réglementaires sont aussi un frein pour les nouveaux opérateurs de la ville. Les villes, qui deviennent numériques, voient leurs services urbains de l'eau, de l'énergie, de la communication, de la santé, de la scolarisation, du commerce, ... faire de plus en plus appel à des systèmes d'information intelligents avec des capteurs intelligents à leurs extrémités. Pour les parties prenantes concernées, plusieurs transformations sont à anticiper : les collectivités locales en organisant une certaine mutualisation des bases de données relatives à leurs administrés, les gestionnaires de réseau physique en se diversifiant de plus en plus vers des services, des prestataires externes en proposant des offres de services intégrés distribués à partir de plateformes numériques, et les administrés en arbitrant entre l'intégrité de leurs données individuelles et l'attractivité des nouveaux services.

Le déploiement des technologies implique également des innovations non techniques. La domomédecine par exemple s'appuie sur l'utilisation de multiples technologies disponibles (technologies de l'information et de la communication, capteurs, actionneurs, interface de communication avec le patient.....). Le déploiement de ce nouveau système de soins à domicile pour les personnes atteintes de multi-pathologies implique notamment des innovations tant organisationnelles que juridiques. Il est nécessaire de décloisonner les pratiques et les structures existantes impliquées dans la médecine ambulatoire. Ceci permettrait de maîtriser un fonctionnement complexe, en réseau, avec de multiples intervenants à différents niveaux dans la prise en charge du patient. Il est aussi indispensable de préciser les fonctions et la responsabilité de tous les intervenants du personnel médical y compris les non médecins, de sécuriser les données du DMP (Dossier Médical Personnel) ou encore de codifier les actes et de définir leur rémunération.

Le déploiement des technologies mobilise aussi des financements importants. Les besoins de financement croissent rapidement dès lors que l'on progresse dans l'échelle des TRL. Les modalités de financement évoluent également à mesure du rapprochement de l'application marché. La phase de démonstration représente une étape clé difficile à financer car les investissements sont élevés et les risques restent importants. L'effort engagé ces dernières années en faveur des opérations de démonstration reste insuffisant et doit impérativement être poursuivi, par exemple dans le PIA 3. Des financements innovants doivent être mis en place pour traverser la « vallée de la mort ».

Enfin, une interprétation mal comprise par la société du principe de précaution constitue un frein indéniable au déploiement des technologies car l'inaction a un coût. Il est en effet très souvent invoqué en dehors de son champ légal d'application (santé et environnement). De plus, il existe de nombreuses confusions, en particulier entre la notion de risque et de menace. Principe devant conduire à des analyses rationnelles des menaces, il est également trop invoqué pour mettre sur le même plan les expertises scientifiques et les opinions, aussi respectables que soient ces dernières.

FORMER À TOUS LES NIVEAUX ET TOUT AU LONG DE LA VIE

Le déploiement des technologies, la création et le développement des start-up, l'amélioration de la compétitivité, ont besoin de s'appuyer sur un vivier de compétences à tous les niveaux, mais nous pensons, plus particulièrement dans la tranche de bac -3 à bac +3. Les industriels se heurtent cependant au manque de compétences disponibles sur le marché du travail. 33 % des industriels interrogés en 2013 étaient confrontés à cette situation. C'est le cas par exemple de l'industrie française du luxe. Le recrutement de spécialistes (orfèvrerie, polissage du bois...) est difficile car la formation en artisanat d'art et dans le domaine de la mode est très fragmentée. Cette situation est étonnante pour un pays comme la France dont le patrimoine, les industries du luxe en position dominante et les savoir-faire sont pourtant reconnus mondialement. Il est primordial que ces industries, à l'avenir, s'appuient toujours sur des savoir-faire français, d'autant plus que l'engouement pour les marques de luxe est croissant notamment dans les pays émergents qui devraient constituer encore un relais de croissance important pour le secteur.

Par ailleurs, les industriels doivent aussi prendre conscience des nouvelles compétences techniques et culturelles à acquérir pour pouvoir se saisir des nombreuses

opportunités décryptées dans cette étude. La transformation de la société par le numérique l’y incite d’ailleurs. Le Big Data par exemple est une véritable opportunité de croissance et de création de valeur, pour l’économie numérique en général et pour la France en particulier. Il permet notamment aux entreprises une nouvelle proximité dans la relation avec leurs clients. L’enjeu pour les entreprises sera alors de pouvoir exploiter de grandes masses de données non structurées (images, textes, audio, clickstreams...) en temps réel, afin de mieux connaître les intentions de leurs clients ou celles d’autres entreprises (B2B2C) pour leur proposer de nouveaux services et produits dont ils ont envie, au bon moment. Ceci implique de nouvelles compétences techniques (hardware, logicielle Open source...) car la façon de faire de l’informatique est nouvelle, massivement parallèle et centrée sur les données. Un changement de culture de travail, agile et collaborative, est également nécessaire pour favoriser la démarche expérimentale qui caractérise le Big Data, car la programmation des systèmes est différente, en boucle fermée et de façon adaptative, en incluant ses clients ou utilisateurs dans cette boucle. Ainsi, au sein des entreprises, des efforts considérables doivent être faits pour offrir aux employés des opportunités de formation continue leur permettant de s’adapter aux mutations technologiques et d’étendre leur champ de compétence. Une gestion des ressources humaines proactive peut alors leur proposer des évolutions de carrière. Une organisation de la formation tout au long de la vie au sein des entreprises et des bassins d’emploi permettrait d’aider les écosystèmes à s’adapter aux mutations technologiques et à l’évolution des qualifications nécessaires »

La sélection des technologies clés présentée ici est un point de départ. Nous formons le vœu que cette étude soit largement diffusée parmi l’ensemble des parties prenantes et qu’elle donnera lieu à des échanges nourris à tous les niveaux : cela permettra de faire émerger un consensus sur un ensemble d’actions stratégiques à engager de façon concertée par tous. Ainsi la maîtrise des technologies clés permettra à nos entreprises de relever les défis d’une concurrence internationale accrue.

Alain BUGAT

Président de l’Académie des technologies

MÉTHODOLOGIE

LA GOUVERNANCE

Cette étude, pilotée par la DGE (Direction générale des entreprises) a été menée par Erdyn (mandataire du groupement) et Alcimed. L'expertise technique sur la réalisation des cartographies et de la représentation systémique a été apportée par l'Atelier Iceberg (sous-traitant).

Le Comité de pilotage : instance de suivi de l'avancement de l'étude, il s'est réuni au moins une fois par mois tout au long de la mission. Présidé par la DGE, il réunissait également Bpifrance, le ministère en charge de la recherche, celui en charge de l'écologie, la DGA (Direction générale de l'armement) et l'ANR (Agence nationale de la recherche).

Le Comité stratégique : présidé par M. Varin (Président d'Areva), il s'est réuni quatre fois au cours de l'étude. C'est l'instance souveraine dans la sélection des technologies clés retenues et le garant de la méthodologie suivie tout comme de la qualité des résultats.

LES GRANDS PRINCIPES

Technologies Clés 2020 a fait l'objet d'un cahier des charges en évolution par rapport aux exercices précédents. Pour tenir compte de ces changements, les principes suivants ont été mis en œuvre :

Principes	Conséquences méthodologiques
Avoir une approche « market pull » plutôt que « technology push »	Structurer la méthodologie et les livrables autour des besoins (dans une acception inspirée des travaux de Maslow ¹) et non plus de familles technologiques.
Inscrire les Technologies Clés 2020 dans les scénarii européens et mondiaux pour favoriser le développement à l'international des entreprises françaises	Mobiliser au début de l'étude les nombreux exercices de prospective de niveau international existants : FAO, OCDE, OMS, JRC, Forum International des Transports, AIE ... en plus des travaux français (études PIPAME, feuilles de route de l'ADEME ...)
Tenir compte des stratégies d'innovation récemment rédigées par les acteurs territoriaux	Mobiliser les feuilles de route stratégiques des pôles de compétitivité, les S3 (smart specialisation strategy) des Régions et les acteurs ayant piloté l'élaboration de ces documents pour renforcer la cohérence entre les politiques nationales et territorialisées
Avoir une vision systémique des technologies clés pour renforcer leur intégration dans les politiques industrielles	Qualifier et quantifier les relations entre technologies clés et élaborer des représentations graphiques permettant de comprendre les conséquences de l'abandon d'une technologie clé sur les autres pour renforcer la cohérence de déclinaisons sectorielles et territoriales

En accord avec le premier principe énoncé dans le tableau ci-dessus, nous avons donc organisé la réalisation des travaux et la restitution des résultats sur la base d'une pyramide des besoins définissant neuf domaines :

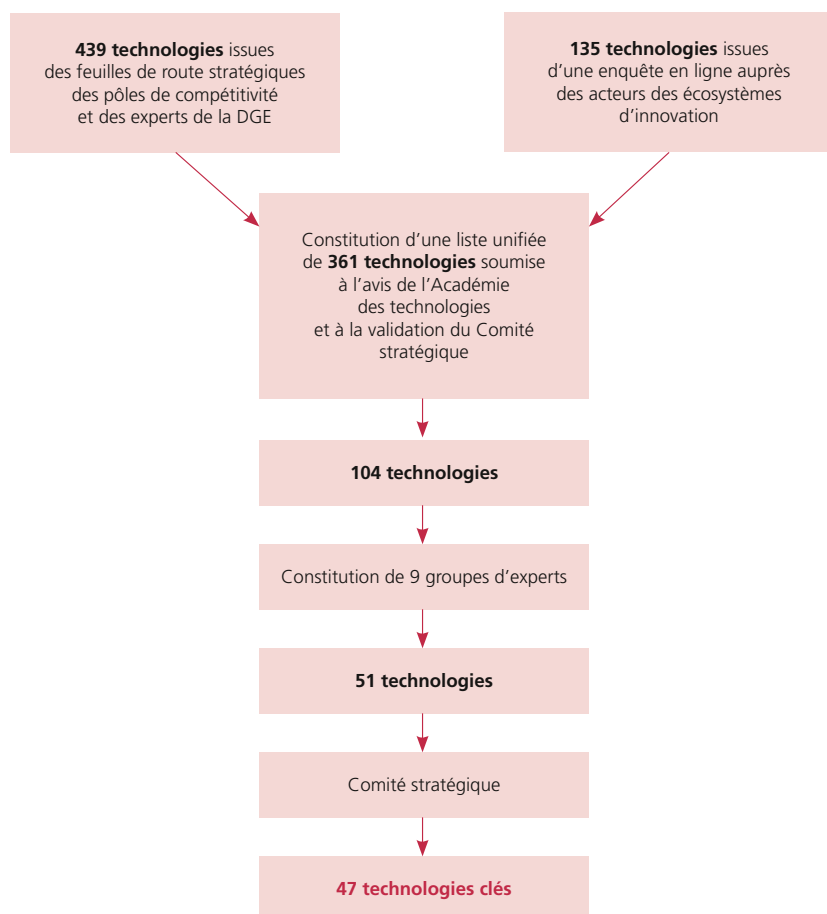
1. La pyramide des besoins schématise une théorie élaborée à partir des observations réalisées dans les années 1940 par le psychologue Abraham Maslow sur la motivation. L'article où Maslow expose sa théorie de la motivation, *A Theory of Human Motivation*, est paru en 1943. Il ne représente pas cette hiérarchie sous la forme d'une pyramide, mais cette représentation s'est imposée. Maslow parle, quant à lui, de hiérarchie, et il en a une vision dynamique. La pyramide est constituée de cinq niveaux principaux : Survie ; Sécurité ; Appartenance ; Reconnaissance/Estime ; Réalisation de soi. Nous recherchons d'abord, selon Maslow, à satisfaire chaque besoin d'un niveau donné avant de penser aux besoins situés au niveau immédiatement supérieur de la pyramide. Ces travaux ont été utilement, de notre point de vue, complétés par ceux de McClelland, psychologue qui a étudié dans les années 60 le lien entre le développement économique d'un pays et sa culture entrepreneuriale (développement de projets dans un objectif de création d'entreprise). McClelland catégorise les besoins d'abord en lien avec le milieu professionnel que le modèle de Maslow.

Loisirs & culture
ÉNERGIE, Mobilité, Numérique
Environnement, HABITAT, Santé et bien être, Sécurité
Alimentation

Le domaine « Numérique » couvre un ensemble de besoins qui peuvent être liés aux besoins de communications à distance, aux réseaux sociaux, à la numérisation des contenus... Si à l'origine les technologies du numérique pouvaient plutôt apparaître comme étant des solutions à certains besoins, elles sont aujourd'hui, dans nombre de sociétés développées, perçues comme étant des besoins en tant que tels, consubstantiels de la société digitale.

MISE EN ŒUVRE

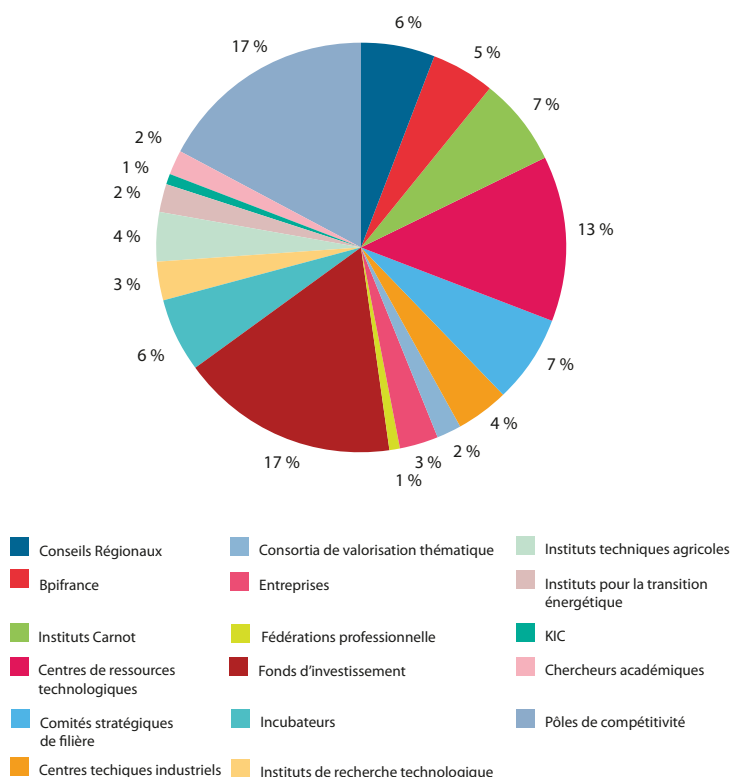
Le processus de sélection des technologies clés



N.B. : si la logique globale de chaque étape est d'arriver à un nombre plus restreint de technologies retenues, il a pu être introduit à différents moments de nouvelles suggestions par les personnes consultées (Académie des technologies, Comité stratégique et groupes d'experts).

L'enquête en ligne initiale : en complément de la liste des 439 technologies issues du recueil fait par la DGE à travers les feuilles de route stratégiques des pôles de compétitivité et la mobilisation de ses experts, Erdyn et Alcimed ont déployé une enquête en ligne auprès des acteurs des écosystèmes d'innovation. 454 personnes ont ainsi été sollicitées :

Enquête écosystèmes d'innovation : 454 personnes sollicitées



Les pôles de compétitivité se sont tout particulièrement mobilisés puisque 45,7 % des réponses émanaient d'eux. On trouve ensuite les Instituts Carnot (10,7 % des réponses) et les CSF (Comités stratégiques de filière ; 7,9 % des réponses).

L'Académie des technologies : représentée au Comité stratégique, elle a joué un rôle important dans le processus de sélection des technologies clés. Son implication a été actée lors du premier Comité stratégique. Les délibérations ont été menées en commission sur la base de l'expertise des membres.

Les groupes d'experts : nous avons organisé un groupe pour chacun des neuf domaines. 256 personnes ont été sollicitées, 131 ont répondu à l'enquête en ligne qui a permis de préparer les ateliers et 103 ont pu venir à ces ateliers. Nous avons tenu à assurer une diversité de participants : organismes de recherche, pôles de compétitivité, IRT, ITE, et bien évidemment des entreprises de toutes tailles. Pour chacun des neuf domaines, une réunion a été

organisée. Les participants ont été invités à définir les technologies clés à retenir sur la base des critères suivants :

- L'adéquation par rapport à l'horizon temporel de l'étude,
- Les perspectives de marché au niveau mondial (taille et / ou taux de croissance),
- Les atouts des acteurs français (notamment les entreprises).

Les travaux avaient été préparés par une enquête en ligne permettant de recueillir les avis au regard de ces critères et, si besoin, de réfléchir aux manques dans les listes proposées. Cette enquête a également été le moyen de recueillir l'opinion des personnes ne pouvant être présentes lors des réunions.

Enfin, une comparaison avec d'autres exercices de prospective et avec la NFI (Nouvelle France Industrielle) a été faite :

Auteur	Titre
Commission Européenne	Key Enabling Technologies (KET)
Ericsson	Les 10 tendances technologiques qui vont exploser en 2015
Industries et Technologies	15 leviers d'innovation pour 2015
MIT	10 breakthrough technologies 2015
Parlement Européen	Ten technologies which could change our lives
Thomson Reuters	The World in 2025 10 predictions of innovation
World Economic Forum	Top 10 emerging technologies of 2015

Ces éléments ont été utilisés à la fin du processus de sélection.

La construction des fiches et des monographies

Ces documents ont été construits sur la base :

- De recherches bibliographiques menées au niveau français et international,
- Des informations recueillies tout au long du processus de construction de la liste des technologies clés 2020 (enquêtes en ligne et groupes de travail),
- De l'expertise sectorielle des consultants d'Erdyn et Alcimed,
- Des avis et conseils formulés par les membres du Comité de pilotage et les experts sectoriels de la DGE et autres agences et administrations représentées au Comité de pilotage.

Les entreprises recensées au niveau des fiches l'ont été sur la base de leur rôle dans la chaîne de valeur (forte influence) ou d'expertises spécifiques développées et en phase avec les perspectives tracées dans ce rapport. La reconnaissance de leur niveau d'expertise à travers d'autres études ou des distinctions particulières (Concours mondial d'innovation ...) a

également été un facteur d'identification et de sélection. Ce travail a été mené au cours du second trimestre 2015 grâce à l'expertise des consultants impliqués dans cette mission, de recherches documentaires complémentaires, et des suggestions apportées par les membres du Comité de pilotage Technologies Clés 2020.

Le développement d'une analyse systémique

À la différence des précédentes éditions, une technologie clé 2020 peut être rattachée à plusieurs domaines (on parle alors de technologie transversale, comme par exemple l'intelligence artificielle ou les capteurs). Par ailleurs, par rapport à l'exercice précédent, la prise en compte des liens entre technologies clés a été affinée en indiquant le sens de la relation et son intensité.

Les liens entre les technologies clés ont été caractérisés lors des différentes enquêtes et validés par les consultants d'Erdyn et Alcimed. Ces données ont permis de construire un plan d'influence / dépendance inspiré des travaux de Michel Godet. Sur la base de ce document de travail, Atelier Iceberg a mis en œuvre son expertise dans la mise en forme des données de ce type.

Ces représentations ont pu être utilisées lors des processus de sélection afin d'éclairer les choix sur les conséquences de l'élimination d'une technologie clé sur le système dans son ensemble ou par rapport à l'un des neuf domaines en particulier. Ce mode de représentation est aussi utilisé pour représenter et mettre à disposition les résultats de l'étude Technologies Clés 2020. Afin d'adapter au mieux le format de restitution des résultats, un groupe de travail a été organisé avec des PME utilisatrices avérées ou potentielles de Technologies Clés pour bénéficier de leurs retours d'expériences sur la précédente édition et de leur avis sur différentes propositions pour le présent exercice.

La construction d'un annuaire

Chaque fiche technologie clé recense des acteurs clés appartenant à différentes catégories (entreprises, acteurs académiques, IRT, ITE, IHU, pôles de compétitivité, Instituts Carnot ...) qui, bien que ne constituant pas une liste exhaustive, sont représentatifs de la position de la France. Tous ces acteurs sont repris dans un annuaire. Celui-ci intègre également d'autres acteurs utiles au développement des technologies clés (par exemple, tous les pôles de compétitivité et SATT sont présents dans l'annuaire) et venant compléter ceux cités dans les fiches.

DOMAINES D'APPLICATION



ALIMENTATION

Définition

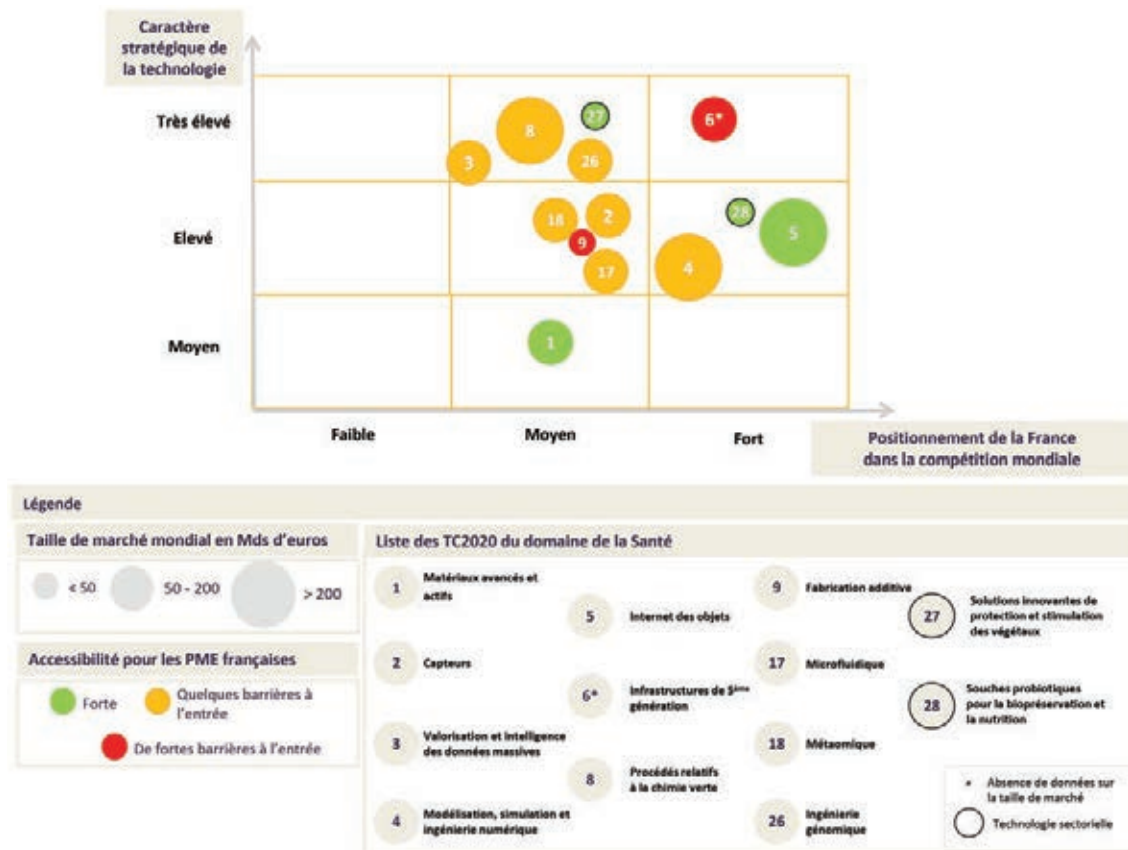
Le secteur de l'alimentation est un secteur d'activité correspondant à l'ensemble des entreprises des secteurs primaires et secondaires qui participent à la production de produits alimentaires finis. Il regroupe deux ensembles :

- L'agriculture (comprenant élevage et cultures), qui fournit les intrants à l'industrie agroalimentaire ;
- L'industrie agroalimentaire, qui transforme des produits animaux et végétaux en denrées alimentaires.

Le secteur agroalimentaire regroupe les activités de conception, de production et de commercialisation de produits alimentaires issus de l'agriculture ou du secteur alimentaire lui-même (produits alimentaires intermédiaires). Les cultures d'agro-ressources à des fins non alimentaires (pharmaceutiques, chimiques, textiles, énergétiques) bien que liées à des filières agro-industrielles spécifiques, sont comprises dans le champ de cette étude.

Technologies clés du domaine

N°	Intitulé	Spécifique / transversale
1	Matériaux avancés et actifs	Transversale
2	Capteurs	Transversale
3	Valorisation et intelligence des données massives	Transversale
4	Modélisation, simulation et ingénierie génomique	Transversale
5	Internet des objets	Transversale
6	Infrastructures de 5 ^{ème} génération	Transversale
8	Procédés relatifs à la chimie verte	Transversale
9	Fabrication additive	Transversale
17	Microfluidique	Transversale
18	Métaomique	Transversale
26	Ingénierie génomique	Transversale
27	Solutions innovantes de protection et de stimulation des végétaux	Spécifique
28	Souches de probiotiques pour la biopréservation et la nutrition	Spécifique



Les grands enjeux et les stratégies françaises

ENVIRONNEMENT

Le secteur de l'alimentation fait face à de nombreuses évolutions et défis impactant à la fois l'amont de la chaîne au niveau de l'agriculture, et l'aval au niveau des acteurs agroalimentaires, tels que :

- L'augmentation de la population mondiale ;
- L'exploitation de ressources finies et une hiérarchie des usages associée ;
- Le développement durable et la réduction du gaspillage alimentaire ;
- La volatilité du cours des matières premières agricoles ;
- Le changement des habitudes alimentaires ;
- La sécurité alimentaire ;
- L'hyper-segmentation des marchés cibles par opposition aux marchés de masse.

La population mondiale actuelle de 7,2 milliards devrait augmenter de près d'un milliard de personnes au cours des 10 prochaines années, pour atteindre 8,1 milliards en 2025 et 9,6 milliards en 2050¹. Cette évolution, récurrente depuis le début du 20^e siècle, crée une forte demande pour les produits agricoles et alimentaires. Combinée à une sous-alimentation chronique dans certaines régions du globe, la production de ressources locales dans des régions aux climats difficiles (sécheresse, périodes de mousson) par des populations largement sous-équipées constitue un véritable défi pour le secteur de l'alimentation dans son ensemble. D'autre part, une concurrence pour les ressources agricoles s'installe entre les produits alimentaires, l'industrie, l'habitat, et finalement les produits avec des applications à plus forte valeur ajoutée, tels que les biocarburants. Même si la législation européenne affiche une volonté de promouvoir en priorité la valorisation des coproduits des cultures

1 – « Perspectives de la population mondiale : révision de 2012 », Nations-Unis, 2012

ou de ressources n'entrant pas en concurrence avec les ressources alimentaires, cette tendance renforce les questions sur la disponibilité des ressources agricoles.

Concernant le second point, les besoins liés à l'augmentation démographique se conjuguent avec une évolution importante des comportements alimentaires, aussi bien dans les pays développés que dans les pays émergents. En effet, les populations des BRICS tendent à adopter un comportement alimentaire de plus en plus proche de celui des Européens ou Américains et donc à augmenter la consommation de viandes et de céréales. Cela pèse fortement sur la demande pour plusieurs ressources agricoles, l'élevage bovin étant fortement consommateur de céréales et d'eau.

Comme dans une majorité de pays, le marché de l'alimentaire français est en mutation permanente. Il suit les grands mouvements de société : l'urbanisation, les mutations de populations (métissage, vieillissement...), le développement durable, les nouvelles attentes des consommateurs (praticité, bénéfices santé...). Les entreprises françaises sont le plus possible à l'écoute des tendances de consommation, pour une plus grande satisfaction de leurs clients. En effet, la consommation évolue avec des demandes pour une nutrition plus équilibrée et des produits respectueux

de l'environnement, comme l'atteste la forte croissance des produits issus de l'agriculture biologique, le développement des produits de santé et les initiatives publiques dans le domaine. A cet égard, le Programme National Nutrition Santé 2011-2015 vise 4 objectifs : réduire l'obésité et le surpoids dans la population, augmenter l'activité physique et diminuer la sédentarité à tous les âges, améliorer les pratiques alimentaires et les apports nutritionnels, notamment chez les populations à risque, ainsi que réduire la prévalence des pathologies nutritionnelles.

Enfin, le cours des matières premières agricoles est un facteur important à considérer pour la compréhension du marché de la nutrition. En effet, sur les 8 dernières années, le prix du blé a évolué à une moyenne de 200€ la tonne avec une variation entre 100€ début 2010 et près de 300€ la tonne en 2007 et 2012. Le prix des oléagineux, autres produits majeurs des marchés agricoles, a également fait l'objet de fortes variations sur des périodes très courtes. Ainsi, le cours était d'environ 400€ la tonne en avril 2014 contre 600€ début 2008 et 200€ en 2009. Quant au prix du sucre, il a évolué entre 200 et 600€ la tonne entre 2007 et 2014 et devient plus sensible aux aléas du marché en raison de la sortie des quotas européens en 2017.

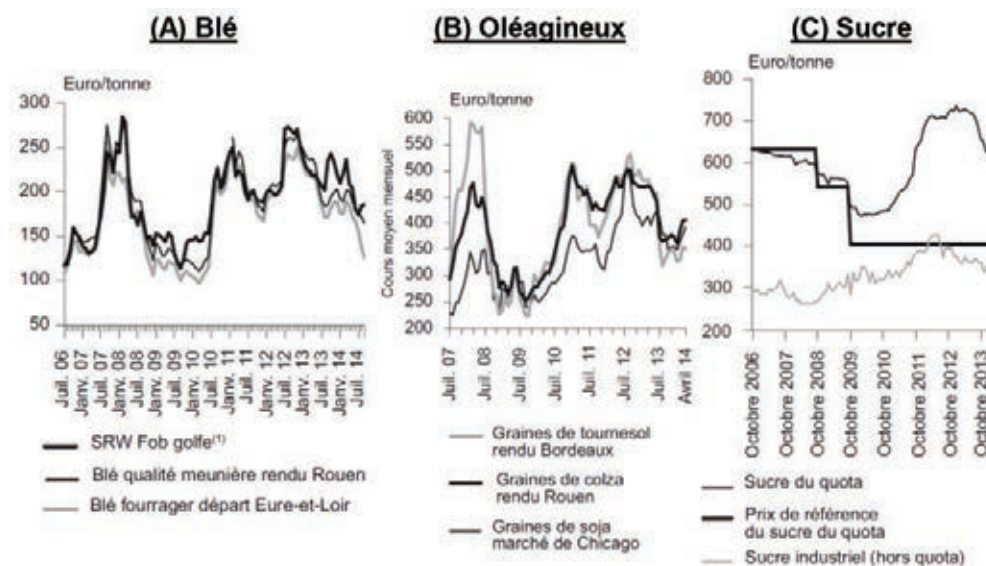


Figure 1 : Évolution du cours du blé (A), des graines oléagineuses (B) et du sucre (C) entre 2006 et 2014²

2 – Agreste Conjoncture, Octobre 2014



La volatilité du prix de ces matières premières est liée à un ensemble de facteurs non maîtrisables tels que des aléas climatiques ou le contexte géopolitique. De plus, lors de la flambée du prix de certaines matières premières, certains gouvernements sont susceptibles de prendre des mesures unilatérales pour approvisionner leurs marchés intérieurs. Ces pratiques accentuent la volatilité des prix sur les marchés internationaux et la faible visibilité pour les utilisateurs, comme fin 2011 lorsque la Russie, l'un des principaux producteurs mondiaux de blé, a suspendu ses exportations en raison de la sécheresse et de températures élevées dans le pays.

Afin de répondre à ces défis et évolutions, la stratégie française définie par le Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt³ repose sur un nouveau modèle agricole français, replaçant l'agronomie au cœur du système afin de mieux prendre en compte les territoires, les ressources et les écosystèmes naturels, et passant par un appel à la responsabilité individuelle des acteurs privés. Au sein de chaque filière agricole, une meilleure gouvernance et une coopération renforcée entre les acteurs économiques doivent être mis en place pour soutenir les objectifs stratégiques de la France⁴. Le Programme National Nutrition Santé⁵ et le Programme National pour l'Alimentation⁶

3 – Rapport « Objectif Terres 2020 », Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2009

4 – Stratégies de filières, « Pour une agriculture compétitive au service des hommes », Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, France Agrimer, 2014

5 – Programme Nationale Nutrition Santé 2011-2015

6 – Programme national pour l'alimentation (PNA) : <http://alimentation.gouv.fr/pna>

engagent également les acteurs de l'agroalimentaire à mieux répondre aux enjeux nutritionnels et de sécurité alimentaire actuels.

RÉGLEMENTATION

Le secteur de l'alimentation par rapport aux autres secteurs industriels est régi par une importante réglementation : textes législatifs, normes et labels. Ceux-ci font désormais partie intégrante des échanges tout au long de la chaîne d'approvisionnement des produits agricoles transformés, sans se limiter aux produits bruts. Les enjeux de sécurité alimentaire, d'échanges commerciaux, de gestion des prix et de préservation des ressources y sont particulièrement clés. L'ensemble de ces textes vise à la fois à rassurer le consommateur en améliorant la transparence de l'information au long de la chaîne alimentaire et à tendre vers une meilleure qualité des produits.

Le cadre législatif et réglementaire ne cesse de s'adapter à l'évolution des technologies et des connaissances scientifiques sur les risques alimentaires et, de façon directe, aux demandes émanant des consommateurs. Au niveau européen, la Politique Agricole Commune (PAC) a notamment intégré des objectifs de sécurité sanitaire afin de répondre à ces enjeux, et sa dernière réforme en 2013 vise à renforcer les objectifs de sécurité et à assurer une production alimentaire viable tout en préservant les ressources naturelles et les territoires.

Les réglementations se sont peu à peu multipliées et étendues à des domaines plus divers du fait de la complexité grandissante des activités en jeu. Parallèlement, dans beaucoup de pays développés, des changements structurels et institutionnels se font jour dans l'agroalimentaire, tandis que certaines tendances de la demande des consommateurs renforcent le rôle des normes et labels dans la chaîne alimentaire. Par exemple, la question des Organismes Génétiquement Modifiés (OGM) a récemment fait l'objet d'une proposition de réforme à la Commission Européenne, assouplissant les conditions d'autorisation d'importation de produits OGM sur le territoire européen, mais permettant à chaque État membre d'en refuser l'importation sur son territoire, en cas de « motifs légitimes ». Les débats autour de cette réforme mettent en relief les enjeux cruciaux de sécurité alimentaire et d'approvisionnement en produits agricoles sur le territoire des États membres, la France

adoptant par exemple une position conservatrice vis-à-vis de l'importation d'OGM sur son territoire.

Les filières d'approvisionnement transcendent de plus en plus les frontières nationales, notamment grâce à de nouveaux produits transformés et à un cadre d'action plus favorable aux échanges internationaux. Des normes minimales de qualité protègent les consommateurs, mais elles empêchent souvent les acteurs de la distribution, de la restauration et de la transformation, dans le système alimentaire actuel, de différencier qualitativement leurs produits pour préserver ou augmenter leurs parts de marché alors qu'ils doivent soutenir la concurrence sur les marchés nationaux et régionaux. Des labels ou des normes nationales ou européennes sont donc apparues pour combler ces lacunes et mettre en avant certains produits à l'image des AOC, AOP, IGP et produits Label Rouge.

Dans certains domaines, telles que celui des produits « santé », l'Europe a récemment légiféré afin de fournir un cadre harmonisé aux industriels et une meilleure grille de lecture aux consommateurs. Le règlement n°1924/2006, encadrant les allégations santé, a donc créé 3 catégories différentes d'allégations santé régies par un article spécifique. L'article 13.1, relatif aux allégations fonctionnelles génériques, encadre l'ensemble des allégations d'ordre général, déjà prouvées scientifiquement et qui peuvent être utilisées par l'ensemble des acteurs du secteur. L'article 13.5 permet la création de nouvelles allégations fonctionnelles par un industriel sur la base d'un dossier scientifique solide. Les allégations autorisées sous cet article sont protégées par l'EFSA d'un point de vue de la propriété intellectuelle et confèrent une exclusivité au demandeur. Enfin, les allégations relatives à la réduction d'un risque de maladie et au développement infantile (article 14) se rapprochent des produits pharmaceutiques car elles doivent prouver sans ambiguïté une action sur une maladie, en prévention ou en curatif. L'obtention d'une allégation sous l'article 14 confère également une exclusivité et une protection de la propriété intellectuelle pour le demandeur.

MARCHÉ ET PRODUCTION

Agriculture

La production agricole européenne a atteint 410 Mds€ en 2013 dont 68 % sur 6 pays. La France est le leader européen avec une production annuelle de 75 Mds€, devant l'Allemagne (53 Mds€) et l'Italie (50 Mds€).

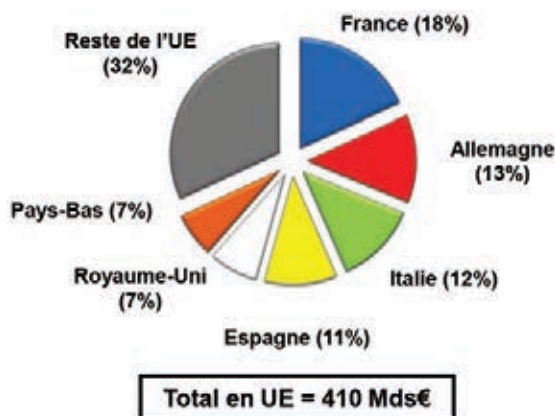
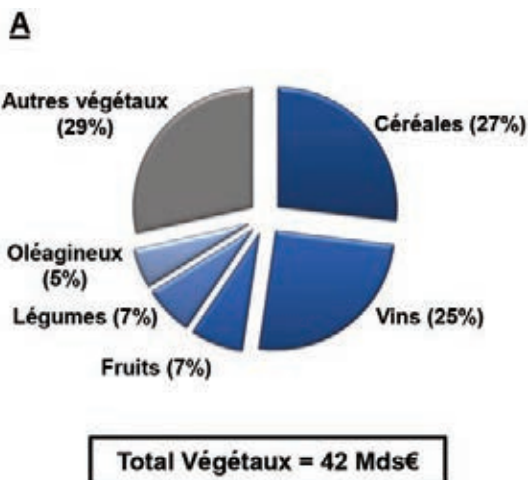


Figure 2 : Répartition de la production agricole européenne en 2013 (en milliards d'euros)⁷

En termes de commerce international mondial, l'Union Européenne est le premier exportateur de produits agricoles avec une valeur de 120 Mds€ en 2013, suivie des États-Unis (115 Mds€) et du Brésil (65Mds€)⁸.

La production nationale est principalement liée à la production végétale (52 % soit 42 Mds€), suivie par la production animale (35 % soit 26,5 Mds€). Le reste de la production agricole française est liée aux services et aux subventions aux produits. Parmi les productions végétales, la France se distingue par la force de son activité céréalière et sa production vinicole. Au niveau de la production animale, le lait, les bovins et la production avicole sont les principales ressources françaises.



7 – Agreste - Eurostat

8 – Commission Européenne, 2014 : *Agricultural Trade in 2013 : EU gains in commodity exports*

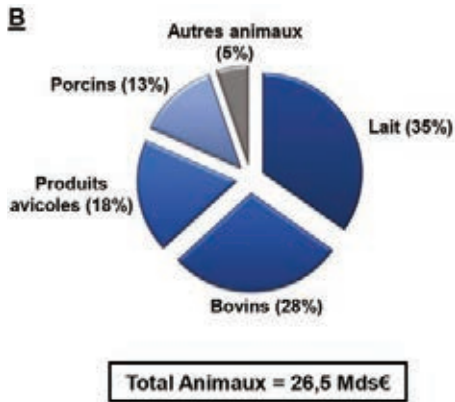


Figure 3 : Répartition de la production végétale et animale française en 2013, par typologie⁹

Au niveau européen, la France est particulièrement bien positionnée dans l'élevage bovin, le pays disposant du premier cheptel avec 9,1 millions de têtes loin devant l'Allemagne et le Royaume-Uni. Concernant les autres animaux d'élevage, la France se positionne au troisième rang européen pour les porcs et les caprins, et au cinquième rang pour les ovins.

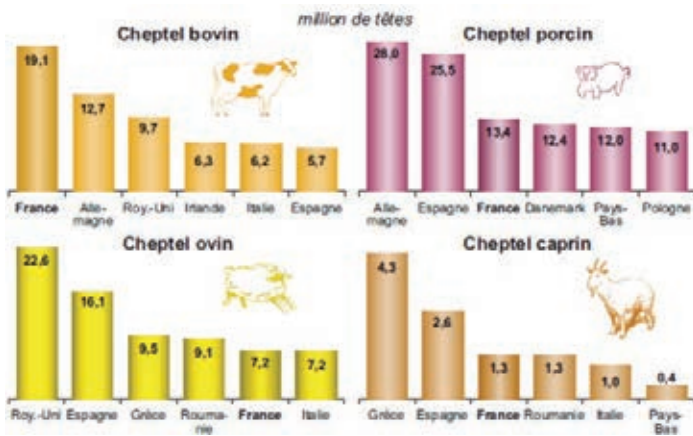


Figure 4 : Taille des principaux cheptels européens, par pays¹⁰

Au niveau céréalier, le pays est également le leader sur les 3 principales céréales cultivées en Europe que sont le blé, le maïs et l'orge avec respectivement 27 %, 23 % et 17 % de la production européenne. Contrairement à la France, l'Allemagne, le Royaume-Uni, la Pologne, la Roumanie, l'Italie ou l'Espagne sont quant à elles plus spécialisées sur une ou deux typologies de productions céréalières.

9 – Agreste - Eurostat

10 – Agreste, mémo 2014 - Eurostat

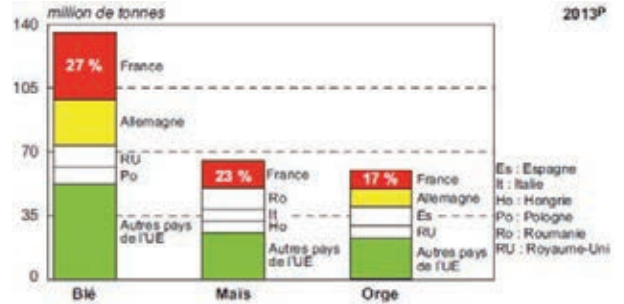


Figure 5 : Répartition de la production des trois principales céréales cultivées en Europe, par pays¹¹

Les oléagineux, dont la France est le premier producteur européen avec 7, 181 Mt, sont principalement dédiés au marché français ; environ ¼ de la production est exportée vers l'Allemagne, la Belgique et l'Espagne. La production est majoritairement destinée à la transformation, et les principaux secteurs utilisateurs sont l'huilerie, les biocarburants, l'alimentation animale, et l'oléochimie¹².

Agroalimentaire

L'ensemble des marchés français de l'alimentaire (entreprises de l'industrie, d'artisanat commercial et du commerce de gros agroalimentaires) représente un chiffre d'affaires de 349 Mds€ en 2013, soit 16 % du marché européen. La France se situe en seconde position au niveau européen derrière l'Allemagne (371 Mds€ soit 17 % du marché) et devant l'Italie (250 Mds€ soit 11 %) ¹³.

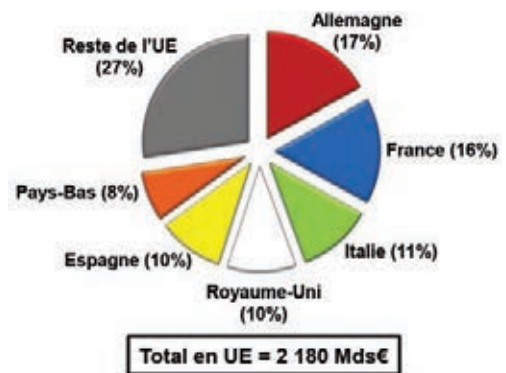


Figure 6 : Marché européen de l'alimentaire, par pays

11 – Agreste, mémo 2014 - Eurostat

12 – Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la Forêt, France Agrimer, 2014

13 – Agreste, mémo 2014 - Eurostat

En 2013, l'industrie agroalimentaire française, qui a réalisé un chiffre d'affaires de 160,5 Mds€, transformait 70 % de la production agricole française¹⁴. Malgré la crise de 2008 qui a pesé sur la consommation des ménages, l'agroalimentaire est en croissance continue voyant son chiffre d'affaires passer de 138 Mds€ en 2004 à 157 Mds€ en 2011 puis 160,5 Mds€ en 2013. Cette croissance du marché est notamment liée au développement de nombreuses niches alimentaires destinées à des populations particulières. Parmi elles, les produits sans gluten, le halal, les produits biologiques ou encore les aliments « santé » représentent des tendances fortes. À titre d'exemple, les produits biologiques pèsent 4,1 Mds€ en France représentant 2 % du marché français en 2013, contre 1 % en 2006.

Leader mondial des exportations de produits agroalimentaires jusqu'en 2007, la France est maintenant le 5^e exportateur mondial derrière les États-Unis, les Pays-Bas, l'Allemagne et le Brésil¹⁵. Ainsi, 27 % du chiffre d'affaires français du secteur est réalisé à l'export, ce qui a généré un excédent commercial de 8,5 Mds€, plaçant cette industrie en troisième position des contributeurs positifs à la balance commerciale française derrière l'aéronautique et la chimie. Cependant, la demande intérieure est peu dynamique en France comparée à d'autres pays, même si le budget alimentaire représente une part significative du budget des ménages avec 10 % contre 16 % pour le logement et 11 % pour les transports.

Ainsi, si la France compte sur d'importants atouts pour préserver sa position d'exportateur agricole et agroalimentaire, l'entrée en jeu possible de nouveaux pays émergents comme exportateurs mondiaux pourrait menacer le dynamisme du secteur de l'alimentation, le marché intérieur étant d'autre part peu porteur.

Les grandes tendances

Sur un marché très concurrentiel et en constant renouvellement, les acteurs de l'alimentation font preuve d'une forte capacité d'innovation, aussi bien sur le plan technologique et marketing, avec notamment l'essor des objets connectés dans tout le secteur, que d'usage.

14 – ANIA

15 – OMC, 2012 : *Statistiques du commerce international*

TECHNOLOGIQUES

Numérique et objets connectés

Le marché de l'agriculture numérique pour les professionnels présente une croissance soutenue et des applications variées : gestion et optimisation de la production, minimisation des risques, optimisation de la gestion phytosanitaire des parcelles grâce aux drones, aux puces connectées, aux capteurs, etc. Parallèlement, le développement de l'offre d'objets connectés destinés aux consommateurs est une tendance importante. Cette offre permet de répondre à des enjeux clés pour les consommateurs : traçabilité des aliments, croisement entre nutrition et santé, gestion des stocks, etc., mais également de renouveler les usages : marketing géolocalisé, nouveaux modes de distribution, gestion de stocks, personnalisation des aliments... De grands acteurs internationaux comme McDonald's, Mondelez, mais également en France Danone (avec la « Smart Drop » d'Evian), Auchan (avec une application permettant de créer une liste de courses collaborative et un parcours d'achat optimisé en magasin), SEB (avec par exemple le cuiseur connecté « Nutricook Connect ») ou Pernod Ricard (avec la « bibliothèque de spiritueux connectée »), se positionnent sur ce marché.

Produits « santé »

Nouvelles recettes

L'intérêt croissant des consommateurs pour la nutrition et le bien-être, et les avancées scientifiques et cliniques reliant la nutrition et la prévention des maladies, poussent les industriels à élaborer de nouveaux produits ou recettes à forte valeur ajoutée nutritionnelle, organoleptique et pour des populations cibles. Ainsi, la majorité des projets soutenus (34 %) par les pôles de compétitivité et BPI France dans le domaine agroalimentaire s'inscrivent dans l'un de ces trois segments de marché¹⁶.

Alicaments

Certains projets vont au-delà d'une nouvelle proposition de produit et visent, soit à développer des ingrédients *via* de nouveaux procédés s'inscrivant dans le cadre réglementaire « *novel food* », soit à développer des aliments et ingrédients (produits alimentaires

16 – Agriculture – Agroalimentaire, L'innovation dans les entreprises, BPI France/ Pôle IAR

intermédiaires) fonctionnels, ou compléments alimentaires, pouvant justifier d'une allégation de santé grâce à la démonstration clinique des effets souhaités.

Le règlement n°1924/2006 encadrant les allégations santé limite fortement l'usage des allégations sur les différents produits alimentaires et offre au consommateur une garantie quant aux spécificités du produit concerné. Les allégations génériques telles que « la vitamine C contribue à réduire la fatigue », non exclusives et utilisables par tous les industriels, n'offrent pas de caractères différenciant et ne donnent pas lieu à des avancées technologiques. En revanche, les allégations spécifiques (article 13.5) et les allégations relatives à la réduction d'un risque de maladie et au développement infantile (article 14) offrent une possibilité de

différenciation par l'innovation et la propriété intellectuelle. En effet, ces dernières doivent être nouvelles et scientifiquement démontrées. L'Agence Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA) a ainsi le pouvoir d'accorder une exclusivité aux industriels sur toute nouvelle allégation relevant de ces 2 articles, ce qui stimule l'innovation à la fois sur le développement de nouveaux ingrédients et de nouveaux produits finis.

Toutefois, fin 2014, seules 31 demandes ont été acceptées, soit un taux de réussite de 15 %. Cela démontre la difficulté à obtenir ces nouvelles allégations spécifiques et relatives à la réduction d'un risque de maladie et au développement infantile mais aussi l'intérêt qu'elles offrent en matière de sérieux, de qualité et de protection.

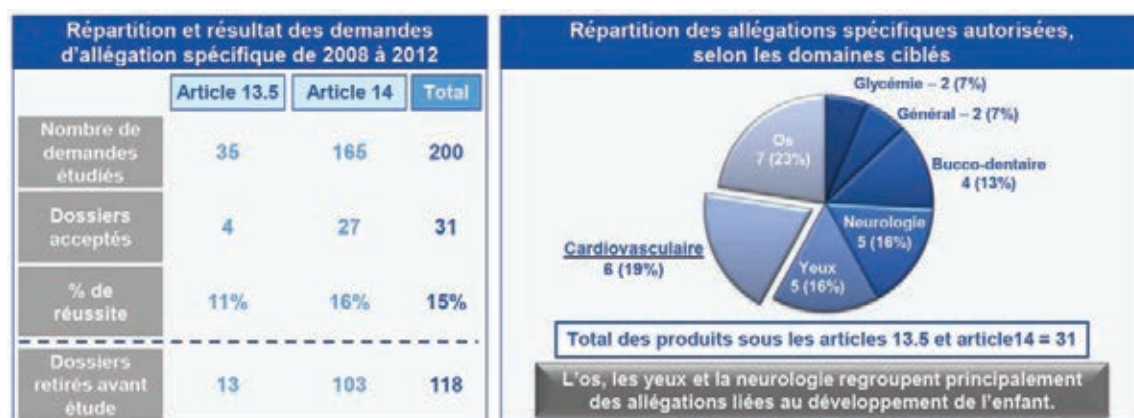


Figure 7 : État des demandes d'allégation spécifiques et relatives à la réduction d'un risque de maladie et au développement infantile entre 2008 et 2012, en Europe

L'ensemble des grands acteurs français de l'agro-industrie investissent ce marché depuis une trentaine d'années. Ainsi, dès 1987, Danone a lancé son premier produit avec Bio au Bifidus actif, suivi en 1994 par Actimel, produit majeur de sa gamme, et plus récemment Danacol. Sofiproteol, récemment rebaptisé Avril, a développé plusieurs gammes axées sur l'utilisation des oméga 3 et 6 dans les huiles de la marque Lesieur. Lactalis est également présent avec sa gamme BA.

OGM

Les organismes génétiquement modifiés visent à obtenir des plantes à meilleur rendement, plus résistantes

aux conditions environnementales difficiles et/ou résistantes à des pathogènes/maladies.

En termes d'ingénierie génomique, la transgénèse reste la technologie la plus utilisée pour la production de plantes génétiquement modifiées. Toutefois, face aux barrières réglementaires rencontrées dans de nombreux pays européens, les industriels utilisent de nouvelles technologies qui permettent d'échapper à ces réglementations. Ainsi, la mutagenèse dirigée permet de modifier l'expression de gènes endogènes, par traitement chimique ou irradiation. L'usage de méga-nucléases se répand auprès des semenciers pour améliorer leurs produits. Cette technique en plein essor depuis quelques années fait l'objet d'études auprès de l'EFSA. Le caractère OGM ou non des plantes ainsi transformées n'a pour le moment toujours pas été arrêté par l'EFSA.

Nouveaux procédés

Optimisation des procédés de première transformation

La recherche de nouveaux actifs ou de la préservation de leur qualité se fait notamment *via* le développement de nouvelles technologies d'extraction et de purification faisant appel, par exemple, à la micro encapsulation ou à des procédés enzymatiques. La bio-production constitue un enjeu clé pour les industries agroalimentaires, pour la production de nouveaux ingrédients, par exemple. Des solutions pour l'optimisation des procédés de 1^{ère} transformation des produits agroalimentaires (technologies laitières et fromagères, technologies de fermentation et de salaison, nouvelles souches probiotiques, par exemple), technologies issues de biotechnologies, sont également attendues.

Procédés de production

L'optimisation des procédés de découpe est également un défi pour l'industrie alimentaire, ces étapes de production étant consommatrices de temps et d'énergie. Cela passe notamment par des outils de reconnaissance 3D pour les produits les plus complexes (découpe d'animaux par exemple). Enfin, l'amélioration des procédés de chauffage et de stérilisation est une piste actuelle pour réduire la consommation énergétique, améliorer l'efficacité des procédés et permettre la préservation de micro-organismes d'intérêt.

L'impression 3D est une technologie étudiée par de nombreux acteurs de l'agroalimentaire. Elle pourrait permettre d'améliorer l'efficacité des productions actuelles, permettre de fabriquer de nouveaux produits ou répondre à de nouvelles demandes telles que la fabrication à domicile.

Analyse microbiologique et traçabilité (hygiène et sécurité des aliments)

La connaissance et la maîtrise des écosystèmes microbiens représentent un enjeu important pour l'industrie agroalimentaire, d'une part pour l'amélioration de la qualité nutritionnelle des denrées (on connaît ainsi peu ou pas l'action probiotique des aliments fonctionnels), d'autre part pour la sécurité sanitaire et le rallongement de la durée de vie de ces denrées.

Les crises sanitaires auxquelles les industriels ont dû faire face ces dernières années les obligent aujourd'hui à détecter au plus tôt les contaminants quels qu'ils soient. On assiste donc à un changement de fond dans

le domaine du contrôle et de l'analyse alimentaire : le développement des techniques de mesure et de modélisation devront permettre la détection non ciblée mais exhaustive des composés alimentaires afin d'anticiper les risques. Ainsi, comme pour la santé humaine, le développement de la biologie moléculaire ainsi que le développement de nouvelles techniques de détection (spectrométrie de masse, métabomique, nouveaux capteurs spécifiques, microfluidique, etc.) seront clés pour répondre à ce défi sanitaire en nutrition. Enfin, les technologies augmentant la traçabilité, telles que les puces RFID, les emballages instrumentés par détection de traceurs, de microorganismes ou les intégrateurs temps/température, répondent également à un enjeu de réduction du gaspillage alimentaire, auquel les consommateurs sont de plus en plus sensibles.

Agriculture de précision

L'optimisation des cultures est un souci récurrent de l'industrie alimentaire et l'agriculture de précision une tendance forte. Il s'agit d'un principe de gestion des parcelles agricoles qui vise l'optimisation des rendements et des investissements, en cherchant à mieux tenir compte des variabilités des milieux et des conditions entre différentes parcelles ou à l'échelle intra-parcellaire. Ce type de culture requiert l'utilisation de nouvelles technologies, telles que l'imagerie satellitaire et l'informatique. Il s'appuie sur des moyens de localisation dans la parcelle comme le positionnement par satellite de type GPS ou l'utilisation de drones, qui permettent une plus grande efficacité dans les semis, le suivi des cultures et de la récolte. L'agriculture de précision permet également, grâce au suivi précis des cultures, de limiter le recours aux traitements phytosanitaires et d'optimiser l'irrigation. L'usage de biostimulants constitue enfin une tendance importante.

L'agriculture de précision et le développement de solutions innovantes de protection et de stimulation des végétaux trouvent leur prolongement dans différentes pratiques et technologies en émergence. Au Japon, Toshiba, Fujitsu et Panasonic ont lancé de véritables usines à légumes visant la production d'une variété de produits dans des locaux clos et sous conditions contrôlées. Pour décrire son usine, Toshiba emploie les termes suivants : « *éclairages fluorescents spéciaux optimisés pour la croissance des végétaux, un air conditionné qui maintient toujours la même*

température et un degré d'humidité constant, un dispositif de surveillance de l'état physique des plantes et des équipements de stérilisation pour l'emballage des produits »¹⁸.

Au niveau individuel, le jardinage de précision est également une pratique émergente. Après de longues recherches scientifiques, Parrot, société française, a rendu l'horticulture de précision accessible au grand public avec Flower Power, un système d'arrosage contrôlé via une application mobile.

INDUSTRIELLES

Les acteurs traditionnels de l'alimentation sont de plus en plus largement concurrencés par les acteurs de la distribution qui commercialisent des produits sous leur propre nom en marque de distributeur (MDD)¹⁹. Initialement suiveurs, ces acteurs se démarquent aujourd'hui par leur capacité d'innovation, qui vient empiéter sur le territoire des acteurs traditionnels. En moyenne, une innovation sur cinq en Europe est une MDD. Les acteurs de la distribution développent de nouvelles gammes et de nouveaux produits en ciblant des segments de marchés particuliers (femmes, seniors, sportifs, etc.). Cependant, en France, une guerre des prix intensive et la concurrence de produits étrangers à bas prix tendent à menacer les parts de marchés des marques de distributeurs.

En parallèle, une modification des pratiques dans les exploitations agricoles s'est fait jour au cours des dernières années. Les exploitations agricoles fonctionnant sur un modèle intensif, reposant sur le recours aux intrants et l'innovation phytosanitaire, laissent place à la marge à des exploitations en agriculture biologique ou raisonnée, prenant mieux en compte les écosystèmes et les mécanismes naturels pour assurer leur productivité en préservant leur environnement.

D'USAGE

L'évolution de la société a entraîné de nombreuses modifications dans les comportements alimentaires et dans les attentes des consommateurs vis-à-vis des produits qu'ils achètent. Ainsi, trois principales tendances d'usage peuvent être citées :

18 – <http://www.youtube.com/watch?v=AoFZD-YUb38#t=25>

19 – Centre de Recherche pour l'Étude et l'Observation des Conditions de vie, « Le développement des MDD et les stratégies des industriels de l'alimentaire », 2007

■ Le *snacking* et les repas en mobilité. Cette tendance modifie profondément le concept des repas et pousse les industriels à innover, notamment sur le format des produits (sachets individuels, produits prêts à consommer, etc.) ou le développement de produits spécifiques ;

■ La demande de produits « sans » : sans gluten, sans OGM, sans lactose, sans huile de palme, sans sucre, etc., est en forte progression depuis plusieurs années. La croissance de ce segment est soutenue par l'élargissement d'un public au début restreint : par exemple, les produits « sans gluten », destinés originellement aux consommateurs souffrant d'intolérances, s'adressent désormais au grand public en devenant produits « bien-être ».

■ Le développement durable, notamment dans les produits et emballages :

- Production durable dans les exploitations agricoles
- Produits biologiques : Cette tendance entraîne une hausse importante des parcelles cultivées, qui nécessite la mise en place de nouvelles conditions de culture et le développement de technologies permettant de respecter les critères des labels bio sans trop réduire les niveaux de productivité. Au niveau de l'industrie alimentaire, l'usage de ces produits est également en croissance ;
- Emballages biodégradables, compostables ou recyclables pour répondre aux nouvelles attentes des consommateurs et limiter l'impact environnemental des produits.

La position de la France

INDUSTRIELLE

L'agriculture et l'industrie alimentaire sont un atout pour la France. Ces secteurs contribuent fortement à la santé de l'économie française via leur contribution positive au solde commercial et leur rôle dans le développement économique des territoires.

Les industries agro-alimentaires constituent une chaîne dite « *farm to fork* », allant de l'agriculture jusqu'à la distribution puis au consommateur, avec une réelle interdépendance entre chacun des maillons. Le secteur de la nutrition s'appuie sur de multiples filières (production, transformation, agroéquipement et

distribution) disposant d'un niveau de structuration, d'intrants (animal, végétal) et d'acteurs hétérogènes (agriculteurs, industriels transformateurs, coopératives, distributeurs, etc.). Ainsi, la diversité du secteur, qui participe à sa richesse, constitue également une difficulté pour obtenir une vision claire et partagée de l'ensemble des acteurs.

Nombre de filières sont très structurées autour d'un ou de quelques acteurs industriels très bien implantés à la fois au niveau local, national voire international. La filière française des oléagineux s'est ainsi structurée autour d'un acteur principal, le groupe industriel et financier Sofiproteol (Avril), qui valorise une grande partie de la production oléagineuse en France, aussi bien dans l'alimentaire que dans d'autres débouchés. La filière du sucre s'est clairement organisée autour d'organisations professionnelles telles que la Confédération Générale des Planteurs de Betterave et d'industriels sucriers (Tereos-Syral, Cristal Union, Saint-Louis ou Lesaffre) alors que 4 industriels (Roquette, Cargill, Tereos-Syral, Chamtor) structurent la filière amidonnière française. Dans le cas de la filière des agroéquipements, quoique majoritairement constituée de petites entreprises, le réseau de distributeurs renforce le lien entre constructeurs et utilisateurs, et le dynamisme du marché national soutenu par la diversité des cultures et des systèmes d'exploitation lui permet de maintenir un niveau de production haut, voire de l'augmenter et d'atteindre un chiffre d'affaires de 6 Mds € en 2013²⁰. Quelques acteurs de taille importante, tels que Pellenc, Sulky Burel et Manitou restent présents sur le marché international. Ainsi, malgré le nombre important d'agriculteurs ou de sociétés impliquées dans ces filières, la structuration est suffisamment importante pour permettre une valorisation économique des ressources.

En revanche, d'autres filières disposent d'un niveau de structuration plus faible qui les expose à des difficultés d'ordre économique. Les industries de la charcuterie, des plats préparés ou de la découpe de viande sont encore principalement occupées par des PME. La faiblesse des investissements industriels sur certains segments de marchés et le lien distant entre les secteurs agricoles et agroalimentaires contribuent à réduire la force du tissu français. Le Comité Stratégique de

Filière du secteur et des initiatives locales ont notamment pour objectif de renforcer ce lien entre acteurs et de participer à structurer les différentes filières. Ces démarches doivent également permettre aux acteurs du secteur agricole de négocier au mieux les nouveaux défis liés à la réforme de la Politique Agricole Commune (PAC) en 2013.

La même année, les 11 852 entreprises du secteur alimentaire ont réalisé un chiffre d'affaires de 160,5 Mds€ et employaient 492 727 personnes réparties sur tout le territoire national²¹. Ces sociétés sont à plus de 98 % des PME/TPE. En 2010, au dernier recensement agricole, le secteur agricole représentait 500 000 exploitations et 966 000 emplois.

Au niveau mondial, les grands groupes français sont classés à partir du 13^{ème} rang mais occupent les premières places dans plusieurs secteurs. Cinq groupes européens se classaient parmi les 15 premiers mondiaux du secteur de l'agroalimentaire et des boissons en 2012 : Nestlé S.A., AB-Inbev, Danone, Heineken et Lactalis. Les premiers groupes français dans ce classement mondial sont Danone (13^e position) et Lactalis (15^e), suivi par Pernod Ricard S.A en 43^e position. Dans le classement européen, Danone est en 3^e position, Lactalis en 5^e, Pernod Ricard SA en 12^e. Si l'on consolide l'ensemble des sociétés du groupe industriel et financier Sofiprotéol (Avril), celui-ci se situe à la 18^e place.

Sur certains segments de marché, les entreprises françaises sont à la toute première place au niveau mondial. Ainsi, Danone et Lactalis sont les deux premières entreprises du marché des produits laitiers, Pernod Ricard SA est le 2^e groupe pour les vins et spiritueux alors que Vivescia (avec Malteurop) et Soufflet sont les deux premiers producteurs de malt. Enfin, Bonduelle est au 1^{er} rang mondial pour la transformation de légumes. Si les géants mondiaux sont présents sur notre territoire, les entreprises françaises s'implantent également à l'étranger pour se rapprocher des zones de consommation. Les dernières sources disponibles montrent que, par rapport aux autres secteurs industriels français, ce sont les industries alimentaires (hors boissons) qui réalisent le plus fort taux de chiffre d'affaires *via* des filiales implantées à l'étranger avec plus de 15 %, devant le secteur « cokéfaction et raffinage » et l'industrie automobile.

20 – Irstea, 2014 : Rapport de la mission agroéquipements : « Définir ensemble le futur du secteur des agroéquipements »

21 – ANIA

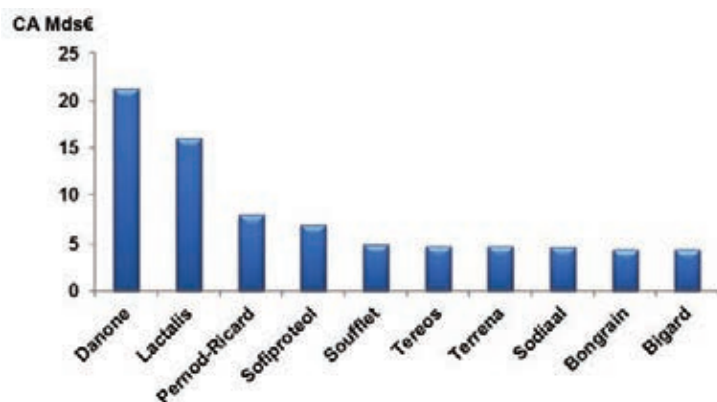


Figure 8 : Classement des groupes français en 2013 selon le chiffre d'affaires du secteur agroalimentaire et boissons

ACADÉMIQUE ET ÉCOSYSTÈME DE L'INNOVATION

La France dispose de nombreuses structures de recherche dédiées à l'innovation dans le domaine de

l'alimentation. Ainsi, l'INRA, le CNRS, l'Ifremer, l'IRSTEA, le CIRAD, les Universités, les Écoles participent à la recherche dans ce domaine. Elles sont soutenues par 11 pôles de compétitivité (Aquimer, Céréales Vallée, Qualiméditerranée, Qualitropic, Terralia, Valorial, Végépolys, Vitagora, Agri Sud-Ouest Innovation, Nutrition Santé Longévité, Hippolia) couvrant l'ensemble des sujets (céréales, produits de la mer, qualité, semences, nutrition santé, etc.) ainsi que 4 Instituts Carnot (Qualiment, IRSTEA, IFREMER, ECSA). Quinze Instituts Techniques Agroalimentaires (ITAI) labellisés par le MAAF ont une mission de recherche technologique, d'appui technique, d'expertise, de formation et d'information au service des entreprises.

En plus de cet appui scientifique et technique, de nombreux outils financiers permettent d'accompagner les projets de R&D des entreprises mais aussi leurs projets d'investissement. La plupart sont financés par le Programme des Investissements d'Avenir.

Matrice AFOM

ATOUTS

Premier producteur agricole européen, avec un grand nombre de productions

Deuxième producteur agroalimentaire européen

Quelques entreprises de premier ordre dans le classement mondial des entreprises agroalimentaires (Danone, Lactalis, Pernod Ricard, Avril)

Dynamisme du secteur de l'agroéquipement, avec quelques acteurs d'envergure internationale

Forte contribution du secteur à la santé de l'économie française

Structuration de nombreuses filières constituant des chaînes « farm to fork »

4^e exportateur mondial de produits agricoles et agroalimentaires

Renommée de nombreux produits gastronomiques à l'international

Capacité d'innovation des acteurs du secteur alimentation

FAIBLESSES

Secteur composé en majorité de PME et TPE

Faible niveau d'investissements industriels

Demande intérieure peu dynamique

Exposition de filières moins structurées à des difficultés économiques

OPPORTUNITÉS

Enjeux liés à l'augmentation démographique conjugués à l'évolution des comportements alimentaires

Mutations sociétales (urbanisation, vieillissement...) et nouvelles attentes des consommateurs (praticité, bénéfices santé, alimentation saine...)

Renforcement de l'export et de la production locale sur de nouvelles zones géographiques ou de nouvelles typologies de consommateurs

Innovations liées au développement des services

MENACES

Volatilité des matières premières et impact concurrentiel

Enjeux de réglementation et répercussions sur la concurrence internationale

Compétitivité accrue de pays avec une approche low-cost

SOURCES

<http://www.fao.org/docrep/007/y4683f/y4683f06.htm>

<http://www.fao.org/docrep/004/y3557f/y3557f06.htm>

<http://www.oecd.org/fr/tad/echanges-agricoles/45013521.pdf>

<http://www.fao.org/docrep/w5800f/w5800f12.htm>

http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/HS_26_6-8_cle836bd9.pdf

<http://agriculture.gouv.fr/alim-agri-Chiffres-cles-2012>

<http://www.franceagrimer.fr/>

<http://www.iar-pole.com/wp-content/uploads/downloads/2012/10/Synth%C3%A8se-OSEO-Agroalimentaire-2011.pdf>

http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/IAA-Panorama-2014-web_cle4c47a6-2.pdf

« Panorama des industries agroalimentaires, édition 2014 », MAAF, 2014

« Stratégies de filière, pour une agriculture compétitive au service des hommes », MAAF, France Agrimer, 2014

« Objectif Terres 2020, Pour un nouveau modèle agricole français », MAP, 2009

« Les innovations technologiques, leviers de réduction du gaspillage dans le secteur agroalimentaire : enjeux pour les consommateurs et pour les entreprises », PIPAME, 2014

« Les industries agro-alimentaires face à la volatilité du prix des matières premières : quelles perspectives à l'horizon 2020 ? », PIPAME, 2012

« Statistiques du commerce international », OMC, 2012

« Agricultural Trade in 2013 : EU gains in commodity exports », Commission Européenne, 2014

« Rapport de la mission agroéquipements : Définir ensemble le futur du secteur des agroéquipements », Irstea, 2014

GLOSSAIRE

AOC: Appellation d'Origine Contrôlée

AOP: Appellation d'Origine Protégée

EFSA: Agence Européenne de Sécurité des Aliments

IAA: Industrie agroalimentaire

IGP: Indication géographique protégée

MDD: Marque de distributeur



SANTÉ ET BIEN-ÊTRE

Définition

Dans le cadre de cette étude, le domaine de la santé et du bien-être regroupe plusieurs types d'industries :

Pour le domaine de la santé :

- Les industries du médicament ;
- Les industries du dispositif médical ;
- Les industries du dispositif médical de diagnostic *in vitro*.

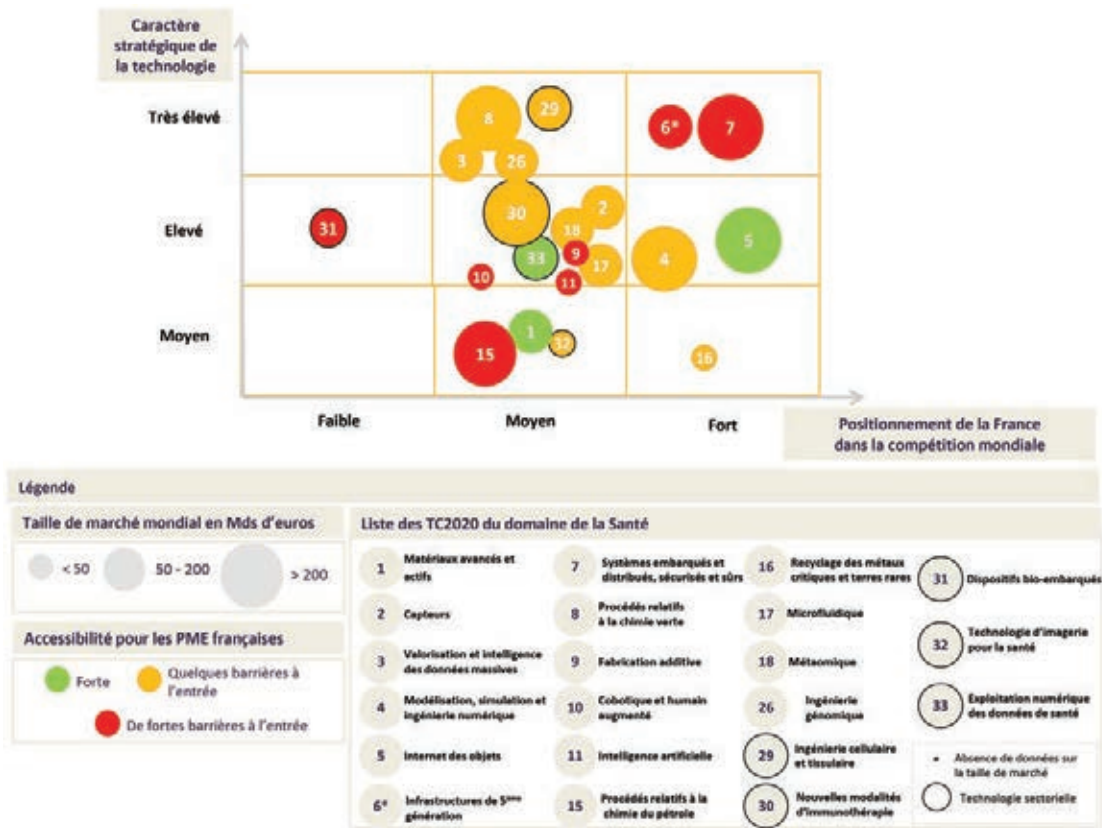
Pour le domaine du bien-être, les industries impliquées sont celles de la cosmétique (hygiène, maquillage, soins dermatologiques et capillaires, parfums).

Les activités historiques de ces entreprises, visant à développer de nouvelles molécules pour le traitement de pathologies et/ou de nouveaux dispositifs médicaux pour maîtriser notamment le diagnostic, la prévention et le traitement de pathologies et/ou de nouvelles formulations afin de favoriser le bien-être, sont actuellement fortement impactées par de nouveaux usages, rendus notamment possibles par les technologies de e-santé ou de santé mobile.

De plus, ces industries font face à des défis importants, aussi bien au niveau sociétal que technologique ou économique, qui rendent les domaines de la santé et du bien-être particulièrement clés pour le développement industriel français.

Technologies clés du domaine

N°	Intitulé	Spécifique / Transversale
1	Matériaux avancés et actifs	Transversale
2	Capteurs	Transversale
3	Valorisation et intelligence des données massives	Transversale
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique	Transversale
5	Internet des objets	Transversale
6	Infrastructure de 5 ^{ème} génération	Transversale
7	Systèmes embarqués et distribués, sécurisés et sûrs	Transversale
8	Procédés relatifs à la chimie verte	Spécifique
9	Fabrication additive	Transversale
10	Cobotique et humain augmenté	Transversale
11	Intelligence artificielle	Transversale
15	Procédés relatifs à la chimie du pétrole	Transversale
16	Recyclage des métaux critiques et terres rares	Transversale
17	Microfluidique	Transversale
18	Métaomique	Transversale
21	Supercalculateurs	Transversale
26	Ingénierie génomique	Transversale
29	Ingénierie cellulaire et tissulaire	Spécifique
30	Nouvelles modalités d'immunothérapie	Spécifique
31	Dispositifs bio-embarqués	Spécifique
32	Technologies d'imagerie pour la santé	Spécifique
33	Exploitation numérique des données de santé	Spécifique



Les grands enjeux et les stratégies françaises

ENVIRONNEMENT

Avec l'allongement de la durée de vie et le développement des pays émergents, **la demande en matière de santé et de bien-être est amenée à progresser plus vite que la croissance mondiale** à l'horizon 2020, incitant la France à disposer d'un tissu compétitif dans ce domaine. **La santé est ainsi identifiée comme un secteur stratégique et moteur pour l'économie française dans l'avenir**, statut confirmé entre autres par le rapport Gallois¹ et le rapport Lauvergeon².

1 – Trois priorités techniques et industrielles sont présentées comme décisives dont « la santé et l'économie du vivant, qui ouvrent des espaces de plus en plus larges de recherche, d'innovation et de développement industriel où la France doit être présente » - Louis Gallois, *Pacte pour la compétitivité de l'industrie Française*, rapport au Premier ministre par, 5 novembre 2012.

2 – La médecine individualisée figure ainsi parmi les 7 ambitions défendues dans

Les facteurs à l'origine de la forte croissance de la demande en matière de santé et de bien-être sont multiples. Il s'agit en premier lieu de l'évolution démographique mondiale et de son impact positif sur cette demande. En effet, **entre 2000 et 2050, la proportion de la population mondiale de plus de 60 ans devrait doubler**, passant d'environ 11 % à 22 %, soit plus de deux milliards de personnes de plus de 60 ans. La plupart des personnes âgées décèdent de maladies non transmissibles, souvent cumulées (cardiopathies, cancer, diabète, etc.). De plus, puisqu'elle s'accompagne d'un besoin de prise en charge au long court, l'évolution démographique crée des besoins importants en matière de santé, tels que **l'adaptation du système de soins et le développement de nouveaux moyens de diagnostic, de traitement ou d'accompagnement des patients**³.

le rapport de la commission « Innovation 2030 » présidée par Anne Lauvergeon. *Rapport de la Commission Innovation 2030*, remis à l'Élysée le 11 octobre 2013.

3 – Communiqué de l'O.M.S.

En lien avec l'évolution démographique mondiale, les **maladies non-transmissibles, maladies chroniques en priorité, représentent un des enjeux majeurs de la santé publique de demain**. Les modifications des habitudes de vie (alimentation, sédentarité, etc.) et de l'environnement (expositions à certains polluants et toxines) dans les pays développés sont notamment un facteur de développement important pour des maladies chroniques comme les maladies cardio-vasculaires, le cancer, le diabète, les maladies respiratoires, etc., responsables de 63 % des décès dans le monde⁴. Alors que les maladies cardio-vasculaires constituaient en 2012 la première cause de décès dans le monde avec près de 17,5 millions⁵, les cancers étaient responsables de près de 8,2 millions de décès⁶ et le diabète touchait en 2014 près de 9 % des adultes âgés de 18 ans et plus⁷. À l'horizon 2020, les maladies cardiovasculaires pourraient être responsables de près de 25 millions de morts dans le monde⁸ et l'OMS estime que la fréquence mondiale des cancers pourrait augmenter de 50 % avec 15 millions de nouveaux cas par an. En 2030, le diabète sera la septième cause de décès, touchant à 80 % les pays à faible revenu. Face à l'inquiétant développement de ces pathologies, l'enjeu pour les politiques publiques de santé est triple : il s'agit non seulement de développer des moyens thérapeutiques pour mieux soigner ces maladies mais également d'accompagner la prise en charge des patients sur de longues durées et surtout d'accroître les efforts de prévention des maladies chroniques.

Par ailleurs, l'importance de la part des maladies infectieuses et parasitaires (pneumonie, diarrhée, malaria, rougeole, VIH/sida, etc.) parmi les causes de mortalité dans les pays en développement incite à ne pas les négliger⁹. Ainsi, **l'émergence ou la réémergence de plusieurs pathologies infectieuses au niveau mondial** (telles que la tuberculose, Ebola, la grippe aviaire, le chikungunya, etc.) et la possibilité que de

nouvelles maladies émergent à l'horizon 2020 pousse les acteurs de la santé à intensifier leurs efforts de recherche pour lutter contre ces nouvelles épidémies.

À côté de ces besoins de masse se développe dans les pays industrialisés une attention particulière pour les **maladies orphelines** (ne bénéficiant pas encore de traitement efficace) et les **maladies rares** (maladies dont la prévalence est faible, inférieure à 1/2 000). Des moyens de dépistage et/ou de traitement sont développés afin d'identifier et de traiter au mieux ces cas. Ces pathologies, au nombre de 7 000, toucheraient 350 millions de personnes dans le monde¹⁰ dont 27 à 36 millions en Europe¹¹ et près de 3 millions en France¹². Elles constituent également une préoccupation de santé publique. De plus, elles bénéficient de procédures particulières de mise sur le marché et de protection de la propriété intellectuelle et représentent donc des indications de plus en plus attractives pour les industriels du secteur.

Ces nouveaux besoins s'inscrivent cependant dans un **contexte de rationalisation des dépenses publiques de santé en Europe et aux États-Unis** qui peut engendrer des limitations aux remboursements des médicaments, des dispositifs médicaux et des prestations. En France, le déficit de la Sécurité Sociale est estimé à plus de 14 milliards d'euros en 2014 dont environ 10 milliards d'euros pour la seule Assurance Maladie¹³. Dans ce contexte de maîtrise des dépenses de santé, une nouvelle Stratégie Nationale de Santé a été présentée en septembre 2013 par le gouvernement. Elle vise à réorganiser le système de santé autour du médecin généraliste et à faire une place plus importante à la médecine préventive. En outre, face notamment à la progression des maladies chroniques, les notions de parcours de soin et de vie sont amenées à être entièrement repensées pour viser une prise en charge plus complète des individus, une évolution des pratiques et une organisation plus efficiente du système de santé.

Afin de répondre au mieux à l'évolution de la demande et des besoins des populations, l'ensemble des acteurs français a lancé le 25 mars 2013, sous l'égide des

4 – Données OMS sur les maladies chroniques, 2014 (évolutions enregistrées entre 2000 et 2012)

5 – Données OMS sur les principales causes de mortalité dans le monde, 2012

6 – World Cancer Report 2014, IARC

7 – Données OMS sur le diabète, 2014

8 – Neal B., et al., *Managing the global burden of cardiovascular disease*, European Heart Journal Suppléments (2002) 4 (Supplément F), F2-F6

9 – Données UNICEF

10 – Données Global Genes

11 – Données Commission Européenne

12 – Données Alliance Maladies Rares

13 – Données du Ministère des affaires sociales, de la santé et des droits des femmes.

Ministères de l'Économie et de l'Industrie, des Affaires sociales et de la Santé et de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, le **Comité Stratégique de Filière Industries et Technologies de Santé**, qui a défini les priorités suivantes :

- Conforter et accroître l'attractivité de la France comme lieu de recherche, de développement et de production pour les industries de santé ;
- Promouvoir le leadership français en matière d'innovation médicale ;
- Accroître la solidarité de filière en amplifiant les partenariats public-privé ;
- Augmenter la participation de la France dans les essais cliniques industriels ;
- Conquérir de nouveaux marchés à l'exportation.

Médicaments

Perte de brevets et développement de médicaments génériques et biosimilaires

L'un des défis majeurs auxquels l'industrie pharmaceutique doit faire face depuis plusieurs années est **l'arrivée à expiration de nombreux brevets de médicaments chimiques et biologiques de première importance**. Ainsi, sur le marché mondial, pour tous types de médicaments confondus, les médicaments perdant leurs brevets entre 2011 et 2015 ont un volume cumulé de ventes d'environ 150 milliards de dollars¹⁴. Cette dynamique devrait se renforcer à l'horizon 2020 avec les nouvelles arrivées à expiration de brevets.

■ Médicaments génériques :

De nombreux médicaments chimiques phares sont remplacés ces dernières années par **l'arrivée massive de génériques sur le marché**, dont le prix de vente est généralement de l'ordre de 50 % inférieur à celui du médicament original. La part des médicaments génériques s'est ainsi accrue pour atteindre 19 % en valeur et 41 % en volume du marché global des pays de l'OCDE en 2011¹⁵. En 2013, en France, le marché des médicaments génériques représentait ainsi 5,1 milliards d'euros de chiffre d'affaires¹⁶. S'ils impactent les ventes « classiques », les médicaments

génériques représentent cependant une opportunité de marché conséquente, tant pour les firmes spécialisées comme Teva, que pour les laboratoires classiques : rachat ou ouverture de divisions, filiales ou marques dédiées telles que Biogaran pour Servier, Zentiva pour Sanofi, Sandoz pour Novartis, etc.

■ Médicaments biosimilaires :

L'expiration des brevets concernant des médicaments biologiques est un autre enjeu pour l'industrie pharmaceutique dans les 5 années à venir avec l'arrivée à expiration prochaine des brevets de 13 biomédicaments qui ont généré des ventes de 73 milliards de dollars en 2013¹⁷. Les biosimilaires commercialisés en France sont les érythropoïétines (Binocrit®, Retacrit®), le filgrastim (Ratiograstim®, Tevagrastim®, Zarzio®, et Nivestim®) et la somatropine (Omnitrope®). Les premiers biosimilaires d'un anticorps monoclonal, l'anti-TNF Remicade® (infliximab), (Inflixtra® et Remsima®) ont obtenu une autorisation de mise sur le marché européen en septembre 2013 mais ne pourront être commercialisés en France qu'à échéance du brevet de Remicade®. De plus, le médicament biosimilaire Accor® (filgrastim) a reçu un avis favorable pour l'octroi d'une autorisation de mise sur le marché par le Comité des médicaments à usage humain (CHMP) de l'EMA en juillet 2014¹⁸. Cette perte d'exclusivité sur les biomédicaments représente une réelle opportunité pour les fabricants de biosimilaires (copie de produits biologiques hors brevet)¹⁹, qui ont un prix de vente inférieur de l'ordre de 20 à 30 % par rapport aux médicaments princeps, notamment dans un contexte où la France a adopté une législation presque unique au monde favorisant la substitution en officine des produits dits « biosimilaires » dans le cadre de la Loi de Financement de la Sécurité Sociale 2014.²⁰ *A contrario*, l'impact pour l'industrie pharmaceutique est à relativiser : si le taux de croissance du chiffre d'affaires des produits biosimilaires a fortement progressé entre 2008 et 2012, la part de marché qu'ils occupent reste en effet réduite (ils ne concernent à l'heure actuelle que moins de 10 % des prescriptions²¹). Cela s'explique

14 – « Les brevets tombent mais la pharma s'en relèvera », Swissinfo, 18/01/2012

15 – *Panorama de la santé 2013*. Les indicateurs de l'OCDE, 2013.

16 – *Les entreprises du médicament en France : faits et chiffres*, LEEM, 2013.

17 – *Searching for Terra Firma in the Biosimilars and Non-Original Biologics*, IMS Health, 2013

18 – *Biomédicaments en France : état des lieux 2014*. LEEM. Septembre 2014

19 – *Searching for Terra Firma in the Biosimilars and Non-Original Biologics*, IMS Health, 2013

20 – Article 47/LFSS2014

21 – *Médicaments biosimilaires : état des lieux*, ANSM, septembre 2013.

notamment par la restriction des prescriptions aux seuls nouveaux patients, l'avantage tarifaire limité par rapport aux molécules originales et un degré d'acceptation encore limité des autorités, des praticiens et des patients quant à la sécurité des produits.²² La croissance du marché des biosimilaires reste ainsi conditionnée par 5 facteurs : i) la date d'expiration des brevets des produits biologiques ; ii) le niveau de ventes de ces produits de référence ; iii) l'évolution de la réglementation du marché des biosimilaires ; iv) les recommandations pour chaque classe de produits biosimilaires ; v) l'incertitude quant à leur rentabilité²³.

Restructuration et externalisation

Ce nouvel environnement concurrentiel entraîne indéniablement des **mutations du modèle économique de l'innovation** pour les industriels pharmaceutiques. Cette évolution du marché pousse les acteurs industriels à diversifier leurs sources de molécules en faisant appel à de nouveaux modes de collaboration en réseau, entre la recherche publique et la recherche privée, par exemple, ou *via* des partenariats internationaux. L'industrie pharmaceutique a également intensifié son **effort de sous-traitance et d'externalisation de fonctions telles que la fabrication, la R&D et les métiers d'aval** (marketing et fonctions commerciales), ainsi que ses **relations avec les autres secteurs industriels, en particulier l'industrie chimique et les activités de services (R&D scientifique)**. L'industrie pharmaceutique française figure ainsi parmi les branches industrielles manufacturières qui ont le plus accru les effets d'entraînement de leur production sur les activités de R&D (56,5 % entre 2000 et 2010, contre 38,6 % pour l'ensemble de l'industrie manufacturière)²⁴. En parallèle de ces nouvelles pratiques, les laboratoires pharmaceutiques sont engagés dans des **stratégies de concentration et de restructuration**. En France, Sanofi en 2011-2012 et Pierre Fabre plus récemment ont réduit leurs effectifs commerciaux et de R&D, entraînant de nombreuses incertitudes sur l'avenir de certains sites industriels. En ce qui concerne la tendance à la concentration du secteur, malgré les fusions récentes (Sanofi

et Genzyme, Abbott et Solvay, etc.), **l'industrie du médicament reste peu concentrée en comparaison d'autres secteurs d'activité** : ses 5 premiers groupes représentent seulement 25 % du marché mondial, contre 40 % dans l'informatique, 50 % dans l'automobile ou 80 % dans l'aérospatial.

Efficacité et diminution des coûts

Autre enjeu directement lié au développement du marché des génériques, la volonté de produire des médicaments toujours plus efficaces à moindre coût.

Les pays qui détenaient jusque-là l'essentiel des brevets et les marchés émergents adoptent des orientations stratégiques différentes pour répondre à ce besoin.

Dans la plupart des pays émergents, le premier enjeu pour les politiques de santé est de pouvoir garantir l'accessibilité du plus grand nombre aux médicaments. Les médicaments génériques, d'efficacité égale aux originaux et aux coûts réduits de moitié, représentent en ce sens une solution évidente. **C'est pourquoi des pays comme la Chine ou l'Inde ont fait le choix d'orienter l'essentiel de leur production autour des génériques**. L'Inde est ainsi le premier producteur et le premier exportateur mondial de ce type de médicaments. Les leaders internationaux de l'industrie pharmaceutique investissent, quant à eux, de plus en plus fortement en Asie, qui constitue le marché avec la croissance la plus dynamique à l'horizon 2020. Toutefois la qualité jugée insuffisante des données utilisées pour prouver la bioéquivalence de certains médicaments génériques indiens a amené en juillet 2015 l'Agence Européenne du Médicament à suspendre jusqu'à deux ans les autorisations de mise sur le marché de près de 700 médicaments²⁵.



22 – *Le marché français des biosimilaires : pertes de brevets, substitution, nouveaux entrants : quels enjeux et perspectives à l'horizon 2016*, Étude Xerfi, 2014

23 – *Perspectives du marché mondial des produits biosimilaires, focus spécifique sur le marché français*, Smart Pharma Consulting, février 2015

24 – *Les entreprises du médicament en France : faits et chiffres*, LEEM, 2013.

25 – *European Union Bans Hundreds of Drugs Over Clinical Trial Studies*, WSI, 27 Juillet 2015.

Médicaments de thérapie innovante

Des thérapies innovantes ont vu le jour ces dernières années et **leur opportunité de développement à l'horizon 2020 constitue un enjeu fort de santé**. Les thérapies géniques, cellulaires et tissulaires ouvrent des perspectives toujours plus grandes **pour soigner des maladies pour lesquelles les médicaments chimiques apparaissent insuffisants**. Des maladies cardiovasculaires à l'oncologie en passant par le diabète, un très grand nombre d'aires thérapeutiques sont déjà concernées et beaucoup d'autres le seront certainement à l'horizon 2020, à l'instar des maladies neuro-dégénératives.

Le développement de médicaments de thérapie innovante a été rendu possible notamment par **les progrès des technologies dites « omiques »** (génomique, protéomique, métaomique, etc.) qui ont considérablement modifié les procédures de recherche par une approche globale qui permet de générer une très grande quantité de données analysables. **Les progrès de la recherche en biologie de systèmes**, qui permettent de mieux comprendre les mécanismes du fonctionnement cellulaire, **ont également contribué** au développement de solutions thérapeutiques innovantes.

De nombreuses thérapies sont ainsi actuellement en développement à différentes phases d'essais cliniques, ce qui laisse envisager **un développement important de leurs marchés respectifs à l'horizon 2020**. Le **marché mondial de l'ingénierie tissulaire et de la thérapie cellulaire** devrait croître à une croissance de 21 % pour atteindre 73 milliards de dollars d'ici 2025²⁶. La croissance la plus importante sur le marché de la thérapie cellulaire sera dans les maladies du système nerveux central, le cancer et les troubles cardiovasculaires. La réparation de la peau et des tissus mous, ainsi que le diabète sucré, seront d'autres marchés importants.²⁷ Le **marché de la thérapie génique** devrait, quant à lui, atteindre les 500 millions de dollars en 2020. Si les études initiales ont été menées principalement sur les maladies monogéniques, l'accent est maintenant mis sur le cancer en raison de

besoins médicaux non satisfaits et d'une taille de marché conséquente²⁸.

Le développement de ces marchés est encore à un **stade précoce et reste conditionné à la levée de certains verrous**. D'un point de vue économique, le *business model* idéal de la thérapie cellulaire n'a pas par exemple encore été éprouvé même si l'utilisation de cellules allogéniques plutôt qu'autologues pourrait améliorer ce point.

Dispositifs médicaux

Les dispositifs médicaux regroupent une catégorie de produits qui peuvent être très différents selon leur poids, leur taille ou bien encore leur coût de production. Cependant, ces produits doivent répondre à une caractéristique commune essentielle : ils doivent être *« destinés par le fabricant à être utilisé chez l'homme à des fins médicales »* (article L 5211-1 R 5211-1 du CSP).

Les différents types de dispositifs médicaux peuvent ainsi être classés en différentes catégories (ex : diagnostic ou traitement) et être dédiés à différentes aires thérapeutiques (l'anesthésie et plus généralement les outils utilisés en bloc opératoire, le neuro-cardiovasculaire, l'orthopédie, la dermatologie, la pneumologie, l'otorhinolaryngologie, l'ophtalmologie, l'urologie, la néphrologie, la gynécologie), ou être transversaux (outils d'imagerie interventionnelle, aides techniques). Ils représentent une voie majeure de progrès et d'innovation dans le domaine de la santé.

Santé connectée et bien-être connecté

La santé connectée et le bien-être connecté sont des enjeux majeurs à l'horizon 2020. Ils impliquent une transformation profonde des usages du numérique (voir 3.3.1 Les grandes tendances d'usage – La santé connectée) et permettent **une évolution importante de l'offre de soins et de la médecine**.

La e-santé comprend la télémédecine définie à l'article L6316-1 du code de la santé publique, ainsi qu'une partie de la m-santé ou santé mobile²⁹, dont

26 – *The Future of Tissue Engineering and Cell Therapy to 2025*, Smithers Apex, février 2015.

27 – Research and Markets: *Global Cell Therapy Market 2015-2020 – Technologies, Markets and Companies*. Mai 2015.

28 – Research and Markets: *Global Gene Therapy Market & Pipeline Insight Report 2014*. Octobre 2014.

29 – Définie comme « les pratiques médicales et de santé publique reposant sur des dispositifs mobiles tels que téléphones portables, systèmes de surveillance des patients, assistants numériques personnels et autres appareils sans fil, ainsi que les applications qui peuvent se connecter à des dispositifs médicaux ou capteurs, les

le marché mondial est estimé à 23 milliards de dollars en 2017, l'Europe représentant 6,9 milliards³⁰ (TIC en mobilité tels que par exemple les *smartphones* qui contribuent à la prévention médicale) et du *quantified self* (mesure de soi). Le *quantified self* et la m-santé participent également en partie du bien-être connecté. Tous ces aspects de la santé numérique sont interconnectés et s'influencent mutuellement.

■ Objets connectés

Les objets connectés, qui seront plus fortement présents dans notre quotidien, vont bouleverser la pratique médicale et l'offre de soins. Par les données qu'ils permettent d'enregistrer *via* leurs capteurs, ils seront à la base de la santé et du bien-être connecté. Il est estimé que leur marché mondial va croître à une croissance annuelle de 12,2 % à 17,71 milliards de dollars d'ici 2020³¹.

La distinction entre les objets de la santé (relevant de la réglementation spécifique applicables aux dispositifs médicaux) et ceux du bien-être (relevant de la réglementation applicable à tous les biens de consommations) est fonction des allégations d'usage définies par leur fabricant. Ainsi, par exemple, au bien-être connecté correspondent des produits sans allégation médicale tels que les balances connectées, les bracelets et montres connectés alors que l'on retrouve dans la catégorie des dispositifs médicaux connectés des produits avec des allégations médicales comme un stéthoscope connecté, un lecteur de glycémie connecté, un auto-tensiomètre connecté, etc.

■ Big Data et valorisation numérique des données

Les objets connectés permettent de générer un nombre toujours plus important de données à exploiter. La manière dont ces données seront utilisées en médecine sera modifiée en profondeur. La valorisation de ces données, à l'échelle du patient comme à celle de populations entières, trouve en effet de nombreuses applications que ce soit en **médecine personnalisée, ambulatoire, préventive, pour l'amélioration des essais cliniques, en recherche préclinique ou même en épidémiologie.**

systèmes de conseil personnalisés, les informations de santé et rappels de prise de médicaments envoyés par SMS et la télémédecine pratiquée par communication sans fil ». Livre vert sur la santé mobile, Commission Européenne, Avril 2014.

30 – Livre vert sur la santé mobile, Commission Européenne, Avril 2014.

31 – Wireless Devices Market, Markets&markets, Décembre 2014

La modélisation numérique de ces données permettra le développement de la médecine *in-silico*, particulièrement efficace en **prévention et prédiction.**

L'exploitation des données de santé et de bien-être soulève un certain nombre de questions comme celle de leur accès aux différents acteurs du parcours de soins, ou aux financeurs tels que les mutuelles et les assurances. Le caractère personnel et confidentiel de ce type de données complexifie cette question. Pour les objets de bien-être connecté, outre la sécurisation des informations recueillies, c'est parfois la pertinence des données qui peut être problématique, étant donné la très forte hétérogénéité des performances des produits disponibles.

■ Quantified self

Relevant principalement de la m-santé car relayé par des *smartphones*, le « *quantified self monitoring* » (ou mesure de soi) est un **enjeu important de la médecine de demain et de la médecine préventive en particulier.** Utile à la santé et au bien-être connecté, l'auto-mesure consiste en effet à enregistrer un grand nombre de données sur sa vie quotidienne, ses habitudes et ses activités, afin de pouvoir adapter son mode de vie en conséquence (sport, alimentation, prise de médicaments, etc.).

■ Télémédecine

La télémédecine, pratique médicale à distance, **fait appel aux technologies des TIC pour répondre à des besoins croissants en matière de santé** : égal accès aux soins et amélioration des délais de prise en charge, maintien de la qualité du diagnostic par un partage des informations rapide et performant entre professionnels de santé, limitation des complications liées à une prise en charge trop tardive³².

Elle permet ainsi d'établir un diagnostic, d'assurer, pour un patient à risque, un suivi à visée préventive ou un suivi post-thérapeutique, de requérir un avis spécialisé, de préparer une décision thérapeutique, de prescrire des produits, de prescrire ou de réaliser des prestations ou des actes, ou d'effectuer une surveillance de l'état des patients³³.

32 – Données du *Ministère des affaires sociales, de la Santé et des Droits des femmes*

33 – Cf. art. L6316-1 du code de la santé publique

Le *quantified self monitoring* pourra bientôt participer à la télémédecine grâce aux objets connectés de santé. En effet, il permettra par exemple l'affichage et la transmission de **la mesure dans le cadre de la surveillance de maladies chroniques** comme le diabète ou l'hypertension. Les professionnels incitent ainsi de plus en plus leurs patients atteints de maladies chroniques comme le diabète à suivre leur activité physique, leur glycémie, etc. et les étudiants en médecine sont de plus en plus formés à comprendre ces données. Si dans le cadre de ces protocoles de suivi, le patient réalise seul les mesures, leur incidence sur sa santé reviendra toujours à un professionnel de santé comme la décision médicale qui pourra en découler.

Ingénierie médicale

La filière de l'ingénierie médicale est particulièrement prometteuse et intéressante pour la France à l'horizon 2020. À la croisée de la santé et de la technologie, **elle concilie des axes technologiques majeurs** : l'imagerie et le diagnostic, la robotique médico-chirurgicale, la bio-informatique et l'informatique médicale.

Son **caractère multidisciplinaire** constitue en outre une force essentielle à l'horizon 2020. Les progrès réalisés dans de nombreux domaines tels que la physique, la chimie ou les mathématiques serviront à son développement.

L'imagerie médicale interventionnelle ou de diagnostic est enfin particulièrement intéressante puisqu'adaptée aux besoins croissants en **télémédecine comme en médecine personnalisée**.

En France, c'est le segment du diagnostic médical par imagerie qui est le plus prometteur à l'horizon 2020, comme détaillé dans la fiche « Technologies d'imagerie pour la santé ».

Géronto-technologies

Le **bien vieillir est un aspect important dans le domaine de la santé à l'horizon 2020** du fait du vieillissement des populations et de l'augmentation du nombre de personnes en situation de perte d'autonomie ou de dépendance. Le développement de géronto-technologies, ou dispositifs pour l'autonomie, apporte ainsi des aides techniques médicales. De plus, ces technologies ouvrent des perspectives de marché prometteuses, ainsi qu'une réponse intéressante aux problématiques de prise en charge.

Les technologies en faveur du maintien à domicile des personnes en perte d'autonomie, telles que celles prévenant les chutes et constituant des aides aux troubles de la mobilité et de la cognition, seront ainsi particulièrement privilégiées. Des systèmes permettant de soigner les angoisses de la personne âgées sont également concernés.

Cosmétiques

Produits anti-âge

De même que les différents acteurs de la santé doivent s'adapter à l'évolution démographique, l'industrie du bien-être répond et s'adapte au potentiel de marché croissant lié aux seniors et étend sa gamme de produits-anti-âge, initialement restreinte aux produits dermatologiques, aux produits capillaires³⁴.

Par ailleurs, la demande de produits anti-âge est également soutenue par une pression sociétale de plus en plus forte, assimilant la performance à la jeunesse. Cette quête de l'éternelle jeunesse a favorisé l'émergence de cosmétiques à appliquer en prévention des effets de l'âge et la consommation croissante de ce type de produits.

Pays émergents : un ralentissement de la demande

Les pays émergents ont constitué un fort relais de croissance de l'industrie cosmétique depuis le début du XXI^e siècle, notamment du fait de l'essor des classes moyennes urbaines. Ainsi, on estime qu'en 2013 **les nouveaux marchés en Asie-Pacifique et Amérique Latine ont généré 80 % de la croissance du marché global des cosmétiques du fait de l'augmentation des classes moyennes urbaines³⁵**. Contrairement à l'Europe ou aux États-Unis, en 2015, ces marchés ne sont pas encore arrivés à saturation³⁶.

Cependant, les pays émergents ne sont plus aussi facilement adressables pour les industriels de la cosmétique occidentaux qu'il y a encore quelques années. L'instabilité politique en Russie, le spectre de la récession économique au Brésil, ou encore la migration progressive des consommateurs chinois vers des marques

34 – *The elderly are a key consumer demographic for the beauty industry*, Mintel, 2014

35 – *Challenging growth in the luxury and cosmetics sector*, EY, 2014

36 – Selon Cosmetic Valley

locales ou sud-coréennes, obligent aujourd'hui les acteurs occidentaux de l'industrie cosmétique à revoir leur modèle économique, en proposant des produits se démarquant de la concurrence locale sur les marchés émergents, ou en cherchant des relais de croissance dans d'autres zones géographiques (voir chapitre « Les grandes tendances »)³⁷.

Naturalité

Depuis quelques années, la tendance des consommateurs qui demandent davantage de produits contenant moins d'ingrédients issus de l'industrie pétrochimique s'est confirmée. La méfiance vis-à-vis des produits issus de procédés chimiques, contenant certains composés jugés nocifs pour la santé, ou encore des préoccupations éthiques et environnementales ont favorisé l'émergence de produits cosmétiques « naturels »³⁸ et, dans une moindre mesure, biologiques³⁹.

Enfin, il est à noter que **ces produits sont plébiscités majoritairement par les classes de populations les plus aisées** et s'inscrivent dans la tendance des produits « premium » (voir chapitre « Les grandes tendances »)⁴⁰.

RÈGLEMENTATION

Médicaments

Cadre législatif en 2015

La réglementation du marché des médicaments est définie en France par le Code de la santé publique, qui encadre de manière stricte toute la chaîne du médicament, de la fabrication à la distribution en passant par l'importation et l'exportation. **La commercialisation d'un médicament ou d'un produit de thérapie génique ou cellulaire est ainsi soumise à une autorisation de mise sur le marché (AMM)** délivrée par l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM) à l'échelle nationale ou par l'European Medicine Agency (EMA) à l'échelle européenne. Dans certains cas spécifiques (médicaments biosimilaires, médicaments orphelins

et thérapies innovantes), les entreprises pharmaceutiques ont l'obligation de passer par une AMM centralisée afin de garantir la sécurité des patients.

Les médicaments sont admis au remboursement par décision ministérielle après avis de la Commission de la Transparence de la Haute Autorité de Santé (HAS). Pour être éligibles au remboursement, le Service Médical Rendu (SMR) ainsi que l'Amélioration du Service Médical Rendu (ASMR) par rapport aux thérapies déjà disponibles sur le marché sont évalués. Les médicaments candidats doivent prouver être au moins aussi efficaces que ceux déjà commercialisés pour la ou les même(s) indication(s).

Une fois l'AMM obtenue, et dans le cadre d'une demande de remboursement du laboratoire pharmaceutique qui exploite le médicament, le prix du médicament est établi par le Comité Économique des Produits de Santé (CEPS), en fonction notamment de l'ASMR et du SMR.

Le taux de remboursement relève, quant à lui, de la compétence des Ministres en charge de la Santé et de la Sécurité sociale, en fonction de l'avis de SMR, rendu par la HAS, puis de l'avis de l'Union nationale des caisses d'assurance maladie. Lorsqu'un médicament est déclaré non-remboursable, il peut être commercialisé directement après obtention de l'AMM à un prix dit « libre » car non fixé par les services de l'État. Si sa prescription n'est pas déclarée obligatoire alors sa publicité auprès du grand public peut également être autorisée par l'ANSM.

Évolutions à l'horizon 2020

Les principales évolutions du cadre réglementaire des médicaments à l'horizon 2020 porteront sur **l'adaptation aux nouvelles modalités de thérapies innovantes telles que la thérapie génique et cellulaire**.

Les médicaments de thérapie innovante font l'objet en France et en Europe d'une réglementation spécifique, particulièrement stricte, du fait des enjeux adressés par les technologies mobilisées pour leur mise en place (cellules souches pour la recherche sur les thérapies cellulaires et manipulations du génome humain pour la recherche sur la thérapie génique).

Dispositifs médicaux

Cadre législatif en 2015

En France, la réglementation qui encadre la mise sur le marché des dispositifs médicaux est de plus en plus stricte, avec pour objectif d'assurer la sécurité des

37 – *Turbulence in Emerging Markets but beauty will prevail*, GCI Magazine, 2014

38 – Cosmétique « naturel » : produit composé de substances d'origine végétale, animale ou minérale obtenus et traités au moyens de méthodes physiques, microbiologiques ou enzymatiques.

39 – *Les cosmétiques naturels bénéficient de la demande éthique dans les pays nordiques*, Premium Beauty News, 2015

40 – *Expansion and Challenges Ahead for Emerging Markets: Growth in Natural Skin Care, Cosmetic & Toiletries*, 2015

patients. La loi n°2011-2012 du 29 décembre 2011 relative au renforcement de la sécurité sanitaire du médicament et des produits de santé vise ainsi à aller plus loin que la transposition du cadre européen, notamment sur la question des modalités encadrant la publicité pour les dispositifs médicaux (cette loi concerne les DM et les DMDIV).

Les dispositifs médicaux entrent dans le cadre général européen de la nouvelle approche⁴¹, qui permet la mise sur le marché d'une grande diversité de produits de consommation. Ce cadre vise essentiellement la suppression des barrières et la libre circulation des marchandises au sein du marché unique. Les produits portent un marquage CE prouvant leur conformité avec la législation applicable en matière de sécurité. Cependant, du fait des spécificités des dispositifs médicaux (action sur la santé humaine), ils sont couverts par une législation d'harmonisation sectorielle qui se compose de trois directives :

- Les dispositifs médicaux implantables actifs (directive 90/385/CEE);
- Les dispositifs médicaux (directive 93/42/CEE);
- Les dispositifs médicaux de diagnostic in vitro (directive 98/79/CE).

En France, l'autorité compétente en matière de contrôle réglementaire du marché est l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM). Elle intervient *a posteriori* pour surveiller le marché, c'est-à-dire garantir la conformité aux exigences de santé et de sécurité des dispositifs commercialisés au niveau national.

Les dispositifs médicaux pris en charge par l'Assurance maladie sont :

■ **Ceux pour lesquels les dépenses sont intégrées dans les Groupes homogènes de séjours (GHS) dans les établissements de santé** (implants d'ophtalmologie, matériels d'ostéosynthèse, sutures et agrafes digestives, etc.). Une dérogation est prévue pour ceux susceptibles d'introduire une hétérogénéité des coûts de séjour en raison de leur prescription variable (implants cardiaques et vasculaires, etc.) : ils sont inscrits dans la « liste en sus » et peuvent ainsi être facturés en sus des prestations d'hospitalisation ;

■ **Ceux qui sont inscrits sur la liste des produits et prestations remboursables (LPPR)**, après évaluation de la CNEDiMTS (dispositif médical, prestation). Le remboursement s'effectue sur demande, par le fabricant, d'inscription sur la liste sous forme générique ou sous nom de marque (produits innovants ou nécessitant un suivi particulier). La prise en charge est fondée sur le tarif du dispositif, fixé principalement en fonction du service attendu (SA), de l'amélioration du service attendu (ASA), des prix des produits ou des prestations comparables déjà remboursés, du volume des ventes prévues et des conditions prévisibles et réelles d'utilisation ;

■ **Ceux qui sont considérés comme « innovants » dans les établissements de santé** (mesure législative du 24 juin 2009). Ceux qui ne seraient pas intégrés dans les GHS peuvent être pris en charge de manière dérogatoire et temporaire;

■ **Ceux qui sont pris en charge dans le cadre de l'acte.** Lorsque des dispositifs médicaux ne sont pas pris en charge par la Sécurité sociale (inscription sur la LPPR ou sur la liste en sus, ou attribution d'un forfait innovation ou prise en charge dans le cadre de l'acte), leur prix est dit « libre » car non fixé par les services de l'État⁴².

Évolutions à l'horizon 2020

Le **cadre réglementaire des dispositifs médicaux est amené à fortement évoluer à l'horizon 2020**. En premier lieu, les trois directives européennes établissant les conditions de mise sur le marché de dispositifs médicaux font actuellement l'objet d'une révision qui vise notamment à renforcer la sécurité des patients en améliorant la surveillance du marché. Ce projet devrait renforcer les règles concernant la mise sur le marché et la surveillance des dispositifs médicaux, la transparence, la traçabilité et les investigations cliniques.

En ce qui concerne les objets connectés et plus particulièrement la production et l'exploitation de données, il n'existe pas encore de législation spécifique suffisante. Les enjeux sont similaires à ceux posés par le *Big Data* (protection, accès et propriété des données, lutte contre le piratage, etc.) avec toutefois des enjeux spécifiques portant sur l'équilibre entre confidentialité et sécurité du patient. L'ouverture de l'accès aux données médicales est également un

41 – Voir le guide de la nouvelle approche : <http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/11502>

42 – *Parcours du dispositif médical*, HAS, 2009 (actualisation : 2013)

élément important, source de débats qu'il est nécessaire d'éclaircir au cours des prochaines années.

Le développement des objets connectés en santé soulève plusieurs questions dont celles de leur application médicale puis le cas échéant, de leur remboursement au titre des dispositifs médicaux pris en charge par la sécurité sociale. Si aujourd'hui ceux-ci ne sont pas pris en charge par la sécurité sociale, l'Ordre des Médecins a rendu en février 2015 un avis favorable, soumis toutefois à certaines conditions⁴³. Les objets doivent en effet, selon l'Ordre, faire l'objet d'une évaluation scientifique neutre qui prouve leur utilité médicale. Une évaluation spécifique pour les dispositifs de télé-médecine est également recommandée.

Cosmétiques

Cadre législatif en 2015

En France, la mise sur le marché de produits cosmétiques est soumise à plusieurs conditions issues des dispositions du règlement (CE) n°1223/2009 du Parlement Européen et du Conseil du 30 novembre 2009 relatif aux produits cosmétiques (mis en application le 11 juillet 2011), ainsi que des dispositions de la loi n°2014-201 du 24 février 2014 apportant des adaptations au droit européen dans le domaine de la santé. Une dizaine d'amendements entre 2009 et 2014 complètent le cadre législatif.

Contrairement aux médicaments, une autorisation préalable à la mise des produits cosmétiques sur le marché n'est pas nécessaire, même s'il existe des obligations à respecter. De surcroît, pour chacun des produits destinés à être mis sur le marché, le fabricant doit :

- Déclarer une personne responsable ;
- Fournir un dossier d'information sur le produit « DIP » (description du produit, rapport sur la sécurité, description de la méthode de fabrication, déclaration de conformité aux bonnes pratiques de fabrication en vigueur, déclaration des effets indésirables, fourniture des preuves de l'effet revendiqué ainsi que des données relatives aux expérimentations animales réalisées, liste des nanomatériaux contenus au sein du produit)⁴⁴.

43 – *Santé Connectée : de la e-santé à la santé connectée*, Le Livre Blanc du Conseil national de l'Ordre des médecins, janvier 2015

44 – *Règlementation des produits cosmétiques*, Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé, 2014

Par ailleurs, après avoir interdit en 2006 la vente de produits cosmétiques finis testés sur des animaux, l'Union Européenne a été pionnière en bannissant de surcroît tout produit dont l'un des ingrédients a été testé sur des animaux depuis mars 2013.

L'Europe constitue de ce fait la région où la législation est la plus exigeante au monde en termes d'éthique et de sécurité du consommateur. Cette forte rigueur est à double tranchant. D'un côté, des zones géographiques telles que les États-Unis peuvent produire des biens cosmétiques moins chers, car faisant appel à des protocoles de tests moins coûteux ou à des composés chimiques interdits en Europe, rendant les produits européens moins compétitifs sur ces zones. À l'inverse, cette rigueur est un gage de qualité des produits européens qui contribue à leur réputation de produits « premium », notamment pour les produits « made in France ».

De plus, les ONG de défense des droits des animaux nord-américaines, brésiliennes et japonaises exercent une forte pression sur les décideurs politiques afin de suivre la même voie⁴⁵. Ainsi, l'avantage concurrentiel qu'ont ces pays sur l'Europe au niveau des tests n'est que temporaire. En parallèle, l'industrie européenne œuvre pour accélérer la validation des méthodes d'essais alternatives et leur acceptation par les organismes de réglementation internationaux afin de pouvoir vendre leurs produits testés avec ces protocoles sur le marché mondial.

Évolutions à l'horizon 2020

En Europe, le règlement (CE) n°1223/2009 relatif aux règles de mise à disposition de produits cosmétiques prévoit des rencontres pour légiférer autour de la labellisation des produits en 2016, ainsi que sur la mise à jour du cadre légal existant encadrant les nanomatériaux en 2018, sur la base des progrès scientifiques réalisés⁴⁶.

Des efforts, liés au lobbying exercé par des institutions telles que *Cosmetics Europe* ou la Fédération des Entreprises de la Beauté pour harmoniser et homologuer les protocoles de tests alternatifs excluant les animaux, se poursuivront à l'horizon 2020.

Enfin, **de nouvelles réglementations sur les cosmétiques sont attendues en Chine entre les**

45 – *Nous devons veiller à la compétitivité de l'industrie cosmétique européenne*, *Cosmetics Europe*, 2014

46 – *Règlement (CE) n° 1223/2009 du Parlement européen et du Conseil relatif aux produits cosmétiques*, *Journal Officiel de l'Union Européenne*, 2009

années 2015 et 2016. Celles-ci devraient faciliter l'importation de produits occidentaux en se rapprochant du cadre légal européen et en augmentant la liste d'ingrédients autorisés dans les produits cosmétique⁴⁷. La Chine constitue en effet un marché actuellement très contraignant pour les industriels européens car n'acceptant qu'une certaine liste d'ingrédients bien définie et peu mise à jour. Ainsi, il est extrêmement difficile pour une entreprise occidentale d'y lancer ses dernières innovations basées sur de nouveaux actifs.

MARCHÉ

Médicaments

Dans le monde

En 2014, le marché mondial du médicament est évalué à environ 1000 milliards de dollars⁴⁸ (contre moins de 200 milliards de dollars en 1990). Il devrait progresser à l'horizon 2020 à un taux de croissance annuel de 4 à 7 % par an, atteignant un chiffre d'affaires de 1300 milliards de dollars en 2018.⁴⁹

Le marché américain reste le plus important et concentre 38 % du marché mondial, loin devant les principaux pays européens (Allemagne, France, Italie, Royaume-Uni et Espagne), qui représentent 18 % de ce marché, le Japon (9 %) et les pays émergents (Chine et Brésil) qui totalisent quant à eux 10 % de parts de marché.

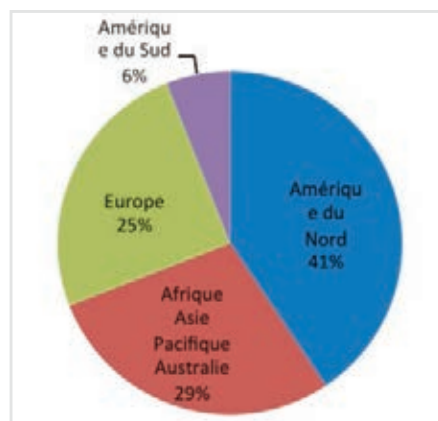


Figure 1 : Le marché pharmaceutique mondial par zone géographique en 2013 (en prix producteur) – (Leem – IMS Health)

47 – China proposes tighter cosmetics standards, Chemical Watch, 2015

48 – Données IMS Health, mars 2015

49 – Données IMS Health, mars 2015

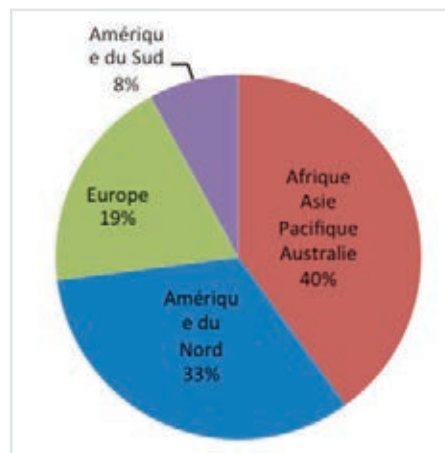


Figure 2 : Parts de marché estimées en 2017 – (IMS Health, estimation mars 2014)

Le développement des marchés des pays asiatiques émergents pourrait modifier à l'horizon 2020 la structuration du marché mondial du médicament. En effet, si la Chine est aujourd'hui le troisième pays en termes de part de marché derrière les États-Unis et le Japon, elle possède un marché particulièrement dynamique qui devrait croître à un taux de croissance annuel de 11 % d'ici 2018⁵⁰ (ce qui en ferait le deuxième marché mondial avec 14 % des ventes en 2018 derrière les États-Unis avec 32 % des ventes). Pour de nombreux groupes pharmaceutiques, la Chine est ainsi désormais un facteur clé au niveau de la croissance de la valeur absolue du chiffre d'affaires. L'Inde et le Brésil devrait également enregistrer des taux de croissance annuels de 10,5 % d'ici 2018⁵¹. L'introduction de mesures en faveur d'une protection sociale élargie, en Chine en particulier, n'est pas étrangère à ce mouvement.

Le retour de l'innovation devrait, quant à elle, permettre à des marchés matures comme les États-Unis et le Royaume-Uni d'afficher une croissance de 4 à 6 % par an.⁵²

La croissance mondiale du marché est en outre, pour beaucoup, tirée par les génériques et les biomédicaments du fait notamment de l'arrivée à expiration de nombreux brevets. Les marchés des BRIC,

50 – Données IMS Health, mars 2015

51 – Données IMS Health, mars 2015

52 – Données IMS Health, mars 2015

en particulier l'Inde et la Chine, sont ainsi essentiellement portés vers les médicaments génériques.

À noter également, **la forte croissance des médicaments pour les maladies rares par rapport aux autres médicaments** prescrits pour traiter de plus larges populations : les médicaments orphelins vont en effet croître de 11 % par an jusqu'en 2020 alors que les autres médicaments ont une croissance estimée à 4 % (ces médicaments particuliers constitueront ainsi 19 % des ventes totales du marché en 2020 soit 176 milliards de dollars⁵³).

En France

Le chiffre d'affaires des entreprises du médicament en France est estimé à 46,2 milliards de dollars en 2014 et devrait atteindre 48,2 milliards de dollars en 2020 **sur la base d'une croissance annuelle moyenne relativement faible de 0,7 %**⁵⁴. La France constitue ainsi le deuxième marché européen derrière l'Allemagne.

Le marché est dominé par les médicaments brevetés mais du fait de politiques publiques visant à réduire les dépenses de santé ces dernières années (avec un objectif de 10 milliards d'euros de réduction en 2015-2017 pour la France⁵⁵), **la part des génériques devrait augmenter au cours des prochaines années** (ce qui explique la faible croissance estimée du marché en valeur). À l'horizon 2020, la part des personnes âgées devrait cependant augmenter pour atteindre environ 20 % de la population, ce qui devrait alimenter la demande de manière plus conséquente que pour les pays à démographie plus jeune.

Dispositifs médicaux

Dans le monde

Au niveau mondial, le marché des dispositifs médicaux et des dispositifs de diagnostic *in vitro* est estimé à 290 milliards d'euros en 2014 et devrait atteindre **340 milliards d'euros d'ici 2018, avec un taux de croissance annuel moyen de 4,4 % entre 2011 et 2018**. Près de la moitié du chiffre d'affaires est réalisé par les fabricants nord-américains (soit 45 %) alors que les principaux pays européens cumulent 40,6 %

de ce même chiffre. La Chine et le Japon représentent quant à eux 12,2 %.



*Allemagne, Espagne, France, Italie, Royaume-Uni, Suède et Suisse

Figure 3 : Répartition géographique du chiffre d'affaires mondial de l'industrie des dispositifs médicaux en 2011. Source : rapport PIPAME sur les dispositifs médicaux

Ce marché est porté par le **vieillessement de la population mondiale (qui entraîne une augmentation de la demande) ainsi que par les avancées technologiques (qui ont permis de diversifier l'offre)**. Au cours des prochaines années, ce marché devrait bénéficier de l'arrivée de dispositifs innovants (capteurs, systèmes bio-embarqués comme les organes artificiels, objets connectés etc.).

Ainsi, par exemple, **à l'horizon 2020, le marché mondial des objets connectés de santé et de bien-être devrait connaître une très forte croissance** pour atteindre près de 117 milliards de dollars⁵⁶.

En France

En France, le marché des dispositifs médicaux et des dispositifs de diagnostic *in vitro* était estimé à 19 milliards d'euros en 2011⁵⁷, ce qui représente 6,5 % du marché mondial. Le marché français des dispositifs médicaux est considéré comme étant un marché mature du fait d'une population à la fois importante mais aussi vieillissante.

53 – *Orphan Drug Report 2014*, Evaluate Pharma, 2013

54 – *CountryFocus: Healthcare, Regulatory and Reimbursement Landscape – France*, GlobalData, 2015

55 – Bain & Company, *Global healthcare private equity report*, 2015.

56 – *Big Data in Internet of Things (IoT): Key Trends, Opportunities and Market Forecasts 2015 – 2020*, MarketResearch, Avril 2015

57 – Dispositifs médicaux : diagnostic et potentialités de développement de la filière française dans la concurrence internationale, PIPAME, juin 2011.

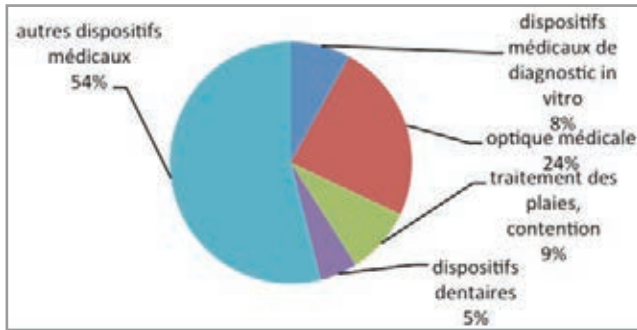


Figure 4 : Parts de marché du marché des dispositifs médicaux en France en 2011⁵⁸

L'industrie des dispositifs médicaux, si elle apparaît faiblement structurée de par son importante étendue et sa variété, occupe un **marché qui connaît une croissance significative de l'ordre de 5 % par an**⁵⁹. Cette croissance s'explique notamment par un dynamisme important, lié à des cycles d'innovation courts.

Malgré un fort potentiel collaboratif de R&D⁶⁰, l'un des **enjeux majeurs pour cette industrie est de renforcer la coopération et l'inter connaissance entre la multitude d'acteurs compris dans cette filière**, des grands groupes aux PME. On y retrouve à titre d'exemple aussi bien des entreprises développant des appareils d'imagerie médicale (Guebert, Animascope, Philips, Toshiba, etc.) que *des start-ups* concevant des applications mobiles (I-Pact, Quintent, AED Map, Bodycap, etc.).

Cosmétiques

Dans le monde

En 2014, le marché mondial des cosmétiques était de 180 milliards d'euros en 2014 (hors savons, hygiène orale, rasoirs et lames), avec un taux de croissance de 3,6 % par rapport à 2013. Un ralentissement de ce secteur est observé depuis 2011, avec un taux de croissance en recul d'un point en 4 ans. Le luxe et les soins dermo-cosmétiques constituent les segments de marché les plus dynamiques, avec des croissances respectives de 5,2 % et 5,1 %⁶¹. La croissance annuelle moyenne du

58 – Dispositifs médicaux : diagnostic et potentialités de développement de la filière française dans la concurrence internationale, PIPAME, juin 2011.

59 – *Dispositifs médicaux, enjeux et opportunités*, BPI France, 2014.

60 – L'étude PIPAME sur le secteur des dispositifs médicaux a ainsi identifié 690 projets de R&D collaboratifs auxquels des laboratoires de recherche publics français participent

61 – *Rapport d'activités 2014*, L'Oréal, 2015

marché de la cosmétique à l'horizon 2020 est estimée à 4,5 %, et devrait être portée essentiellement par la demande des pays émergents, ainsi que par les produits anti-âges et premium dans les pays matures.

Plus d'un tiers du chiffre d'affaires est réalisé dans la région Asie Pacifique (34,7 %), suivi par l'Europe de l'Ouest et l'Amérique du Nord avec respectivement 21,8 % et 20,9 %. L'Amérique Latine, l'Europe de l'Est et la zone Afrique-Moyen Orient ferment la marche avec 12,5 %, 7,3 % et 2,8 % du marché respectivement³.

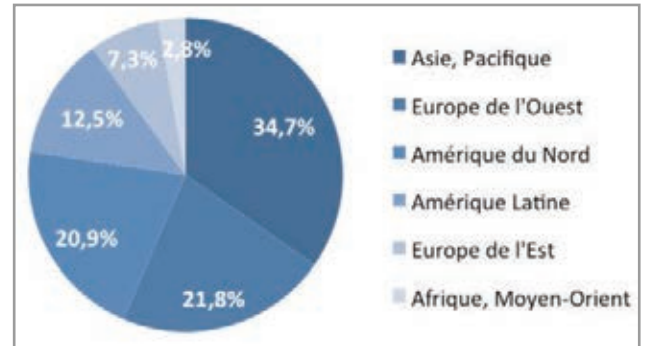


Figure 5 : Répartition géographique du chiffre d'affaires mondial de l'industrie des cosmétiques 2014 (rapport annuel de L'Oréal 2015)

Analyse des tendances fortes du marché en 2015

■ Produits anti-âge

De 162 milliards de dollars en 2008, l'industrie de la cosmétique anti-âge associée aux actes médicaux ou dermatologiques anti-âge représentait 262 milliards de dollars en 2013⁶². Cette forte croissance est non seulement liée au nombre croissant de consommateurs (évolution démographique, augmentation des classes moyennes, etc.), mais également à l'extension de la gamme de produits aux propriétés anti-âges et au développement de produits ciblant les personnes de 45 ans et plus⁶³. Cette tendance devrait perdurer à l'horizon 2020, la croissance annuelle moyenne de ce segment étant estimée à 5-8 %, soit la plus forte croissance attendue pour un produit de type « soins personnels »^{64,65}.

62 – *10 things the anti-aging industry won't tell you*, Market Watch, 2014

63 – *Older consumers not buying into anti-aging skin care*, Skin Inc., 2015

64 – *Specialty Actives presentation at the in-cosmetics conference 2014*, Kline Group, 2014

65 – *Anti-Aging Market : Asia Pacific and rest of the World to emerge as global leaders*, Transparency Market Research, 2015

■ **Pays émergents** : un ralentissement de la demande

Depuis le début du XXI^e siècle, les industriels historiques de la cosmétique ont augmenté leur présence dans ces marchés pour rapidement devenir incontournables. Chez L'Oréal par exemple, les nouveaux marchés ont représenté 39,6 % du chiffre d'affaires en 2014⁶⁶.

Cependant, même si le chiffre d'affaires généré par les marchés émergents a crû de 9 à 10 % en 2014 par rapport à 2013, **la croissance annuelle est pour la première fois depuis 10 ans à un seul chiffre**⁶⁷. Ce ralentissement est principalement dû à une transformation économique des marchés émergents majeurs que sont notamment la Chine et le Brésil.

Malgré ce ralentissement, les marchés émergents demeurent les principaux foyers de croissance à l'échelle globale. Sur la période 2013-2018, un accroissement de 20 milliards de dollars de chiffre d'affaires est attendu en Chine et 16 milliards au Brésil, contre 6 milliards aux États-Unis⁶⁸. De plus, l'ouverture progressive du marché iranien, demandeur de cosmétiques et à la réglementation favorable, constitue une forte opportunité pour les acteurs de l'industrie cosmétique, quelle que soit leur taille.

■ **Naturalité**

Les produits se positionnant comme naturels ou biologiques représentent un segment de marché en croissance à deux chiffres entre 2007 et 2013 pour atteindre un volume de 30 milliards de dollars cette même année⁶⁹. Actuellement, la croissance de ce segment de marché est portée par les pays d'Asie-Pacifique, avec des taux de croissance proche de 15 % sur ce segment, contre environ 6 % dans les pays occidentaux⁷⁰.

En France

En France, l'industrie des cosmétiques représente 25 milliards d'euros et occupe le rang de numéro

1 mondial avec 25 % de parts de marché⁷¹. Le secteur cosmétique est le deuxième plus gros exportateur de l'économie française, avec un excédent commercial d'environ 8,9 milliards d'euros en 2014⁷².

PRODUCTION

Médicaments

La France est dotée d'un **important tissu industriel de production pharmaceutique**, structuré autour de 224 sites dont deux tiers sont des sites de laboratoires pharmaceutiques (i.e. 149 sites) et un tiers des sites de sous-traitants pour la fabrication et le conditionnement des médicaments (i.e. 75 sites)⁷³. L'environnement industriel est néanmoins hétérogène avec une contribution majeure de quelques acteurs :

■ Les 3 principaux sous-traitants représentent à eux seuls 20 sites de production. En revanche, 31 sous-traitants sur les 44 acteurs recensés n'ont qu'un seul site de production en France.

■ Les laboratoires d'origine française (Sanofi, LFB, Boiron, Ipsen, Servier et Pierre Fabre notamment) contribuent également largement à l'activité industrielle.

Par ailleurs, **le positionnement de la France est fort sur les médicaments chimiques mais est relativement faible sur les biomédicaments et les génériques**. Les besoins de production de lots biotechnologiques commerciaux ou cliniques et l'essor du façonnage ont toutefois été pris en compte par le Comité stratégique des industries de santé (CSIS) en 2009, 2012 et 2013. En effet, la France est particulièrement attentive aux évolutions des métiers par rapport à ses voisins.

Des sites de bioproduction ont également été ouverts ces dernières années, ce qui amène à 40 le nombre de sites de production biologique et biotechnologique, rapprochant la France de ses principaux concurrents à l'échelle mondiale. Parmi ces sites, on pourra citer le projet MabLaunch de Sanofi ou Cell4Cure du LFB, inauguré en septembre 2013.

66 – Rapport d'activités 2014, L'Oréal, 2015

67 – *Beauty Industry Wakeup Call on Emerging Markets*, GCI Magazine, 2015

68 – *The multifaceted evolution of global beauty in-cosmetics*, Euromonitor International, 2014

69 – *Natural trend continues as segment posts double-digit sales growth*, Cosmetics Design-Europe, 2014

70 – *Sales of natural cosmetics boosted by consumer awareness and innovation*, Premium Beauty News, 2014

71 – *La filière cosmétique, une industrie au parfum*, BPI France, 2014

72 – *France : L'industrie cosmétique confirme sa première place mondiale*, Premium Beauty News, 2015

73 – *Médicament : La France veut-elle rester une terre de production industrielle ?*, LEEM, 4 octobre 2012

Médicaments chimiques	Positionnement historique / convention avec l'État favorisant la production en France
Biotechnologies	Virage technologique vers les biotechs mal négocié Peu de sites de bioproduction capables de produire à petite et grande échelle
... dont insuline	Production développée notamment grâce aux sites de Novo Nordisk à Chartres et de Lilly France à Fegersheim
... dont vaccins	Positionnement historique grâce à Sanofi Pasteur Production plus récente avec les sites de Sanofi et GSK
... dont anticorps monoclonaux	Positionnement faible avec seulement quelques entreprises : ProteGenix, CliniSciences, projet MabLaunch
... dont produits dérivés du sang	Positionnement fort grâce aux sites de LFB et d'Octapharma
... dont biosimilaires	Positionnement très faible mais en développement
OTC/ Automédication	Marché peu développé mais ayant un bon potentiel de croissance
Génériques	Positionnement faible dû notamment aux contraintes réglementaires qui ont limité le développement d'une production nationale

Figure 6 : Positionnement de la France sur les principales typologies de médicaments (Alcimed)

Dispositifs médicaux en France

La France compte un tissu industriel conséquent avec près de 1100 acteurs des dispositifs médicaux. Parmi ceux-ci, 820 ont une activité de R&D et/ou de production alors que 259 développent à titre exclusif une activité de commercialisation en France.

La très grande majorité des fabricants implantés sur le territoire français regroupe des entreprises d'origine française (790 entreprises, soit 73 %) alors que la part de filiales est moins importante (285 entreprises, soit 27 %). Les filiales sont principalement d'origine américaine, allemande, suisse et japonaise.

À ces entreprises s'ajoutent également environ 700 sous-traitants et distributeurs.

La segmentation des activités des fabricants implantés en France peut s'effectuer selon les classes de produits développés et/ou commercialisés. Les fabricants de dispositifs médicaux à usage individuel concentrent ainsi la majorité des activités (63 %), viennent ensuite les fabricants d'équipements médicaux (21 %), les fabricants de dispositifs médicaux de diagnostic *in vitro* (14 %) et les fabricants de dispositifs médicaux utilisables pour l'e-santé (2 %).

Cette segmentation correspond à la répartition de ces classes de produits selon le chiffre d'affaires qu'elles génèrent en France. Il faut cependant relever que la classe des dispositifs de diagnostic *in vitro* concentre

les fabricants ayant la plus forte rentabilité par rapport aux autres classes de DM.

Le secteur des dispositifs médicaux en France bénéficie d'un savoir-faire particulier dans la production de produits à forte valeur ajoutée et à fort taux de croissance tels que les implants non actifs (prothèses), les aides techniques (orthopédie et produits de maintien à domicile), les appareils à rayon X, les appareils électromécaniques, le diagnostic *in vitro*⁷⁴.

À titre d'exemple, la filière des implants orthopédiques représente en France 10 000 emplois et pèse en terme de fabrication pour un tiers de la production mondiale. La filière française de production de diagnostic *in vitro* est également bien positionnée. Une entreprise française, BioMérieux, est l'un des *leaders* mondiaux du secteur (dans le classement des 100 meilleures entreprises mondiales en 2009) et la France compte une centaine d'entreprises, dont un tiers (33 %) produit directement sur le sol national. En 2013, l'ensemble de ces entreprises productrices ont réalisé en moyenne 85 % de leur chiffre d'affaires à l'export⁷⁵.

74 – Dispositifs médicaux : diagnostic et potentialités de développement de la filière française dans la concurrence internationale, PIPAME, juin 2011.

75 – Dispositifs médicaux : diagnostic et potentialités de développement de la filière française dans la concurrence internationale, PIPAME, juin 2011.

Outre ces produits, l'optique médicale représente en France plus de 10 000 salariés avec un chiffre d'affaires de 4,7 milliards d'euros et l'industrie de la fabrication et de la distribution de matériels et matériaux dentaires emploie environ 4 500 personnes dans 130 entreprises, principalement des PME, pour un chiffre d'affaires de 0,9 milliards d'euros⁷⁶.

Cosmétiques

La chaîne de valeur de la filière de cosmétique débute des fournisseurs de matières premières pour terminer à la distribution. Entre ces deux extrémités, on retrouve un certain nombre d'intermédiaires, tels que les laboratoires de formulation, les fabricants, les laboratoires d'analyse et de tests, ou encore les fournisseurs d'emballages.

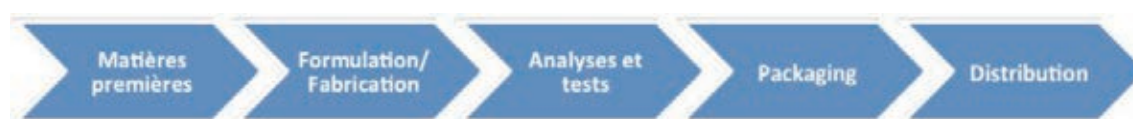


Figure 7 : Chaîne de valeur de la filière cosmétique

Le niveau d'intégration sur cette chaîne dépend de la dimension et de la politique de l'industriel considéré. Ainsi, les tests et analyses de laboratoire sur les ingrédients cosmétiques seront réalisés en propre par les gros fournisseurs et sous-traités par les petits.

En France, l'ensemble de **ce tissu industriel regroupe 1 500 entreprises dont 80 % de PME et représente plus de 150 000 emplois⁷⁷. On y recense environ 400 sites de production, et environ 60 sites de R&D dont 1/3 pour les grands fabricants** (produits ou ingrédients) et façonniers. En comparaison avec l'industrie pharmaceutique, la cosmétique conserve une R&D forte en France avec des investissements majeurs des grands groupes (exemples : construction du plus gros centre d'expertise capillaire mondiale par L'Oréal à Saint-Ouen (93)).

Bien que l'industrie des cosmétiques soit présente sur trois quarts des départements français, 4 régions se distinguent par leur concentration d'acteurs : l'Île-de-France, le Centre, Rhône-Alpes et PACA.

76 – Données de l'Institut des Métiers et Formations des Industries de Santé

77 – Selon le pôle de compétitivité Cosmetic Valley

Enfin, il est à noter **que 3 entreprises françaises figurent dans le top 12 mondial : L'Oréal, LVMH et Chanel⁷⁸**.

Les grandes tendances

TECHNOLOGIQUES

Personnalisation

Il est communément admis qu'à l'horizon 2020 **la médecine personnalisée contribuera à l'évolution du parcours de soin du patient**, en permettant par exemple d'éviter les traitements inefficaces ou de limiter les effets secondaires potentiels des traitements.

Dans la lutte contre les maladies les plus prévalentes, 38 à 75 % des patients ne répondent pas aux traitements administrés⁷⁹. En permettant d'identifier les patients qui répondront à un traitement donné, la médecine personnalisée devrait se montrer plus efficace que celle qui utilise des traitements standards prescrits à une population dans son ensemble.

Par ailleurs, **la sécurité médicamenteuse est une problématique critique**, tant pour les patients que pour la société. En Europe, environ 5 % des admissions à l'hôpital sont liées à des effets indésirables de traitement, auxquels sont également associées plus de 200 000 morts chaque année⁸⁰. Beaucoup des effets indésirables, identifiés grâce au système obligatoire de pharmacovigilance en France et alimentant la base de données européenne du médicament EudraVigilance, créée par l'European Medicines Agency, sont causés par des modifications génétiques au niveau des enzymes du métabolisme des patients. Un des objectifs de la médecine personnalisée est d'identifier ces mutations

78 – *Revenue of the leading 10 beauty manufacturers worldwide*, Statista

79 – *Personalized medicine spurred by Medico's Gene testing*, Carey, John, Businessweek, 2010

80 – Phillips, Kathrin A., et al. *Potential role of pharmacogenomics in reducing adverse drug reactions: a systematic review*, JAMA, 14 Nov 2011, 286 (18).

et donc d'optimiser la prescription et le dosage des médicaments chez les patients. Cela permettra de minimiser, voire éviter, les effets indésirables.

De plus, la **médecine personnalisée permettra de réduire les coûts et les temps de développement des médicaments**, en autorisant les chercheurs à sélectionner les populations de patients les plus appropriées. En effet, les tests génétiques pourraient être utilisés dans les étapes amont de développement, afin d'identifier des candidats médicaments de meilleure qualité, de cribler les cibles potentielles et de valider des approches plus rapidement dans le processus de développement. La médecine personnalisée devrait également permettre de diminuer le nombre de patients à inclure dans les essais cliniques. Elle permettra en effet de mieux cibler l'échantillonnage et d'augmenter la qualité des données entrant dans les statistiques⁸¹.

Pour ce faire, **les avancées en séquençage du génome sont essentielles**. Les évolutions techniques de ces dernières années permettent de préciser les techniques de sélection de patients parmi de grands ensembles de populations. La médecine personnalisée du futur permettra d'appliquer une médication efficace pour une maladie spécifique grâce à la connaissance du génome du patient.

Le **développement des technologies du Big Data** est également important pour la médecine personnalisée puisque celle-ci intègre un ensemble de données relatives à un patient ou à un ensemble de patients (données génétiques, physiques, sociales susceptibles d'influencer l'état de santé, etc.). L'enjeu est de pouvoir analyser ce grand nombre de données pour les valoriser à des fins médicales. L'utilisation de ces données peut servir à la **modélisation numérique**, qui a pour objectif de créer des modèles personnalisés, adaptés à l'anatomie et la physiologie d'un patient afin de fournir des informations cliniques qui lui sont propres. La modélisation fonctionnelle des systèmes du corps humain fait à ce jour l'objet de nombreux travaux. Des modèles numériques de la fonction cardiaque sont déjà disponibles et demain, ce sont par exemple des modèles du cerveau qui pourront servir la médecine personnalisée.

81 – *The promises of personalized medicine and the challenges ahead*, Persomed, 2014

L'industrie de la cosmétique est également touchée par cette demande de personnalisation. L'accès croissant aux produits cosmétiques de personnes d'origines ethniques différentes appelle les industriels à proposer une offre adaptée à la typologie (de peau, de cheveux, ...) de chacun. Cette dynamique concerne non seulement les pays émergents, mais également les pays développés, où l'augmentation en proportion des « minorités ethniques » (y compris par brassage) représente un vivier croissant de personnes à satisfaire^{82,83}. Au-delà des questions ethniques, une demande croissante de recommandation et de personnalisation des produits cosmétiques existe. En effet, les consommateurs sont de plus en plus informés, connectés et demandent qu'on les guide avec expertise sur les produits qui leur sont les plus adaptés⁸⁴.

Sophistication des dispositifs médicaux et cosmétiques

Industrie de la santé

Ces dernières années, l'innovation s'est intensifiée dans les secteurs des dispositifs médicaux et des DM-DIV, matérialisée tant par des améliorations graduelles apportées au dispositif en général 18 à 24 mois après sa mise sur le marché que par des ruptures technologiques. **À l'horizon 2020 de nouvelles innovations sont à prévoir, qui devraient bousculer le paysage de la santé.**

Les progrès scientifiques et technologiques accomplis par exemple dans les domaines des produits associant un dispositif à un médicament, de l'ingénierie tissulaire, des technologies de l'information et de la communication (TIC), des nanosciences ou encore de la génétique et de la médecine personnalisée **ouvrent de nouvelles perspectives d'amélioration des soins de santé.**⁸⁵

Les compétences nécessaires à l'innovation dans les dispositifs médicaux se situent de plus au croisement

82 – En 2040, plus de la moitié de la population américaine sera d'origine hispanique, asiatique, afro-américaine ou métisse selon Kline & Company.

83 – *Boundaries between mainstream and multicultural beauty brands to blur*, Premium Beauty News, 2014

84 – *Rapport d'activité 2014*, L'Oréal, 2015

85 – *Des dispositifs médicaux et des dispositifs médicaux de diagnostic in vitro sûrs, efficaces et innovants dans l'intérêt des patients, des consommateurs et des professionnels de la santé* Communication de la Commission au Parlement Européen, au Conseil, au Comité Économique et Social Européen et au Comité des Régions, 2012

des compétences des industries pharmaceutique, de l'électronique, des biotechnologies, de la mécanique et de l'informatique. Cette **multidisciplinarité est un des facteurs favorisant l'innovation dans le domaine des dispositifs médicaux qui se distingue ainsi du domaine pharmaceutique**. Les avancées de la chirurgie du dos où sont couplées prothèses et biothérapies sont un exemple d'innovation en santé induite par la convergence de différentes technologies.

L'innovation dans les secteurs des DM et des DMDIV est **particulièrement rapide et importante au regard des attentes sociétales et des enjeux de santé publique. Elle concerne également les dispositifs de prévention des maladies et/ou de diagnostic précoce. Ces innovations nécessitent une amélioration permanente des compétences, notamment des équipes utilisatrices, et créent paradoxalement une plus grande dépendance des professionnels de santé à leur égard. Elles permettent par ailleurs de créer des emplois**. Les technologies de santé en ligne (télémédecine, technologies d'assistance, etc.) qui se rapportent aux DM et DMDIV ouvrent ainsi de nouvelles possibilités de suivi ou traitement de patients à distance et permettent de réduire le nombre d'hospitalisations, et donc de potentiellement réaliser des économies financières.

Enfin, le nombre de dispositifs médicaux est amené à augmenter à l'horizon 2020 avec le développement d'objets connectés de santé plus fiables sur les mesures (améliorations des capteurs), sur la sécurité des données comme sur leur valorisation (récupération des données pertinentes pour la décision médicale).

Industrie cosmétique

Au sein des pays développés, les appareils de soin à domicile connaissent depuis quelques années une croissance sans précédent. Ce succès s'appuie sur le vieillissement de la population associé à une prise de conscience de l'efficacité de ces dispositifs pour des applications de type soins de la peau et des cheveux, ainsi que sur l'existence de produits pour tous les budgets. Ces appareils sont destinés à être utilisés en tant que tel ou conjointement à un produit cosmétique pour en accroître les performances⁸⁶.

86 – Selon la FEBEA (Fédération des Entreprises de la Beauté)

Le marché global de ces appareils de soin est estimé à plus de 19 milliards de dollars en 2014, et une croissance annuelle moyenne de 18,7 % est attendue entre 2014 et 2020 pour atteindre un marché de plus de 50 milliards de dollars cette même année⁸⁷.

INDUSTRIELLES

Concentration et internationalisation des entreprises

Industrie de la santé

Les industries du médicament et des dispositifs médicaux tendent à se concentrer avec une réduction importante du nombre de sociétés sur le marché. Il s'agit d'une tendance observée depuis près de 40 ans pour l'industrie du médicament mais beaucoup plus récente pour l'industrie des dispositifs médicaux. Ainsi, depuis le début des années 1990, le nombre d'entreprises du médicament a été réduit de près de 30 % malgré la création dynamique de sociétés sur des segments comme les biotechnologies médicales par exemple.

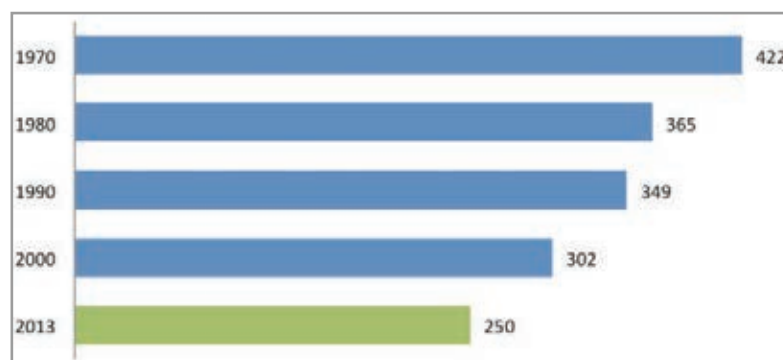


Figure 8 : Évolution du nombre d'entreprises de l'industrie pharmaceutique en France de 1970 à 2013 selon le LEEM

Cette réalité s'observe à la fois aux niveaux français et mondial avec des rapprochements forts entre acteurs depuis 10 ans et l'acquisition fréquente de sociétés de biotechnologies par les *leaders* de l'industrie pharmaceutique.

Les rapprochements des grands groupes mondiaux (implantation géographique stratégique des entreprises, regroupement des entreprises par domaine d'intérêt thérapeutique, etc.) ont pour but de leur

87 – Global Market Study on Beauty Devices: Asia to Witness Highest Growth by 2020, Persistence Market Research, 2015

permettre d'atteindre une taille critique afin de réaliser des économies d'échelle eu égard aux coûts de recherche, d'avoir une plus forte présence sur les marchés et de faire face à la pression exercée sur les prix des médicaments par les pouvoirs publics. Les fusions-acquisitions dans le secteur du médicament ont également pour objectif l'acquisition de nouvelles technologies, l'introduction dans un nouveau domaine thérapeutique ou sur un nouveau segment, l'acquisition d'une force de vente ou de distribution, l'implantation dans un pays étranger ou sur un continent⁸⁸.

En ce qui concerne les dispositifs médicaux, la tendance de l'industrie mondiale depuis 2014-2015 est également à la consolidation et aux stratégies de fusions-acquisitions parmi les principaux producteurs, notamment pour renforcer leur portfolio et toucher les marchés émergents. Deux autres grandes tendances se sont confirmées également en 2014-2015 : l'entrée sur le marché de concurrents dans les domaines de l'IT et de la production de biens de consommations et une évolution de l'innovation vers l'itération⁸⁹. Dans une filière peu structurée en France, l'avenir du secteur passe ainsi par des collaborations entre grands groupes et PME et par des consolidations entre les différents acteurs⁹⁰.

Industrie cosmétique

Contrairement à l'industrie de la santé, la filière cosmétique est très découpée et composée de TPE et PME pointues et autonomes par rapport à des grands groupes. Au sein de l'industrie cosmétique, les fusions ou acquisitions majeures entre grandes entreprises de l'industrie, telle que le rapprochement en 2015 pour 10 milliards d'euros entre Coty⁹¹ et 43 marques de cosmétiques de P&G, sont occasionnelles.

De manière plus fréquente, des partenariats ou fusions sont réalisés dans le cadre d'une stratégie d'expansion au sein des pays émergents afin d'y acquérir un relais de distribution, un savoir-faire ou une customisation locale à travers une marque dédiée séparée de la maison-mère.

88 – Chiffres du LEEM.

89 – Medical Device Corporate Strategy & Business Development Conference, Cipher, mars 2015

90 – BPI France, rencontre stratégique des acteurs du secteur des dispositifs médicaux, 2015

91 – Coty est une société américaine majeure des cosmétiques et parfums avec un chiffre d'affaires en 2014 de 4,5 milliards d'euros.

En France, le marché reste peu concentré, puisque seules 20 % des 1 500 entreprises de l'industrie des cosmétiques ont une taille supérieure à celle d'une ETI.

Open-innovation

L'open-innovation est un *business model* utilisant à la fois les idées internes et les idées externes pour générer de la valeur et de l'innovation. Ce *business model* est adopté par les entreprises pharmaceutiques afin de faire face aux dépenses croissantes de R&D et à la diminution du nombre de nouveaux médicaments effectivement lancés sur le marché. Le développement de ce *business model* est notamment favorisé par la complexité croissante du secteur, l'arrivée de nouvelles technologies, la disponibilité d'experts hautement qualifiés externes à l'entreprise, ainsi que par la pression croissante sur les coûts et les délais de développement⁹².

La R&D au sein de l'industrie des cosmétiques est historiquement fermée aux acteurs extérieurs à l'entreprise. C'est pourquoi, hormis des initiatives de grands leaders industriels, l'open innovation au sein de l'industrie cosmétique est un phénomène nouveau qui s'appuie sur une dynamique insufflée par les pôles de compétitivité. Ainsi, au sein de la Cosmetic Valley, le plus grand pôle de compétitivité français et mondial en matière de parfumerie et cosmétiques (voir chapitre « écosystèmes de l'innovation »), plus de 140 projets de recherche collaboratifs entre PME et universités ont été labellisés. Ce même pôle stimule les collaborations à travers différentes initiatives telles que des rencontres entre TPE/PME innovantes et grands groupes (Chanel, Johnson & Johnson, LVMH Recherche, Shiseido, L'Oréal, ...) lors du salon mondial de l'innovation en cosmétiques « *Cosmetic 360* »⁹³.

D'USAGE

Santé connectée

La santé connectée ou e-santé, termes derrière lesquels se cachent l'usage de technologies numériques et leur mise en réseau, est en passe de **révolutionner la prise en charge de la santé**.

92 – Schuhmacher A., et al. *Models for open innovation in the pharmaceutical industry*. 2013, Reutlingen University, Germany.

93 – *Cosmetic Valley renforce l'open-innovation en parfumerie cosmétique*, Biotech Info, 2015

La santé connectée recouvre **les pratiques médicales et de santé publique** reposant sur **des dispositifs communicants** tels que des téléphones portables, des systèmes de surveillance des patients (qui peuvent prendre la forme de dispositifs bio-embarqués ou de capteurs), des assistants numériques personnels et d'autres appareils sans fils⁹⁴. Elle inclut également les systèmes de conseil personnalisés, les informations de santé et rappels de prise de médicament envoyés par SMS, et **la télémédecine pratique** par communication sans fil⁹⁵.

De la télémédecine (systèmes « Picture archiving and communication system » PACS), aux dossiers patients numériques (Dossier Médical Personnel, etc.) en passant par les applications mobiles, les technologies de la santé connectée vont permettre de répondre à un grand nombre d'enjeux de la médecine de demain tout en bouleversant l'organisation des systèmes de soins :

■ **Elles favorisent le maintien à domicile** des personnes *via* par exemple leurs applications en médecine ambulatoire et en télémédecine. Cet aspect est particulièrement important à l'horizon 2020 puisqu'il permettra de répondre non seulement à des enjeux économiques (meilleure gestion des coûts) mais aussi de prise en charge de la santé dans un contexte de vieillissement des populations et de croissance de la demande de soins. Le maintien à domicile impliquera un changement important pour l'organisation des systèmes de soins de demain ;

■ **Elles permettent de resserrer les liens entre médecine de ville et hôpital et de constituer une solution aux enjeux de décloisonnement des systèmes de santé.** Les réseaux permis par le développement de nouveaux outils relevant des TIC comme les systèmes d'information et dossiers médicaux informatisés sont en effet essentiels dans l'organisation d'interface entre médecine de ville et hôpital⁹⁶.

Le marché des applications et des objets connectés de santé connaît de fait une croissance exponentielle, en raison de l'attente sociétale d'avoir des services de

santé de plus en plus accessibles. Dans son livre vert⁹⁷, la Commission européenne retient essentiellement trois bénéfices potentiels en termes de soins : **prévention accrue et meilleure qualité de vie, systèmes de santé plus efficaces et plus durables, patients plus responsables**. Les outils de la santé connectée contribuent essentiellement à l'éducation à la santé en complétant, voire en améliorant, l'accès aux services déjà disponibles en ligne. De même, en facilitant la consultation de bases de données et la communication entre professionnels de santé, les outils de santé mobile représentent de véritables assistants en situation d'exercice médical ou paramédical.

La santé connectée n'est cependant pas exempte de risques qui doivent être pris en compte dans son développement à l'horizon 2020. Ces risques portent sur la protection des données (données personnelles, données de santé) et la confidentialité, sur le défaut de validation clinique pour une solution qui s'apparenterait à un DM, sur le dysfonctionnement des produits et des logiciels, sur le manque de fiabilité des mesures et des analyses, et la vulnérabilité et les failles de sécurité des produits et logiciels⁹⁸.

La modification des habitudes et des usages des professionnels de santé comme des usagers est un processus long qui nécessite une réelle « **éducation au numérique** »⁹⁹, des efforts de communication importants et une sensibilisation aux enjeux.

Produits premium

Au sein de l'industrie cosmétique, l'une des tendances majeures qui s'est accélérée ces dernières années est la demande des consommateurs pour des produits luxueux ou « premium » accessibles à tous. Cela a donné naissance à différents types de produits :

■ Des produits de beauté utilisables à domicile mais inspirés de salons tels que des appareils d'applications topiques ou encore des masques (notamment en Asie) ;

94 – *mHealth: New horizons for health through mobile technologies*, Global Observatory for eHealth series – Volume 3, p6, 2011.

95 – *Livre vert sur la santé mobile*, Commission européenne. Avril 2014

96 – Christian BOURRET, Les réseaux de santé ou la rencontre de la santé et des TIC pour décloisonner le système de santé français, *Tic et Santé*, Vol. 2, n°1, 2008.

97 – *Ibid.*

98 – *SANTÉ CONNECTÉE- Le Livre Blanc*, Conseil national de l'Ordre des médecins. Janvier 2015

99 – Eric Peres, *Les données numériques : un enjeu d'éducation et de citoyenneté*, Les avis du Conseil Economique, Social et Environnemental, Janvier 2015.

■ Des produits naturels et organiques qui utilisent des ingrédients plus nobles que des produits de synthèse.

Par ailleurs, les marques de luxe historiques connaissent également des taux de croissance supérieurs au marché des cosmétiques global, mais observent des disparités régionales. Ainsi, entre 2012 et 2013, les marchés majeurs tels que le Brésil, l'Indonésie, l'Inde, la Chine ou encore les États-Unis ont connu une croissance des produits premium supérieurs à ceux de masse.

Entre 2013 et 2018, des taux de croissance annuels pour ces produits supérieurs à 10 % sont attendus en Chine, Indonésie et Inde, contre 3 à 4 % en moyenne pour le monde sur la même période¹⁰⁰.

La position de la France

INDUSTRIELLE

Médicaments

L'industrie du médicament en France emploie 100 968 personnes en direct et 190 395 en emplois induits¹⁰¹. En comparaison, elle emploie 700 000 personnes en Europe, générant 3 à 4 fois plus d'emplois induits¹⁰², et 810 000 emplois aux États-Unis, soutenant 3,4 millions d'emplois induits¹⁰³.

La part de la France dans le marché mondial du médicament était de 4,4 % en 2013. La France est **également l'un des principaux fabricants de médicaments au niveau international**. Ainsi, elle **se situe en 6^e position européenne** derrière la Suisse, l'Allemagne, l'Italie, le Royaume-Uni et l'Irlande. Ces résultats sont, selon le LEEM, relativement fragiles face à concurrence de plus en plus marquée de l'Irlande et de la Belgique.

100 – *The multifaceted evolution of global beauty in-cosmetics 2014*, Euromonitor International, 2014

101 – Les entreprises du médicament en France : bilan économique, LEEM, édition 2014

102 – Données EFPIA, 2012

103 – Données PhRMA

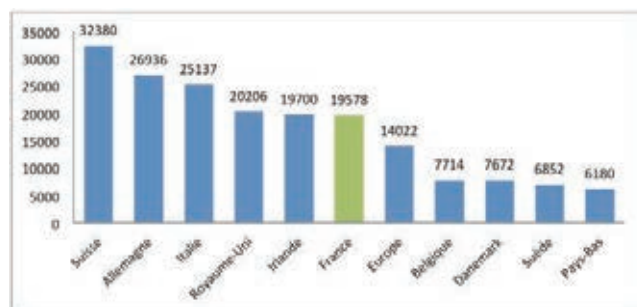


Figure 9 : Principaux pays producteurs de médicaments en Europe, en Mds€ (EFPIA)

Sur un marché peu concentré, **Sanofi, leader français du médicament**, est la 3^e entreprise mondiale du secteur avec un chiffre d'affaires de 33,77 milliards d'euros en 2013, soit 4,4 % du marché mondial. **La France ne dispose pas d'autres acteurs de cette envergure mais de plusieurs « middle pharma »** telles que Servier, Ipsen ou Pierre Fabre, qui disposent d'une forte capacité de R&D et d'un savoir-faire reconnu.

En comparaison du nombre d'implantations d'entreprises britanniques, allemandes ou suisses, les implantations françaises dans les plus grands marchés du monde, en particulier les États-Unis et le Japon, ont progressé significativement, mais elles restent faibles. D'après le LEEM, le contrôle des prix des produits et la faible rentabilité en France n'ont pas été favorables à l'internationalisation des groupes d'origine française. Toutefois, les produits d'origine française ont pénétré les marchés américain et japonais en raison des produits confiés en licence.

Dispositifs médicaux

L'industrie des dispositifs médicaux en Europe emploie **environ 575 000 personnes**¹⁰⁴ dont **environ 65 000 en France**¹⁰⁵. En comparaison, l'industrie emploie environ 520 000 personnes aux États-Unis. Les États-Unis figurent d'ailleurs avec l'Allemagne et le Japon parmi les pays possédant l'industrie des dispositifs médicaux la plus dynamique. L'industrie française des dispositifs médicaux se positionne quant à elle au même rang que celle du Royaume-Uni.

104 – Données Eucomed sur l'emploi dans le secteur des dispositifs médicaux en Europe

105 – Données SNITEM sur l'emploi dans le secteur des dispositifs médicaux en France

Les dispositifs médicaux en France composent un tissu industriel de près de 1 100 entreprises qui représentent un effectif de 65 000 emplois uniquement consacrés aux activités de R&D et de production. Le secteur est composé à 94 % de PME (moins de 250 salariés), dont 45 % de TPE (moins de 20 salariés). Cette proportion élevée de PME s'explique par la présence de marchés « de niche » sur ce secteur. Le principal groupe industriel d'origine française de plus de 5 000 salariés est Air Liquide Santé et 16 ETI d'origine française sont dédiées à plus de 50 % aux dispositifs médicaux. Quelques start-up françaises telles que Pixium Vision, Carmat, CorWave, Withings, etc. se spécialisent dans le développement de technologies de rupture sur le marché des dispositifs médicaux.¹⁰⁶ Le secteur reste largement dominé par les grands groupes américains et allemands : parmi les 30 plus grandes entreprises produisant des dispositifs médicaux, les 2/3 ont ainsi leur maison mère aux États-Unis et aucune en France.

Le secteur français du diagnostic *in vitro* regroupe quant à lui environ 100 entreprises telles que Bio-Mérieux, Stago ou Theradiag. Ces entreprises représentent 12 000 emplois directs dont 16 % en R&D et 28 % en production. 90 % de ces entreprises sont des PME.

Au niveau national, un écosystème technologique, scientifique et clinique permet d'accompagner de manière significative le développement des DM et ce malgré l'absence notable de clusters dédiés à la filière alors qu'ils sont présents dans les pays *leaders* comme la Suisse ou les États-Unis.

Cosmétiques

L'industrie de la cosmétique en Europe emploie de manière directe ou indirecte 1 500 000 personnes, dont 150 000 en France¹⁰⁷. La France est le leader mondial de ce secteur avec 1 500 entreprises impliquées qui génèrent plus de 25 milliards d'euros de chiffre d'affaires¹⁰⁸. La France est également l'un des principaux pays exportateurs de cosmétiques (1^{er} en Europe), avec 10,6 milliards d'euros de biens exportés en 2013. En comparaison, les exportations de

l'Allemagne, au deuxième rang européen, ont représenté 6,8 milliards d'euros cette même année¹⁰⁹.

Les principaux acteurs en France en 2014 sont :

- L'Oréal : 22,53 milliards d'euros de chiffre d'affaires (n°1 France, n°1 monde) ;
- Chanel : 4,7 milliards d'euros de chiffre d'affaires (n°2 France, n°9 monde) ;
- LVMH : 4 milliards d'euros de chiffre d'affaires (n°3 France, n°11 monde).

ACADÉMIQUE ET ÉCOSYSTÈME DE L'INNOVATION

Industrie de la santé

Recherche : les groupes pharmaceutiques éprouvent des difficultés pour trouver de nouvelles molécules et sont tenus de **réduire significativement leurs capacités de recherches**, comme Sanofi et Pierre Fabre l'ont récemment fait en France. En conséquence, **les acteurs académiques** (INSERM, CNRS, AP-HP, Universités, Institut Pasteur, CEA, Genopole, **etc.**) **deviennent progressivement des acteurs incontournables du développement de nouveaux médicaments et de nouvelles technologies pour la santé**. Les Rencontres internationales de recherche (RIR), organisées chaque année en France pour valoriser le potentiel de la recherche académique française dans les sciences de la vie, sont saluées par l'industrie pharmaceutique mondiale comme une excellente initiative.

Dans le domaine des dispositifs médicaux la France **jouit d'une position d'excellence en matière de recherche, notamment sur le segment de l'imagerie médicale**. En 2013, plus de 1 100 chercheurs statutaires et 650 doctorants et post-doctorants travaillaient au développement technologique dans le secteur de l'imagerie médicale, principalement structuré autour de six grands pôles régionaux : Île-de-France, Rhône-Alpes, Aquitaine, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Alsace et Bretagne.

Autre indicateur de ce dynamisme académique : le nombre important de structures ou initiatives en imagerie médicale financées par le programme des

106 – Sofinnova, mars 2014

107 – *Rapport Annuel 2013, Cosmetics Europe, 2014*

108 – D'après Cosmetic Valley

109 – *Rapport Annuel 2013, Cosmetics Europe, 2014*

investissements d'avenir : 4 IHU, 1 IRT, 16 Equipex, 11 LabEx et 2 Infrastructures nationales en biologie et santé.

Au-delà de la recherche fondamentale et appliquée, la France dispose par ailleurs d'une recherche clinique dense organisée en réseau. Les études cliniques sont facilitées par la structuration de 53 Centres d'Investigation Clinique (CIC), au sein des CHU. Ces CIC constituent le réseau national F-CRIN (*French Clinical Research Infrastructure Network*), participation française au réseau européen E-CRIN (*European Clinical Research Infrastructures Network*). Les entreprises de biotechnologies (biotechs) et de technologies médicales (medtechs) jouent par ailleurs un rôle important au sein de l'écosystème de l'innovation français. Selon le Panorama France Biotech/Ernst&Young 2012, la France est ainsi le deuxième acteur économique mondial pour les sciences de la vie avec plus de 1 300 entreprises. Ce sont essentiellement des PME et des TPE avec un effectif moyen de 22 personnes. Les entreprises de Biotech et de Medtech ont pour objectif de développer des produits à partir de recherches fondamentales et sont de ce fait des acteurs directs de la valorisation de la recherche française.

La recherche en santé s'appuie sur un réseau de laboratoires de référence, d'alliances et Consortium de

Valorisation Thématique (CVT) tels qu'AVIESAN, de pôles de compétitivité (Medicen, LyonBiopole, Systematic, CapDigital, etc.) et d'instituts Carnot, ainsi que sur les 30 Centres Hospitaliers Universitaires et les 2 Centres Hospitaliers Régionaux que compte le territoire français.

Investissements : cette excellence est accompagnée dans le cadre des Investissements d'Avenir, la biologie et la santé constituant l'une des thématiques phares avec **2,5 milliards d'euros de financements dédiés** à une centaine de structures :

- 45 Laboratoires d'excellence (LabEx) en biologie et santé répartis sur 86 sites (vagues 1 et 2) ;
- 24 Équipements d'excellence (Equipex) en biologie et santé répartis sur 32 sites (vagues 1 et 2) ;
- 6 IHU (ICAN, Imagine, A-ICM, Mix-Surg, POLMIT, LYRIC);
- 3 démonstrateurs en biotechnologies et santé (MGP, CIMTECH, PGT) répartis sur 7 sites,
- 16 infrastructures nationales en biologie et santé spécifiquement dédiées aux applications de santé réparties sur 39 sites et telles que métaboHub, Profi, FBI ou Biobanques ;
- 1 IRT, Bioaster, en infectiologie, réparti sur deux sites.

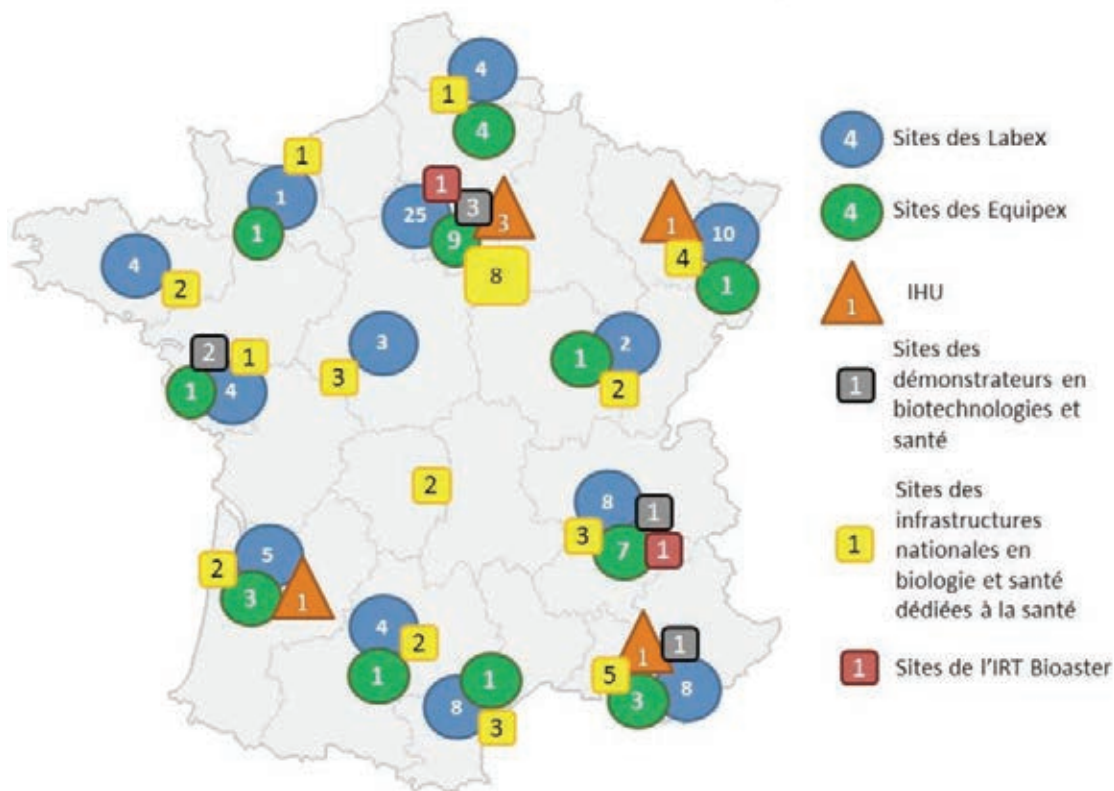


Figure 10 : Sites des structures recevant des financements dans le cadre des Investissements d'Avenir
(Source : Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche)

Outre les **investissements publics français**, qui s'intéressent de plus en plus aux technologies médicales et à la santé et des financements innovants permettant à des start-up françaises d'obtenir des financements pour des collaborations, les entreprises bénéficient également de **crédits d'impôts** pour leurs activités de R&D réalisées en France¹¹⁰. L'Union Européenne (UE) finance également les thématiques de la santé, du bien-être et du vieillissement à hauteur de 7,5 milliards d'euros sur 7 ans dans le cadre du programme **Horizon 2020**¹¹¹ et l'initiative européenne **Innovative Medicine Initiative (IMI)** dispose de financements à hauteur de 2 milliards d'euros pour développer les partenariats de recherche public-privés.

En ce qui concerne les **investissements privés en capital-risque** en revanche, l'Europe et la France

restent en-deçà des États-Unis: en 2010 les entreprises américaines de capital-risque ont ainsi investi 15 milliards d'euros contre 3,4 milliards pour les entreprises européennes et les investissements en début de croissance représentaient 2,2 million d'euros par entreprise en moyenne aux États-Unis contre 400 000 dans l'UE. Cependant une nouvelle génération d'investisseurs européens commence à se concentrer sur les investissements d'amorçage.¹¹² En outre, les sciences de la vie sont le premier secteur d'investissement en capital-risque en Europe, comptant pour 37,1 % de ces investissements¹¹³. Dans le domaine de la santé, au-delà des marchés traditionnels, les investisseurs privés s'intéressent particulièrement aux sociétés de biotechnologies et fabricants d'objets connectés pour le grand public.

110 – Sofinnova, mars 2014

111 – Commission Européenne, factsheet : Horizon 2020 budget, Novembre 2013

112 – H. Tyabji et al., venture capital firms in Europe vs. America : the under performers, *Ivey Business Journal*, mars/avril 2011

113 – European Private Equity and venture Capital Association, données 2013.

En revanche, **même si le secteur français est sain et s'améliore, il tend à se focaliser sur des investissements de croissance, des fusions et acquisitions et des IPO (offre publique initiale) plutôt que sur des investissements d'amorçage et de capital-risque** proprement dits. En conséquence, il y a un écart entre le financement de la R&D et des étapes de transfert de la technologie au démarrage précoce d'une part, et la phase d'expansion commerciale d'autre part, et les start-up françaises sont moins capitalisées que les start-up américaines. En outre, lorsque les entreprises françaises et européens recherchent des financements plus importants, particulièrement les entreprises de biotechnologies, elles ont tendance à partir aux États-Unis.¹¹⁴

Industrie cosmétique

La France dispose d'une dynamique de recherche en cosmétique très forte grâce notamment au pôle de compétitivité de 1^{er} rang mondial : Cosmetic Valley. Ce pôle s'étend sur 6 départements allant du Centre à la Haute Normandie. Au total, on y retrouve 550 entreprises, 84 projets R&D, 7 universités, 200 laboratoires publics, 8 600 chercheurs pour 63 000 emplois et 18 milliards d'euros de chiffre d'affaires. Il réunit au sein d'un même réseau tous les métiers et savoir-

faire des cosmétiques (hors aromatiques et dans une moindre mesure parfums), faisant ainsi de Cosmetic Valley un écosystème d'innovation de renommée mondiale. Cette entité a pour mission de créer une synergie entre ses membres et d'accroître leur visibilité.

Au-delà de grand noms ou grandes marques tels que Dior, Guerlain, Chanel, Shiseido ou L'Oréal, 80 % des membres de Cosmetic Valley sont des TPE et PME.

En France se trouvent deux autres centres d'innovation notables en cosmétique et qui complètent le champ de compétences de Cosmetic Valley : le Centre Européen de Dermocosmétologie (CED) en région Rhône-Alpes Lyon (3 500 salariés, 20 entreprises, 250 chercheurs) et le pôle de compétitivité Parfum Arômes Senteurs Saveurs (PASS) dans la région PACA (9 600 salariés, 84 projets R&D labellisés, 155 membres industriels ou académiques)¹¹⁵.

Par ailleurs, depuis 2015, le CNRS initie pour la première fois une dynamique de recherche autour des cosmétiques. Deux Groupes De Recherche (GDR) dédiés ont ainsi vu le jour : Cosmactifs, focalisé sur les soins de la peau du visage et du corps, et O³ focalisé sur les problématiques « Odorat, Odeurs et Olfaction ».

114 – Woodside Capital Partners, 2011

115 – Début 2016, PASS est amené à perdre son label « pôle de compétitivité ». Un rapprochement avec Cosmetic Valley est à l'étude.

ANALYSE AFOM DE LA FRANCE

ATOUS

Constitution du Comité stratégique de filière Industries et technologies de santé.

Important tissu industriel de production pharmaceutique, notamment pour les molécules chimiques (6^{ème} acteur à l'échelle européenne), et premier producteur mondial de cosmétiques.

Présence de Sanofi (3^{ème} entreprise mondiale du secteur de la santé) et plusieurs *middle pharma*s avec une forte capacité de R&D et un savoir-faire reconnu, ainsi que de 3 leaders internationaux de l'industrie des cosmétiques (dont L'Oréal, 1^{ère} entreprise mondiale)

Savoir-faire particulier de PME françaises en cosmétiques et dans la production de dispositifs médicaux à forte valeur ajoutée et à fort taux de croissance (implants non actifs, aides techniques, appareils à rayon X, appareils électromécaniques, diagnostic in vitro, etc.), la production dentaire et optique.

Écosystème académique, hospitalier et de l'innovation dense et bien organisé.

Dynamisme et développement des start-up de biotechnologies et spécialisation de start-up dans les technologies de rupture sur le marché des dispositifs médicaux.

Accessibilité des investissements publics aux laboratoires de recherche, start-up et PME pour la recherche et le transfert de technologies.

FAIBLESSES

Relativement faible niveau d'implantation des entreprises françaises dans les plus grands marchés mondiaux.

Faible niveau de coordination et d'intégration des acteurs de la filière dispositifs médicaux.

Très faible présence internationale des entreprises françaises de dispositifs médicaux.

Faiblesse des investissements en capital-risque par rapport aux États-Unis et difficulté à lever des capitaux significatifs en phase d'amorçage pour les start-up et biotechs françaises qui les exposent à des prises de participation ou des rachats par des firmes internationales ou les incitent à traverser l'Atlantique.

OPPORTUNITÉS

Forte croissance de la demande en matière de santé et du bien-être liée à l'évolution démographique mondiale.

Nombre important de maladies négligées ou rares pour lesquelles aucun traitement n'est encore disponible.

Développement de la médecine personnalisée.

Développement de la santé connectée.

Ouverture de marchés étrangers tels que l'Iran où l'environnement réglementaire vis-à-vis des cosmétiques est favorable.

MENACES

Politique de rationalisation des dépenses publiques de santé et de limitation des remboursements qui est favorable aux génériques et aux biosimilaires et qui ne favorise pas l'innovation et le développement de nouvelles molécules.

Arrivée à expiration des brevets de molécules chimiques et biologiques *blockbusters*.

Risque de disparition ou rachats par des capitaux étrangers de PME à forte croissance sous-capitalisées.

SOURCES

- Bilan des règles applicables à la sécurité des dispositifs médicaux et propositions d'amélioration.* ANSM. Septembre 2012
- Biomédicaments en France : état des lieux 2014.* LEEM. Septembre 2014
- Boundaries between mainstream and multicultural beauty brands to blur,* Premium Beauty News, 2014
- China proposes tighter cosmetics standards,* Chemical Watch, 2015
- Challenging growth in the luxury and cosmetics sector,* EY, 2014
- Cosmetic Valley renforce l'open-innovation en parfumerie cosmétique,* Biotech Info, 2015
- Des dispositifs médicaux et des dispositifs médicaux de diagnostic in vitro sûrs, efficaces et innovants dans l'intérêt des patients, des consommateurs et des professionnels de la santé* Communication de la commission au parlement européen, au conseil, au comité économique et social européen et au comité des régions, 2012.
- Dispositifs médicaux : diagnostic et potentialités de développement de la filière française dans la concurrence internationale,* Ministère de l'économie des finances et de l'industrie / PIPAME, 2011
- Dispositifs médicaux : enjeux et opportunités.* BPI France. 2014
- European IDV Market Statistics,* The European Diagnostic Manufacturers Association (EDMA). 2013
- European Union Bans Hundreds of Drugs Over Clinical Trial Studies,* WSJ, 27 Juillet 2015
- Expansion and Challenges Ahead for Emerging Markets: Growth in Natural Skin Care,* Cosmetic & Toiletries, 2015
- Factsheet : Horizon 2020 budget.* Commission Européenne. Novembre 2013
- Finding Value in Europe – Executive insights,* L.E.K, 2013
- Global & USA Cancer Immunotherapy Market Analysis to 2020.* Research and markets. Avril 2015
- Global Beauty Care Market (2014-2018),* Gyan Research and Analytics Pvt. Ltd., 2014
- Global Cell Therapy Market 2015-2020 – Technologies, Markets and Companies.* Research and Markets. Mai 2015.
- Global Gene Therapy Market & Pipeline Insight Report 2014.* Research and Markets. Octobre 2014.
- Global healthcare private equity report.* Bain & Company. 2015
- Global Market Study on Beauty Devices: Asia to Witness Highest Growth by 2020,* Persistence Market Research, 2015

Imagerie médicale du futur, Ministère du Redressement Productif / PIPAME, 2013

L'économie du médicament : marché mondial. LEEM. 2014

La filière cosmétique, une industrie au parfum, BPI France, 2014

Le marché français des biosimilaires : pertes de brevets, substitution, nouveaux entrants : quels enjeux et perspectives à l'horizon 2016. Étude Xerfi. 2014

Les cosmétiques naturels bénéficient de la demande éthique dans les pays nordiques, Premium Beauty News, 2015

Les entreprises du médicament en France – Bilan Économique. LEEM, 2014 *L'industrie du Diagnostic in vitro édition 2014*, SIDIV, 2014 *Médicaments biosimilaires : état des lieux*. ANSM. Septembre 2013

Livre vert sur la santé mobile. Commission Européenne. Avril 2014

Natural trend continues as segment posts double-digit sales growth, Cosmetics Design-Europe, 2014

Neal B., et al., *Managing the global burden of cardiovascular disease*, European Heart Journal Supplements (2002) 4 (Supplément F), F2-F6.

Medical Device Corporate Strategy & Business Development Conference. Cipher. Mars 2015

Médicament : La France veut-elle rester une terre de production industrielle ? LEEM. 4 octobre 2012

mHealth: New horizons for health through mobile technologies, Global Observatory for eHealth series – Volume 3, p6, 2011.

Schuhmacher A., et al. *Models for open innovation in the pharmaceutical industry*. 2013, Reutlingen University, Germany.

Orphan Drug Report 2014. Evaluate Pharma. 2014

Pacte pour la compétitivité de l'industrie Française, rapport au Premier ministre : Louis Gallois, 2012.

Panorama de la santé 2013 : Les indicateurs de l'OCDE, Éditions OCDE. 2013

Parcours du dispositif médical. HAS. 2009 (actualisation : 2013)

Personalized medicine spurred by Medico's Gene testing, Carey, John, Businessweek, 2010

Perspectives du marché mondial des produits biosimilaires, focus spécifique sur le marché français. Smart Pharma Consulting. février 2015

Phillips, Kathrin A., et al. *Potential role of pharmacogenomics in reducing adverse drug reactions: a systematic review*, JAMA, 14 Nov 2011, 286 (18).

Rapport de la Commission Innovation 2030, remis à l'Élysée le 11 octobre 2013.

Règlementation des produits cosmétiques, Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé, 2014

Rencontre stratégique des acteurs du secteur des dispositifs médicaux. BPI France. 2015

Revenue of the leading 10 beauty manufacturers worldwide, Statista

Sales of natural cosmetics boosted by consumer awareness and innovation, Premium Beauty News, 2014

Santé connectée – le livre blanc. Conseil national de l'ordre des médecins. Janvier 2015

Searching for Terra Firma in the Biosimilars and Non-Original Biologics. IMS Health. 2013

The Future of Tissue Engineering and Cell Therapy to 2025. Smithers Apex. Février 2015

The multifaceted evolution of global beauty in-cosmetics 2014, Euromonitor International, 2014

The promises of personalized medicine and the challenges ahead. Persomed. 2014

Turbulence in Emerging Markets but beauty will prevail, GCI Magazine, 2014

Tyabji H., et al., *Venture capital firms in Europe vs. America : the under performers*, Ivey Business Journal, mars/avril 2011.

Wireless Devices Market. Markets&markets. Décembre 2014

World Cancer Report 2014. IARC. 2014

World Preview 2018 - A Consensus View of the Medical Device and Diagnostic Industry. Evaluate MedTech, 2012

GLOSSAIRE

AMM : Autorisation de mise sur le marché

ANSM : Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé

ASA : Amélioration du service attendu

ASMR : Amélioration du service médical rendu

ASR : Amélioration du service rendu

CEPS : Comité économique des produits de santé

CIC : Centre d'Investigation Clinique

CMOS : Complementary Metal Oxide Semiconductor

CNEDiMITS : Commission nationale d'évaluation des dispositifs médicaux et technologies de santé

CSP : Code de la santé publique

CVT : Consortium de valorisation thématique

DM : Dispositif médical

DM-DIV : Dispositif médical de diagnostic *in vitro*

EFPIA : European Federation of Pharmaceutical Industries and Associations

EMA : European Medicine Agency

Equipex : Équipements d'excellence

EUCOMED : Syndicat européen des fabricants de dispositifs médicaux

FEBEA : Fédération des Entreprises de la Beauté

GHS : Groupes homogènes de séjours

HAS : Haute Autorité de Santé

IHU : Institut Hospitalo-Universitaire

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

IRT : Institut de recherche technologique

LabEx : Laboratoires d'excellence

LEEM : Syndicat Les Entreprises du Médicament

LPPR : Liste des produits et des prestations remboursables

PACS : Picture archiving and communication system

PASS : Pôle de Compétitivité Parfums Arômes Senteurs Saveurs

PIPAME : Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques

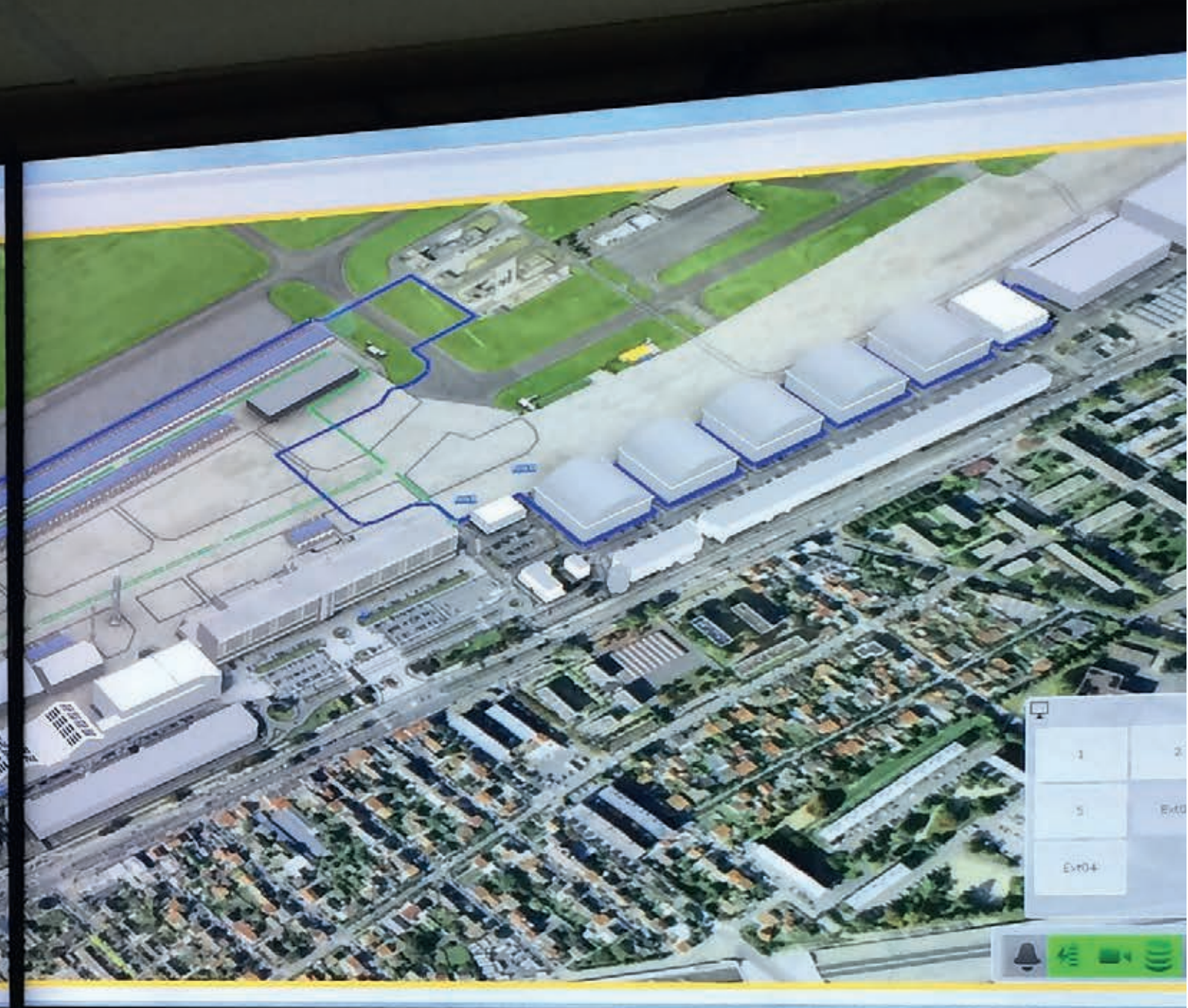
R&D : Recherche et développement

SA : Service attendu

SMR : Service médical rendu

SNITEM : Syndicat National de l'Industrie des Technologies Médicales

T2A : Tarification à l'acte



SÉCURITÉ

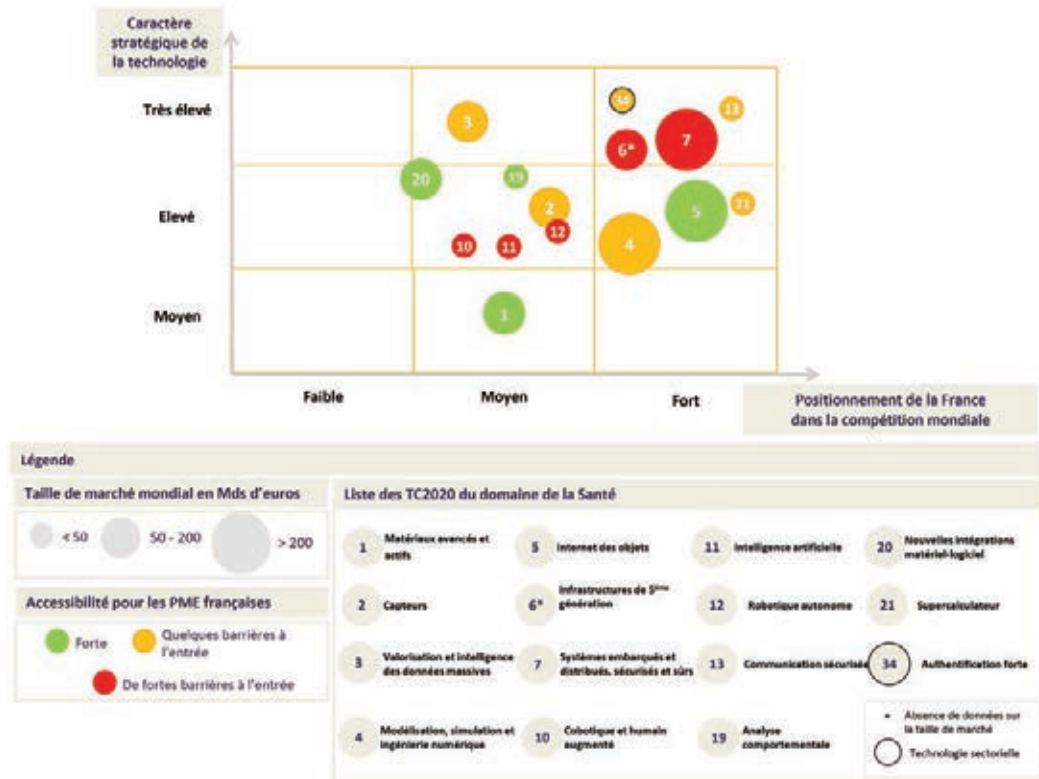
Définition

La sécurité couvre l'ensemble des champs de la prévention et de la protection face aux risques, qu'ils soient naturels, technologiques, ou sanitaires (biosécurité) ainsi que les « cyber-risques » (piratage informatique, protection des données personnelles, des données stratégiques ou sensibles). Cela inclut la protection directe des populations d'une part, et la sécurité en matière d'infrastructures et de services d'autre part. Sont donc comprises au sein du concept de sécurité la sécurité intérieure, c'est-à-dire la surveillance des frontières, la gestion des crises et la sécurité individuelle et privée (protection des données personnelles, protection contre la criminalité, protection des entreprises et des individus). L'augmentation de la connectivité au sein de notre société fait des risques numériques un enjeu croissant en termes de sécurité. De fait, la prévention des risques naturels et le marché de la sécurité civile restent un des segments majeurs du domaine, mais les enjeux stratégiques et de développement se concentrent davantage autour des questions de cyber-sécurité.

Les enjeux liés à la défense ne seront traités ici que dans leurs liens avec la sécurité civile. Les technologies et enjeux militaires ne seront abordés que dans la mesure où la frontière entre civil et militaire s'avère poreuse, en particulier dans le cas des transferts de technologies.

Technologies clés du domaine

N°	Intitulé	Spécifique / Transversale
1	Matériaux avancés et actifs	Transversale
2	Capteurs	Transversale
3	Valorisation et intelligence des données massives	Transversale
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique	Transversale
5	Internet des objets	Transversale
6	Infrastructures de 5 ^{ème} génération	Transversale
7	Systèmes embarqués et distribués, sécurisés et sûrs	Transversale
10	Cobotique et humain augmenté	Transversale
11	Intelligence artificielle	Transversale
12	Robotique autonome	Transversale
13	Communications sécurisées	Transversale
19	Analyse comportementale	Transversale
20	Nouvelles intégrations matériel-logiciel	Transversale
21	Supercalculateurs	Transversale
34	Authentification forte	Spécifique



Les grands enjeux et les stratégies françaises

ENVIRONNEMENT

L'environnement entendu comme l'ensemble de l'espace au sein duquel évolue un individu, peut concentrer une multitude de risques liés à la malveillance, aux risques naturels ou/et aux risques technologiques.

Insécurité et malveillance

L'insécurité entendue comme fruit des actes de malveillances se concentre en particulier au sein des environnements urbains. Cette insécurité plus présente au sein de certains territoires fait partie des préoccupations de l'État comme en témoigne la mise en place en 2012 des Zones de sécurité prioritaire (ZSP). Aujourd'hui au nombre de 80, ces zones bénéficient d'un renforcement de la présence des forces de l'ordre afin de juguler l'insécurité quotidienne et la délinquance enracinée. 77 de ces territoires sont également concernés par le nouveau programme na-

tional de renouvellement urbain¹, impliquant une nouvelle conception du bâti et de l'aménagement des territoires sensibles. À cela vient s'ajouter la mise en place de dispositifs de vidéosurveillance venant renforcer les moyens des forces de l'ordre.

Le risque de malveillance peut également être étendu à une échelle nationale et supra nationale, au conflit armé et plus particulièrement sur le territoire national, au terrorisme. La probabilité que l'aléa se produise est modérée au regard des autres risques susmentionnés, mais les conséquences lorsque celui-ci se produit n'en sont que plus importantes. La prévention est donc un élément majeur en particulier au sein des environnements à risque. Les aéroports, les transports en commun, les gares, les lieux de cultes, les lieux d'enseignement (scolaire et universitaire) et les espaces à forte fréquentation comme les zones touristiques de la capitale... font ainsi l'objet d'une attention particulière dans le cadre de la mise en place du plan Vigipirate, tout comme les réseaux d'approvisionnement en eau. Face à ce risque et dans ces contextes, les techniques

1 – NPRU 2014-2024, Ministère de la Ville, de la Jeunesse et des Sports, 2014

et les technologies de surveillance et de prévention répondent à des problématiques spécifiques telles que la capacité à identifier un comportement déviant (cf. Analyse comportementale).

Les enjeux liés à la sécurité se déclinent également au sein d'un environnement en pleine expansion, celui du cyberspace. « Le cyberspace constitue un espace très particulier qui tient du far-west »² où les risques sont d'autant plus présents que la conscience du risque est encore limitée. « La crainte d'être piraté lorsque l'on paye en ligne, le risque d'espionnage industriel à l'encontre de nos entreprises ou les attaques dématérialisées contre nos intérêts nationaux sont autant de menaces qu'il nous faut anticiper et neutraliser »³. Face à ces menaces, une dynamique est mise en place à l'échelle nationale dans le cadre de la Nouvelle France Industrielle au travers de la Solution Confiance Numérique. Celle-ci englobe les enjeux de la cybersécurité des individus et s'étend bien évidemment jusqu'à la souveraineté nationale.

Les cybermenaces, qu'il s'agisse de conséquences d'erreurs, d'accidents ou directement d'actes de malveillance ont un coût financier important pour un particulier comme pour une entreprise, ces dernières étant les cibles privilégiées des cyberattaques. Il est très difficile d'évaluer le coût réel de ces attaques dans la mesure où toutes ne sont pas connues, et quand elles le sont, ne sont pas nécessairement déclarées, être victime d'une cyberattaque pouvant être très nuisible à l'image d'une entreprise. Cependant, la prévention de ce risque implique certes un besoin de protection pour les organisations et les particuliers (authentification, sécurisation des communications...) mais également une sensibilisation à la mise en place de bonnes pratiques. Les risques associés au BYOD (Bring your Own Device), tendance grandissante au sein des entreprises sont, par exemple, de plus en plus pris en compte, dans la mesure où les smartphones, clés USB et autres éléments introduits par les salariés sont autant de brèches dans la sécurisation des systèmes d'information de l'entreprise. Si nombre de cybermenaces ont un retentissement important en raison de leur multiplication, il se développe

également des cyberattaques beaucoup plus ponctuelles et aussi beaucoup plus dévastatrices. En effet, depuis deux à trois ans, un critère dominant des cyberattaques réside dans leur caractère ciblé. Ces attaques prennent la forme d'APT (Advanced Persistent Threat ou Menaces Persistantes Avancées). Celles-ci sont spécifiques par leur durée, leur discrétion et leur complexité. Elles combinent plusieurs méthodes d'attaques afin de s'adapter au mieux à leur cible. Leur objectif est généralement de voler des informations précises auprès d'industriels, grands groupes comme PME, disposant d'informations sensibles ainsi qu'auprès d'institutions gouvernementales.

Risques et environnement naturel

La **dégradation de l'environnement** est également un enjeu pour le marché de la sécurité. Bien que les sources de pollutions soient différentes, la dégradation de l'environnement concerne aussi bien le milieu urbain que rural : les risques chroniques et d'origine anthropique concernant la qualité de l'eau et de l'air, et l'exposition aux polluants (avec par exemple les particules fines ou l'usage des pesticides), sont de plus en plus pris en compte par les autorités sanitaires. La qualité de l'air extérieur est devenue la principale préoccupation des Français (43 %⁴) devant le changement climatique ou les catastrophes naturelles. Le traitement de ces risques repose cependant davantage sur les technologies du marché de l'environnement que sur celles du marché de la sécurité, et sera donc abordé dans la monographie du secteur environnement

L'évolution de l'environnement naturel, notamment **le changement climatique**, influence également le marché de la sécurité. Outre les catastrophes naturelles (tremblements de terre, tsunamis...), les phénomènes météorologiques extrêmes (cyclones, sécheresses, inondations, submersion marines...) augmentent en nombre et en intensité.

À l'échelle mondiale, les catastrophes naturelles ont coûté la vie à 11 000 personnes en 2014 et le coût total estimé des dégâts est de 113 milliards de dollars⁵. Ces chiffres, très variables d'une année à l'autre en fonction des événements (le coût moyen annuel

2 – Michel BENEDETTINI, 2011, ancien directeur général adjoint de l'Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information (ANSSI) sur <<http://www.cerac-univ.eu/fr/le-cerac-vous-guide/le-cyberspace-et-ses-dangers>> consulté le 18/06/2015

3 – Industrie du Futur, Réunir la nouvelle France industrielle, mai 2015

4 – SOeS, plate-forme Environnement de l'enquête de conjoncture auprès des ménages (Insee)

5 – Swiss Re, 2014

sur les 10 dernières années est évalué à 188 milliards de dollars) est en augmentation depuis la fin des années 1980. Les inondations représentent le premier aléa en termes de coût pour la France (estimé par les assureurs à plus de 1,8 milliards d'euros en 2014). Les feux de forêts en lien avec les phénomènes météorologiques⁶ constituent un autre aléa majeur pour la France ; ils sont mieux contrôlés, la surface brûlée diminue chaque année malgré l'augmentation du risque (en nombre d'incendies mais également en superficie soumise au risque).

Cette évolution de la fréquence et de la gravité des catastrophes naturelles conduit à la mise en place de moyens de surveillance, à la recherche d'une plus grande résilience des aménagements et à des systèmes d'alerte des populations plus efficaces.

On note que si les risques naturels touchent tous les pays, les conséquences humaines en sont bien souvent nettement plus lourdes dans les pays en développement, du fait de structures moins résistantes et de services de secours moins dotés. Qui plus est, l'urbanisation croissante, voire galopante dans les pays émergents, pose la question de la résilience de ces nouveaux espaces face aux risques, en particulier dans des zones fortement touchées par les risques météorologiques ou sismiques. De nouveaux modes de prévention des risques doivent être déployés tant en termes d'accessibilité qu'en termes de mesures permettant l'alerte des populations.

À ce risque naturel, peut s'ajouter le risque technologique pour générer les « NaTech » (contraction de « naturel » et « technologique »), définies par l'INERIS comme « l'impact qu'une catastrophe naturelle peut engendrer sur tout ou partie d'une installation industrielle – impact susceptible de provoquer un accident, et dont les conséquences peuvent porter atteinte, à l'extérieur de l'emprise du site industriel, aux personnes, aux biens ou à l'environnement. » Si ces catastrophes ne représentent qu'une part modeste de l'ensemble des accidents (5 % des accidents en Europe, 7 % pour la France⁷), elles font l'objet d'une attention particulière et sont considérées comme un risque

6 – Risque évalué selon l'indice Forêt-Météo (IFM)

7 – Base de données ARIA gérée par le Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels (BARPI) du Ministère chargé de l'Écologie et base de données MARS sous la responsabilité du Joint Research Centre (JRC) de la Communauté Européenne. 2012

« majeur ». La fréquence est faible mais la gravité peut être très importante. La catastrophe de Fukushima en 2011 est emblématique de ces NaTech.

RÉGLEMENTATION

En matière de sécurité, les réglementations sont présentes à divers niveaux et intègrent de plus en plus les échelons supranationaux et en particulier européens, tant pour la maîtrise des risques sanitaires et environnementaux, qu'en termes de lutte contre la cybercriminalité et de protection des données personnelles.

Les plans de prévention des risques

Afin de se prémunir contre les risques naturels tels que les inondations, les mouvements de terrain, les avalanches, les éruptions volcaniques, la mise en place de Plans de Prévention des Risques Naturels (PPRN) permet de limiter l'usage des sols. Cette réglementation peut aller de l'interdiction de construire à la possibilité de construire sous certaines conditions. Les objectifs de ces plans sont d'une part de mieux connaître et prévenir les risques naturels (par la surveillance des aléas et la sensibilisation des populations) et, d'autre part de prendre en compte ces aléas directement dans les décisions d'aménagement.

De la même manière, la prévention des risques sanitaires conduit à la mise en place de plans de prévention ponctuels venant renforcer les réglementations sur le transit de marchandises ou de personnes. En parallèle aux phénomènes ponctuels de type épidémiques, des plans de préventions des risques sanitaires sont mis en place en particulier au sein des EPC (Établissement Public Communal) et EPCI (Établissement Public de Coopération Intercommunale).

Les installations à risque

Les installations à risque (sites industriels, ICPE...) sont particulièrement concernées par ces réglementations et leur harmonisation à l'échelle européenne avec notamment la mise en application de la Directive SEVESO 3 à partir du 1^{er} juin 2015. La révision de la directive SEVESO 2 vient modifier et aligner la liste des substances dangereuses sur le modèle de classification du règlement CLP (Classification, Labeling, Packaging), mais surtout elle vient renforcer la politique de prévention des accidents majeurs. La modification de la directive SEVESO élargit la mise en application des réglementations à de nouveaux

établissements et fait passer certains établissements de seuil bas à seuil haut. Les systèmes de gestion de la sécurité seront également applicables aux établissements de seuil bas. En 2011, les investissements de réduction des risques réalisés par les établissements classés Seveso ont représenté un montant global estimé à environ 150 à 200 millions d'euros⁸. Le renforcement de la directive SEVESO 3 implique donc une augmentation des investissements de la part des établissements. Par ailleurs, l'une des principales mesures étant l'accès à l'information pour les populations à proximité des sites, cette mise en application va créer de nouveaux besoins de formation sur les questions de communication vers le public.

Au niveau national, cette directive est renforcée par la réglementation ICPE (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement) qui regroupe « les usines, ateliers, dépôts, chantiers [...] qui peuvent présenter des dangers ou des inconvénients soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publique, soit pour l'agriculture, soit pour la protection de la nature, de l'environnement et des paysages, soit pour l'utilisation rationnelle de l'énergie, soit pour la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique »⁹. Ces installations sont soumises soit à déclaration soit à enregistrement pour celles à faible risque. Lorsque le risque est plus important, elles doivent répondre à des normes de sécurité croissantes et sont soumises à autorisation voire à « autorisation et servitude d'utilité publique » (ce qui correspond aux installations classées SEVESO seuil haut). Toutes sont susceptibles d'être inspectées.

Autour des sites soumis au régime de l'autorisation avec servitudes, sont établis des PPRT, Plan de Prévention des Risques Technologiques. Ils « visent à améliorer la coexistence des sites industriels à haut risques existants avec leurs riverains, en améliorant la protection de ces derniers tout en pérennisant les premiers. »¹⁰. La réduction des risques dans ces zones passe par les mesures foncières sur l'urbanisation existante, des mesures de réduction des risques à la source

(s'ajoutant à celle prévue par la réglementation ICPE), des travaux de renforcement des constructions voisines ou encore des restrictions sur l'urbanisme futur. Ces dispositifs sont élaborés par le Préfet en association avec les communes, les EPCI, les exploitants des installations à risque et la Commission de suivi de site.

Sécurité intérieure et Opérateurs d'importance vitale

La directive SEVESO identifie les sites pouvant s'avérer dangereux en cas d'accident, à ce risque s'ajoute la nécessité de sûreté du site, c'est à dire la résilience du site en cas d'actes de malveillance et notamment de terrorisme. Les sites qui sont soumis à ces autres considérations, définis comme étant OIV (opérateurs d'importance vitale) sont concernés par la mise en place de dispositifs de sûreté propres à leur secteur et définis par les Directives nationales de sécurité en lien avec le code de la défense.

Face aux cybermenaces, l'État réaffirme au travers du Livre Blanc Défense et Sécurité Nationale (2013) la nécessité de s'en prémunir, en particulier concernant les « activités d'importance vitale pour le fonctionnement normal de la Nation ». Cela passe par la mise en place d'un système de protection des systèmes d'information de l'État, des industries stratégiques et des OIV. Cette nécessité se traduit par un volet dédié au sein de la LPM de 2013 qui assure un renforcement des capacités humaines et financières consacrées à la cyberdéfense. L'un des volets consacrés à la recherche et technologie est dédié à la « montée en puissance de la cyberdéfense »¹¹.



8 – DGPR ; *Bilan détaillé des actions nationales 2011 de l'Inspection des Installations classées*

9 – Article L 511-1 du code de l'environnement, Légifrance, consulté le 18/05/2015

10 – <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Maitrise-de-l-urbanisation-PPRT,12775.html>, consulté le 14.09.2015

11 – Loi n° 2013-1168 du 18 décembre 2013 relative à la programmation militaire pour les années 2014 à 2019 et portant diverses dispositions concernant la défense et la sécurité nationale.

L'intérêt de l'État pour la cybersécurité concerne non seulement les enjeux vitaux pour la nation mais également les entreprises et administrations, pour lesquelles les cyberattaques représentent un coût potentiellement important. Les entreprises concentrent en effet plus de la moitié des cyberattaques¹². La prévention et la sensibilisation des entreprises constituent l'un des éléments clés de la promotion de la cybersécurité en France.

La protection des données personnelles

Si les enjeux liés à la protection des données personnelles et notamment les enjeux de protection contre le piratage peuvent être un moteur pour le développement des technologies de cybersécurité telles que l'authentification forte, la législation¹³ encadre le développement de certains systèmes de sécurité en particulier biométriques en raison du caractère « personnel » des données traitées. À titre d'illustration, le système veineux devient de ce fait un mode de contrôle plus aisé à mettre en place : il est infalsifiable et ne se modifie pas avec le temps contrairement aux empreintes digitales. Qui plus est, les restrictions mises en place par la CNIL sont moins sévères notamment concernant le contrôle d'accès : pour mettre en place un système biométrique lié aux empreintes digitales, une demande d'autorisation est nécessaire tandis qu'une déclaration de conformité suffit pour utiliser le système veineux (cf. Authentification Forte).

L'augmentation des activités liés à la valorisation des données massives pose de plus en plus de questions quant à la récupération et à l'usage qui est fait des données personnelles par des tiers (applications, entreprises, individus...), ce qui peut constituer des freins au développement de certaines technologies et activités ; la mise en place en mars 2014 d'un règlement européen sur les données personnelles vise à préciser le cadre des échanges de données transfrontaliers et garantir l'uniformité de leur traitement. Le non-respect de ce règlement implique des amendes allant jusqu'à 100 millions d'euros ou 5 % du chiffre d'affaires annuel de l'entreprise contrevenante. De nouvelles dispositions en discussion devraient renforcer le cadre de protection des données sur Internet.

12 – Baromètre de la cybersécurité, Usine Digitale, Orange Business, 2014

13 – LOI n° 2004-801 du 6 août 2004 relative à la protection des personnes physiques à l'égard des traitements de données à caractère personnel et modifiant la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés

La loi n° 2015-912 du 24 juillet 2015 relative au renseignement et ses évolutions pourront venir modifier le contexte du marché de la sécurité à l'interface des données personnelles. Cette loi vise à renforcer l'arsenal juridique face aux menaces pour notre sécurité. La loi, outre la lutte contre le terrorisme, concerne aussi la prévention de la criminalité organisée, ainsi que la sécurité des intérêts essentiels de la France. Plusieurs outils pourront être mis en place pour rendre plus efficaces les dispositifs de surveillance. Il est prévu que cette loi et son impact soient évalués dans les 5 ans.

La réglementation peut aussi permettre aux entreprises du secteur de la sécurité de gagner en visibilité grâce aux différentes labellisations et certifications mises en place à l'échelle nationale et européenne. Les normes ISO, certaines certification comme APSAD (sur les risques incendies) sont en place depuis longtemps. Depuis quelques années, la certification des acteurs de la sécurité se développe principalement en lien avec les enjeux de confiance numérique :

■ Le règlement eIDAS qui porte sur l'identification électronique et les services de confiance pour les transactions électroniques au sein du marché intérieur, définit le cadre relatif à la sécurisation des services de confiance proposés par les États membres. Les exigences prévues par ce règlement et les actes d'exécution associés, en matière de certification, seront dimensionnantes pour les entreprises du secteur ;

■ parmi les actions prioritaires de la solution « confiance numérique » de la nouvelle France industrielle figure la création du label France Cybersecurity destiné à promouvoir l'offre française de produits et de services de cybersécurité à l'export ;

■ la Solution « confiance numérique » de la nouvelle France industrielle prévoit également la mise en place d'un schéma de labellisation des formations en cybersécurité courant 2016.

MARCHÉ

Pour une vision approfondie du marché (hors le champ environnemental visé supra), nous recommandons la lecture de l'étude du PIPAME¹⁴ « Analyse du marché et des acteurs de la filière industrielle française de sécurité » (2015).

14 – Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques

Le marché de la sécurité se structure en différents segments se déclinant face aux différents types de risques.



Le marché de la sécurité et ses différents segments sont corrélés aux évolutions de notre environnement : la mobilité accrue des populations et l'ouverture des frontières, l'intégration de nouvelles technologies toujours plus connectées et les évolutions démographiques et sociologiques ont un impact sur ce marché.

Les facilités de transports et d'échanges induisent pour les marchandises des besoins de contrôle toujours plus importants en termes de traçabilité (capteurs et traceurs) et de veille sanitaire (contrôle aux aéroports, réglementation douanière pour l'importation). La mobilité des populations induit également une nécessaire adaptation à la fois en termes de contrôle d'identité (passeport biométrique) que de veille sanitaire (détecteurs aux aéroports pour limiter les risques de propagation de maladies contagieuses).

La prévention des risques

En appliquant le ratio généralement admis que 1 euro investi en prévention permet une économie de 7 euros de coûts induits par une catastrophe naturelle, on peut évaluer, compte tenu des dommages annuels estimés en moyenne à 200 Md \$, le marché mondial annuel de la prévention à un montant atteignable de près de 30 Md \$.

Le marché de la prévention et la gestion du risque naturel en France est de l'ordre de 150 à 350 millions d'euros¹⁵ et est influencé par l'augmentation des catastrophes naturelles en nombre et en gravité. À titre

d'illustration, une crue centennale de la Seine comparable à celle de 1910 aurait aujourd'hui un coût estimé de 30 à 40 milliards d'euros.

La prévention des risques environnementaux d'origine anthropique est avant tout un marché de la surveillance avec au cœur de la prévention des risques, la métrologie et les technologies de capteurs et de traitement de la donnée associée (l'analyse de l'air, de l'eau et des sols, l'observation satellitaire, l'ingénierie de données environnementales). Ce secteur de la prévention est cependant davantage lié aux marchés de l'environnement et sera donc traité dans la section correspondante.

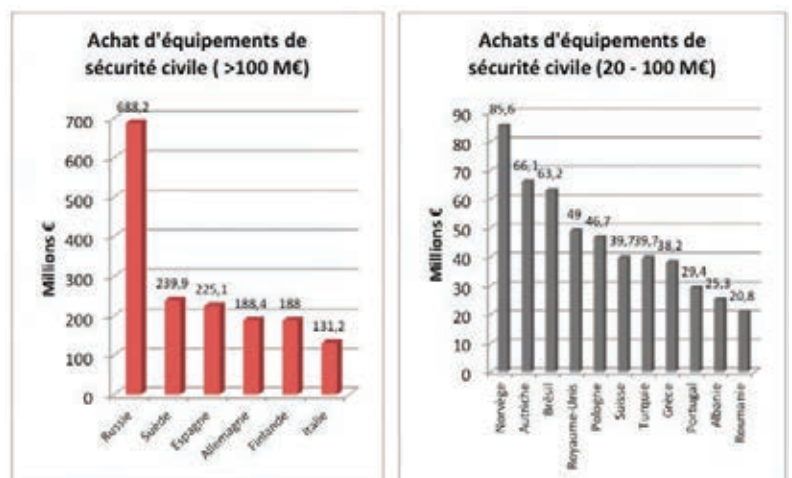


Figure 1 : Volume d'achats (M€) : Equipements Protection civile - Données recueillies par le pôle Risques, 2012

Les moyens de protection civile, s'ils sont plus largement mobilisés par les risques naturels, sont communs avec les risques technologiques. En 2013, le budget global des dépenses de sécurité civile s'est élevé à près de 870 millions d'euros dont 270 pour le matériel d'incendie et autant pour les autres dépenses d'équipement¹⁶. Le marché extérieur est relativement similaire en termes d'équipements.

La surveillance et la prévention des risques est un marché en constante évolution du fait de l'augmentation des phénomènes naturels mais aussi en lien avec l'introduction de nouvelles énergies et de nouveaux matériaux (voiture électrique, énergie éolienne). Cela conduit à la naissance de nouveaux moyens de lutte

15 – Pôle Risque, 2013

16 – Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises ; *Les statistiques des services d'incendie et de secours* ; édition 2014.

contre les incendies, les pollutions et implique l'introduction d'une ingénierie de la résilience dans les secteurs innovants (habitats durables et sécuritaires, prise en compte des catastrophes naturelles potentielles dès la conception). La recherche en matière de nano-sécurité et liée au développement des nanotechnologies représente ainsi 14 à 30 millions d'euros par an à l'échelle européenne (PCRD).

Sécurité connectée

La prise en compte des enjeux de sécurité se développe, en particulier dans les pays développés mais aussi de plus en plus dans les pays émergents. La recherche du risque zéro est une tendance de plus en plus présente au sein des populations qui souhaitent une réelle protection face aux différents risques. Cette recherche du risque zéro est accentuée par l'augmentation des aléas (catastrophes naturelles, actes de malveillance, etc.). L'augmentation du vandalisme et de la criminalité conduit par exemple les particuliers et les entreprises à s'équiper face aux risques notamment au travers d'appareils de vidéosurveillance, de contrôle d'accès... Le marché de la vidéosurveillance a connu une hausse de 12 % en 2014. À l'échelle mondiale et tiré par les pays émergents, le taux de croissance de la vidéosurveillance est supérieur à 10 % (12 % en 2014 pour 15,9 milliards de dollars¹⁷) et ne devrait pas faiblir en particulier concernant la vidéosurveillance IP. Ce dernier devrait atteindre 43 milliards de dollars d'ici 2019 avec un taux de croissance annuel supérieur à 20 %¹⁸ avec en première position l'Amérique du Nord suivie par la région Asie-Pacifique. Le marché du transport représente le premier demandeur (transport public et réseaux routiers).

Le développement de la domotique facilite le développement de ce marché à destination des particuliers par l'intégration des systèmes à un ensemble de services proposés par les applications domotiques. Ce marché est corrélé à celui du bâtiment puisque 80 % des installations domotiques se font sur des logements neufs. Le marché mondial de la domotique devrait croître de 30 % par an en moyenne d'ici à 2020 pour atteindre plus de 35 milliards de dollars¹⁹.

17 – IHS Technology

18 – *Video Surveillance and VSaaS Market – Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2013-2019*; Transparency Market Research

19 – Financière d'Uzes, « Les objets connectés », 2011

Cette situation engendre également un terrain favorable au développement des contrôles dans les lieux publics. Entre 2009 et 2011, le nombre de caméras de vidéosurveillance dans les communes françaises est passé de 20 000 à 60 000. Les contrôles d'accès, facilités par les technologies du sans contact et le développement des technologies biométriques (notamment les dispositifs qui permettent de ne pas conserver des données à d'autre fin que le contrôle d'accès avec par exemple l'usage du contour de la main), se développent dans des établissements jusque-là peu équipés (petites collectivités locales, PME, établissements d'enseignement, etc.). Les marchés de la détection intrusive, du contrôle d'accès et de la vidéosurveillance vont connaître une hausse de l'ordre de 6 % par an en France entre 2013 et 2020 (base 2013 environ 150 millions d'euros²⁰), plaçant ainsi la France en 3^{ème} position à l'échelle européenne derrière l'Allemagne et le Royaume Uni.

Les enjeux de la surveillance et de la protection (autant physique que cyber) résident dans la capacité d'anticipation avec entre autres le développement de l'analyse comportementale par détection de mouvements (de foule ou de personne) mais également par l'analyse des comportements déviants dans le monde virtuel. Ce marché s'adresse à la fois aux secteurs public (lieu public, sites gouvernementaux...) et privé, entreprises comme particuliers.

La cyber-sécurité

L'augmentation du nombre et des applications des objets connectés, ainsi que le développement des environnements digitaux créent de nouveaux risques et donc un nouveau marché pour le secteur de la sécurité : la connectivité des populations conduit au besoin de protection des données personnelles face à la cybercriminalité. Le marché de la cybersécurité est ainsi en plein essor avec un taux de croissance de 7 à 8 % par an, il devrait atteindre 86 milliards de dollars en 2016 à l'échelle mondiale.²¹

L'Internet des objets induit un accroissement des problématiques liées aux transactions de données du fait de l'augmentation du nombre d'objets connectés. Selon l'Idate, leur nombre devrait atteindre 80 milliards

20 – Atlas 2012 d'En toute Sécurité

21 – <<http://dge-et-vous.entreprises.gouv.fr/numero-003>>, consulté le 12/05/2015 – chiffres d'une étude du cabinet Gartner.

en 2020 dans le monde, tous secteurs confondus. Qui plus est, les usages faits des objets connectés, en particulier du smartphone, sont de plus en plus hétérogènes et incluent des actions sensibles (paiement sans contact). Cela accentue encore le besoin de sécurisation. À cela s'ajoute la connectivité croissante d'équipements sensibles comme les voitures ou les trains (le marché de la voiture connectée devrait quasiment quadrupler d'ici à 2020²²) mais également les dispositifs médicaux connectés. Le renforcement de la sécurisation est donc un défi majeur et ce d'autant qu'il ne doit pas venir alourdir l'expérience utilisateur du dispositif.

La dématérialisation de nombreux services privés et publics (services bancaires, impôts, CAF, élection en ligne, citoyenneté numérique) induit la nécessité d'un renforcement des systèmes de sécurité informatique. La sécurité des réseaux connaît ainsi une croissance à deux chiffres depuis 2008 atteignant un taux de croissance de 17 % en 2012 en France pour un chiffre d'affaire de 1,1 milliards d'euros²³. La cybersécurité dans son ensemble représente 40 000 emplois en France²⁴.

Le développement du marché de l'authentification et notamment de l'authentification forte est corrélé au précédent. Les enjeux sont d'autant plus importants que l'usage de technologies de stockage dématérialisé ou d'accès à distance comme le cloud se déploie rapidement avec notamment la multiplication des supports d'usage (téléphone, tablette, ordinateur...).

PRODUCTION

La production industrielle dans le domaine de la sécurité souffre avant tout du coût de la main d'œuvre dans les pays développés.

La production des équipements de protection individuelle (EPI) en France est de plus en plus compliquée face à la concurrence asiatique à moindre coût. Pour pallier cela, la délocalisation partielle est courante. Cependant, des atouts sont mis en exergue par les entreprises françaises avec notamment les délais de livraison plus courts, la préservation des secrets de production et la maîtrise de la propriété intellectuelle.

22 – The Connected C – 2014 Study PwC

23 – Atlas 2014 d'En toute sécurité

24 – Industrie du futur, Réunir la Nouvelle France Industrielle, mai 2015.

La production des cartes à puce, secteur dans lequel la France est en bonne position, fait appel à différents acteurs et en premier lieu les fondeurs implantés en majeure partie en Asie (TSMC et UMC à Taïwan et CSM en Chine). Les développeurs qui fournissent les logiciels sont peu nombreux (Trusted Logic ou Gemalto par exemple). Le marché des encarteurs est oligopolistique avec 4 acteurs mondiaux dont deux français (Gemalto, Oberthur, Giesecke & Devriert et Morpho). Les encarteurs régionaux commencent à émerger en particulier en Chine (Datang, Eastcom Peace). La montée en puissance de ces nouveaux acteurs fait chuter la compétitivité des cartes à puce françaises dont 60 à 70 % du coût global réside dans le coût de la main d'œuvre. L'activité de l'encartage connaît donc un très fort taux de délocalisation. Seules les activités de logiciel et de personnalisation des cartes à puce restent encore en France.

Cependant, la concentration de cette activité donne également naissance à un écosystème d'acteurs innovants. Les start-ups comme Secure ID ou TrustInSoft, ou les centres d'Évaluation de la Sécurité des Technologies de l'Information (CESTI) tels que le laboratoire d'expertise Serma, le LETI, ou encore Thalès CEACI bénéficient de la présence des acteurs mondiaux français afin de se positionner sur le marché.

Les grandes tendances

TECHNOLOGIQUES

Le domaine de la sécurité favorise l'émergence de technologies spécifiques notamment dans le cadre de technologies militaires pouvant ensuite être adaptées à la sécurité civile. Le développement concomitant des technologies n'est pas rare d'autant que certaines entreprises travaillent à la fois pour la sécurité militaire et la sécurité civile.

Les TIC occupent une place de plus en plus centrale en matière de sécurité civile comme militaire :

■ Les technologies de protection des données sont de plus en plus stratégiques, et ce à la fois en amont via **l'authentification** et lors du transfert de données via les technologies de **communication sécurisée** ;

■ La **valorisation des données massives** est une réalité centrale dans le domaine de la sécurité informatique : la surveillance des réseaux, l'authentification

et l'autorisation des utilisateurs, la gestion des identités, la détection des fraudes, les contrôles de sécurité, etc. Son exploitation permet aux responsables de la sécurité des systèmes d'information et aux directeurs des systèmes d'information de corrélérer l'information pour avoir une représentation la plus fidèle possible des vulnérabilités et menaces, et permet de répondre en partie aux cybermenaces. La mise en place de techniques d'anonymisation du stockage des données permettrait de développer à son maximum la valorisation des données massives tout en traitant les données dans un cadre de protection adéquat.

D'autres technologies des TIC sont utilisées dans le secteur de la sécurité :

■ la **réalité virtuelle et la réalité augmentée** sont des technologies réutilisées par les secteurs de la sécurité civile et militaire pour la mise en situation (exercice de gestion de crise, formation du personnel) et l'immersion ;

■ **l'intelligence artificielle et l'analyse comportementale** viennent faciliter le traitement des informations et la décision face à l'affluence de données liée à l'augmentation de la surveillance. Ainsi des systèmes capables de détecter un comportement divergent permettent de contrecarrer une cyberattaque avant que celle-ci ne se produise. En l'état actuel des technologies, il est possible de bloquer une cyberattaque lorsque celle-ci a lieu, d'anticiper une nouvelle attaque similaire mais l'action de lutte s'effectue toujours en réaction non en anticipation. Cette capacité d'anticipation est un verrou majeur dans l'avancée de l'analyse comportementale.

Les capteurs (intégrés ou non à d'autres technologies comme les textiles techniques) sont utilisés dans différents secteurs de la sécurité. La métrologie est particulièrement concernée avec des associations possibles à d'autres technologies notamment de datamining ou de robotique.

La robotique, dont les drones, se développe dans le champ de la sécurité en particulier militaire mais également civile au travers de la robotique de surveillance (sites industriels) et de surveillance environnementale ou encore de la cobotique (assistance à personne). Notons que les drones sont des outils au service de la sécurité, mais qu'ils peuvent également représenter une menace à prendre en compte dans les stratégies de prévention et de sécurité.

Les différents matériaux avancés incluant les textiles techniques et intelligents s'avèrent utiles en matière de protection environnementale (barrage antipollution), de lutte contre les catastrophes (digues anti-inondation). Les équipements de protection individuelle (EPI) sont également un débouché pour les textiles techniques développant résistance au feu, aux produits chimiques... tout en préservant une certaine ergonomie pour s'adapter aux usages. Les EPI deviennent également de plus en plus performants. La recherche d'une connectivité intégrée permet d'anticiper les risques pour la personne munie de l'équipement. La localisation, la surveillance des paramètres vitaux permettraient d'identifier les défaillances et la position de la personne en danger.

INDUSTRIELLES

La production industrielle dans le secteur de la sécurité est influencée par le degré d'importance des technologies utilisées. Les centres de R&D restent implantés en France mais, s'agissant des équipements utilisant peu de technologies « sensibles » comme les équipements d'interdiction d'accès, les équipements de protection et les textiles techniques, les lieux de production importent relativement peu (cf. 2.4 Production). Les équipements de protection de base (gants, chaussures, lunettes...) sont majoritairement fabriqués par des entreprises asiatiques, et les entreprises françaises sous-traitent la fabrication de ce type d'éléments à leurs filiales étrangères. Cependant, l'obligation de respecter la norme NF pour certains équipements de sécurité (comme les DAAF) donne un avantage aux entreprises disposant de leurs sites de production en France, ceux-ci étant considérés comme un gage de qualité.

Pour ce qui est des véhicules de sécurité (incendie, ambulances, forces de l'ordre...), l'activité de carrosserie est majoritairement implantée en France. Bien que l'un des premiers acteurs français, le groupe Gruau, dispose d'antennes en Espagne et en Pologne (sur les sites à proximité des constructeurs automobiles français), les activités liées aux véhicules sanitaires ou ambulances se font sur les différents sites français. Il en va de même pour les activités de GifaCollet dont les deux sites de production sont français (Normandie et Vendée).

Dès lors que les technologies développées ont des domaines d'application impliquant la sécurité intérieure

par exemple (technologie des communications, systèmes liés à la cyber-sécurité), les questions de souveraineté nationale sont primordiales (comme le montre la possibilité de restreindre l'accès aux marchés publics pour « exception de sécurité »).

Deux grandes tendances dans le secteur de la défense résident dans l'association entre acteurs publics et privés, et l'innovation duale. Le financement de la R&D militaire bénéficie donc aussi aux entreprises civiles. L'État prévoit un investissement de 730 millions d'euros d'ici à 2019 pour ses dépenses de R&D militaires selon la Loi de Programmation Militaire et une partie de cette somme est dédiée aux innovations duales. La Direction générale de l'armement (DGA) par exemple, dans le cadre du dispositif RAPID (régime d'appui aux PME pour l'innovation duale) subventionne des projets de recherche industrielle ou de développements expérimentaux intéressant le secteur de la défense. Le dispositif RAPID est ouvert en permanence et les projets peuvent être déposés à tout moment. Les projets éligibles doivent être innovants, à fort potentiel technologique et présenter des applications à la fois sur les marchés militaires et civils.

D'USAGE

La prévention des risques se pense de plus en plus à une échelle globale et transnationale. Les États travaillent de plus en plus conjointement pour prévenir et lutter contre les différents risques de grande envergure (crise sanitaire, catastrophe naturelle, cybercriminalité). Cette nécessaire coopération suppose une uniformisation des réglementations à l'image de la directive Seveso 3 mais aussi dans certains cas une interopérabilité des systèmes qui n'est pas toujours effective au sein même des États entre les différents services. La gestion de crise est de plus en plus gérée via des technologies informatiques : la simulation en temps réel est déjà très présente au sein des centres opérationnels pour les mises en situation. De même, la formation du personnel de sécurité civile (pompiers, policiers...) s'effectue au travers de mises en situation par la réalité virtuelle. Le déploiement de l'infrastructure Antares (Adaptation nationale des transmissions aux risques et aux secours) fait par exemple partie des enjeux budgétaires français concernant la sécurité civile. Il s'agit d'un réseau Radio numérique chiffré national dans la bande 380-410 MHz basé sur une technologie TETRAPOL.

D'autre part, l'utilisateur est de plus en plus confronté aux cyber-risques et impliqué dans la prévention de ceux-ci. En lien avec le déploiement des objets connectés (domotique, voiture, smartphone...) et le transit accru de données personnelles, les risques augmentent. Face à la méfiance accrue de l'utilisateur, l'objet connecté doit donc s'adapter et instaurer la confiance face aux risques de piratage (prise de contrôle de l'objet par un tiers, vol de données). Cette sécurisation des objets passe par le développement d'une cybersécurité « by design ».

Celle-ci se déploie également au travers de la communication et de l'éducation aux cyber-risques (vol des données personnelles) augmentant avec le nombre d'objets connectés et de services d'e-gouvernement. La prévention peut passer par le biais de serious games, de diffusion de messages préventifs...

La position de la France

Pour une analyse plus détaillée sur les acteurs de la sécurité et la position de la France, nous recommandons la lecture de l'étude du PIPAME « Analyse du marché et des acteurs de la filière industrielle française de sécurité » (2015).

INDUSTRIELLE

La France compte quelques acteurs industriels majeurs dans le domaine de la sécurité avec en premier lieu Morpho sur l'anti-terrorisme, le contrôle d'accès et la sécurité incendie. Avec un chiffre d'affaire de 1,5 milliards d'euros en 2014 et 9 % de celui-ci dédié à la R&D²⁵, Morpho est le leader mondial des documents d'identité sécurisés par la biométrie, des systèmes automatisés d'identification biométrique des empreintes digitales, de l'iris et du visage, et troisième en termes de cartes à puce.

Thales Communication & Security est le numéro un européen dans les produits et systèmes d'information et de communication sécurisés pour les forces armées et de sécurité et dans les systèmes de sécurité urbaine, de protection des infrastructures critiques et des voyageurs. Avec 20 % de son chiffre d'affaire dédié à la

25 – <<http://www.morpho.com/>>, consulté le 18/02/2015

R&D, la filiale du groupe Thales dispose de l'un des centres majeurs de R&D.

Gemalto, avec un chiffre d'affaires de 2,4 milliards d'euros, se positionne également parmi les leaders mondiaux en termes de sécurité numérique (principalement les services bancaires et les services d'e-gouvernement) et plus particulièrement sur les systèmes d'exploitation sécurisés embarqués dans divers objets comme les cartes UICC ou SIM, les cartes bancaires, les tokens, les passeports électroniques...

Oberthur Technologies, avec un chiffre d'affaires de 950 millions d'euros en 2013, est le deuxième fabricant mondial de carte à puce. Ce groupe international concentre une grande partie de ces activités de R&D en Bretagne et concentre ses activités sur les domaines des Smart Transactions, du Machine-to-Machine, de l'identité numérique et du Contrôle d'accès.

Cassidian, aujourd'hui intégré au sein d'Airbus Defence and Space, est un leader mondial dans le domaine des solutions et systèmes de sécurité intégrés.

Concernant les équipements de sécurité civile, la France compte quelques industriels bien positionnés ou dispose de filiales de grands groupes. Desautel et Camiva (filiale du groupe IVECO Magirus, spécialiste mondial du matériel de lutte contre l'incendie) pour les engins d'incendie et de secours, Pok (avec un chiffre d'affaires de 15 million d'euros dont 50 % à l'export dans 75 pays²⁶), Leader ou encore Pons pour les matériels portables, le Groupe Gruau pour les ambulances. Les équipements de protection individuelle (EPI) sont principalement produits par Balsan (30 millions d'euros de chiffre d'affaires en 2013²⁷), Paul Boye (61,8 millions d'euros de chiffre d'affaires en 2013²⁸), MSA-Gallet (filiale du groupe américain MSA) et Honeywell Safety (filiale du groupe américain Honeywell).

La France compte également une multitude de petits acteurs locaux dynamiques qui se concentrent sur les marchés français de la sécurité. On dénombre 4 500 entreprises intervenant sur le marché de la sécurité.

26 – <<http://www.pok.fr/societe/>>, consulté le 18/02/2015

27 – <<http://www.balsan.fr/>>, consulté le 18/02/2015

28 – <http://www.paul-boye.fr/>, consulté le 18/02/2015

L'État soutient la structuration de la filière industrielle de la sécurité en France et a pour cela donné naissance en 2013 au Comité de la filière des Industries de Sécurité (COFIS). Les objectifs du comité reprennent principalement les éléments suivants mis en lumière par le Livre Blanc sur la défense et la sécurité publié la même année :

- identifier les forces et faiblesses du marché français de la sécurité;
- identifier les technologies critiques et stratégiques à préserver ou développer;
- élaborer un premier recensement des besoins prioritaires de l'État et des opérateurs;
- soutenir le lancement de projets de démonstrateurs structurants pour la filière;
- soutenir les entreprises française à l'export, favorisant l'émergence du « Club France » ;
- utiliser le levier européen, en proposant une stratégie nationale publique-privée vis-à-vis des instruments européens;
- mettre en réseau les acteurs.

Sur ce dernier point, la structuration de la filière permettra entre autres au vivier de PME et de start-ups innovantes de gagner en visibilité et en force de frappe. Le secteur reste aujourd'hui plutôt atomisé, faciliter des regroupements à l'image d'HexaTrust créé en 2013 renforcerait l'attractivité des PME françaises pour les clients étrangers.

Parallèlement à l'émergence du COFIS, l'année 2014 a vu la mise en place et la montée en puissance de la Délégation ministérielle aux industries de sécurité (DMIS) au sein du Ministère de l'Intérieur. S'intégrant dans un écosystème d'acteurs institutionnels implantés depuis longtemps comme la DGA, la SGDSN, l'ANSSI ou encore la DGAC, la mission centrale de la DMIS est de contribuer à la création et à la structuration d'une filière industrielle de sécurité. Elle accompagne les acteurs qui développent et conçoivent des solutions techniques, aussi bien en termes d'équipements, de systèmes ou de technologies avancées. Cette mission se décline notamment dans les domaines de la prospective et de l'innovation.

ACADÉMIQUE

La France dispose également de laboratoires de recherche reconnus sur le secteur de la sécurité. Le CEA

se concentre sur la sécurité nationale et les enjeux de défense, c'est l'un des acteurs de la dissuasion nucléaire, il focalise également les questions des risques liés à la production d'énergie nucléaire, d'entretien et de démantèlement des centrales. Le CEA LIST (Laboratoire d'intégration des systèmes et des technologies) concentre quant à lui ses activités en matière de sécurité autour des systèmes embarqués et surtout sur les capteurs et le traitement du signal.

Le GIS 3SGS (Surveillance, Sûreté et Sécurité des Grands Systèmes) dont le centre névralgique est implanté au sein de l'Université de Technologie de Troyes, regroupe 10 laboratoires publics et privés dont :

■ Le CRAN : Centre de Recherche en Automatique de Nancy (UHP, INPL, CNRS)

■ Heudiasyc : Heuristique et diagnostic des systèmes complexes (UTC, CNRS)

■ L'Institut Charles Delaunay (UTT, CNRS) avec plus particulièrement le LM2S (Laboratoire de Modélisation et Sûreté des Systèmes)

■ LAGIS : Laboratoire d'Automatique, Génie Informatique & Signal (USTL, ECL, CNRS)

■ LAMIH : Laboratoire d'Automatique de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines (UVHC, CNRS)

■ LCFR : Laboratoire de Conduite et Fiabilité des Réacteurs (CEA)

■ LORIA : Laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications (UHP, INPL, INRIA, CNRS)

Ses thèmes de recherche recoupent différents domaines comme les enjeux de pronostic et diagnostic (validation de données, tolérance aux fautes, évaluation quantitative des risques, modélisation des dégradations et des défaillances, modélisation des incertitudes, réseaux de capteurs), d'estimation, de stratégie proactive et d'aide à la décision, la simulation et les supports à la formation (modélisation des comportements, des situations de crise, interface multitouche), l'organisation et le management des risques ainsi que la sécurité des réseaux et les questions liées à la cybercriminalité (équipements nomades, protection de la vie privée...).

Sur ce dernier axe de recherche, Telecom ParisTech et EDF ont créé un laboratoire de recherche conjoint

centré exclusivement sur la recherche en sécurité et Internet des objets, le SEIDO.

Les enjeux de sécurité liés aux matériaux se retrouvent au sein de différents centres de recherche comme le Limatb de l'Université de Bretagne qui travaille sur l'Ingénierie des matériaux et dispose d'une branche concernant les matériaux intelligents et auto-réparables.

L'INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques) se focalise sur l'évaluation et la prévention des risques liés aux installations industrielles, aux exploitations souterraines..., que ces risques soient accidentels ou chroniques. Il effectue des travaux de recherche amont autour de quelques priorités scientifiques tels que le développement de méthodes permettant de prédire les dangers des substances chimiques ou le développement de mesures dans les milieux complexes (air, eau, sol) en particulier de polluants émergents (nanoparticules). Il contribue également à la mise au point de procédés industriels et au développement de nouvelles technologies (hydrogène, nanomatériaux) plus sûres, intégrant dès leur conception la maîtrise des risques.

Le LabEx SERENADE dont est membre l'INERIS se concentre quant à lui sur la nano-sécurité lié aux développements des nanomatériaux, aux conséquences d'exposition répétées, aux enjeux de fin de vie...

À ces laboratoires spécifiquement centrés sur la sécurité viennent s'ajouter des acteurs travaillant sur des axes précis de la sécurité comme :

■ Le LCIS – Laboratoire de Conception et d'Intégration des Systèmes qui est principalement orienté vers les systèmes embarqués et communicants,

■ l'INRETS, l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité,

■ l'ONERA travaillant sur les enjeux de sécurité dans l'aérospatial,

■ le CNRFID qui travaille sur les solutions RFID et NFC et s'intéresse donc aux enjeux de sécurité qui y sont liés,

■ l'XLim centré sur l'électronique, l'optique-photonique, la CAO, les mathématiques, l'informatique et l'image, dont l'un des domaines d'application sont les environnements sécurisés, de la bio-ingénierie, des nouveaux matériaux, de l'énergie et de l'imagerie.

Plusieurs pôles de compétitivité et une grappe d'entreprises viennent également structurer le secteur :

- Le pôle Risques concentre son action sur les questions liées à la gestion des risques (naturels, industriels et chroniques), à la vulnérabilité des territoires et aux enjeux de sécurité civile. Il regroupe 260 adhérents principalement localisés dans les régions Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur, son zonage régional, mais il travaille également en collaboration avec l'Espagne, l'Allemagne, la Tunisie, le Maroc...
- Le pôle SCS (Solutions Communicantes Sécurisées) est un pôle mondial implanté en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Il regroupe des acteurs de la microélectronique, des logiciels, des télécommunications et du multimédia, autour des services et usages des Technologies de l'Information et de la Communication.
- Le pôle TES (Transactions électroniques sécurisées) concentre son activité autour des techniques électroniques, informatiques et télématiques

permettant d'effectuer des échanges d'informations sûrs et en confiance.

- Le pôle Systematic regroupe les acteurs de la révolution numérique appliqués à différents marchés et dispose notamment d'un axe Confiance Numérique & Sécurité.
- Le cluster Eden, labellisé grappe d'entreprise par le CGET (ex-DATAR), originellement implanté en Rhône-Alpes, bénéficie aujourd'hui d'antennes en Bretagne, en Provence-Alpes-Côte d'Azur et en région Centre. Il regroupe des PME du secteur de la défense.

D'autres pôles interviennent également sur le secteur de la sécurité sans pour autant être structurés de façon à gérer les projets suivant une segmentation sécurité. C'est le cas des deux pôles Mer (Bretagne et PACA), de CapDigital, Image et Réseaux, Minalogic ou encore I-Trans.

Notons enfin que l'ANSSI dispose de compétences très avancées en matière de R&D en cybersécurité et joue donc un rôle majeur en matière de structuration de l'écosystème.

Matrice AFOM

ATOUTS

Quelques acteurs français parmi les leaders mondiaux

Un tissu industriel qui se structure progressivement

Bon positionnement des acteurs académiques français

Enjeux de souveraineté nationale

FAIBLESSES

Délocalisation des activités industrielles à faible valeur technologique (EPI)

Difficulté à l'export pour les PME du secteur

OPPORTUNITÉS

Contexte sociétal propice au développement technologique

Augmentation du nombre de catastrophes naturelles

Définition de la cybersécurité comme priorité nationale au sein de la solution « confiance numérique » et établissement d'une stratégie nationale de cybersécurité par le gouvernement

Création d'un label France Cybersecurity

MENACES

Développement d'acteurs internationaux

Question d'acceptabilité de la surveillance par les populations

SOURCES

Alliance pour la Confiance Numérique, 2013, *Observatoire de la filière de la confiance numérique en France*

Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises, 2012, *Les statistiques des services d'incendie et de secours*

DGPR, 2011, *Bilan détaillé des actions nationales 2011 de l'Inspection des Installations classées*

En toute sécurité, 2014, *Atlas 2014*

Haut Comité Français pour la défense Civile, 2011, *Risques et menaces exceptionnels – Quelle préparation ?*

INERIS, 2011, *Les « NaTech » à la croisée des risques majeurs*

MSI Reports, 2013, *Marché des systèmes de sécurité électroniques dans le secteur non résidentiel en France*

MSI Reports, 2014, *Le marché du contrôle d'accès électronique en France*

MSI Reports, 2014, *Marché des équipements de protection individuelle de la tête et du corps en France*

OCDE, 2013, *Report of the workshop on NaTech risk management*

Pôle Risques, 2013, *Feuille de Route stratégique*

PIPAME, 2015, *Analyse du marché et des acteurs de la filière industrielle française de sécurité*

GLOSSAIRE

ANSSI : Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information

ANTARES : Adaptation Nationale des Transmissions Aux Risques Et aux Secours, réseau numérique des services publics de sécurité civile

APSAD : Assemblée Plénière de Sociétés d'Assurances Dommages – la certification APSAD est une marque de certification attestant de la qualité d'un système de sécurité incendie

APT : Advanced Persistent Threat ou Menace Persistante Avancée

BYOD : Bring Your Own Device

CESTI : Centre d'Évaluation de la Sécurité des Technologies de l'Information

CLP : Classification, Labelling, and Packaging of substances and mixture : réglementation européenne sur la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances et mélanges.

CNIL : Commission Nationale de l'informatique et des libertés

CNRFID : Centre National RFID

COFIS : Comité de la Filière des Industries de Sécurité

CRAN : Centre de Recherche en Automatique de Nancy

DAAF : Détecteur Autonome Avertisseur de Fumée

DGA : Direction Générale de l'Armement

DGAC : Direction générale de l'aviation civile

DMIS : Délégation ministérielle aux industries de sécurité

EPC : Établissement public communal

EPCI : Établissement public de coopération intercommunale

EPI : Équipement de protection individuelle

ETIC : Étude de l'Incendie en milieu Confiné

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des risques

INRETS : Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

LAGIS : Laboratoire d'Automatique, Génie Informatique et Signal

LAMIH : Laboratoire d'automatique de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines

LCFR : Laboratoire de Conduite et Fiabilité des Réacteurs

LCIS : Laboratoire de Conception et d'Intégration des Systèmes

LORIA : Laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications

LETI : Laboratoire d'électronique et de Technologie de l'Information

LIE : Laboratoire des Incendies et Explosifs

LM2S : Laboratoire de Modélisation et de Sûreté des Systèmes

Natech : contraction de « naturel » et « technologique », un aléa naturel ayant un impact sur une installation industrielle entraînant un ou une série d'accidents avec des effets majeurs à l'extérieur du site.

OIV : Opérateur d'Importance Vitale

PCRD : Programme Cadre de Recherche et Développement

PIPAME : Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques

PPRN : Plan de Prévention des Risques Naturels

PPRT : Plan de Prévention des Risques Technologiques

RAPID : Régime d'Appui aux PME pour l'Innovation Duale

SGDSN : Secrétariat Général de la Défense et de la Sécurité Nationale

TETRAPOL : norme de radiocommunication numérique, principalement implémentée dans des matériels utilisés par des forces de sécurité

ZSP : Zone de Sécurité Prioritaire



ENVIRONNEMENT

Définition

Au sein de cette étude, l'environnement recouvre les activités et pratiques de gestion durable de l'eau, des sols, de la qualité de l'air et des déchets, mises en place aussi bien par les opérateurs de services à l'environnement que les autres industriels, les collectivités ou encore les particuliers.

Ces activités et pratiques durables cherchent à limiter les pressions sur les écosystèmes à travers une exploitation des ressources naturelles raisonnée et respectueuse de la biodiversité. Elles se démarquent ainsi du régime de croissance économique et démographique actuel fondé sur une exploitation de plus en plus intensive des ressources. Ce régime accentuerait les menaces sur les équilibres naturels en amplifiant notamment les pollutions chimiques, atmosphériques, organiques et biologiques¹. Il contribuerait directement au réchauffement climatique selon le 5^e rapport du GIEC² publié en 2014 : « *L'influence humaine sur le système climatique est claire, les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) d'origine anthropique sont les plus élevées de l'histoire* ». La croissance démographique (7,3 milliards d'individus en 2015, 7,7 milliards en 2020) est par ailleurs couplée à un phénomène d'urbanisation qui accroît d'autant plus les pressions sur l'environnement (artificialisation des sols, menace

sur la biodiversité, etc.) : 54 % de la population vit actuellement en zone urbaine et cette proportion devrait passer à 66 % d'ici 2050³.

De la réduction des émissions de GES au recyclage des déchets, en passant par la gestion raisonnée des systèmes vivants et la préservation des écosystèmes, les enjeux pour un développement plus durable sont nombreux. Ils font l'objet d'une littérature abondante (rapports du GIEC, rapports de l'Agence Européenne, etc.) et motivent la prise d'initiatives politiques et réglementaires au niveau mondial (ex : Protocole de Kyoto – 1997 ; Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants – 2001 ; Cop 21-2015), national (ex : Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte – 2015) ou encore infranational (ex : Agenda 21 locaux).

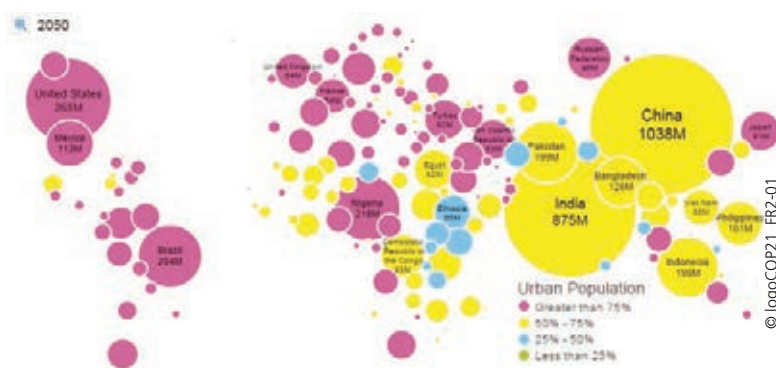


Figure 1 : Projection de la population urbaine mondiale en 2050⁴

1 – La pollution biologique consiste à introduire une espèce exogène ou des organismes génétiquement modifiés dans un milieu, avec pour effet de le déséquilibrer. Contrairement aux pollutions organiques ou chimiques, qui se dégradent au cours du temps, elle se multiplie avec la reproduction du vivant. Si elle est devenue mineure en France, elle constitue toujours la première pollution dans de nombreux pays en développement, à l'image du choléra qui provoque 100 000 à 120 000 décès par an dans le monde (OMS).

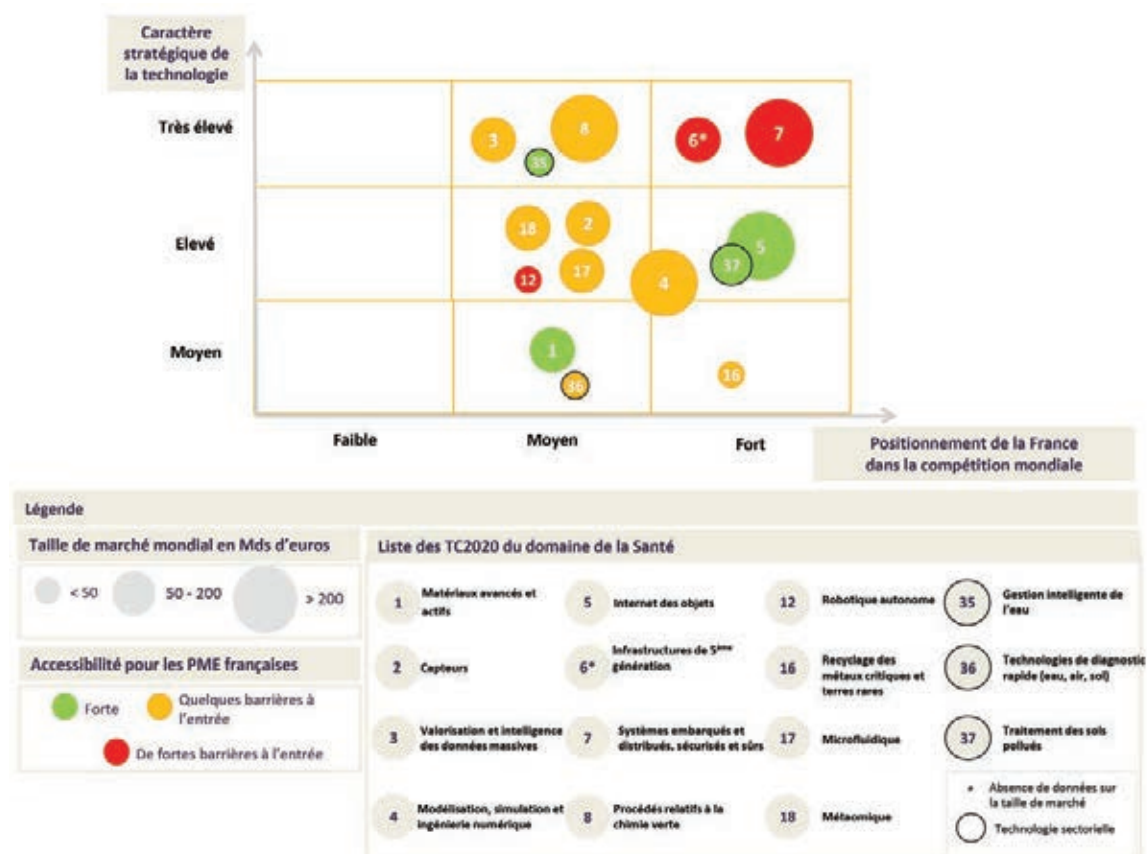
2 – Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

3 – ONU, 2014 : *World Urbanization Prospects*.

4 – UNICEF, 2012 : *Perspectives d'urbanisation en 2050*.

Technologies clés du domaine

N°	Intitulé	Spécifique / Transversale
1	Matériaux avancés et actifs	Transversale
2	Capteurs	Transversale
3	Valorisation et intelligence des données massives	Transversale
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique	Transversale
5	Internet des objets	Transversale
6	Infrastructures de 5 ^{ème} génération	Transversale
7	Systèmes embarqués et distribués, sécurisés et sûrs	Transversale
8	Procédés relatifs à la chimie verte	Transversale
12	Robotique autonome	Transversale
16	Recyclage des métaux critiques et terres rares	Spécifique
17	Microfluidique	Transversale
18	Métabiologie	Transversale
35	Gestion intelligente de l'eau	Spécifique
36	Technologies de diagnostic rapide (eau, air et sol)	Spécifique
37	Traitement des sols pollués	Transversale



Les grands enjeux et stratégies françaises

ENVIRONNEMENT

Gestion de l'eau

Les enjeux liés à l'eau sont d'abord quantitatifs. L'accessibilité aux ressources hydriques reste très inégale au niveau mondial : 900 millions de personnes n'auraient pas accès à l'eau potable et 2,4 milliards de personnes ne disposeraient pas d'un système d'assainissement⁵. Selon un travail de recherche publié en 2012, ce déficit génère un coût global estimé à 1,5 % du Produit intérieur brut (PIB) mondial, avec des disparités importantes en fonction des régions (jusqu'à 4,5 % du PIB en Afrique subsaharienne⁶). Parallèlement, la consommation d'eau devrait continuer de croître avec l'urbanisation, comme le montre la figure 2.

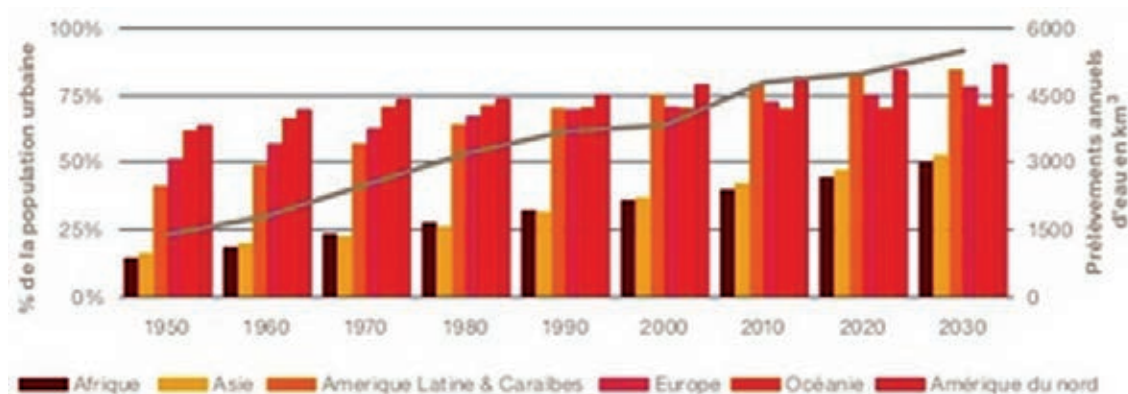


Figure 2 : Évolution entre population urbaine et consommation d'eau sur la période 1959-2030⁷

Les situations de stress hydrique devraient par ailleurs s'intensifier sous l'impact du réchauffement climatique, dont les conséquences pourraient varier selon les régions du globe : les précipitations devraient augmenter dans les hautes latitudes et certaines zones des tropiques, mais baisser dans les latitudes plus basses (région méditerranéenne, zones subtropicales, etc.). Les événements climatiques extrêmes

devraient par ailleurs gagner en ampleur (précipitations intenses, cyclones tropicaux, inondations liées à la montée des mers, etc.). En conséquence, si les interrelations entre le climat et le cycle de l'eau sont complexes à analyser, le GIEC estimait dans un rapport dédié au sujet publié en 2008 que le nombre de personnes souffrant d'un manque d'eau pourrait tripler au cours du XXI^e siècle, pour atteindre 3,2 milliards d'individus⁸.

Les enjeux de l'eau sont également qualitatifs : améliorer la qualité de l'eau, préserver et restaurer les ressources hydriques. Au niveau européen, le « bon état des eaux » est prescrit par la Directive cadre sur l'eau (2000/60/CE), qui impose une meilleure gestion des eaux souterraines et la réduction, voire la suppression des substances dangereuses. Comme l'indique la figure 3, les rejets domestiques, agricoles et industriels constituent les trois principales sources de pollution de l'eau. Depuis 1998, on constate en France une baisse de la pollution des cours d'eau par

les macropolluants, due notamment au développement des stations d'épuration et à l'amélioration de leur performance. Les teneurs des cours d'eau en orthophosphates, ammonium et DBO (demande biochimique en oxygène) sont également stables. Toutefois, aucune baisse significative pour la teneur en nitrates n'est observée.

5 – OMS / UNICEF.

6 – OMS, 2012 : *Global costs and benefits of drinking-water supply and sanitation interventions to reach the MDG target and universal coverage*.

7 – UN Water, 2010 : *World urbanization prospects*.

8 – IPCC, 2008 : *Technical Paper on Climate Change and Water*.

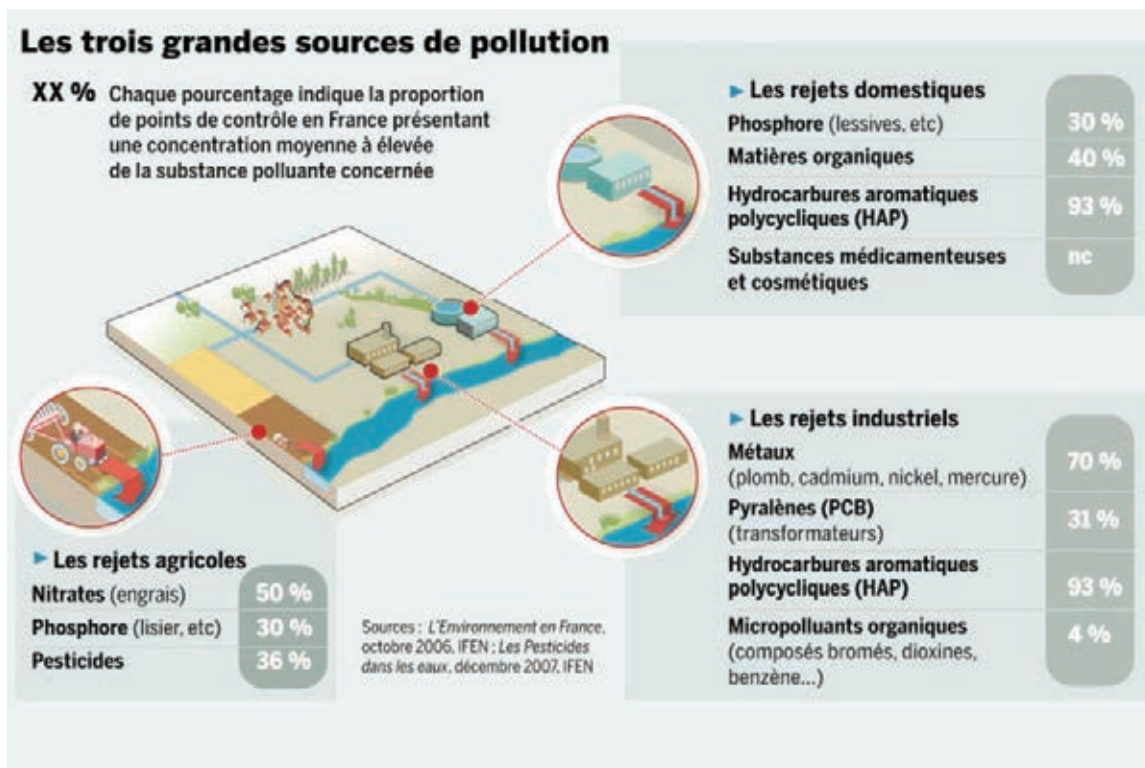


Figure 3 : Principales sources de pollution de l'eau en France¹

Une meilleure gestion de l'eau et des milieux aquatiques, couplée notamment à l'installation de nouveaux procédés à faible consommation, seront déterminants pour garantir une eau de qualité et en quantité suffisante dans toutes les régions du globe, même les plus arides.

Qualité de l'air

La concentration croissante de GES¹⁰ dans l'atmosphère terrestre constitue l'un des facteurs du réchauffement climatique¹¹, et leur diminution un véritable enjeu. En France, si l'agriculture, la sylviculture, l'industrie manufacturière et l'industrie de l'énergie ont réduit leurs émissions ces vingt dernières années, la tendance inverse peut être constatée pour les secteurs des

transports, les secteurs tertiaire, institutionnel et commercial ainsi que le traitement des déchets (figure 4).

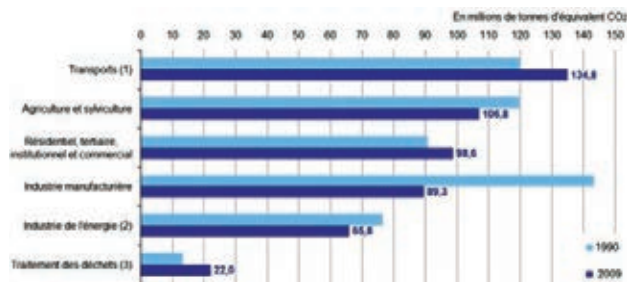


Figure 4 : Émissions de GES par secteur en France en 1990 et 2009¹²

Second enjeu en matière de qualité de l'air, la concentration des polluants¹³ atmosphériques peut être d'origine naturelle (émissions volcaniques, foudre, radon, etc.), mais également d'origine humaine : transport, industrie, chauffage des bâtiments, agriculture (utilisation d'engrais azotés, de pesticides, etc.).

9 – IFEN, 2006 : L'Environnement en France.

10 – Ces composants gazeux absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et contribuent à l'effet de serre.

11 – Les principaux gaz à effet de serre naturels présents dans l'atmosphère sont la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (NO₂) et l'ozone (O₃). Ceux d'origine industrielle comprennent des hydrocarbures halogénés comme les hydrochlorofluorocarbures, le HCFC-22, les chlorofluorocarbures (CFC), le tétrafluorométhane (CF₄) ou encore l'hexafluorure de soufre (SF₆).

12 – Inventaire national d'émissions de gaz à effet de serre réalisé par le CITEPA (mai 2011).

13 – Par « polluant », on désigne un agent physique, chimique ou biologique à l'origine d'une altération de la qualité d'un milieu.

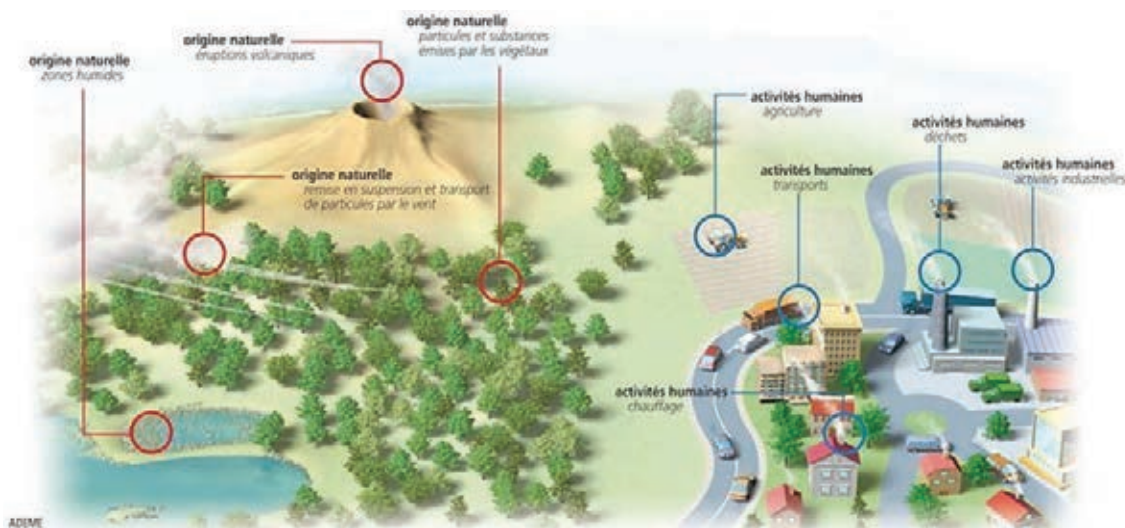


Figure 5 : Principaux émetteurs de polluants¹⁴

Des avancées politiques et réglementaires ont toutefois permis d'améliorer la qualité de l'air en milieu urbain depuis les années 2000, comme le montre la figure 6.

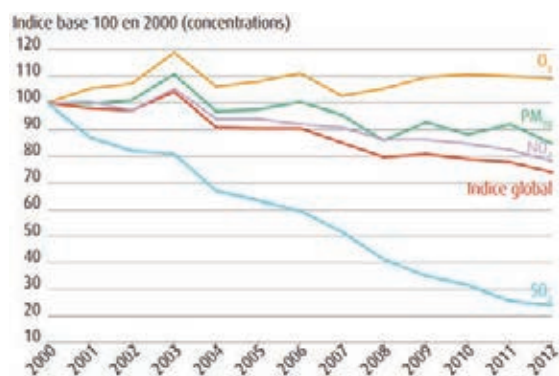


Figure 6 : Pollution de l'air en milieu urbain en France métropolitaine¹⁵

Toutefois, un récent rapport de l'Agence Européenne de l'Environnement démontre que les plafonds d'émissions fixés pour le NH₃, les NO_x et les composés organiques volatiles non méthaniques sont régulièrement dépassés par les États-membres¹⁶.

Aujourd'hui, il existe une problématique sanitaire et environnementale autour des particules fines. À titre

d'exemple, les particules fines issues de la combustion du diesel, classées comme cancérogènes par l'Organisation Mondiale de la Santé, causeraient 42 000 décès par an en France selon une étude réalisée en 2005¹⁷. Même à des niveaux d'exposition faibles, ces particules accroîtraient le risque de mortalité immédiate.

Les problématiques liées à l'air intérieur sont également clés, les espaces clos dégageant de nombreux polluants. Selon la base de données de l'OMS, 4,3 millions de personnes mourraient chaque année prématurément de maladies imputables à la pollution de l'air à l'intérieur des habitations, qui résulte d'une utilisation inefficace de combustibles solides.

Protection des sols

Les sols sont nécessaires aux équilibres environnementaux (protection de la biodiversité, stockage du CO₂, etc.) et constituent une ressource essentielle de la croissance économique (par l'agriculture notamment). Toutefois, leurs processus lents de formation et de régénération ne peuvent compenser la dégradation accélérée provoquée par les activités humaines (érosion, tassement, salinisation, etc.). Les pollutions des sols ont des sources très diverses. Au-delà d'événements naturels comme les retombées des cendres d'un volcan suite à une forte éruption, elles peuvent être d'origine industrielle (fuite, accident, abandon de site, etc.) ou agricole (épandage des produits phytosanitaires, rejets des bâtiments d'élevage et/ou des

14 – ADEME, 2009.

15 – Base de données nationale de la qualité de l'air, LCSQA, juillet 2013 / Traitements SOeS, 2013, France métropolitaine hors Corse.

16 – Agence Européenne de l'Environnement, 2015 : *Summer 2014 ozone assessment*.

17 – CAFE, 2005 : *CAFE CBA : Baseline analysis 2000 to 2020*.

exploitations). Elles peuvent également provenir des décharges et stations d'épuration.

En France, sur les 5 871 sites pollués recensés au sein de la base de données BASOL, on observe dans 70,7 % des cas une pollution des sols ou d'une nappe d'eau souterraine. Les hydrocarbures, le plomb et les HAP¹⁸ en constituent les principaux polluants.

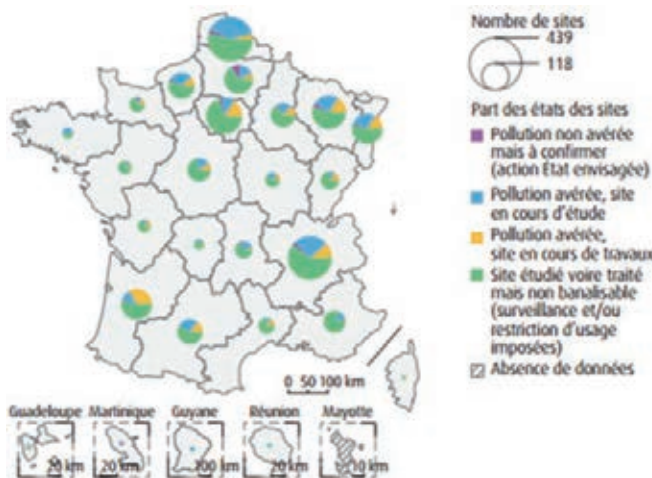


Figure 7 : Sites et sols pollués pour l'ensemble des industries en 2012¹⁹

L'enjeu de préservation des sols est d'autant plus critique que la demande alimentaire augmente, tirée par la croissance démographique mondiale. La surface cultivée disponible par personne diminue : de 0,38 ha en 1970, elle devrait passer à 0,15 ha en 2050²⁰. Pour concilier la hausse de la production alimentaire et la préservation de l'environnement, plusieurs axes sont envisagés, en particulier l'amélioration de l'efficacité et de la productivité agricoles ainsi que la réduction du gaspillage.

Gestion des déchets

Issus au niveau européen de la construction (34 %), des mines et carrières (27 %), de la fabrication (11 %), des ménages (9 %) et de l'approvisionnement en énergie (3 %), les déchets sont à 43,5 % des déchets minéraux. Au sein de l'UE, chaque personne générerait près

18 – Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

19 – Inventaire 2012 national des matières et déchets radioactifs réalisé par le MEDDE et la DGPR (Basol au 16 janvier 2012) / Traitement : SOeS, 2012.

20 – Base de données de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

de 500 kg de déchets par an en 2013²¹. En 2014, le poids mondial des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) atteignait un record à 41,8 millions de tonnes²².

Mal gérés, les déchets peuvent devenir des nuisances pour l'environnement. La plupart d'entre eux sont non dégradables sur une durée courte, à l'image des 10 millions de tonnes de déchets terminant chaque année dans les mers et océans, principalement sous forme de matières plastiques. Notamment ingérés par les espèces marines, ils contaminent les écosystèmes aquatiques et altèrent les chaînes alimentaires. Sur terre, d'autres déchets peuvent être assimilés par les organismes vivants, perturber leur fonctionnement voire générer des risques de santé publique.

Une meilleure gestion des déchets passe par leur réduction, réemploi, recyclage et valorisation (énergétique ou matière). En France, de plus en plus de matières premières de recyclage intérieures sont utilisées dans la production de l'acier, de papiers / cartons et de verre (cette tendance s'avère moins nette dans la production de plastiques et de métaux non ferreux). Par ailleurs, la part des matières premières primaires dans la production totale d'acier, de métaux non ferreux, de papiers-cartons, de verre et de plastiques a diminué depuis 1993 en valeur absolue comme relative.

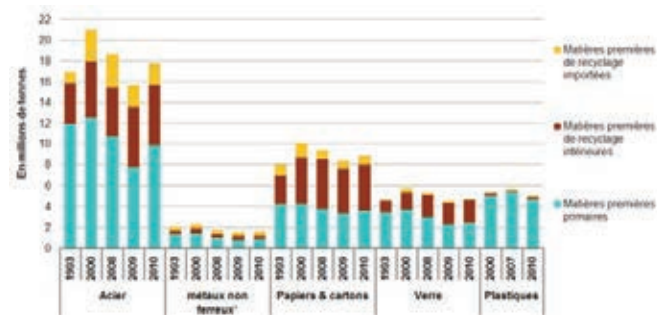


Figure 8 : Origine des matières premières dans la production d'acier, de métaux non ferreux, de papiers-cartons, de verre et de plastiques en France entre 1993 et 2010²³

Toutefois, d'autant plus au niveau mondial, des défis économiques et technologiques doivent être encore surmontés pour accélérer le recyclage des déchets. Des

21 – Eurostat – 2013.

22 – United Nations University, 2015 : *The Global E-waste Monitor 2014: Quantities, Flows and Resources*.

23 – Ademe, 2012 : *Bilan annuel du recyclage*.

freins subsistent notamment pour le recyclage des métaux dits « critiques »²⁴. En particulier, la compatibilité très variable entre ces différents métaux rend difficile la structuration d'une filière unique de recyclage.

Il convient finalement de préciser que les technologies de gestion durable de l'eau, des déchets, et l'air et des sols visant à apporter des réponses aux différents enjeux présentés ci-dessus, ont elles-mêmes un impact écologique non négligeable. L'extraction des matériaux nécessaires à leur production génère un coût environnemental souvent conséquent, auquel s'ajoute un faible taux de collecte et de recyclage. Ensuite, leur fonctionnement entraîne fréquemment un surcoût de consommation énergétique, à l'image des drones de cartographie pour la protection des sols. L'amélioration de l'efficacité écologique des technologies de gestion durable constitue donc un enjeu de premier plan, amené à s'amplifier dans les prochaines années.

RÉGLEMENTATION

La protection de l'environnement est encadrée par des politiques règlementaires et tarifaires. La prise de conscience environnementale a conduit à des initiatives volontaristes au niveau européen. L'action de la Communauté européenne débute dans les années 1970, avec l'adoption du premier Programme d'action pour l'environnement en 1972, et de nombreux actes communautaires suivent. Cette politique est inscrite dans les traités avec l'Acte unique européen (1986) et le Traité de Maastricht (1992). Le Traité d'Amsterdam (1997) prolonge cette évolution en intégrant le principe de développement durable²⁵ ; la protection de l'environnement devient une exigence à laquelle sont soumises toutes les politiques et actions de l'Union Européenne. Enfin, le Traité de Lisbonne (2009) ajoute un nouvel objectif avec la promotion, sur le plan international, de mesures destinées à faire face aux problèmes régionaux ou planétaires de l'environnement, et en particulier la lutte contre le changement climatique²⁶.

24 – Un métal est dit « critique » lorsqu'il possède un rôle clé pour l'économie et lorsque les risques pesant sur son approvisionnement sont forts. En 2010, la Commission Européenne sur les approvisionnements en matières premières a identifié 14 métaux critiques (indium, magnésium, tungstène, rhénium, tellure, tantale, germanium, etc.).

25 – « Développement qui répond aux besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs ».

26 – Article 191 du Traité sur le Fonctionnement de l'Union Européenne (TFUE).

Gestion de l'eau

L'Union Européenne a adopté des mesures pour prévenir la pollution des eaux (normes de qualité pour l'eau, établissement de valeurs limites par exemple pour les nitrates ou la qualité des eaux résiduaires urbaines). La Directive-cadre sur l'eau (2000/60/CE) en est la pierre angulaire, et vise pour 2015 l'atteinte d'un « bon état de l'eau ».

En France, les pouvoirs publics mettent en place des politiques dédiées dans cette direction, dont les principaux instruments sont les schémas directeurs de gestion et d'aménagement des eaux (SDAGE) et leur programme de mesures associé (PDM). Au nombre de 12 pour chacun des grands bassins hydrographiques français, les SDAGE et PDM planifient pour 6 ans les orientations stratégiques et actions à suivre. Un nouveau plan à horizon 2015-2021 est en cours d'élaboration avec une optique d'amélioration de la qualité physico-chimique et biologique.

Qualité de l'air

L'objectif de la Commission européenne est de réduire de 40 % d'ici 2020 (par rapport au niveau de 2000) le nombre de décès liés à la pollution atmosphérique. À cette fin, la réglementation en matière de pollution de l'air cherche à réguler aussi bien les sources fixes (sites industriels) que les sources mobiles (transports). Les réglementations des pays-membres de l'UE sont principalement indexées sur la Directive (2008/50/CE) du 21 avril 2008 *Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe*²⁷. La Directive 2001/81/CE, actuellement en cours de révision pour être indexée sur l'objectif de réduction du nombre de décès à l'horizon 2020, vise à réduire les émissions de certains polluants atmosphériques (dioxyde de soufre, oxydes d'azote, composés organiques volatils et ammoniac).

La réduction des émissions de GES constitue le second axe fort de la réglementation. En octobre 2014, les dirigeants européens se sont notamment accordés pour réduire ces émissions de 40 % en Europe d'ici 2030 par rapport au niveau de 1990. Cet objectif ambitieux vise à faire du continent européen un territoire leader dans le domaine de la lutte contre le changement climatique. Au niveau mondial, l'un des enjeux de la COP21 (Conférence des Parties), organisée

27 – CAFE.

à Paris fin 2015, sera de trouver un accord pour remplacer le protocole de Kyoto, qui fixait les objectifs internationaux en matière de réduction des GES depuis 1997.

Par ailleurs, des plafonds d'émissions sont fixés au niveau européen pour contrôler le rejet de substances appauvrissant la couche d'ozone. Les normes EURO VI s'appliquent par exemple à tous les véhicules utilitaires lourds mis en service depuis le 1^{er} janvier 2014.

Au niveau français, la qualité de l'air s'inscrit dans le cadre plus vaste de la préservation de la santé environnementale²⁸. Celle-ci a été établie comme l'une des priorités du Grenelle de l'Environnement, organisé en 2007. Les engagements pris à la faveur du Grenelle ont ensuite été déclinés en un plan d'action au sein du 2^e Plan national santé environnement pour la période 2009-2013. Le 3^e Plan national 2015-2019, tout juste entré en vigueur, avance des mesures comme la surveillance des pesticides dans l'air.

Protection des sols

En 2014, la Commission européenne a écarté définitivement un projet de directive européenne en faveur de la protection des sols qui remontait à 2006. L'absence d'un texte dédié n'exclut pas pour autant toute réglementation en la matière. La Politique Agricole Commune (PAC) 2015-2020 définit notamment qu'environ 30 % de ses aides seront conditionnées au respect par les agriculteurs de trois critères : la diversité de l'assolement, le respect du taux de Surface d'Intérêt Écologique (SIE – 5 % de la surface arable pour toutes les exploitations détenant plus de 15 ha de terres cultivées) et le maintien de certaines prairies permanentes. La PAC vise ainsi à favoriser les pratiques durables dans le secteur de l'agriculture.

Par ailleurs, la gestion durable est au cœur de la nouvelle stratégie européenne en faveur des forêts, lancée en 2013. Cette stratégie a notamment vocation à favoriser au sein des États-Membres de l'UE une exploitation des ressources-bois respectueuse des écosystèmes et de la biodiversité.

Enfin, au niveau national, le Code de l'Environnement définit un certain nombre d'obligations pour les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

(ICPE)²⁹, qui incluent par exemple la constitution de garanties financières, l'information de l'acheteur du terrain où a été exploitée une ICPE ou encore la remise en état du site lors d'une cession d'activités. Les orientations à suivre pour le traitement des sols ont par ailleurs été orientées par deux circulaires successives (18/10/2005 ; 08/02/2007). Celles-ci expliquent notamment que le traitement de chaque site doit dépendre de son impact effectif sur l'environnement et de l'usage auquel il est destiné.

Gestion des déchets

Au niveau européen, la gestion des déchets est réglementée par la Directive-cadre sur les déchets (2008/98/CE) et repose sur la prévention, le recyclage, la réutilisation des déchets et l'amélioration des conditions de leur élimination finale. Elle est abordée de façon plus spécifique et sectorielle au sein des Directives relatives aux emballages et déchets d'emballages (94/62/CE), aux déchets d'équipements électriques et électroniques (2002/96/CE) ou encore à la gestion des déchets de l'industrie extractive (2006/21/CE).

Au niveau français, des objectifs de réduction et recyclage des déchets ont été fixés en s'indexant sur cette législation européenne au sein du Programme national de prévention des déchets 2014-2020. Ces objectifs comprennent notamment une diminution de 7 % des déchets ménagers et assimilés en 2020 par rapport au niveau de 2010 ainsi qu'une stabilisation voire un infléchissement de la production de déchets des activités économiques et des déchets du BTP d'ici 2020. Pour les DEEE, une volonté a été affichée de développer la collecte « préservante », un modèle de recyclage qui vise à conserver l'état du déchet collecté depuis sa prise en charge jusqu'à son entrée en centre de tri – réparation.

Par ailleurs, l'Union européenne a pris de nombreuses mesures afin de prévenir les déchets dangereux de source industrielle. Le règlement REACH (1907/2006/CE) relatif à l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des produits chimiques à horizon 2020, constitue un cadre pour la gestion des produits chimiques impliquant l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur. D'autres législations comme la Directive Seveso (96/82/CE), relative à la limitation de l'utilisation de certaines

28 – La santé environnementale regroupe les aspects de la santé qui sont influencés par l'environnement.

29 – Le Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Énergie définit les ICPE comme « les installations et usines susceptibles de générer des risques ou des dangers ».

substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques, dite RoHS (2002/95/CE), et la Directive biocides (98/8/CE), couvrent des risques chimiques et technologiques spécifiques.

MARCHÉ

Les marchés de la gestion durable de l'environnement ont subi une évolution très rapide depuis dix ans. Bornés essentiellement à la simple problématique de la dépollution, ils se sont progressivement étendus à de nouveaux enjeux avec l'introduction de produits et technologies « propres » dans la plupart des secteurs de l'économie. La demande s'oriente de plus en plus vers des produits de substitution plus facilement recyclables et des procédés de production moins polluants. Dans un cadre industriel, l'optimisation de l'énergie et de l'eau est également facilitée par des technologies logicielles de plus en plus performantes, permettant un suivi précis des consommations.

En 2008, le PNUE évaluait ainsi le poids du marché mondial des écotechnologies (incluant les écotechnologies dans le domaine de l'énergie) à 1 400 milliards d'euros, soit 2,5 % du PIB mondial. Il devrait connaître une croissance d'environ 10 % par an, tirée essentiellement par les nouveaux secteurs en lien avec l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables ainsi que par les pays émergents. En 2020, il devrait atteindre 3 100 milliards d'euros, la gestion des déchets, le traitement de l'eau, la pollution de l'air et la dépollution des sites et sols pollués représentant respectivement 40,1 %, 38,5 %, 6,4 % et 3,1 % de ce marché³⁰.

Parmi les grands bouleversements à l'œuvre dans les services à l'environnement, les opérateurs traditionnels voient l'irruption de nouveaux acteurs sur les marchés de la gestion de l'eau³¹. Les entreprises des services du numérique investissent le segment en plein essor de la gestion de l'eau intelligente (*smart water*), qui regroupent les technologies permettant le pilotage en temps réel et centralisé des usines d'eau, des réseaux et de la gestion client dans une optique d'optimisation du service. Pour répondre à cette nouvelle concurrence, particulièrement forte dans les pays émergents, les opérateurs français Suez Environnement et Veolia ont chacun lancé leur propre projet de *smart water* à partir de 2013.

30 – PNUE, 2008 : *Green Jobs: Towards Sustainable Work in a Low-Carbon World*.

31 – Les Echos, 20/11/2014 : « Veolia et IBM s'allient dans la « smart water » ».

En France, les dépenses pour la protection de l'environnement n'ont cessé d'augmenter depuis les années 90, comme l'indique le graphique suivant (dépenses combinées des ménages, des entreprises et des administrations) :

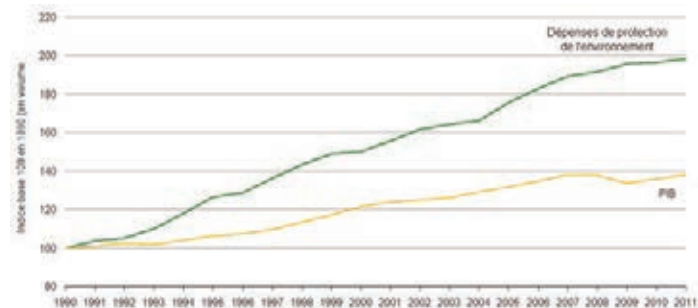


Figure 9 : Évolution de la dépense de protection de l'environnement et du PIB en France³²

Plus précisément, pour le marché français :

- La dépense de protection de la qualité de l'air est estimée en 2010 à 3,1 milliards d'euros, dont 1,2 milliards d'euros proviennent des dépenses courantes et des investissements des entreprises du secteur industriels, en croissance ;
- La dépense en gestion des eaux usées, s'élevant à 12,8 milliards d'euros en 2012, est stable depuis 2009 en raison notamment d'une contraction des investissements ;
- La dépense nationale de gestion des déchets atteint 16,7 milliards d'euros, avec une croissance annuelle moyenne de 5 % depuis 2000. Cette hausse s'explique notamment par une amélioration de la qualité des modes de gestion des déchets et le dispositif fiscal TEOM³³, qui progresse indépendamment des quantités de déchets produits ;
- Les dépenses pour la protection et l'assainissement des sols, estimées à 1,7 milliards d'euros, progressent sous l'impulsion en particulier des entreprises.

PRODUCTION

Les exigences réglementaires en matière environnementale entraînent le développement de nouveaux métiers. En 2012, les éco-activités (y compris

32 – SOeS, 2013.

33 – Taxe d'Enlèvement des Ordures Ménagères.

énergies renouvelables)³⁴ représentaient en France 447 500 emplois en équivalent temps plein pour une production de 85 milliards d'euros.

port (raccords, tuyaux, pompes, vannes, filtres, etc.), traitement (séparation et purification en milieu liquide : nano et ultra-filtration, utilisation de membranes de

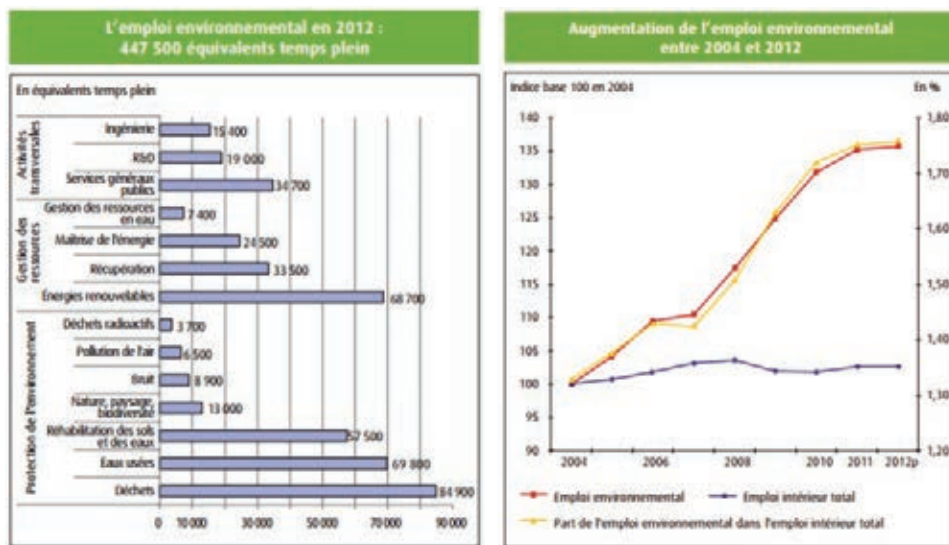


Figure 10 : État des lieux et évolution de l'emploi environnemental en France³⁵

Sur le marché du travail, en 2013, l'économie verte³⁶ représentait 13 % des offres d'emplois déposées par les employeurs auprès de Pôle emploi. L'eau, l'assainissement, les déchets et l'air en représentaient 5,6 %.

Les grandes tendances

TECHNOLOGIQUES

Gestion de l'eau

La production d'eau potable constitue l'un des premiers objectifs des avancées technologiques actuelles. Elle sous-tend le développement de techniques à tous les niveaux de la chaîne de gestion de l'eau : captage, trans-

dessalement, etc.) et assainissement (dégrillage, dessableur, bioréacteurs, systèmes pour l'assainissement non collectifs, etc.).

Parallèlement, les technologies permettent une connaissance toujours plus précise des ressources hydriques. En particulier, les outils de cartographie sont largement utilisés dans la gestion de l'eau. À titre d'exemple, ceux développés par l'ONEMA synthétisent les données sur l'eau, la qualité des milieux aquatiques et leurs usages (prix de l'eau, teneurs en nitrates, niveau des nappes, etc.) en France métropolitaine et en Outre-Mer. Sur site, les besoins en outils de diagnostic rapide sont de plus en plus importants pour détecter d'éventuelles traces en milieu aqueux (effluents industriels notamment), prendre des décisions dans un temps court et réaliser un suivi en continu de la qualité. Enfin, les équipements *smart water* permettent d'optimiser la gestion de l'eau à travers la collecte, l'analyse et le traitement des données de desserte et de consommation en temps réel grâce à l'installation de capteurs et d'équipements de télésurveillance/télérelève.

Qualité de l'air

L'assainissement de l'air extérieur (GES, microparticules atmosphériques, etc.) et intérieur (particules provenant des moquettes et revêtements, appareils à combustion, etc.) couvre une diversité de chantiers

34 – Celles-ci regroupent les activités qui produisent des biens et services ayant pour finalité la protection de l'environnement ou la gestion des ressources naturelles. Les activités transversales à plusieurs domaines environnementaux en font également partie.

35 – Données du marché du travail de la Dares et de Pôle Emploi, 2014 / Traitement SOeS

36 – Le périmètre des métiers de l'économie verte, défini dans le cadre des travaux de l'Observatoire national des emplois et métiers de l'économie verte (Onemv112), est constitué de deux ensembles :

Les métiers verts : « métier dont la finalité et les compétences mises en œuvre contribuent à mesurer, prévenir, maîtriser, corriger les impacts négatifs et les dommages sur l'environnement » ;

Les métiers verdissants : « métier dont la finalité n'est pas environnementale, mais qui intègre de nouvelles « briques de compétence » pour prendre en compte de façon significative et quantifiable la dimension environnementale dans le geste métier ».

technologiques. Les recherches actuelles portent notamment sur l'amélioration de la mesure, du captage et filtration des poussières et la classification des particules. Des solutions métrologiques et d'instrumentation novatrices permettent de détecter avec précision les traces de pollution dans l'air, à l'image de drones urbains à l'étude en Chine pour l'air extérieur³⁷ ou d'appareils intelligents mesurant en continu le niveau de polluants dans un espace clos³⁸.

Protection des sols

La dépollution des sols est permise notamment par des traitements biologiques (utilisation de bactéries), des traitements par extraction (chauffage des sols pour volatilisation des polluants) et par confinement / encapsulation (stockage du sol au sein d'une alvéole). Parmi les tendances actuelles, le traitement *in situ* (dépollution sans excavation qui regroupe des techniques comme le *venting*, le *stripping* ou le lessivage) rencontre un intérêt croissant depuis le milieu des années 2000³⁹. Le traitement biologique élargit progressivement son champ d'application en s'ouvrant aux sols contaminés par des déchets compliqués à traiter, tels que les déchets plastiques. Par ailleurs, de nouveaux outils technologiques permettent d'obtenir une connaissance plus fine des sols et de leurs caractéristiques, avec en toile de fond l'émergence de la métagénomique des écosystèmes⁴⁰.

L'usage de drones et satellites se développe également pour observer l'étalement urbain, dans une optique de lutte contre l'artificialisation des sols et de la préservation de leur biodiversité. Depuis 2010, l'imagerie satellitaire est notamment utilisée pour cartographier les trames vertes et bleues sur le territoire français⁴¹.

Gestion des déchets

L'innovation technologique se déploie à tous les maillons de la chaîne de gestion des déchets, qui étaient traités en 2011 par incinération à 31 %, simple décharge à 30 %, valorisation matière à 24 % et gestion biologique (compostage/méthanisation des déchets organiques) à 15 %⁴².

En amont de la chaîne, le développement de matériaux d'emballage et de surface plus facilement recyclables vise à anticiper leur valorisation à terme dès l'étape de la production. Ensuite, le tri des déchets est facilité par de nouvelles techniques telles que les outils de déconditionnement de produits alimentaires ou les technologies optiques. Enfin, la valorisation matière ou énergétique s'ouvre à de nouveaux déchets et applications : recyclage et valorisation des boues d'épuration, traitement des déchets solides par oxydation avancée, optimisation des déchets minéraux pour le BTP, récupération du CO₂, etc. La valorisation des métaux, en particulier les métaux critiques, constitue à ce titre un champ de R&D de premier plan. C'est également le cas des matériaux biosourcés réalisés à partir de matières recyclées. La ouate de cellulose, fabriquée à partir de déchets de papiers et cartons, peut notamment se révéler un isolant performant dans la construction.

INDUSTRIELLES

Sur le plan industriel, les préoccupations écologiques, les pressions réglementaires et la nécessité d'optimiser les consommations de ressources dans un contexte économique contraint se traduisent par une volonté de rendre plus « propres » les outils de production (produits et process) en s'appuyant sur le développement technologique.

L'amélioration des intrants de la production constitue un premier axe d'efficacité environnementale. En effet, la chimie des produits biosourcés ouvre des pistes prometteuses pour la production de nouveaux matériaux (matériaux biosourcés), produits chimiques ou carburants notamment. Cette dernière s'appuie largement sur les biotechnologies industrielles consistant au développement de procédés industriels basés sur l'usage de microorganismes ou d'enzymes par exemple. La diminution de l'impact environnemental des process industriels représente un second champ d'innovation. Les technologies explorées incluent par exemple les procédés d'extraction en eau subcritique, la découpe à l'azote

37 – ConsoGlobe, 27/04/2014 : « Pollution chinoise : et si on envoyait des drones ? ».

38 – IT Industries&Technologies, 18/12/2014 : « Des matériaux nanoporeux pour mesurer la qualité de l'air intérieur ».

39 – Le Monde, 24/11/2006 : « Traitements des terres souillées – La dépollution in situ en plein essor ».

40 – Étude de l'ensemble des génomes issus d'un même milieu et de leurs interactions.

41 – IRSTEA.

42 – ADEME, 2014 : *Déchets, chiffres-clés – Édition 2014*.

liquide ou encore les procédés thermochimiques. La maîtrise des extrants de la production constitue un dernier axe pour améliorer la performance environnementale des industries. Cette maîtrise passe notamment par une valorisation énergétique ou matière des effluents ou encore un stockage des émissions de GES issus de la production.

D'USAGE

La gestion durable passe également par l'innovation dans les usages des industriels et des citoyens. En particulier, les premiers mettent en place des démarches relevant de l'économie circulaire en décloisonnant la gestion de l'eau, des sols, de l'énergie et des déchets. Les boues de récupération issues du traitement de l'eau sont par exemple valorisées pour produire de l'électricité et de la chaleur. Les eaux usées deviennent des gisements de matière organique pour la production de bioplastiques. Cette transversalité nouvelle nécessite une coopération renforcée entre les entreprises, mais également avec les pouvoirs publics. Les projets d'écologie industrielle⁴³, consistant à optimiser les flux de matière et d'énergie au niveau d'une zone d'activités, constituent de bons exemples de coordination entre acteurs et collectivisés à l'échelle d'un territoire.

Enfin, les citoyens jouent un rôle clé pour la diffusion de pratiques respectueuses de l'environnement, en se tournant de plus en plus vers les circuits courts de distribution ou les marchés de l'occasion. En tant qu'usagers des services essentiels, ils peuvent participer également de plus en plus directement aux services à l'environnement avec le développement de l'internet mobile et d'applications participatives : signalement en temps réel d'une fuite d'eau sur la chaussée, retour qualitatif sur le service de collecte des déchets, contribution à des bases de données environnementales collectives, etc. L'association française Aristote, qui regroupe des organismes de recherche, des instituts d'enseignement et des entreprises des nouvelles technologies de l'information et de la communication, évoque à ce sujet l'émergence du « citoyen capteur ».

43 – En juillet 2014, OREE, association de promotion des pratiques de gestion durable à l'échelle des territoires, recensait une cinquantaine de projets d'écologie industrielle en cours en France.

La position de la France

INDUSTRIELLE

En 2012, la France était le 5^e exportateur mondial dans le domaine des éco-industries, disposant notamment de leaders mondiaux pour l'eau et les déchets. Le volume d'activités de certains secteurs a progressé rapidement, en raison notamment de l'amplification des enjeux environnementaux. Entre 2000 et 2010, le chiffre d'affaires des entreprises françaises de dépollution a par exemple été multiplié par 2,5 pour atteindre 470 millions d'euros, selon le Ministère de l'Écologie. Selon la Direction générale du trésor, la France reste toutefois peu positionnée sur les technologies dites « préventives », permettant de limiter l'impact des activités économiques sur l'environnement (réduction des déchets, etc.), se concentrant plutôt sur les technologies dites « curatives » (dépollution).

Gestion de l'eau

La filière de l'eau regroupe des sociétés d'ingénierie, qui conçoivent et construisent des stations de production et d'épuration, des fabricants d'équipements et produits pour ces stations, des entreprises spécialisées dans le captage et le forage et enfin des opérateurs de gestion, d'exploitation et de maintenance des installations d'eau et d'assainissement.

La France occupe une position de leader au niveau mondial. Disposant d'une forte capacité de recherche et d'innovation, la filière est structurée autour de grands opérateurs français comme Veolia et Suez Environnement, qui desservent plus de 200 millions d'habitants dans le monde, et d'une diversité de PME spécialisées.

Qualité de l'air

La filière du traitement de l'air intérieur est encore émergente en France et mal quantifiée. Elle regroupe principalement des sociétés spécialisées dans les équipements de métrologie et surveillance de l'air et des entreprises de génie climatique, fabricants et installateurs. La qualité de l'air extérieur, dépendante principalement des transports, de l'industrie, du secteur résidentiel et de l'agriculture, s'est structurée depuis la fin des années 1990. La France dispose d'un leader européen dans le secteur : Environnement SA.

Protection des sols

La France dispose de savoir-faire reconnu concernant la dépollution des sols. En matière d'ingénierie technique, certains acteurs français possèdent une dimension internationale comme AnteaGroup ou Burgeap. C'est également le cas pour les sociétés françaises de travaux de dépollution, au premier rang les filiales des principaux opérateurs de services à l'environnement (GRS Valtech pour Veolia et Sita Remediation pour Suez Environnement), bien implantées sur le marché européen. Aux côtés de ces « poids lourds » du secteur, nombre de PME proposent souvent des prestations spécialisées en s'adressant davantage au marché français.

Gestion des déchets

En 2012, la France se classait en dixième position au niveau européen en matière de gestion des déchets selon un classement établi par la Commission Européenne, derrière l'Autriche, les Pays-Bas, le Danemark ou encore l'Allemagne. La quantité totale de déchets recyclés ou encore la tarification de l'élimination des déchets étaient notamment jugées insuffisantes, malgré la mise en place depuis le milieu des années 1990 de la responsabilité élargie des producteurs (REP), qui impose la constitution de filières de recyclage dans un nombre toujours plus grand de secteurs. Toutefois, les principaux groupes français (Veolia, Suez Environnement, Sécché Environnement, etc.) de la gestion des déchets vont davantage chercher des relais de croissance à l'international, avec l'objectif en particulier de capter la demande de plus en plus forte des pays émergents⁴⁴.

La filière française de la gestion des déchets peut par ailleurs s'appuyer sur de nombreux projets de R&D, qui associent le secteur privé, des pôles de compétitivité et des établissements publics. Fédérés autour de l'entreprise Pellenc Selective Technologies, le consortium d'une dizaine de partenaires industriels et académiques du projet TRI + ont par exemple développé une nouvelle génération de machines de tri optique entre 2009 et 2013. Intégrant des technologies photoniques, le projet vise à proposer des solutions de tri pour certains déchets qui ne bénéficient pas de solutions performantes et améliorer le tri des déchets déjà triés⁴⁵.

44 – UBIFRANCE, 2011 : *Le marché de la gestion des déchets et du recyclage*.

45 – ADEME, 2013 : *Le savoir-français dans le domaine de la gestion des déchets*.

ACADÉMIQUE ET ÉCOSYSTÈME DE L'INNOVATION

En 2012, la dépense hexagonale de R&D dans le domaine de l'environnement atteignait 4,3 milliards d'euros, les administrations y contribuant à hauteur de 1,7 milliards d'euros⁴⁶. Dans le cadre du Programme d'Investissements d'Avenir (PIA), 150 millions d'euros ont notamment permis de doter en 2012 un fonds d'investissement en appui des PME innovantes dans le domaine des « green tech » (FCPR Ecotechnologies).

L'écosystème français de l'innovation dans le domaine de l'environnement est représenté dans le graphique ci-dessous :



Figure 11 : Écosystème de l'innovation en France dans le domaine de l'environnement (Source : ALCIMED)

Ces acteurs ont des champs de recherche multiples. À titre d'exemple, l'ANDRA⁴⁷ a lancé en 2014 un appel à projets pour rendre plus performants le tri et l'orientation des déchets issus du démantèlement des installations nucléaires françaises. L'ADEME⁴⁸ et l'INRA⁴⁹ ont par ailleurs étudié récemment plusieurs scénarios technologiques afin de réduire la production de CO₂ et de NO₂ et explorer les possibilités de stockage souterrain du carbone atmosphérique.

46 – SOeS, Compte Satellite de l'environnement, 2014.

47 – Agence Nationale pour la gestion des Déchets RadioActifs.

48 – Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie.

49 – Institut national de la recherche agronomique.

Analyse AFOM

ATOUTS

Position *leader* de la France dans les services à l'environnement

Groupes internationaux avec de fortes capacités d'investissement

Écosystème d'innovation dense et dynamique

FAIBLESSES

Faible positionnement des acteurs français sur les technologies préventives par rapport aux technologies curatives

OPPORTUNITÉS

Développement sur les marchés des pays émergents, notamment pour le traitement des pollutions biologiques non résolues

Rôle actif de la France lors de grands rendez-vous internationaux pour le développement durable (ex : COP21)

Structuration de nouvelles filières ouvrant de nouveaux débouchés pour les acteurs français (ex : recyclage des métaux critiques)

Possibilité d'établir des collaborations avec les concurrents locaux en émergence

MENACES

Concurrence forte d'autres pays de l'OCDE (Allemagne, Israël, etc.), notamment sur les marchés de la gestion intelligente de l'eau et des déchets

Emergence de concurrents locaux sur les marchés de l'environnement à l'international dans les pays émergents

SOURCES

Améliorer la qualité de l'air extérieur, agir dans tous les secteurs,
Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, 2014

Baseline Analysis 2000 to 2020, Clean Air for Europe (CAFE) Programme,
2005

Bilan annuel du recyclage, Ademe, 2012

CAFE CBA : Baseline analysis 2000 to 2020, CAFE, 2005

Déchets, chiffres-clés – Edition 2014, ADEME

*Global costs and benefits of drinking-water supply and sanitation
interventions to reach the MDG target and universal coverage*, Hutton, 2012

Green Jobs: Towards Sustainable Work in a Low-Carbon World, PNUE, 2008

Inventaire national d'émissions de gaz à effet de serre, mai 2011, CITEPA

L'économie de l'environnement en 2012, Commissariat Général
au Développement Durable, 2014

Le marché de la gestion des déchets et du recyclage, UBIFRANCE, 2011

*Le savoir-faire français dans le domaine de la dépollution des sols
et des eaux souterraines*, ADEME, 2011

Le savoir-faire français dans le domaine de la gestion des déchets,
ADEME, 2013

*Marché mondial de l'environnement et perspectives
pour les éco-entreprises françaises*, Direction générale du trésor
et de la politique économique, 2010

Summer 2014 ozone assessment, Agence Européenne
de l'Environnement, 2015

Technical Paper on Climate Change and Water, IPCC, 2008

The Global E-waste Monitor 2014: Quantities, Flows and Resources,
United Nations University, 2015

World urbanization prospects, UN Water, FAO Aquastat, 2010

« Des matériaux nanoporeux pour mesurer la qualité de l'air intérieur »,
18/12/2014, IT Industries&Technologies

« Pollution chinoise : et si on envoyait des drones ? », 27/04/2014,
ConsoGlobe

« Traitements des terres souillées – La dépollution in situ en plein essor »,
24/11/2006, Le Moniteur

« Veolia et IBM s'allient dans la « smart water », 20/11/2014, Les Echos
www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/

www.terre-net.fr/

www.ec.europa.eu/eurostat

GLOSSAIRE

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

AEE : Agence Européenne pour l'Environnement

ANDRA : Agence Nationale pour la gestion des Déchets RadioActifs

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CAFE : Clean Air For Europe

CIRAD : Centre de coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement

FAO : Food and Agricultural Organization

GES : Gaz à effet de serre

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

INRA : Institut national de la recherche agronomique

IRSTEA : Institut de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

ONEMA : Office national de l'eau et des milieux aquatiques

ONERA : Office national d'études et de recherches aérospatiales

PNUE : Programme des Nations-Unies pour l'Environnement

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux



HABITAT

Définition

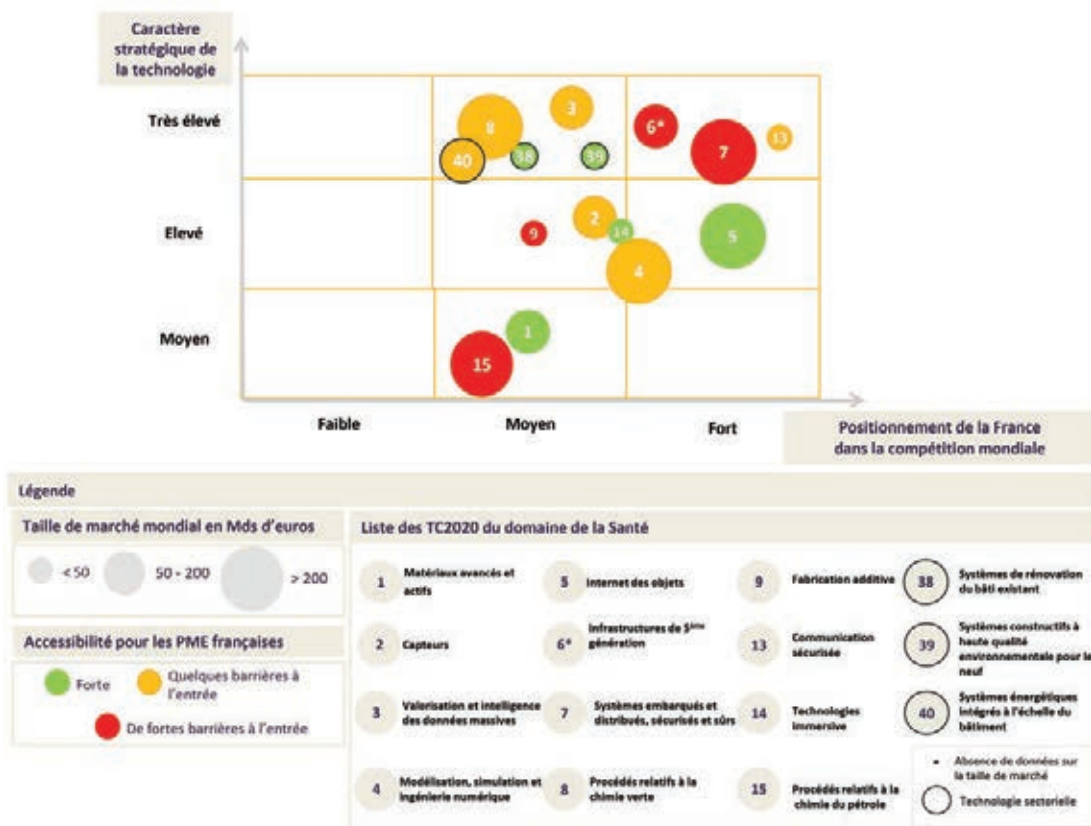
Le domaine Habitat regroupe pour cette étude les secteurs du logement et des bâtiments pour le tertiaire. Le terme « bâtiments pour le tertiaire » est à considérer au sens large, il regroupe à la fois les bureaux, les cafés, hôtels et restaurants, les commerces et les établissements publics tels que les établissements d'enseignement et les hôpitaux. De plus, de nombreuses technologies sont communes entre le logement et le tertiaire.

L'habitat est lié aux secteurs suivants :

- Production des matériaux de construction,
- Bâtiment (conception, construction, rénovation, réhabilitation, exploitation, maintenance),
- Mobilier et aménagement intérieur de l'habitat,
- Exploitation énergétique de l'habitat,
- Gestion immobilière (promotion immobilière).

Technologies clés du domaine

N°	Intitulé	Spécifique / transversale
1	Matériaux avancés et actifs	Transversale
2	Capteurs	Transversale
3	Valorisation et intelligence des données massives	Transversale
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique	Transversale
5	Internet des objets	Transversale
6	Infrastructures de 5 ^{ème} génération	Transversale
7	Systèmes embarqués et distribués, sécurisés et sûrs	Transversale
8	Procédés relatifs à la chimie verte	Transversale
9	Fabrication additive	Transversale
13	Communications sécurisées	Transversale
14	Technologies immersives	Transversale
15	Procédés relatifs à la chimie du pétrole	Transversale
38	Systèmes de rénovation du bâti existant	Spécifique
39	Systèmes constructifs à haute qualité environnementale pour le neuf	Spécifique
40	Systèmes énergétiques intégrés à l'échelle du bâtiment	Spécifique



Les grands enjeux et les stratégies françaises

ENVIRONNEMENT

Les enjeux majeurs de l'habitat sont liés en France à une insuffisante dynamique de construction de nouveaux logements pour s'adapter aux modifications démographiques du pays (poursuite de la concentration urbaine, évolutions des revenus...).

Pour relever ce dynamisme, outre des mesures sur l'environnement juridique et fiscal (non traitées ici), les entreprises doivent prendre en compte la forte pression environnementale autour de l'habitat qui se concrétise autour des trois axes majeurs suivants :

- 1) la consommation énergétique du secteur et son impact sur les émissions de gaz à effet de serre,
- 2) une conception bioclimatique pour gérer les flux énergétiques naturels et intégrer le bâti dans son environnement,

3) l'impact environnemental des matériaux.

Ces trois axes sont successivement décrits ci-dessous.

La réhabilitation est aussi un enjeu important pour le pays. Avec 1 % à 2 % de turn over dans les logements et le tertiaire, ces contraintes environnementales doivent s'intégrer dans la rénovation.

Consommation énergétique du bâtiment

Le secteur du bâtiment est le premier secteur consommateur d'énergie en France avec 42 % de la consommation totale d'énergie finale¹. L'habitat résidentiel et tertiaire est responsable de 22 % des émissions de gaz à effet de serre² soit environ 77 Mt de CO₂ en 2011. Cette réalité fait du secteur du bâtiment le gisement d'économie d'énergie le plus important

1 – Centre d'analyse stratégique, « Des technologies compétitives au service du développement durable », 2012

2 – Ademe, « Chiffres clés bâtiment 2013 »

à moyen terme³. En conséquence, un effort important des pouvoirs publics est déployé pour réduire l'impact énergétique du bâtiment. Cela se traduit notamment par la mise en place des réglementations thermiques « RT » (décrites au paragraphe 3.2) dont la version 2020 repose sur le BEPOS (Bâtiment à énergie positive), concept également décrit au paragraphe 3.2.

Une conception du bâti adaptée à son environnement direct et ses potentielles évolutions

Dans une ambition de réduction des consommations énergétiques, il est crucial de prendre en compte l'environnement direct des bâtiments dans leur conception ainsi que leur potentielle évolution liée notamment aux changements climatiques. En effet, les températures moyennes et les températures extrêmes auxquelles le bâtiment va être soumis influencent sa conception. Par exemple, en France, la RT 2012 a mis en place un découpage du territoire français en fonction des climats et pour chaque territoire la réglementation sur la construction est spécifiquement adaptée au climat.



Figure 1 : Carte des zones climatiques définies pour la RT2012

Des phénomènes comme la sécheresse, les inondations, les hausses ou les baisses de températures, engendrant par exemple des phénomènes de dilatation/rétraction des matériaux ont des impacts sur les bâtiments, leur résistance et leur durée de vie. Les îlots de chaleur urbains, déjà synonyme de microclimats urbains dans lesquels règnent des températures de quelques degrés supérieures aux températures observées ailleurs, sont également des phénomènes à anticiper et limiter par la construction de zones urbaines adaptées.

Il est généralement considéré que les bâtiments construits aujourd'hui vont subsister pendant deux à quatre générations. Ceci implique donc que les futurs changements sont à penser dès maintenant, au risque de voir de nombreuses constructions inadaptées d'ici quelques décennies. De plus, le secteur du bâtiment lui-même pourrait subir des impacts directs dus par exemple aux intempéries qui auront pour effet d'allonger la durée du chantier et donc d'augmenter les coûts.

Malgré le fait que de nombreuses organisations (gouvernements, IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, UNEP - United Nations Environment Programme...) étudient et communiquent sur ces impacts, il n'y pas aujourd'hui de plan précis permettant de construire des habitats prenant en compte le changement climatique. En effet, bien que Météo France ait travaillé sur des projections climatiques pour la France⁴, on considère aujourd'hui que les bâtiments sont vulnérables à la fois aux évolutions progressives de températures et aux événements extrêmes et que les solutions techniques actuelles ne permettent pas de résister simultanément à ces deux phénomènes sauf à des coûts encore élevés⁵, ce qui rend la prise en compte de ces phénomènes d'autant plus compliquée.

Mi-2015, en France, la réflexion progresse même si les impacts à l'horizon 2020 en termes de réglementation, incitations ou autres mesures tels que les formations ne sont pas certains. En France, la réflexion est menée dans le cadre du Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC). Cette réflexion a débuté en 2011 et s'achève en 2015. Peu d'éléments concernant ce plan sont disponibles mais le Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie indique

3 – Magazine *Construire pour demain*, « Réglementation thermique 2020 : quelles normes environnementales dans le bâtiment de demain ? », 2013

4 – <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/changement-climatique/projections-climatiques/les-dernieres-projections-climatiques-pour-la-france>

5 – <http://www.anales.org/rii/2002/temp-08-02.html>

déjà que la mesure phare de la thématique « Urbanisme et cadre bâti » consistera à renforcer l'exigence sur le confort d'été apporté par les bâtiments. Cela implique notamment d'intégrer dans la RT2020 un critère de confort d'été bien défini tenant compte à la fois de l'amplitude et de la durée de la surchauffe.



Simultanément, les orientations données en mai 2015 sur la Nouvelle France Industrielle font apparaître sous la rubrique « ville durable » des priorités concernant l'habitat et le tertiaire⁶.

Impact environnemental des matériaux

L'impact environnemental des matériaux s'articule autour des déchets des chantiers de construction et de rénovation en eux-mêmes, et de l'impact environnemental tout au long du cycle de vie d'un bâtiment.

La production des déchets du BTP s'élève à 260 Mt en France, soit 34 % de la production totale de déchets. En France, une directive cadre adoptée en 2008 impose d'atteindre en 2020 la valorisation de 70 % (en masse) des déchets de construction, déconstruction, rénovation, réhabilitation. En 2014, seulement 45 à 50 % de ces déchets serait valorisé⁷. Étant donné les enjeux actuels liés à l'environnement, la gestion de déchets sur les chantiers prend de plus en plus d'importance. Des grands acteurs intègrent déjà dans leur offre une meilleure gestion des déchets. La gestion de cette problématique est avant tout organisationnelle : c'est notamment grâce à une coopération étroite entre le maître d'œuvre et la société de gestion des

déchets que l'objectif de valoriser 70 % des déchets de chantier en 2020 pourra être atteint.

L'autre enjeu de l'impact environnemental est lié à l'impact des matériaux tout au long de la vie des bâtiments. Les réglementations sur les bâtiments neufs évoluent vraisemblablement vers la prise en compte des impacts environnementaux au sens large, avec plusieurs critères (énergie, carbone, eau, déchets...) en cycle de vie. Cela se traduit par l'écoconception globale du système constructif et du bâtiment. L'analyse du cycle de vie entier pousse les constructeurs à adopter des matériaux à bas carbone ou à faible énergie grise. On en trouve des exemples dans la forte sensibilité aux matériaux bio-sourcés, ou au développement de bétons « bas carbone ». Les solutions doivent prendre en compte l'intégration dans l'environnement, et notamment les stratégies de basse consommation, liées aux zones climatiques. C'est ainsi que se développent des associations innovantes de matériaux associant les qualités de chacune (ex : bois/béton), des solutions requérant moins de matière, plus facilement réutilisables, émettant moins de polluants dans l'air intérieur.

RÉGLEMENTATION

Le BEPOS décliné en 2020

Le bâtiment Nearly Zero Energy Building (directive européenne EPBD 2010/31/EU) s'est décliné en France sous la forme du BEPOS (Bâtiment à énergie positive) avec une ambition de mise en œuvre dans la réglementation thermique 2020. En Allemagne, il s'agit de la Passiv'Haus et en Suisse du Minergie A.

En France, la réglementation thermique (RT) a été mise en place en 1974. La RT 2012 est en vigueur depuis le 1^{er} janvier 2013 et stipule que les nouvelles constructions doivent être bâties pour consommer moins de 50 kWh/m²/an d'énergie primaire. Aujourd'hui, le groupe de travail « Réglementation Bâtiment Responsable » a pour mission de préparer la RT 2020 qui visera notamment à ce que les bâtiments construits à partir du 1^{er} janvier 2021 aient une consommation d'énergie primaire négative, c'est-à-dire une faible consommation compensée par une production locale d'énergie renouvelable.

La définition du pôle de compétitivité Alsace Energivie, adaptée de celle du CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) a été retenue pour la définition du BEPOS. Elle est énoncée comme suit :

6 – http://www.economie.gouv.fr/files/PDF/industrie-du-futur_dp.pdf#page=25

7 – TEAM², support de présentation pour la réunion « GT déconstruction », 2014

« Un logement BEPOS est un logement qui consomme peu d'énergie et l'énergie produite sur le site, grâce aux énergies renouvelables, doit être supérieure à celle consommée (tous usages confondus) en moyenne sur l'année. Il doit fournir aux utilisateurs un environnement intérieur sûr, sain et confortable et faciliter des comportements éco-responsables. Enfin pour contribuer à la sobriété énergétique globale, il doit nécessiter « peu d'énergie » pour sa construction, et sa localisation doit aussi nécessiter « peu d'énergie » pour le transport de ses utilisateurs. »

Le BEPOS repose sur le principe d'une maison passive (à faible consommation d'énergie) décrit à la Figure 2, avec une plus forte ambition en considérant que les équipements du bâtiment doivent permettre de produire plus d'énergie qu'ils n'en consomment. Par rapport à la maison passive, le BEPOS impose notamment la production d'énergie renouvelable pour atteindre un surplus de production d'énergie par rapport à la consommation.

Parmi les équipements que possèdent un BEPOS, on pourra par exemple retrouver une ventilation avec la récupération de chaleur sur l'air vicié, une isolation thermique renforcée, une captation efficace de l'énergie solaire de façon passive, des fenêtres de haute qualité, la limitation des consommations énergétiques des appareils ménagers, la récupération des eaux pluviales.

Afin de mettre en avant le concept du BEPOS avant 2020, l'association Effinergie a créé le label BEPOS-Effinergie 2013 qui est délivré par les organisateurs certificateurs Céquami, Cerqual et Certivéa. Cela permet d'inciter, en avance de phase, les propriétaires des logements ou locaux du tertiaire et à en faire ainsi des ambassadeurs pour faciliter la mise en œuvre de la RT 2020 par la suite.

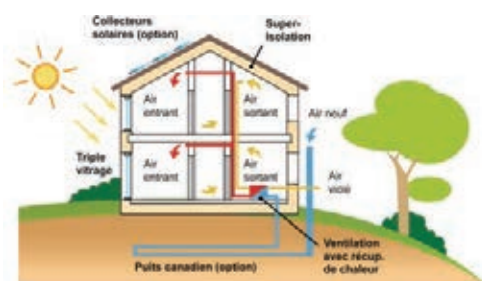


Figure 2 : Schéma représentant une maison passive (source : Sénova)

La RT 2020 devrait s'appliquer uniquement aux bâtiments neufs. Chaque année, les constructions neuves représentent un peu plus de 1 % du parc total⁸.

La réglementation actuelle prévoit deux principaux cas pour la rénovation. Tout d'abord, pour la rénovation très lourde de bâtiments construits après 1948 et dont la superficie est supérieure à 1000 m², le bâtiment rénové doit atteindre les exigences en vigueur sur les performances globales d'un bâtiment neuf. Deuxièmement, pour tous les autres cas de rénovation, l'exigence de performances minimales ne porte que sur l'élément remplacé ou installé.

Ces dispositions ont été complétées par la loi transition énergétique pour la croissance verte qui a été promulguée le 17 août 2015. Les dispositions impactant dès à présent le secteur de la construction sont les suivantes⁹ :

- Construction des bâtiments à caractéristiques énergétiques et environnementales renforcées : le plan local d'urbanisme peut imposer aux constructions de couvrir une part de leur consommation d'énergie par la production d'énergie renouvelable (Article 8-I).

- État exemplaire – Économies d'énergie : Mise en place d'actions de sensibilisation à la maîtrise de la consommation d'énergie auprès des utilisateurs des nouvelles constructions de l'État, de ses établissements publics et des collectivités territoriales (Article 8-II).

- Expérimentations et innovations en matière d'économies d'énergies : les collectivités et établissements publics établissant un Plan climat énergie territorial peuvent conclure un partenariat avec les établissements publics à caractère scientifique, culturel et professionnel (universités, grandes écoles,...) à cette fin (Article 8-III).

- Conditions de performance énergétique minimale s'appliquant aux logements sociaux vendus à des personnes physiques : extension aux logements individuels des dispositions actuellement en vigueur pour les logements collectifs, bénéficiant le plus souvent à des accédants issus du parc social (Article 13).

- Maintien des aides aux travaux d'amélioration de la performance énergétique quand il y a obligation de travaux : pour faciliter la réalisation des travaux (Article 14-II).

8 – <http://www.logisneuf.com/statistique-immobiliere.html>

9 – Source : MEDDE (ministère en charge de l'écologie).

■ Copropriétés – vote à la majorité simple des travaux de rénovation énergétique : dans les bâtiments en copropriété, simplification des opérations d'amélioration de l'efficacité énergétique à l'occasion de travaux affectant les parties communes (Article 14-IV).

■ Simplification de l'application de la réglementation thermique aux nouvelles constructions : les organismes certificateurs spécialisés dans la performance énergétique des bâtiments peuvent délivrer l'attestation de prise en compte de la réglementation thermique à la fin d'un chantier de construction, lorsqu'ils signent une convention à cet effet avec l'État, ce qui simplifie les démarches pour la construction de bâtiments certifiés (Article 15).

■ Mise en place des plateformes territoriales de la rénovation énergétique : définition de leur missions et renforcement de l'accompagnement technique et financier proposé aux particuliers lors de leurs travaux de rénovation énergétique. Cela inclut ainsi le réseau existant des 450 Points Rénovation Info Service qui couvrent l'ensemble du territoire (Article 22).

■ Information des consommateurs sur leurs frais réels de chauffage et facturation selon leur consommation réelle : généralisation de l'obligation d'individualisation des frais de chauffage dans les immeubles pourvus d'une installation collective de chauffage et/ou d'eau chaude sanitaire (Article 26).

■ Soutien aux véhicules à faibles émissions : Les collectivités peuvent prévoir dans les plans locaux d'urbanisme que le nombre de places de stationnement exigé ordinairement soit réduit d'au moins 15 % en contrepartie de la mise à disposition de véhicules électriques en autopartage. Il s'agit d'encourager les promoteurs immobiliers à s'associer avec des opérateurs de location de véhicules propres en libre-service (Article 42).

L'accessibilité des bâtiments à prévoir

Depuis 2005, une réglementation est en place pour transformer le bâti et permettre l'accueil des personnes handicapées dans les lieux publics et les logements collectifs. Une série de dispositions telles que la taille des couloirs, la hauteur des interrupteurs et l'agencement de l'habitat a été décidée et doit être mise en place sur les constructions neuves. Concernant l'existant, seuls les établissements accueillant du public sont concernés. La loi du 11 février 2005 prévoyait la mise aux normes de tous les établissements accueillant du public pour 2015. Or, l'inspection générale des affaires sociales (Igas) a constaté dans un rapport publié le

12 septembre 2012 que la mise aux normes des établissements accueillant du public n'atteignait que 15 % du total de ces bâtiments. Face à ce constat, l'Igas a alerté les pouvoirs publics sur le fait que l'objectif de 100 % ne pourrait pas être atteint pour 2015. La principale cause évoquée pour justifier ce résultat est le contexte économique et budgétaire, peu propice à ces investissements. En 2015, plusieurs propositions ont été faites pour adapter davantage la réglementation aux besoins et la rendre plus réaliste, et toutes ne sont pas encore validées. Ils auront un impact sur la construction et la rénovation d'ici 2020. L'enjeu est principalement de bien calibrer la réglementation pour imposer la construction de logements et de bâtiments tertiaires adaptés aux personnes handicapées mais en limitant les situations où la réglementation serait un frein à la construction.

Le vieillissement de la population est, avec la réalisation de logements plus performants au niveau énergétique, au cœur des préoccupations du marché de l'habitat. Le groupe de travail « Évolutions démographiques et vieillissement »¹⁰ indique également que l'accélération du vieillissement¹¹ en France connaîtra un premier point haut en 2020, la population des plus de 65 ans passant de 18,4M en 2015 à 20,1M en 2020, les plus de 75 ans étant quant à eux stables à 9,1M. Pour l'habitat, les deux impacts majeurs du vieillissement de la population sont l'augmentation du nombre d'habitats nécessaires et l'adaptation de l'habitat à une population vieillissante.

Pour maîtriser cette transition, la volonté énoncée par le groupe de travail « Évolutions démographiques et vieillissement » est d'orienter les efforts vers l'adaptation du logement personnel (hors maisons de retraite ou autres structures collectives d'accueil) afin que les retraités conservent le plus longtemps possible leur autonomie. En effet, au-delà de l'augmentation des besoins en médicalisation de la fraction la plus âgée des retraités, les besoins en termes d'habitat d'une nouvelle génération, entre la cessation d'activité et la vieillesse (60-75 ans), sont à anticiper. Notamment, une forte cohérence est à construire entre l'aménagement de l'espace public (espaces urbains, transports...), l'espace collectif (bien ou parties communes) et l'espace

10 – Groupe de travail « Évolutions démographiques et vieillissement » de la Fédération européenne du logement social, « L'adaptation de l'habitat à l'évolution démographique : un chantier d'avenir », 2009

11 – http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=ip1089#inter2

privé (logement). Les liens de ces espaces sont également importants avec les commerces de proximité, les lieux et tissus associatifs, les services publics.

Parmi les solutions technologiques envisagées, nous pouvons citer les développements des usages numériques utilisées afin d'apporter confort, sécurité, communication avec l'extérieur du logement, maintenance, suivi. Afin de favoriser l'intégration de ces technologies dans l'habitat des personnes vieillissantes, il faut à la fois améliorer l'acceptabilité de ces technologies chez les sujets cibles et réduire leur coût d'intégration dans l'habitat.

La qualité de l'air intérieur en suspens

Depuis plusieurs années, la qualité de l'air intérieur fait l'objet d'une attention croissante, notamment par l'ANSES. Une des douze actions prioritaires du premier Plan national santé environnement (PNSE 2004-2008), visait à approfondir les connaissances dans ce domaine. Le Grenelle de l'Environnement a abouti à plusieurs propositions concernant la qualité de l'air intérieur reprises dans le deuxième PNSE (2009-2013).

Cela devrait se traduire par la mise en place d'une surveillance de la qualité de l'air intérieur, d'abord pour les établissements recevant du public (surtout pour ceux qui concernent la petite enfance). Une telle démarche initialement légiférée pour 2015 a pris la forme de bonnes pratiques volontaristes.

La diffusion de technologies spécifiques à la qualité de l'air intérieur est largement subordonnée à l'évolution des réglementations, et l'impact à l'horizon 2020 reste incertain.

La maquette numérique en expansion

La directive européenne adoptée en février 2014¹² par le Conseil de l'UE recommande aux États membres l'usage d'outils de modélisation électronique des données du bâtiment dans les projets immobiliers financés par les fonds publics (maquette numérique/Building Information Modelling - BIM).

Le BIM (« *Building Information Modeling* » ou « Bâtiment et Informations Modélisés ») constitue une méthode de travail basée sur la collaboration autour d'une maquette

numérique ; cette maquette s'enrichit des apports des différents intervenants sur l'ouvrage, de la conception à la construction, et de la réception à la fin de vie. Elle permet à toutes les parties prenantes de mieux représenter, anticiper et optimiser les choix, tout au long de la vie de l'ouvrage et laisse entrevoir des gains potentiels très significatifs en matière de productivité (réduction des délais, diminution des coûts) et d'amélioration de la qualité des projets (réduction des sinistralités).

Les États membres ont jusqu'en avril 2016 pour transposer la directive dans leur droit national. Ils pourront soit encourager, spécifier ou rendre obligatoire l'utilisation du BIM.

Certains États, membres de l'UE ou non, ont déjà mis en place des législations incitatives ou contraignantes afin que la filière du bâtiment adopte le BIM¹³. En Norvège par exemple, la maquette numérique est obligatoire depuis 2010 pour tous projets conduits par l'agence gouvernementale en charge de la gestion du patrimoine immobilier de l'État. En 2016, 100 % des chantiers à Singapour utiliseront le BIM et le Royaume-Uni rendra obligatoire l'adoption du BIM niveau 2 dans les commandes publiques.

Le BIM est donc un réel enjeu pour accroître la compétitivité de la filière Bâtiment en France et à l'export, pris en compte notamment dans le Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment lancé en janvier 2015 par le ministère en charge du logement.

La gestion des déchets à long terme

La directive européenne « déchets » fixe un objectif de valorisation matière de 70 % pour les déchets non dangereux du BTP d'ici à 2020. Plus que technologique, la meilleure gestion des déchets sera liée à des modifications de l'organisation des chantiers et de la formation des opérateurs, artisans et ouvriers.

MARCHÉ

Le marché mondial de la construction en 2020 est estimé à 12 000 Md\$ et 15 000 Md\$ en 2025 selon les rapports « Global construction 2020 » et « Global construction 2025 » de Global Construction Perspectives et Oxford Economics. En 2025, plus de 60 %

12 – DIRECTIVE 2014/24/UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 26 février 2014 sur la passation des marchés publics et abrogeant la directive 2004/18/CE

13 – Plan Bâtiment Durable ; rapport du groupe de travail BIM et gestion du patrimoine « un avatar numérique de l'ouvrage et du patrimoine au service du bâtiment durable : le « Bâtiment et Informations Modélisés » (BIM), tome 1, mars 2014

de l'activité aura lieu dans les pays émergents. A eux seuls, sept pays (Chine, USA, Inde, Indonésie, Russie, Canada et Mexique) représenteront 72 % de la croissance escomptée.

En Europe, après les déclinés de 2008-2010 et 2012-2013, on s'attend à une stabilisation du marché liée à la baisse du pouvoir d'achat des ménages et aux forts taux de chômage induisant une faible demande de construction.

L'Allemagne devrait rester le plus grand marché d'Europe de l'Ouest, légèrement devant la France jusqu'en 2025. Malgré cela, le taux de croissance de l'activité du bâtiment devrait y rester parmi les faibles en Europe, en raison d'une baisse sensible de la population (diminution de 2 millions de personnes d'ici 2025, soit -2,5 %) et d'une baisse de la population active (avec des revenus et des besoins en logements différents).

A contrario, le marché le plus croissant d'Europe devrait être le marché du Royaume-Uni. Global Construction Perspectives prévoit une croissance deux fois plus forte que la moyenne européenne, avec un marché qui pourrait atteindre le niveau de l'Allemagne en 2025. Ce dynamisme serait dû aux efforts pour rattraper le manque d'investissement dans le logement, avec un risque de déficit fort au Royaume-Uni, des mesures gouvernementales très incitatives et une meilleure économie portée par des liens internationaux forts, notamment avec les USA.

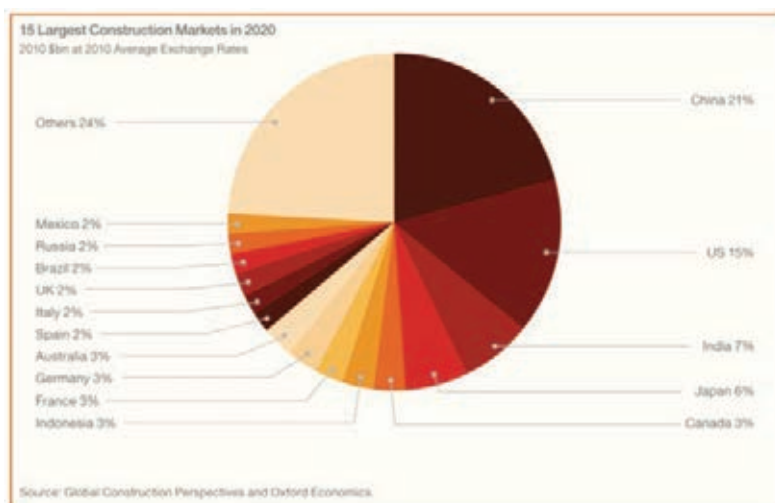


Figure 3 : Les 15 plus grands marchés de la construction en 2020

En France, la croissance devrait être modérée, la France étant en-dessous de la croissance moyenne d'Europe

Occidentale du secteur du bâtiment. Ceci est aussi dû, entre autres, au fait que le secteur français de la construction a été moins touché que les autres pays européens au cours de la crise économique mondiale. Le marché français devrait ainsi représenter 3 % du marché mondial en 2020, soit 294 Md€¹⁴.

Au 1^{er} janvier 2014, la France métropolitaine compte 33,9 millions de logements (INSEE). En 2011, le secteur de la construction (hors travaux publics) en France métropolitaine a réalisé un chiffre d'affaires de 129 Md€¹⁵ et celui des fournisseurs de la construction un chiffre d'affaires de 45 Md€¹⁶.

En France, l'activité des travaux de bâtiment s'est légèrement réduite ces dernières années et a atteint 126 Md€ en 2013, dont 60 % pour le logement. L'activité dans le neuf (logement et hors logement) a représenté 43,7 % de l'activité totale. Selon la FFB (Fédération Française du Bâtiment), la part de la rénovation devrait continuer à croître dans les prochaines années.

Le dynamisme du secteur est fortement appuyé par les incitations fiscales, pour répondre aux objectifs de création de logement. Or la disponibilité des fonds gouvernementaux et locaux à long terme n'est pas assurée.

PRODUCTION

Le secteur de la construction (bâtiments neufs) est en difficulté et notamment le nombre de logements neufs est en baisse depuis 2008 malgré une hausse sur l'année 2011¹⁷. Le secteur souffre d'une faible visibilité en Europe sur les programmes neufs. La rénovation sera un gros réservoir d'activité dans les prochaines années. D'une part, cela est dû au ralentissement des investissements dans le bâti neuf et aux plus faibles enveloppes disponibles. D'autre part, les enjeux liés au vieillissement de la population et à la réduction de la consommation énergétique des bâtiments renforcent le besoin de rénover l'habitat pour le rendre plus adapté aux situations actuelles et futures¹⁸.

14 – Ce chiffre inclut les données de l'habitat et des travaux publics.

15 – Source : FFB

16 – Source : INSEE

17 – Ademe, « Chiffres clés bâtiment 2013 »

18 – Les Echos : <http://www.lesechos.fr/industrie-services/immobilier-btp/0203863757593-la-filiere-btp-en-etat-durgence-1054288.php>

L'activité du secteur du bâtiment a reculé de 4,3 % en volume en 2014 par rapport à 2013¹⁹. Cette mauvaise activité impacte l'ensemble des acteurs. Par exemple parmi les maîtres d'œuvre, tous les corps de métier sont touchés.

Parmi les fournisseurs de solutions (matériaux, équipements), tous les secteurs n'ont pas la même dynamique. Par exemple, sur les carrières et matériaux de construction (granulats, pierres de construction, ciments, bétons, etc.), l'UNICEM (Union Nationale des Industries de Carrières Et Matériaux de construction) note des importations relativement constantes, mais des exportations en baisse. Au contraire, les fournisseurs d'isolant pour l'extérieur (ITE) ont connu depuis 2012 des croissances supérieures à 10 %.

Les grandes tendances

TECHNOLOGIQUES

L'isolation thermique est l'une des clés pour répondre aux enjeux d'efficacité énergétique des bâtiments. Dans son rapport de 2012 sur les tendances constructives des bâtiments à basse consommation²⁰, le CERQUAL indique que 55 % des logements collectifs BBC (Bâtiment Basse Consommation) utilisaient l'isolation par l'extérieur en 2011. Ce type d'isolation se développe notamment dans les régions les plus froides. Il permet de traiter efficacement les ponts thermiques. Pour l'habitat individuel, bien que l'isolation par l'extérieur se développe dans les régions froides, c'est encore l'isolation intérieure qui prédomine (utilisée à 50 %).

L'isolation des vitrages est également un fort enjeu puisque les surfaces vitrées peuvent représenter jusqu'à 30 % des pertes thermiques d'un bâtiment. À ce titre, les BEPOS comprennent souvent dans les pays froids l'utilisation de triple vitrage.

Cela fait longtemps que les performances de l'isolation thermique sont au cœur des développements technologiques. C'est notamment un des enjeux qui a permis le développement de la brique, qui a une conductivité thermique bien plus faible que le béton traditionnel (non cellulaire), sans pour autant

permettre de se passer d'isolant thermique intérieur ou extérieur. Dans un contexte de foncier très cher et/ou rare, les performances d'isolation poussent à développer pour les rénovations les produits isolants minces en complément des isolants thermiques plus traditionnels, afin de diminuer la surface d'occupation des sols dans les habitations.

À l'horizon 2020, il est surtout intéressant de remarquer qu'au-delà des performances pures, des nouvelles valeurs rentrent dans les attentes, et notamment la valeur verte. Cela se traduit par l'intégration de matériaux renouvelables, ou à faible impact environnemental.

Les principales thématiques de recherche en lien avec le bâtiment qui permettent de répondre aux enjeux du changement climatique sont mentionnées dans la fiche formation bâtiment du PNACC (Plan National d'Adaptation au Changement Climatique). Il s'agit notamment des matériaux à fort albédo, des solutions pour mettre en œuvre une architecture bioclimatique (protéger les bâtiments du soleil, isolation, lutte contre les apports de chaleur interne, ventilation...), des solutions permettant de limiter les phénomènes d'îlots de chaleur urbains.

Les systèmes de chauffage sont également au cœur d'une bonne sobriété énergétique du bâtiment. En habitat collectif, 71 % des logements sont alimentés en énergie par une chaudière collective. D'après le rapport du CERQUAL, cela est à mettre directement en lien avec le label BBC car en 2010, à peine 40 % des logements collectifs étaient alimentés par des chaudières collectives. En effet, l'efficacité énergétique des logements est telle que les chaudières individuelles seraient en sous-utilisation.

On observe également l'utilisation croissante de constructions en bois pour des bâtiments de petite taille ou des péri-structures. D'après France Stratégie, le développement de ces solutions est envisageable sur le territoire français, d'autant que ces matériaux s'adaptent bien à la pré-industrialisation et que les traitements du bois se sont améliorés et permettent aujourd'hui d'avoir des durées de vie plus élevées. Dans le marché de la maison individuelle, la part de la construction bois est d'ailleurs croissante par rapport à l'ensemble des systèmes constructifs²¹. Des solutions

19 – Source : FFB

20 – CERQUAL, « Les tendances constructives dans les opérations BBC Effinergie », 2012

21 – http://aprovalbois.com/sites/default/files/FFB_%20Observatoire_%20Construction%20Bois%202013.pdf

telles que l'utilisation de composants ou kits pourraient permettre d'augmenter la productivité de la construction donc de réduire les coûts, ce qui est essentiel pour compenser la hausse des coûts de construction liée à la réglementation notamment.

D'autres éco-matériaux comme le chanvre, la terre cuite ou la paille réapparaissent dans la construction et font l'objet de travaux de développement. D'après France Stratégie, leur utilisation est susceptible de croître mais cela ne sera pas significatif à l'échelle du secteur.

Les technologies de chauffage sont relativement matures, et les efforts portent surtout sur l'intégration de plusieurs sources d'énergie et les liens avec les architectures sobres, comme les architectures bioclimatiques.

Cette intégration peut se faire à l'échelle d'un bâtiment, par exemple sur les bâtiments mélangeant bureaux et habitations qui n'ont pas les mêmes besoins énergétiques au même moment, dans un concept de *micro-grids*, ou à l'échelle de quartiers, notamment avec le développement des éco-quartiers, dans un concept de *smart grids*. Il s'agit alors de mieux consommer en consommant au bon moment, de mutualiser les sources de production d'énergie ou encore de réutiliser les chaleurs dites fatales qui sont autrement perdues.

Les technologies permettant à différentes échelles la conception et la simulation des bâtiments sont donc nécessaires pour aider à sélectionner les meilleures solutions au meilleur coût.

En termes de conception, la maquette numérique (représentation géométrique et sémantique d'un bâtiment permettant de concevoir, simuler et communiquer, appelée aussi BIM – Building Information Model) se généralise et permet notamment une meilleure communication entre les acteurs du projet et une réduction des coûts de conception.

Le BIM influence aussi le reste du cycle de vie du bâtiment. Les logiciels informatiques 3D intégrant le BIM pourraient ainsi servir aussi de supports à la commercialisation, à l'exploitation et à la maintenance du bâtiment, avec la création d'un carnet numérique du bâtiment.

Les techniques d'industrialisation de la construction se développent. Elles doivent permettre de construire plus rapidement à moindre coût. Cela permet aussi d'augmenter les conditions de sécurité et de diminuer

le temps de présence sur le chantier en translatant une partie des interventions en usine. Il s'agit par exemple de développer les techniques de préfabrication béton ou bois.

L'internet des objets via la domotique permet notamment d'améliorer la gestion énergétique du bâtiment avec des systèmes de régulation communicants et pilotables à distance. Ce type d'équipements est aujourd'hui majoritairement utilisé dans le tertiaire. Pour le logement, ce type de technologies est davantage relié au confort et à la sécurité, appuyé par une gestion rationnelle des consommations énergétiques.

Pour ces installations, il est nécessaire de prendre en compte l'adaptabilité des solutions numériques : la durée de vie des composants électroniques développés en domotique dépasse rarement la décennie. Il est alors nécessaire de prévoir leur remplacement à différentes échéances de la vie du bâtiment et donc de préfigurer un repérage facile de la localisation des composants dans les bâtiments et afficher les normes techniques à respecter.

Pour améliorer l'efficacité énergétique, la maintenance prédictive se développe. Elle permet de détecter un système qui commence à défaillir et optimise le moment de son renouvellement pour réduire la consommation énergétique supérieure due à un système défaillant tout en prenant en compte le coût de maintenance et d'achat du nouveau matériel.

Plus généralement, des plateformes de solutions énergétiques se développent, portées également par le programme H2020 énergie de l'Union européenne, dont une part majeure est consacrée à l'efficacité énergétique des bâtiments, et dont les appels à projets sont régulièrement communiqués²².

INDUSTRIELLES

La structuration du secteur de la construction a un caractère local induit par la nature des principaux matériaux de production. En effet, ces derniers étant majoritairement des pondéreux, les sites de production sont situés à proximité des lieux de construction afin de limiter leur transport. Par exemple, le rayonnement

22 – <http://www.horizon2020.gouv.fr/cid83117/lettre-information-des-pcn-energie-changement-climatique-ressources.html>
<http://www.horizon2020.gouv.fr/cid89557/lancement-de-la-plateforme-de-specialisation-intelligente-en-matiere-d-energie.html>

d'une cimenterie est de 200 km et le transport du béton et des briques est généralement limité à 30 km.

L'habitat tend vers une industrialisation de plus en plus forte, avec une production aux bonnes tailles de chaque chantier (appuyées par le calepinage numérique et le BIM) en usine pour diminuer le temps de pose, diminuer drastiquement les malfaçons lors de l'installation, mais aussi réduire les déchets produits sur le chantier et favoriser le recyclage.

La construction est également un marché de « production » locale mais le bénéfice en termes d'emplois locaux est atténué du fait du recours de plus en plus fréquent à de la main d'œuvre moins coûteuse issue de pays étrangers (majoritairement d'Europe de l'Est)²³.

Au niveau mondial, de nouveaux acteurs issus des pays émergents font leur apparition. Ces acteurs s'appuient sur un quasi-monopole ou un vaste marché dans leur pays d'origine qui leur permet de monter en compétences. Par exemple, Cemex est en 2015 le 2^e acteur sur le marché français du béton derrière Lafarge. Cemex a pris possession de 15 % du marché français en 10 ans²⁴. Les acteurs européens sont donc menacés sur leur marché domestique par des entreprises étrangères malgré le fait que le secteur du bâtiment ait une forte dominante locale. Pour faire face aux acteurs des pays émergents sur tous leurs marchés (matures ou émergents), les deux principaux cimentiers mondiaux, Lafarge (France) et Holcim (Suisse) ont décidé de fusionner, ce qui montre la dynamique en cours du paysage industriel.

L'intégration du numérique dans le bâtiment donne lieu à l'arrivée de nouveaux entrants. Un cas emblématique est celui de l'acquisition de Nest par Google. On voit aussi se renforcer des acteurs étrangers qui s'appuient sur une offre multi-métiers forte, comme Siemens ou Bosch.

D'USAGE

Différents types d'usages sont identifiés dans les différents domaines liés à l'habitat.

Le développement des *smart grids*, des éco-quartiers et des *smart cities* influence la conception du bâtiment

et modifie ses interactions avec l'extérieur. Notamment dans le cas du BEPOS, le surplus d'énergie produit est intégré au sein du quartier ou de la ville pour en faire un usage local.

Cette conception du bâtiment influe notamment sur la façon dont les acteurs de la construction vont interagir entre eux. Les sciences du bâtiment (acoustique, structure, thermique...), jusqu'à présent sérielles et séparées vont être réunies autour du système bâtiment. De la même façon, les phases de conception, construction et exploitation interagiront.

Les partenariats public-privé ou PPP ont été créés il y a environ 10 ans. Ils ont pour but d'offrir une alternative entre la délégation de service public et l'appel d'offre public. Les contrats de partenariat autorisent une **plus grande souplesse de gestion** pour le secteur public en particulier sur l'investissement initial, tout en assurant qu'il reste en charge de la gestion du service public. Bien que certains dangers du PPP soient décriés, notamment dans un rapport de la commission des lois du Sénat du 16 juillet 2014, les PPP sont encore amenés à se développer, par exemple pour la rénovation énergétique. Ces contrats engendrent une évolution de la conception des bâtiments du point de vue du maître d'ouvrage à une conception plus « industrielle » ou « raisonnée » par le gestionnaire.

Sur ce modèle, on s'attend à un engagement de performance de plus en plus fort par le constructeur, provenant principalement des exigences croissantes de réglementations comme la RT 2020 par exemple.

Cet engagement de performance s'accompagne d'une prise en compte de plus en plus systématique du coût total de possession (TCO – *Total Cost of Ownership*) dans le bâtiment. Le surcoût des bâtiments (ou du loyer du bâtiment) est ainsi compensé par les gains sur les marges dans certaines offres de promoteurs.

La prise en compte du TCO trouve par contre ses limites dans la visibilité sur les prix des énergies conventionnelles. Une baisse du prix des produits pétroliers limite ainsi le retour sur investissement des nouveaux systèmes de chauffage par rapport au fioul ou au gaz.

Concernant les besoins des utilisateurs des logements, la modification des profils familiaux (familles monoparentales, parents divorcés puis remariés...) induit des besoins différents notamment vis-à-vis de la superficie du logement.

23 – <http://www.challenges.fr/economie/20131030.CHA6293/ces-salaries-low-cost-venus-d-europe-de-l-est-bulgarie-roumanie-slovaquie.html>

24 – La voix du Nord, « Cemex bétonne son implantation dans le Nord-Pas-de-Calais », 2013

L'arrivée de nouvelles générations impacte aussi fortement les usages. On compte notamment l'émergence de la génération Z, née dans le numérique et pour laquelle le partage a toujours existé. Le bâtiment tertiaire évolue déjà vers des bâtiments multi-occupants et multi-usages (*co-working*, espaces collaboratifs), et il y aura aussi certainement des répercussions sur l'habitat.

Le recours à l'analyse du cycle de vie en général est de plus en plus fréquent et le secteur du bâtiment ne fait pas exception à cette tendance. Dans ce cadre notamment, la consommation énergétique du bâtiment en exploitation n'est plus seule à être prise en compte, l'énergie grise du bâtiment l'est aussi. Bien qu'il n'existe pas de définition normalisée de l'énergie grise, un groupe de travail d'Effinergie la définit comme la somme des consommations d'énergie mises en jeu en dehors des consommations d'usage habituelles²⁵. Par exemple, cette énergie est mobilisée lors de la fabrication des matériaux de construction, la construction, l'entretien ou la fin de vie du bâtiment. Afin de réaliser les calculs les plus impartiaux possibles et donc de pouvoir comparer plusieurs analyses entre elles, des outils de calcul tels que ELODIE du CSTB ou TEAM Bâtiment développé par Ecobilan sont utilisés.

La position de la France

INDUSTRIELLE

Pour la production de matériaux de construction, les entreprises Saint-Gobain, Lafarge et Vicat se distinguent.

Saint-Gobain est présent dans plus de 64 pays et se décrit comme le leader mondial de l'habitat durable. Les activités du groupe portent notamment sur les matériaux innovants (vitres, matériaux hautes performances), la production et la distribution de matériaux de construction (plâtres, isolation...). Saint-Gobain a une forte culture d'innovation et figure notamment depuis 4 ans au classement Reuters des cent entreprises les plus innovantes du monde²⁶. D'après un

classement du magazine Industrie & Technologie²⁷, Saint-Gobain possède trois centres de recherche qui sont parmi les 100 plus grands centres de France.

Lafarge et Vicat sont deux cimentiers. Lafarge produit du ciment, des granulats, du béton et du plâtre. L'entreprise est un acteur important sur le plan mondial : leader mondial sur le ciment, n°2 mondial sur les granulats et n°4 mondial sur le béton. La société regroupe 64 000 collaborateurs dans 62 pays et fusionne en 2015 avec Holcim (90 000 personnes, siège en Suisse). L'entreprise possède un centre de R&D qui figure parmi les 100 plus grands de France avec 300 employés.

Vicat est positionné sur le ciment, le béton et le grulat. C'est une entreprise mondiale de taille plus modeste que Lafarge. Elle compte 7 700 collaborateurs répartis dans 11 pays.

Pour la gestion énergétique des bâtiments, les entreprises Schneider Electric, Dalkia, Cofely et Idex sont bien positionnées au niveau mondial et/ou français.

Schneider Electric est un spécialiste mondial de l'efficacité énergétique. L'activité du groupe est centrée sur la gestion de l'énergie électrique : distribution, fiabilité, amélioration des performances, solutions domotiques, etc. L'entreprise regroupe plus de 150 000 collaborateurs dans 100 pays. D'après le classement du magazine Industrie & Technologie, Schneider Electric possède notamment le 9^e et le 75^e plus grand centre de R&D en France avec respectivement 2 000 et 300 employés.

Dalkia (groupe EDF) et Cofely (groupe ENGIE) interviennent dans les services à l'efficacité énergétique, essentiellement dans le domaine des énergies thermiques (chauffage, climatisation) pour le tertiaire ou le gros collectif. Dalkia et Cofely regroupent chacune environ 12 000 collaborateurs. Idex, de taille plus modeste que ses concurrentes françaises (3 600 employés) est spécialisé dans la gestion de la performance énergétique aussi bien au niveau des énergies électriques que thermiques.

Pour la fourniture d'équipements des bâtiments, les entreprises Legrand, Atlantic et Aldes se distinguent.

Legrand propose des équipements et solutions pour l'éclairage, les prises électriques, la domotique, la diffusion sonore, la sécurité, l'aménagement intérieur,

25 – Groupe de travail de l'association Effinergie sur l'énergie grise d'un bâtiment, 2010

26 – Classement Thomson Reuters publié chaque année. Le calcul se base sur quatre critères : le taux de réussite du dépôt de brevet, la portée mondiale du portefeuille de brevets, l'influence du brevet calculée à partir du nombre de citations dans la littérature professionnelle et le volume de brevets.

27 – Industrie & Technologie, « Les 100 premiers centres de R&D de France ». Classement par nombre d'employés.

etc. pour les logements et le tertiaire. La société, cotée au CAC 40, réalise un chiffre d'affaires de plus de 4 Md€ avec plus de 33 000 salariés.

Le groupe Atlantic crée des solutions de confort thermique pour l'habitat, entre autres : eau chaude sanitaire, chauffage résidentiel ou collectif (pompes à chaleur, chaudières, radiateurs), avec les systèmes de gestion énergétique associés. Le groupe réalise 950 M€ de chiffre d'affaires en 2013 et emploie 4400 personnes.

Aldes conçoit, fabrique et commercialise des solutions intégrées pour le bien-être dans les bâtiments. La société intervient dans des domaines tels que la ventilation, le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire. L'entreprise est de taille modeste mais couvre un territoire mondial. Elle compte 1 200 employés, est implantée dans 13 pays et exporte dans plus de 60 pays sur tous les continents.

Dans l'ameublement, on peut citer en France, Parisot, Gautier et Demeyere. Ces entreprises sont des ETI et regroupent respectivement 1 800, 500 et 700 salariés.

Dans le secteur de la construction, Bouygues Construction, Vinci, Eiffage et SPIE sont d'importance au niveau mondial et/ou français.

Bouygues et Vinci sont des acteurs de la construction de rang mondial. Bouygues réunit plus de 52 000 collaborateurs et Vinci emploie près de 69 000 personnes. Eiffage et SPIE sont moins développées à l'échelle internationale. SPIE regroupe 37 000 employés et réalise environ 50 % de sa production en France. Eiffage emploie 13 000 personnes et réalise 81 % de son chiffre d'affaires en France.

Unibail-Rodamco est une société de gestion d'immobilier commercial spécialisée dans les centres commerciaux, les bureaux et les centres de Congrès. Unibail-Rodamco est le premier groupe européen de son domaine à être coté en bourse et le troisième mondial. L'entreprise regroupe 1 500 collaborateurs.

Enfin, s'agissant des objets connectés, appelés à prendre un rôle croissant dans l'habitat, de nombreuses start-ups françaises se présentent de façon compétitive au niveau mondial. Leur fédération au sein de la French Tech leur a donné une visibilité croissante²⁸.

ACADÉMIQUE

Le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) réunit environ 900 collaborateurs. Son expertise s'étend sur de nombreuses thématiques liées à l'habitat : bâtiment responsable, urbain durable, eau, santé-confort, énergie-environnement, usages-économie. Le CSTB est reconnu au niveau français et mondial comme en témoigne sa contribution à plusieurs études de dimensionnement pour la construction du troisième pont du Bosphore reliant Europe et Asie au niveau de la Turquie.

Le CETIAT est lui le centre technique des industries aéronautiques et thermiques. Celui-ci n'intervient pas uniquement pour l'habitat mais intervient régulièrement pour l'habitat, en partenariat avec des sociétés comme ALDES, Atlantic, ELM Leblanc, etc... Ainsi un tiers de ses prestations sont réalisées sur les équipements de CVC (Chauffage, Ventilation et Conditionnement d'air) pour l'industrie hors process, le tertiaire ou le logement. Il joue de plus un rôle important dans la métrologie et l'étalonnage des systèmes thermiques.

L'IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux) est un centre de compétences clé pour l'intégration de l'habitat dans son environnement. L'un de ses axes stratégiques est la thématique « Penser et aménager les villes et les territoires durables ».

Le projet Sense-City auquel le CSTB et l'IFSTTAR participent a été labellisé Equipex en 2011. Le projet consiste en l'exploitation d'une « mini-ville » permettant notamment de tester en conditions réelles des micro- et nanocapteurs pour instrumenter et piloter la ville.

L'ITE (Institut pour la Transition Énergétique) Efficacity a pour but de concevoir un modèle de ville durable intégrant sobriété, efficacité énergétique et utilisation d'énergies renouvelables. Parmi les partenaires et les acteurs cités plus haut, on retrouve Vinci Construction.

Le Labex MMCD (Modélisation et expérimentation pour la construction durable) situé en Île-de-France centre ses recherches sur l'étude des matériaux de construction à différentes échelles afin d'améliorer par exemple la durabilité du bâti.

Le Labex Futurs urbains regroupe des équipes de recherche d'Île-de-France sur les thématiques suivantes : intégration de la ville dans son environnement, qualité de vie en ville, conception de villes mondialisées et production matérielle de la ville (construction, rénovation, maintenance...).

28 – <http://www.lafrenchtech.com/>

Matrice AFOM

ATOUTS

Acteurs présents tout au long de la chaîne de valeur

Bonne complémentarité des acteurs institutionnels, industriels et des entreprises

Reconnaissance mondiale des ingénieurs et architectes français

FAIBLESSES

Conservatisme du secteur, notamment liée à la valeur patrimoniale du logement

Chaîne d'acteurs très fragmentée, très grande majorité d'entreprises de moins de 20 salariés et difficulté à structurer le secteur

Déficiences de collaboration entre les différents corps de métier

Filière industrielle des biosourcés en début d'organisation pour le bâtiment

OPPORTUNITÉS

Contexte réglementaire et sociétal propice au développement technologique

Engagements collectifs d'acteurs dans des développements technologiques (notamment le BIM)

Forts enjeux de création et de rénovation de logements en France

Soutiens des éco-constructions par les pouvoirs publics

MENACES

Développement d'acteurs internationaux multi-métiers (Siemens) ou de nouveaux entrants à fort pouvoir mobilisateur (Google avec le rachat de Nest)

Dynamisme des nouvelles technologies fortement liées aux incitations fiscales

Diminution des finances locales

Impact des fluctuations des prix de l'énergie sur la « valeur verte »

SOURCES

- Ademe, *Chiffres clés du bâtiment*, 2013
- Ademe / FFB, *Mieux gérer les déchets de chantier de bâtiment*, 2013
- Centre d'analyse stratégique, *Des technologies compétitives au service du développement durable*, 2012
- Cerqual, *Les tendances constructives dans les opérations BBC Effinergie*, 2012
- CSTB, *Vers des bâtiments à énergie positive*, 2009
- Commission Européenne, *Towards nearly zero energy buildings*, 2012
- Groupe de travail « Évolutions démographiques et vieillissement » de la Fédération européenne du logement social, *L'adaptation de l'habitat à l'évolution démographique : un chantier d'avenir*, 2009
- Groupe de travail Réglementation Bâtiment Responsable 2020, *Synthèse des travaux de la journée d'étude du 9 juillet 2012 et rapport d'étape*, 2012
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), *Climate change 2014 – Summary for policy makers*, 2014
- World Green Building Council, *Health, wellbeing and productivity in offices*, 2014
- Diffusion des nouvelles technologies de l'énergie (NTE) dans le bâtiment, PIPAME, 2009
- Marché actuel des nouveaux produits issus du bois et évolutions à échéance 2020, PIPAME, 2012

GLOSSAIRE

ACV : Analyse du cycle de vie

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

BEPAS : bâtiment à énergie passive

BEPOS : bâtiment à énergie positive

BTP : bâtiment et travaux publics

CETIAT : Centre Technique des Industries Aéronautiques et Thermiques

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

FFB : Fédération Française du Bâtiment

IFFSTAR : Institut Français des Sciences

et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change

NZEB : Near Zero Energy Building

PNACC : Plan National d'Adaptation au Changement Climatique

PNSE : Plan National Santé Environnement

PPP : partenariats public-privé

RT : réglementation thermique

UNICEM : Union Nationale des Industries de Carrières Et Matériaux de construction



ÉNERGIE

Définition

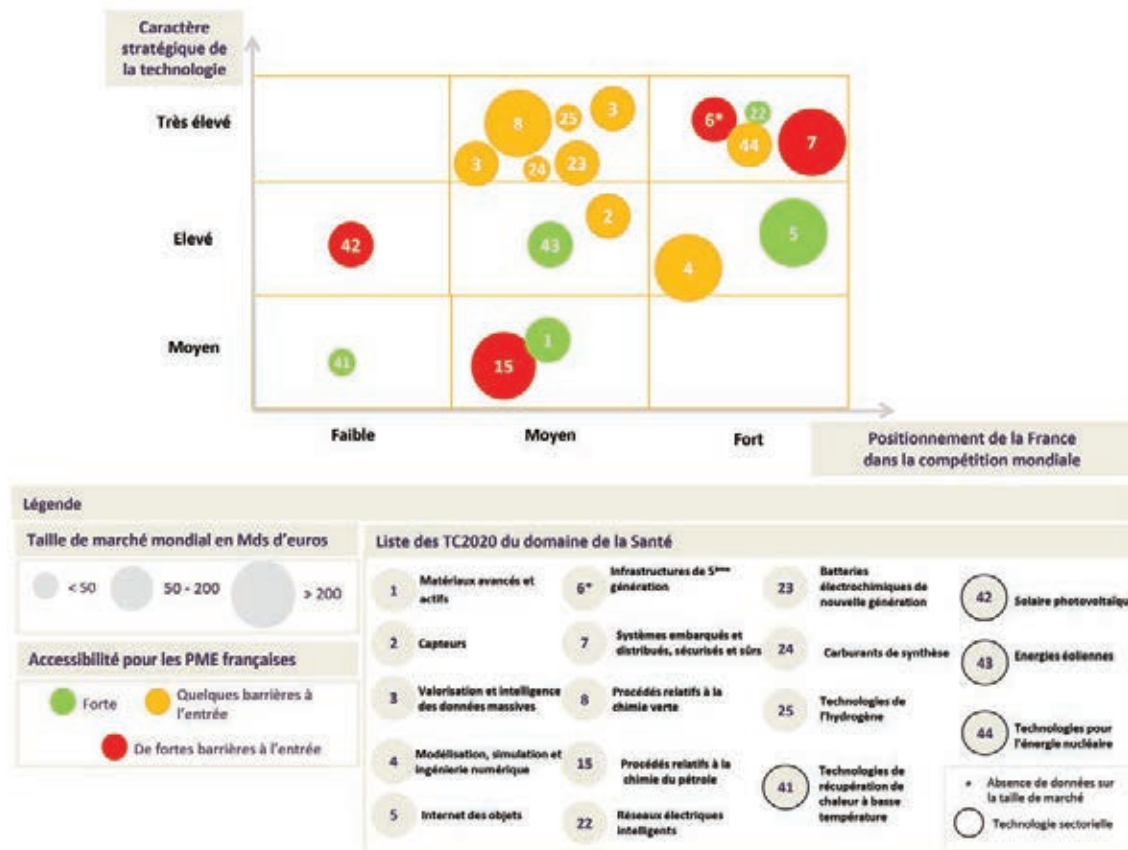
L'activité liée au secteur de l'énergie regroupe la prospection de la ressource, son exploitation, son transport, sa transformation secondaire, son stockage, sa distribution et son utilisation.

Dans le vocabulaire de la consommation d'énergie, on distingue l'énergie primaire de l'énergie finale. L'énergie primaire correspond à l'énergie brute, c'est-à-dire non transformée après extraction/production (houille, lignite, pétrole brut, gaz naturel, électricité primaire, cette dernière étant définie comme l'électricité d'origine nucléaire, hydraulique, éolienne, etc.). L'énergie finale correspond à l'énergie livrée au consommateur pour sa consommation finale (essence à la pompe, électricité, etc.).

Les enjeux relatifs à l'efficacité énergétique sont principalement traités dans les monographies relatives à l'habitat et à la mobilité.

Technologies clés du domaine

N°	Intitulé	Spécifique / Transversale
2	Capteurs	Transversale
3	Valorisation et intelligence des données massives	Transversale
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique	Transversale
5	Internet des objets	Transversale
6	Infrastructures de 5 ^e génération	Transversale
8	Procédés relatifs à la chimie verte	Transversale
15	Procédés relatifs à la chimie du pétrole	Transversale
22	Réseaux électriques intelligents	Spécifique
23	Batteries électrochimiques de nouvelle génération	Transversale
24	Carburants de synthèse	Spécifique
25	Technologies de l'hydrogène	Spécifique
41	Technologies de récupération de chaleur à basse température	Spécifique
42	Solaire photovoltaïque	Spécifique
43	Énergies éoliennes	Spécifique
44	Technologies pour l'énergie nucléaire	Spécifique



Les grands enjeux et les stratégies françaises

ENVIRONNEMENT

International

Selon le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), le secteur mondial de l'approvisionnement en énergie, secteur correspondant à la partie en amont de l'utilisation finale des énergies, est le plus important contributeur de gaz à effet de serre avec 35 % des émissions anthropogéniques totales¹. Selon le GIEC, les filières liées aux énergies fossiles représentent le plus fort potentiel de réduction des émissions et devront nécessiter des investissements sur leurs structures d'acheminement ainsi sur leur exploitation ; notamment en

les substituant par des alternatives faiblement carbonées telles que les biocarburants, le biogaz, ou encore l'hydrogène et le méthane renouvelables.

Si l'on souhaite limiter le réchauffement climatique mondial à 2°C d'ici à 2050, l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) prévoit dans son scénario tendanciel « 2DS », qui correspond à cette limitation, qu'il sera nécessaire que la demande énergétique mondiale n'augmente que de 25 % tout en ayant une diminution de 50 % du taux d'émission global de gaz à effet de serre (GES). Cela sous-entend une amélioration drastique de l'efficacité énergétique sur l'ensemble de la chaîne énergétique.

France

Avec un mix de production d'électricité à 75 % d'origine nucléaire et à 10 % d'origine hydraulique, la France possède un des taux d'émission de CO₂ par kWh les plus faibles du monde. Au cours de l'année 2012, les émissions de CO₂ par habitant en France ont été de 5,1 t alors que ceux en Allemagne ont été de 9,2 t, aux États-Unis de 16,1 t, en

1 – GIEC : Contribution du groupe de travail III au cinquième rapport d'évaluation, Chap.7

Russie de 11,6 t et en Chine de 6,1 t. Les secteurs français qui émettent le plus de GES sont les transports (28 %), l'agriculture (21 %) et l'industrie manufacturière (19 %)². Selon l'AIE, la volonté française de réduire la part du nucléaire à 50 % dans son mix de production d'électricité pourrait nécessiter la mise en place de moyens de production de type centrale à gaz pour maintenir sa capacité de production électrique et devrait ainsi conduire à une augmentation de l'empreinte carbone de la France.

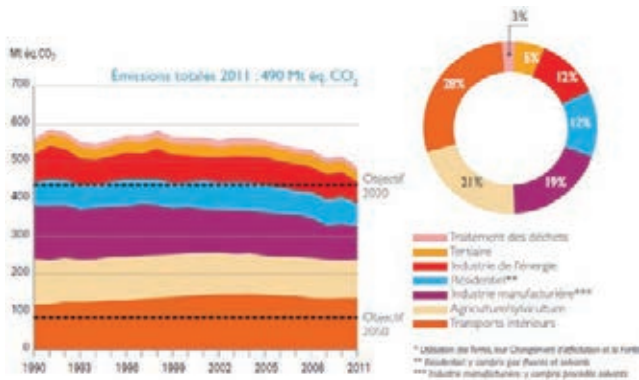


Figure 1 : Évolution des émissions totales de gaz à effet de serre en France par secteur hors UTCF* (année 2011) [sources : CITEPA/ADEME]

*Utilisation des Terres, leur Changement d'affectation et la Forêt

L'exploitation des hydrocarbures non conventionnels connaît un développement mondial, notamment en Amérique du Nord, mais présente des risques de pollutions environnementales pour les sols et l'air (rejets de CO₂ et de méthane). En application du principe de précaution, la France a interdit la méthode d'extraction par fracture hydraulique, seule technologie qui soit actuellement opérationnelle pour ce type de gisement. De plus, dans le cadre de sa politique de transition énergétique, elle ne prévoit a priori pas dans un futur proche l'exploitation de ce type de ressource fossile. On notera également qu'à l'heure actuelle, les réserves potentiellement présentes dans le sous-sol du territoire national ne peuvent être réellement estimées, le principe de précaution s'appliquant également aux campagnes sismiques et aux forages d'exploration pour les sonder.

2 – Source : Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique (CITEPA) / Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME).

RÉGLEMENTATION

International

Au niveau International, le protocole de Kyoto 2 (décembre 2012) fixe un objectif de 20 % de réduction des émissions de GES sur 2013 – 2020 par rapport à 1990 pour les pays de l'UE (-18 % pour les autres). Lors de la négociation sur le climat en Afrique du Sud de décembre 2011, tous les pays ont pour la première fois accepté de s'inscrire dans un accord international de réduction des émissions de GES, qui devrait être adopté en 2015, pour une entrée en vigueur à partir de 2020. A Doha (Qatar) en 2012, une seconde période d'engagement du Protocole de Kyoto jusqu'en 2020 a été décidée.

Union Européenne

La feuille de route à horizon 2050 adoptée par le Conseil européen a confirmé en février 2011 l'objectif de l'UE de réduire ses émissions de GES de 80 % à 95 % d'ici 2050 par rapport au niveau de 1990. L'UE pourrait ainsi utiliser 30 % d'énergie en moins en 2050 par rapport aux niveaux de consommation de 2005.

La directive 2012/27/EU sur l'Efficacité Énergétique (DEE) qui remplace et complète la directive « cogénération » de 2004 ainsi que la directive « services énergétiques » de 2006, traite de tous les maillons de la chaîne énergétique : production, transport, distribution, utilisation, information des consommateurs. Elle s'aligne par ailleurs sur l'objectif du paquet énergie-climat de réduire de 20 % la consommation d'énergie d'ici 2020 par rapport aux projections de consommations établies en 2005 pour cette date. La mesure la plus importante du texte prévoit un objectif contraignant de réduction de 1,5 % par an de l'ensemble des ventes d'énergies, hors transports. Des flexibilités seront possibles pour les États membres, mais leur utilisation est limitée à 25 % de l'ambition initiale.

La directive 2009/28/CE sur la promotion des énergies renouvelables prévoit 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie au niveau de l'UE avec des objectifs par pays et 10 % d'énergies renouvelables dans le secteur des transports en 2020. Les biocarburants pris en compte devront répondre à des critères de durabilité (prise en compte du contenu énergétique et carbone des biocarburants, des impacts liés au changement d'affectation des sols, concurrence avec la production alimentaire).

France

En application de la directive européenne 2012/27/EU, la France a remis en avril 2014 son Plan National d'Action en matière d'Efficacité Énergétique (PNAEE 2014) à la Commission Européenne. À travers ce plan d'action, la France prévoit de réduire sa consommation en énergie finale à 131 Mtep d'ici 2020, contre 155 Mtep actuellement (hors transport aérien international) et celle en énergie primaire à 236 Mtep, contre 260 Mtep actuellement (hors transport aérien international).

En application de la directive européenne 2009/28/CE, la France a mis en place un Plan National en faveur des Énergies Renouvelables à horizon 2020 : 27 % de consommation finale brute d'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables, 10 % de biocarburants dans la consommation d'énergie des transports, 33 % de renouvelables dans la consommation de chauffage (biomasse, notamment) et climatisation et 50 % d'augmentation de la chaleur renouvelable.

La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte prévoit la réduction des émissions de gaz à effet de serre de 40 % entre 1990 et 2030 et la division par quatre des émissions de GES entre 1990 et 2050. Pour cela, il est prévu de réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à la référence 2012 en visant un objectif intermédiaire de 20 % en 2030, et la consommation primaire d'énergies fossiles de 30 % en 2030 par rapport à la référence 2012. La part des énergies renouvelables devrait être portée à 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % de la consommation finale brute d'énergie en 2030. La part du nucléaire dans la production d'électricité sera réduite à 50 % à l'horizon 2025 et un objectif de performance énergétique sera créé pour l'ensemble du parc de logements à horizon 2050.

Le mécanisme de capacité, prévu par la loi portant nouvelle organisation du marché de l'électricité (NOME) et instauré par le décret n° 2012-1405 du 14 décembre 2012, devrait contribuer à assurer la sécurité d'approvisionnement du système électrique à long terme. Il vise, entre autre, à donner un espace économique aux outils de gestion de la pointe de consommation, notamment l'effacement.

À la suite de l'accident de Fukushima, l'autorité de sûreté nucléaire française (ASN) a imposé des travaux

de sûreté au secteur du nucléaire : diesels d'ultime secours destinés à l'alimentation électrique des matériels de sauvegarde en situation hautement dégradée ; force d'intervention rapide mobilisable sur site sous 24 heures ; création de sources froides complémentaires.

Régional

Au niveau régional, l'article 68 de la loi Grenelle 2 a instauré l'obligation d'établir un Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie (SRCAE). Depuis juillet 2011, chaque région fixe dans le cadre de son SRCAE des objectifs de réduction des émissions de GES, de maîtrise de la demande en énergie, de réduction et de prévention de la pollution atmosphérique, de valorisation du potentiel d'énergies renouvelables et d'adaptation au changement climatique.

MARCHÉ

Bilan des consommations d'énergie finale

Au niveau mondial, la consommation d'énergie finale était de 8 979 Mtep en 2012³. Avec 40,7 %, le pétrole est de loin l'énergie la plus consommée. La consommation des autres énergies se répartit de la façon suivante : 15,2 % pour le gaz naturel, 12,4 % pour le duo biocarburants et déchets, 18,1 % pour l'électricité, 10,1 % pour le charbon et 3 % pour l'ensemble géothermique, solaire et éolien. Avec 39,8 % de la consommation totale d'énergie finale, les membres de l'Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE) sont les plus gros consommateurs devant la Chine (19,1 %). Il est à noter que la différence de consommation entre ces deux consommateurs a beaucoup évolué en 40 ans, puisqu'en 1972 la part de l'OCDE était de 60,3 % et celle de la Chine de 7,9 %. La crise économique mondiale de 2008 a eu comme conséquence la baisse de la consommation d'énergie au cours de l'année 2009. Néanmoins, dès 2010, la consommation globale a repris sa croissance pour se porter à un niveau supérieur à son maximum de 2008.

3 – Source : AIE.

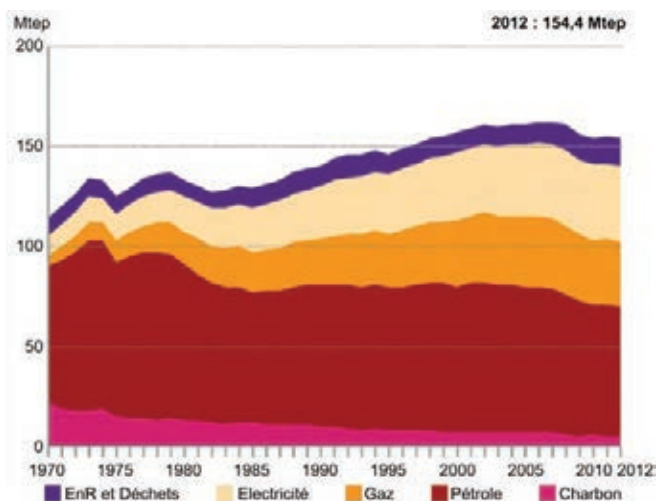


Figure 2 : Consommation d'énergie finale par énergie en France (Mtep) [Source : ADEME/MEDDE/SoeS – « Bilan énergétique de la France 2012 » - Juillet 2013]

En France, la consommation totale d'énergie finale était de 154,4 Mtep en 2012. Elle est répartie entre 41,8 % pour le pétrole, 20,7 % pour le gaz, 24,4 % pour l'électricité, 9,7 % pour les énergies renouvelables et de récupération, et 3,7 % pour le charbon. En 2009, la consommation totale française a baissé de 3,7 %. Depuis 2010 et contrairement à la tendance mondiale, sa consommation totale d'énergie finale est stable et son niveau est à une valeur inférieure de celle datant de son maximum historique de 2008. Néanmoins, les énergies renouvelables et de récupération ont progressé de 11,2 %.

Perspectives générales

La réduction d'émissions de GES passe aussi par la réduction de la consommation énergétique, en particulier s'agissant des plus émettrices. Le scénario « 450 » de l'AIE, qui prévoit une limitation des GES dans l'atmosphère à 450 ppm pour contenir le réchauffement climatique global en dessous de 2°C, implique un investissement mondial d'un milliard de milliards de dollars par an d'ici 2035 pour des projets « bas-carbone ». En parallèle, des investissements dans les énergies fossiles sont nécessaires pour maintenir et développer l'accès à l'énergie dans le monde. Néanmoins, ces derniers investissements doivent être limités afin d'atteindre l'objectif de 2°C. Ainsi trois mille milliards de dollars d'investissements prévus dans les énergies fossiles dans un scénario tendanciel pourraient en partie être redirigés vers des technologies bas carbone.

La France s'est fixé comme trajectoire de faire passer de 14 % à 23 % la part des énergies renouvelables dans sa consommation finale brute d'énergie d'ici à 2020. En partant de la situation de 2012, un objectif de consommation finale brute a été fixé pour chaque énergie à horizon 2020 :

- électrique : hydraulique de 3,4 % à 3,6 %, éolien de 0,8 % à 3,2 %, ensemble solaire photovoltaïque, énergies marines, géothermie électrique, électrique biomasse (bois-énergie, biogaz, déchets incinérés, bagasse) de 0,6 % à 1,4 % ;
- thermique : biomasse solide de 6,3 % à 10,2 %, pompes à chaleur de 0,8 % à 1,2 %, ensemble solaire thermique, géothermie et biogaz de 0,2 % à 1,3 % ;
- biocarburants de 1,7 % à 2,4 %.

Il est à noter que ces objectifs, correspondant aux Programmes Pluriannuels d'Investissement (PPI) relatifs à l'électricité, au gaz et à la chaleur, seront remis à plat et intégrés dans la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE), issue de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte. La PPE est en cours de définition et sera soumise à consultation à partir de décembre 2015.

Energies non renouvelables

Nucléaire

À l'international, l'impact de l'accident nucléaire de Fukushima Daiichi (Japon) a eu deux effets systémiques sur le secteur nucléaire. Le premier fut le renforcement des normes de sûreté sur les centrales dans de nombreux pays, dont la France. Le second est apparu en Allemagne et en Belgique, où ces deux pays ont décidé au lendemain de cette catastrophe d'anticiper la mise à l'arrêt de leur parc de réacteurs. On peut également citer la Suisse qui a abandonné ses projets de développement.

Le nucléaire mondial comporte néanmoins quelques marchés naissants et existants. De nouveaux pays montrent un intérêt pour cette technologie et des centrales sont en construction en Biélorussie et aux Émirats Arabes Unis, d'autres projets sont à des stades avancés en Turquie (choix de la technologie ATMEA, développée conjointement par Areva et MHI) et au Vietnam ; des discussions sont engagées dans des pays tels que la Jordanie, la Pologne ou l'Arabie Saoudite. Concernant les pays possédant déjà un parc

nucléaire, la Corée du Sud vise une capacité de 29 % pour 2035 (41 % initialement planifié) et le Japon a confirmé la participation du nucléaire dans son mix énergétique à un niveau non précisé pour l'heure.

Au Royaume-Uni, dans le cadre de la construction de la centrale nucléaire de Hinkley Point C, la Commission Européenne a donné son accord pour les contrats garantissant le prix de l'énergie produite, autorisant ainsi l'engagement des travaux. Par ailleurs, la Russie et la Chine ont des programmes de développement ambitieux ; aux États-Unis, la construction de quatre nouvelles unités sur deux sites (premier nouveau projet en 30 ans) a été annoncée.

En France, l'objectif d'abaissement de la part du nucléaire à 50 % dans le mix de production d'électricité, rend très peu probable l'émergence de nouveaux projets de construction de centrale à horizon 2020, même si l'enjeu du renouvellement du parc existant va se faire jour. Néanmoins, la perspective de prolongement de l'exploitation de tout ou partie du parc existant, fait apparaître un marché estimé à quelque 50 milliards d'euros d'ici à 2025 pour la seule partie allouée au « grand carénage » des centrales. Ce « grand carénage » consiste en la rénovation, le remplacement de matériels, l'intégration des mesures post-Fukushima et l'amélioration du niveau de sûreté des centrales. Cela implique le remplacement de certains gros composants : générateurs de vapeur, turbines, transformateurs, échangeurs, etc.

Hydrocarbures

Selon les projections de l'OPEP, la production d'hydrocarbures devrait croître en moyenne de 0,7 % par an pour le pétrole et de 2,4 % par an pour le gaz naturel sur la période 2010-2040⁴. À l'horizon 2035-2040, les parts respectives du pétrole et du gaz dans la production mondiale d'énergie primaire devraient se stabiliser autour de 25-27 %. En 2014, la consommation mondiale de pétrole était de 91,1 millions de barils/j, et devrait atteindre 96 millions de barils/j en 2019. La demande est tirée par les besoins énergétiques ainsi que la pétrochimie, notamment dans des pays tels que la Chine ou l'Inde.

Le développement rapide des hydrocarbures non conventionnels en Amérique du Nord a eu plusieurs

conséquences. Il a induit une demande accrue d'équipements de forage et d'extraction. Il a également permis un accès à du brut et du gaz naturel bon marché pour l'industrie nord-américaine et une réduction de leurs importations de produits pétroliers (en particulier essence). Il est toutefois aujourd'hui affecté par les bas prix du baril.

Énergies renouvelables

Eolien (onshore et offshore)

Les investissements globaux du secteur de l'éolien dans le monde en 2013 ont été de 59,2 Md €. La capacité mondiale installée et reliée à un réseau, au cours de cette même année, a été de 35 289 MW dont 16 088 MW pour la Chine (45,6 %), 12 031 MW pour l'Europe (34,1 %), et 1 084 MW pour les États-Unis (3,1 %). Depuis 2009, le plus grand marché global pour l'éolien est la Chine⁵. Le GWEC s'attend à ce que le marché global de l'éolien dans le monde ait un taux de croissance annuel entre 6 % et 10 % sur la période 2015-2018. La contribution directe du secteur éolien (terrestre et en mer confondus) au PIB de l'Union Européenne était de 17,6 Md € en 2010 pour 154 150 emplois.

En 2013, la France a installé pour 631 MW de capacité d'éolien. Les principaux fournisseurs d'équipements de son marché, classés par puissance installée, ont été Vestas (39 %), Repower (21 %), Enercon (19 %), Gamesa (9 %), Nordex (9 %) et Siemens (3 %)⁶.

Cas de l'éolien offshore

90 % des installations se situent dans les eaux européennes, dont 80 % pour seulement 3 pays : Danemark, Pays-Bas, et Grande-Bretagne. Jusqu'en 2010 et l'installation d'une ferme en Chine, le marché était à 100 % européen. L'investissement global en Europe pour l'éolien offshore a fortement augmenté en 10 ans. De 0,25 Md €, il est estimé entre 4,6 et 6,4 Md € en 2013⁷. La France, afin de remplir son objectif d'installer 6 GW d'éolien offshore, avait lancé un 1^{er} appel à projet (clôturé en avril 2012) pour la construction de fermes dans La Manche ; il devrait permettre la création de 10 000 emplois d'ici à 2018. Il a été remporté par

4 – AIE : *World Energy Outlook*, 2014.

5 – Source : Global Wind Energy Council (GWEC).

6 – Source : France Énergie Eolienne.

7 – Source : European Wind Energy Association (EWEA).

les consortiums EDF Energies Nouvelles/Dong Energy Power/Alstom et Iberdrola/Eole-Res/Areva ; en 2013, un second appel à projets a été remporté par GDF Suez/ Areva, pour deux parcs éoliens sur deux sites. La capacité installée sera de 1 GW à l'horizon 2021 – 2023.

Energies marines

Plusieurs usines marémotrices existent à travers le monde : en France depuis 1966 (usine de la Rance), en Corée du Sud depuis 2011, ainsi qu'au Canada et en Chine. Le potentiel français effectivement mobilisable à court terme est actuellement considéré comme très faible pour des raisons environnementales.

En ce qui concerne l'hydrolien, 46 projets de parcs sont planifiés à travers le monde : 5 en France, 15 en Grande Bretagne, 16 aux États-Unis, 4 au Canada, 1 en Nouvelle Zélande, 1 en Inde, 3 en Australie et 1 en Corée du Sud. Les projets les plus avancés sont les fermes pilotes développées par la France et la Grande-Bretagne. À titre d'exemple, au large des côtes normandes françaises, un marché potentiel de 3 000 machines est estimé pour le gisement du Raz Blanchard (domaine maritime français) et son prolongement dans les eaux aurignaises (îles anglo-normandes - domaine maritime anglais).

Photovoltaïque

Le marché mondial global du photovoltaïque (incluant modules, composants des systèmes et installations) a très fortement augmenté ces dernières années et représentait un chiffre d'affaire de 91,6 Md € en 2011. Il pourrait atteindre 130,5 Md € en 2021⁸. En 2013, 55 % des nouvelles installations sont localisées en Asie, principalement en Chine et au Japon. Ce dernier, suite à l'accident de Fukushima Daiichi, a consenti des efforts importants envers le secteur des énergies renouvelables, notamment par l'augmentation significative en deux ans de sa capacité de production en électricité photovoltaïque. Le marché de la production de modules photovoltaïques est dominé par la Chine, qui représente 6 constructeurs parmi les 10 premiers fabricants en 2014 (1^{er} Trina Solar, 2^e Yingli Green Energy, 3^e Canadian Solar [sinocanadien]). Le nombre d'emplois en France liés à la fabrication des composants, aux études et à l'installation des systèmes a diminué sur la période 2012-2013, à respectivement

8 – Source : EurObserv'ER.

16 800 et 10 130 équivalents temps plein (ETP)⁹. Le chiffre d'affaires de la filière française est en baisse depuis 2010, année où il avait atteint 6,4 milliards d'euros, contre 4 milliards d'euros en 2013, soit une baisse de 40 %¹⁰.

Biocarburants

Au niveau mondial, le bioéthanol a représenté en 2010 73 % de la consommation de biocarburants (en teneur énergétique). En 2011, les États-Unis, premiers producteurs mondiaux, ont été contraints d'exporter massivement leur production, en Europe, au Brésil, au Canada et en Asie.

La consommation de la France et de l'Allemagne devrait augmenter rapidement dans les années à venir pour remplir l'objectif de 10 % de biocarburants dans la consommation d'énergies renouvelables des transports de l'UE, la part des biocarburants devant néanmoins être plafonnée à 7 % à l'horizon 2020, selon un projet de directive voté par le Parlement Européen.

Le marché français est estimé à 2,5 Md €. Les emplois créés ou maintenus en France par cette filière étaient de 6 400 emplois directs en 2011¹¹.

Biogaz

Le marché de la méthanisation se décompose en quatre types d'installations liés à leurs intrants : méthanisation des boues d'épuration urbaines, méthanisation des déchets et effluents industriels, méthanisation de la fraction fermentescible des ordures ménagères et méthanisation d'intrants agricoles. Au niveau européen, le biogaz a représenté 13,4 Mtep en 2013, en augmentation de 11 % par rapport à 2012. L'Allemagne est leader mondial sur le secteur de la méthanisation et représentait en 2013 50 % de la production européenne¹².

Biomasse

La valorisation énergétique de la biomasse regroupe les productions de la chaleur, d'électricité, de biométhane par combustion ou méthanisation (production de biogaz). Elle comprend la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture

9 – Source : ADEME.

10 – Source : Observ'ER.

11 – Source : ADEME.

12 – Source : EurObserv'ER.

(substances végétales et animales issues de la terre et de la mer incluses), de la sylviculture et des industries connexes, mais également la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers. On distingue deux sous-secteurs :

■ La biomasse énergie regroupe les activités de combustion, avec ou sans prétraitement thermique, du bois, des déchets agricoles solides (paille, issues de céréales, etc.) et des sous-produits animaux. Les nouvelles valorisations thermochimiques de la biomasse sont rattachées à ce segment.

■ La biomasse gaz comprend la méthanisation, la gazéification et la valorisation du biogaz et du gaz de synthèse.

En Europe, 4 pays représentent 50 % de la production d'énergie issue de la biomasse solide : la France (17 %), l'Allemagne (16 %), la Suède (9 %) et la Finlande (8 %)¹³. 80 % de l'énergie primaire issue de la biomasse produite en Europe est valorisée sous forme de chaleur. Toutefois, en France, il est de 90 %, en Suède de 87 % et en Finlande de 79 % alors qu'au Royaume-Uni et aux Pays-Bas la consommation sous forme électrique et de chaleur sont à parts égales.

Le bois énergie représentait en France environ 60 000 emplois en 2012¹⁴ pour un marché de 2,8 Md € en 2012¹⁵. En 2013, le biogaz représentait en France plus de 1 640 emplois pour un marché de 410 M €¹⁶. Sur la période 2013-2020 et au niveau européen, il est attendu sur la filière biomasse des croissances de 31 % pour la production de chaleur et 54 % pour la production d'électricité¹⁷.

PRODUCTION

Bilan de la production d'énergie primaire

Actuellement, la production mondiale d'énergie primaire est largement dominée par le pétrole et le charbon, ainsi que, dans une moindre mesure, par le gaz

naturel, ces trois énergies représentant environ 80 % du mix énergétique. La biomasse, première source d'énergie renouvelable, en représente environ 10 %. À l'horizon 2040, selon les tendances actuelles, ce mix énergétique devrait être à peu près réparti en quatre parts égales entre le pétrole, le charbon, le gaz naturel et les autres énergies¹⁸.

La production française d'énergie primaire est largement électrique, avec en 2014 113,7 Mtep produits, soit 82 % de la production totale, et est dominée par le nucléaire. Le pétrole, le charbon et le gaz naturel ne représentent que 1,5 % et sont en baisse constante depuis quatre décennies (arrêt fin 2013 de l'injection sur le réseau de gaz naturel provenant du gisement de Lacq). Le principal changement notable de ces dernières années concerne la forte progression des énergies décarbonées. Après n'avoir eu que peu de développement depuis les années 70, elles ont progressé à partir de 2010 de 53 % pour le trio hydraulique, photovoltaïque et éolien, et de 20 % pour les déchets et les autres énergies renouvelables (production de chaleur et/ou d'électricité).

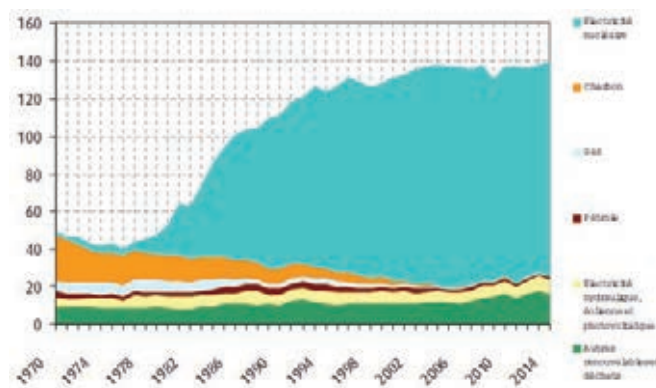


Figure 3 : Production d'énergie primaire en France (en Mtep, données réelles, non corrigées des variations climatiques) [calculs SoeS, d'après les sources par énergies]

Production de carburants

La capacité mondiale de raffinage a légèrement augmenté en 2012 : + 0,8 %, pour atteindre 4 435 millions de tonnes (Mt) par an. L'Europe occidentale et orientale (y compris la Communauté des États Indépendants) représente 27,5 % de la capacité mondiale de raffinage et est dépassée par la zone Asie/Océanie (29 %) qui est depuis 2011, la première zone mondiale

13 – Source : EurObserv'ER.

14 – Pôle interministériel de Prospective et d'anticipation des mutations économiques : *Marché actuel des nouveaux produits issus du bois et évolutions à échéance 2020*.

15 – Source : ADEME.

16 – Source : ADEME.

17 – Source : EurObserv'ER.

18 – AIE : *World Energy Outlook 2014*.

de raffinage. Le secteur européen du raffinage reste confronté à une demande de distillats moyens (kérosène, gazole) en constante augmentation et à la gestion corrélative d'un surplus croissant d'essence.

Énergies renouvelables

Eolien Les investissements dans l'éolien terrestre ont repris en 2014, avec 45 GW de nouvelles capacités installées au niveau mondial, dont 20 GW en Chine et 5 GW aux États-Unis. En 2012, la production d'électricité éolienne s'est élevée en France à 14,9 TWh. Après une croissance rapide sur la période 2005 - 2008, elle ralentit un peu depuis 2009. Depuis l'émergence de la filière, la production d'électricité éolienne n'a cessé de progresser en métropole, qui représente plus de 99 % de la production nationale.

Solaire La production de modules photovoltaïques est localisée principalement en Asie, avec 44 % pour la Chine et 17 % pour Taïwan. En 2012, au niveau national, le solaire photovoltaïque a produit 4 390 GWh, dont 91 % en France métropolitaine et 9 % dans les DOM. Entre 2011 et 2012, la production a progressé de plus de 2 000 GWh, soit une augmentation de 88 %. Les installations de 250 kW et plus concentrent 44 % de la puissance solaire photovoltaïque installée en France mais ne représentent que 0,4 % des installations. Les petites installations de moins de 3 kW représentent 87 % des installations mais seulement 18 % de la puissance totale du parc.

Biocarburants Les États-Unis et le Brésil sont les plus grands producteurs et totalisent à eux seuls 80 % de la production d'éthanol dans le monde. Un des grands enjeux des biocarburants concerne le faible rendement de production en comparaison de la quantité de matière utilisée ainsi que la mise en concurrence de cultures agricoles alimentaires. Les biocarburants avancés, où il s'agit d'utiliser l'intégralité du matériau de base, permettraient de pallier ces problèmes.

Biogaz La production européenne d'énergie primaire issue du biogaz a atteint 13,4 Mtep en 2013. Plus des deux tiers des volumes de biogaz sont issus d'unités de méthanisation. Au niveau européen, le biogaz est principalement valorisé sous forme d'électricité, et a permis la production de 53,3 TWh en 2013, en augmentation de 15 % par rapport à 2012.

Biomasse La production de chaleur à usage individuel représente le principal débouché historique de la filière. Le potentiel sylvicole de la France est au 3^e rang d'Europe. Un enjeu important se situe au niveau de la gestion et de l'exploitation de la ressource forestière.

Les grandes tendances

D'USAGE

Dans le scénario de référence de l'AIE, la demande mondiale en énergie devrait croître de 37 % à l'horizon 2040. Cette demande est tirée à la fois par la croissance démographique et la croissance économique, mais l'intensité énergétique devrait en moyenne décroître. Cette tendance globale recouvre néanmoins de fortes disparités géographiques : si la demande devrait rester stable dans les pays développés (Europe, Amérique du Nord, Japon, Corée du Sud), les autres zones géographiques, en particulier l'Asie, devraient tirer la demande.

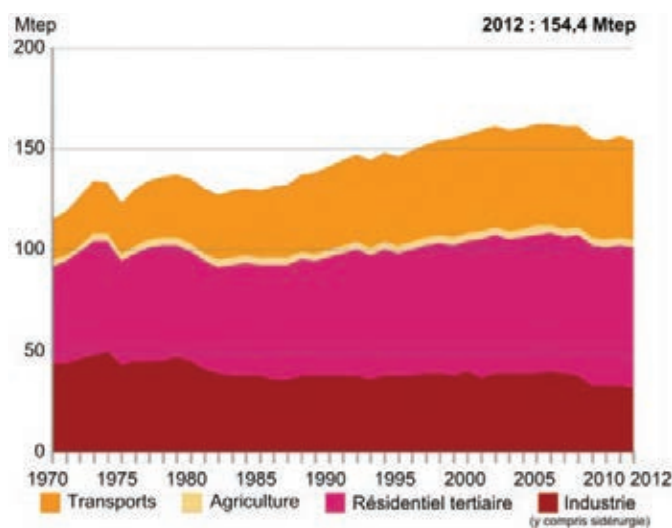


Figure 4 : consommation finale d'énergie, énergétique et non énergétique par secteur (en Mtep) en France (source : SoeS)

En France, au cours de la période 1973-2012, la part de la consommation en énergie finale de l'industrie (sidérurgie incluse) a fortement diminué (36 % à 21 %) tandis que celle du secteur résidentiel-tertiaire a gagné deux points et demi, en passant de 42,0 % à 44,5 %. Le secteur des transports a progressé significativement de moins de 20 % à environ 32 % et la part de l'agriculture évolue peu sur la période, en s'établissant en dessous de 3 %.

Sur la période 1990 – 2012, dans le secteur résidentiel, les consommations finales d'énergie en électricité et en gaz ont progressé, tandis que celles des énergies renouvelables et de récupération ont diminué. À noter que celle du charbon a complètement disparu. Au niveau du secteur industriel, les consommations finales d'énergie en pétrole et en charbon ont diminué tandis que celle de toutes les autres énergies ont augmenté. Les transports et l'agriculture sont les secteurs où les disparités de consommation finale d'énergie sont les plus marquées : le pétrole est toujours largement majoritaire même s'il décroît légèrement. La consommation finale d'électricité progresse dans l'agriculture tandis que les énergies renouvelables et de récupération font leur apparition dans les transports.

Avec le développement d'un cadre destiné à sécuriser la capacité des réseaux (cf. loi NOME - réglementation), l'activité des opérateurs d'effacement est amenée à se développer. La pratique de l'effacement dans le domaine énergétique consiste à réduire la consommation d'électricité d'un site par rapport à sa consommation normale, sur une base volontaire, en cas de pointe de demande. Cela permet de dégager plusieurs dizaines voire centaines de mégawatts qui contribuent à l'équilibre du réseau. Ce service est proposé par les opérateurs à des clients dont les équipements peuvent avoir une consommation flexible. Les volumes actuels d'effacement restent limités.

INDUSTRIELLES

Les scénarios prospectifs énergétiques abordent assez peu les impacts d'un point de vue strictement industriel. S'agissant de la France, l'hypothèse (implicite) est souvent que l'industrie nationale est en capacité de répondre aux besoins intérieurs du pays, ce qui est loin d'être toujours le cas aujourd'hui. Certaines activités sont par nature non délocalisables (installation et exploitation d'équipements, par exemple), alors que d'autres, en particulier la production industrielle de certains équipements, ne le sont pas.

Les filières industrielles appelées à se développer sont celles pour lesquelles la France possède déjà un avantage comparatif, et/ou dont les perspectives de développement sont importantes, au niveau national et aussi, voire avant tout, à l'international.

Ainsi, la France a investi massivement dans la filière nucléaire, ce qui lui a permis d'acquérir une position

de leader au niveau mondial, avec des acteurs présents sur les différents segments de la chaîne de valeur. Ce leadership doit désormais faire face à l'émergence de compétiteurs étrangers tels que la Corée du Sud.

S'agissant des énergies renouvelables, le pays n'a que peu réussi à développer ses propres filières industrielles et doit largement importer. Dans le détail, la situation est néanmoins contrastée ; ainsi, le pays possède un savoir-faire reconnu dans le secteur parapétrolier, qui lui donne un avantage dans l'éolien offshore. L'excellence de la filière hydraulique française est reconnue, et même si le potentiel français est largement exploité, de nombreux marchés à l'export sont prometteurs. Une industrie du solaire photovoltaïque pourrait se développer en France ; actuellement, le marché des cellules et modules est fortement dominé par les fabricants chinois, qui exportent 90 % de leur production. Dans cette filière, la France, dont la recherche est reconnue, peut se positionner sur des segments nouveaux et innovants.

TECHNOLOGIQUES

Nucléaire À la suite de l'accident de Fukushima Daiichi, de nombreuses installations de seconde génération (Gen II) ont été équipées de systèmes d'alimentation d'énergie de secours, de systèmes de refroidissement et d'autres systèmes pour limiter les accidents. Le développement de réacteurs plus petits et modulaires s'est poursuivi et comporte différents niveaux de pré-licence (particulièrement aux USA), mais seulement deux projets ont été lancés (Russie et Argentine). Quelques prototypes avancés de réacteurs embarquant des technologies de 4^e génération (Gen IV) sont construits mais leur déploiement au niveau industriel n'est pas attendu à court terme. Plusieurs projets d'enfouissement géologique des déchets nucléaires sont en cours et font des progrès, en France et en Suède. L'étude de faisabilité du site de Yucca Mountain des États-Unis a repris.

Fossiles Les technologies d'exploration et d'extraction continuent d'être améliorées, de façon à accroître leurs performances tout en maintenant les coûts de production à un niveau acceptable. Un des enjeux majeurs concerne le taux de récupération dans les gisements : ainsi, on estime qu'en moyenne, actuellement, seulement 35 % du pétrole présent dans un gisement est effectivement récupéré. La part du gaz naturel dans le mix énergétique mondial étant en croissance continue,

l'ensemble des technologies qui lui sont associées, depuis le transport (par gazoduc ou sous forme de GNL) jusqu'aux usages, notamment pour la production d'électricité (cyclés combinés) font l'objet d'améliorations permanentes. Par ailleurs, s'agissant des hydrocarbures non conventionnels, plusieurs questions restent en suspens, notamment au niveau de l'évaluation des ressources potentielles (cartographie 3D, par exemple) ou des techniques d'exploitation alternatives (réduction des impacts environnementaux).

Biocarburants avancés Les voies « avancées », pour la plupart au stade de recherche et développement, résultent de nouveaux procédés visant à valoriser l'intégralité de la plante (biomasse lignocellulosique) et/ou mobiliser des sources de biomasse autres qu'agricoles. Le problème des technologies existantes réside dans leur coût ainsi que dans leur complexité de mise en œuvre.

Hydrogène L'hydrogène, en tant que vecteur énergétique, peut être produit localement par reformage de gaz ainsi que grâce à des parcs éoliens, voire solaires, via l'électrolyse, et peut être stocké, transporté puis valorisé pour différents usages (alimentation de piles à combustible, stationnaires ou embarquées). Les différentes briques technologiques requises sont disponibles et de premiers déploiements en France de flottes captives (véhicules utilitaires électriques avec prolongateurs d'autonomie à hydrogène et chariots élévateurs électriques à hydrogène sur des plateformes logistiques) semblent prometteurs.

Eolien Les équipements pour l'éolien maritime ont besoin d'être plus robustes et demandent une maintenance accrue en comparaison avec l'éolien terrestre. Afin d'améliorer sa compétitivité sur ce marché, la France a dédié une partie du Programme d'Investissements d'Avenir au Grand Eolien. Il couvre les composants et/ou machines d'envergure adaptés au marché terrestre, insulaire ou au marché de l'éolien en mer. L'objectif affiché est « d'accompagner des innovations ou briques technologiques critiques permettant de consolider la filière renouvelable éolienne tout en poursuivant les objectifs du Grenelle à l'horizon 2020 »¹⁹. Dans le domaine de l'offshore, la mise au point de l'éolien flottant pourrait permettre d'exploiter un plus grand gisement.

Énergies marines Pour les énergies marines, la France dispose d'un potentiel naturel important (11 millions de km² de zones sous juridiction française), d'un tissu industriel expérimenté dans les domaines de l'exploitation pétrolière offshore, de l'énergie hydraulique et des constructions navales, et de centres de recherche dynamiques. Néanmoins, réaliser des structures pour les exploiter reste un défi. Plusieurs expérimentations sont en cours dans de nombreux pays pour des productions de quelque MW et des efforts importants sont consentis pour construire des hydroliennes de 30 m de diamètre. Par ailleurs, d'autres concepts sont en cours de développement, mais ne sont pas encore matures d'un point de vue technologique : énergie houlomotrice, énergie thermique des mers, etc.

Solaire Des progrès importants dans le domaine des couches minces, des multi-jonctions et des cellules de troisième génération de type organique sont à attendre. Les couches minces présentent un potentiel d'amélioration intéressant, mais peuvent à terme poser des problèmes (toxicité du cadmium ou raréfaction de l'indium, par exemple) ; l'utilisation du cuivre, du zinc, de l'étain, du soufre ou du sélénium, matières premières à la fois moins toxiques et relativement abondantes, semble être une alternative intéressante. Une baisse des coûts des cellules multijonctions est anticipée mais leur complexité de fabrication les réservera dans un premier temps aux cellules mobiles (par exemple dans le spatial) où le rendement est un avantage essentiel. A plus long terme, de nouvelles générations de cellules, à base de matériaux organiques ou de pérovskites, pourraient prendre le relais.

Capture et stockage du carbone (CSC) Si quelques progrès ont pu être accomplis en ce qui concerne l'utilisation du CO₂ en lui-même, les moyens de capture et de stockage restent à développer. Fin 2013, quatre grands projets de CSC ont été lancés auxquels s'ajoutent quatre autres projets visant à injecter le CO₂ pour améliorer les rendements d'extraction des puits d'hydrocarbures. De nombreux projets de ce type sont prévus en Amérique du Nord, Australie, Arabie Saoudite, Émirats Arabes et États-Unis. En France, un premier projet a vu le jour à Lacq faisant la démonstration des technologies d'oxycombustion à une taille industrielle et de la faisabilité d'un stockage en milieu déplété, puis en 2014 à Port-Jérôme, un autre projet mettant en œuvre une solution de captage de CO₂ par le froid, unique au monde, permettant de réduire le

19 – Source : DGEC, 2012.

coût du captage et d'augmenter le rendement d'extraction du CO₂, associé à sa valorisation. Des équipementiers français s'intéressent à cette filière du captage.

Smart grid Il s'agit d'un réseau électrique « intelligent » capable d'intégrer plus efficacement les actions des différents utilisateurs, consommateurs et/ou producteurs en vue de maintenir une fourniture d'électricité efficace, durable, économique et sécurisée. Ce concept repose sur une agrégation de technologies comprenant le réseau de transport et de distribution d'électricité, des compteurs électriques intelligents, et enfin des systèmes de production et de stockage de l'énergie en partie délocalisés.

Efficacité énergétique dans l'industrie L'intensité énergétique de l'industrie est globalement, au niveau mondial, en diminution régulière. Il subsiste toutefois des marges de progrès, et plusieurs leviers permettent de diminuer la consommation énergétique d'un site : renouvellement des équipements de production et changement de procédés, récupération des énergies fatales, mutualisation des utilités entre plusieurs sites, etc. Dans le cas des industries les plus intensives en énergie (cimenteries, sidérurgie, etc.), à plus long terme, le recours au CSC serait un moyen efficace de réduction des émissions de CO₂.

La position de la France

INDUSTRIELLE

Le Commissariat Général au Développement Durable a réalisé une analyse de chaque filière, présentant « de manière indicative et qualitative le positionnement marché des filières vertes françaises face à la concurrence internationale. Pour des filières encore émergentes ou en décollage, cette analyse s'appuie principalement sur les dynamiques à l'œuvre d'un point de vue technologique (R&D, projets démonstrateurs, projets pilotes, applications précommerciales). Les « leaders » du marché sont indicatifs et leur positionnement relatif au sein d'une catégorie donnée (leaders mondiaux ou européen, peloton de tête,) ne présume pas d'un ordre spécifique. »²⁰.

20 – CGDD : *Les filières industrielles stratégiques de l'économie verte*, 2013.

Selon cette analyse, le positionnement de la France face à la concurrence internationale sur la production d'énergie à partir de sources renouvelables est hétérogène. Elle fait partie des leaders mondiaux sur les énergies marines avec la Grande-Bretagne. Sur la biomasse, elle se situe dans le peloton de tête, derrière l'Allemagne mais devant les États-Unis. L'éolien accuse un retard certain, alors que les leaders sont actuellement l'Allemagne, la Chine, la Grande-Bretagne et les États-Unis. Concernant le solaire, la concurrence internationale, emmenée par la Chine, suivie par les États-Unis et l'Allemagne, est largement en avance. En ce qui concerne les véhicules décarbonés, ainsi que les réseaux énergétiques intelligents, elle se situe dans le peloton de tête. L'hydrogène et les piles à combustible se situent dans la moyenne mondiale. Enfin, pour le captage, le stockage et la valorisation du CO₂, elle fait partie du peloton de tête.

Le journal Industrie et Technologies (IT) a réalisé un classement des 100 premiers centres de recherche et développement en France pour 2014. Neuf centres de recherches liés aux activités de l'énergie y sont recensés. Avec trois centres, Total est l'entreprise la mieux classée. A noter qu'avec son centre de Pau spécialisé dans l'exploration et la production des hydrocarbures, elle possède également le premier centre dans le domaine de l'énergie. EDF possède également 3 centres, aux 21^e, 41^e et 44^e places, ce qui fait d'elle la seconde entreprise la mieux représentée. L'Électropole de Schneider Electric, travaillant entre autres sur la mesure et l'optimisation de l'énergie, se classe 9^e. Au 26^e rang se trouve le Schlumberger Riboud Product Center dont les activités se portent sur les mesures en temps réel pour le forage et les tests sur la qualité des hydrocarbures. Enfin le centre de Saint Denis d'Engie sur les énergies nouvelles et les infrastructures se classe 57^e.

ACADÉMIQUE

L'Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie (ANCRE) est la structure qui a pour mission de coordonner la programmation scientifique sur l'énergie des grands établissements de recherche français ainsi que donner une meilleure visibilité à l'international. Fondée le 30 juillet 2009 par le CEA, le CNRS, la CPU, et l'IFPEN, l'ANCRE rassemble tous les organismes de recherche publique français concernés par les problématiques de l'énergie (ANDRA, BRGM, CDEFI, CIRAD, CSTB, IFREMER, IFSTTAR, INERIS, INRA, INRIA, IRD, IRSN, IRSTEA, LNE, ONERA). Neuf groupes

programmatisques ont été mis en place, dont cinq groupes « sources d'énergie » (énergies issues de la biomasse, énergies fossiles et géothermiques, énergies nucléaires, énergies solaires, énergies marines, éoliennes et hydrauliques), trois groupes « usages » (transports, bâtiments, industrie et agriculture) et un groupe « prospective énergie globale ».

Les Investissements d'Avenir concernant l'énergie s'élevèrent à 4,39 milliards d'euros et se répartissent entre les grandes thématiques des énergies décarbonées, des énergies renouvelables et de la chimie verte, des réseaux électriques intelligents, des véhicules du futur et du nucléaire. Les Investissements d'Avenir ont également permis la création d'un nouvel instrument : les Instituts pour la Transition Énergétique (ITE), plateformes interdisciplinaires dédiées aux énergies décarbonées. Onze projets d'ITE ont été retenus : EFFICACITY (transition énergétique de la ville), France Energies Marines, INEF4 (bâtiment durable), l'Institut Français des Matériaux Agro-Sourcés (IFMAS), l'Institut National de l'Énergie Solaire (INES2), l'Institut Photovoltaïque d'Île-de-France (IPVF), l'Institut Véhicule Décarboné et Communicant et de sa Mobilité (VeDeCoM), l'Institut

National pour le Développement des Ecotechnologies et des Énergies décarbonées à Lyon (IDEEL), Paris Saclay Efficacité Énergétique (PS2E), Picardie Innovations Végétales, Enseignements et Recherches Technologiques (PIVERT), et Supergrid (réseaux haute tension).

La dépense publique de la France pour la recherche et le développement sur l'énergie a augmenté d'une centaine de millions d'euros depuis 10 ans, pour atteindre environ 1 Md € par an. Cette augmentation est principalement due aux crédits accordés pour les nouvelles technologies (la moitié des montants alloués) et regroupe les thématiques de l'efficacité énergétique, du stockage et de la transmission d'électricité, des piles à combustibles, des énergies renouvelables (électriques et thermiques), du captage et de la valorisation du CO₂.

Thomson Reuters a établi un classement des 100 innovateurs mondiaux, regroupant aussi bien les acteurs du public que du privé. Trois acteurs français y sont présents : le Centre National de Recherche Scientifique (CNRS), le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) et l'IFP Énergies Nouvelles (IFPEN).

Synthèse AFOM

ATOUTS

Présence de plusieurs grands groupes industriels, actifs en R&D et à l'international

Tissu de sous-traitants en génie mécanique et génie électrique

Importance de certaines « ressources » locales : biomasse, ensoleillement, littoral...

Qualité de la recherche académique (notamment : stockage électrochimique, photovoltaïque)

Instruments et projets financés dans le cadre du PIA (dont : AMI ADEME, ITE)

FAIBLESSES

Faible degré de spécialisation technologique

Chaîne de valeur déséquilibrée sur certaines filières (ex : fabrication de cellules photovoltaïques)

Filières d'approvisionnement en biomasse insuffisamment structurées

Complexité de certaines procédures administratives

OPPORTUNITÉS

Chantiers pour le secteur nucléaire à l'international (nouveaux réacteurs, opérations de démantèlement)

Relance des actions en faveur de la lutte contre le réchauffement climatique au niveau international (cf. COP21 à Paris en 2015)

Gains de compétitivité de certaines énergies renouvelables (solaire, éolien)

Nouvelles activités de services liées à l'exploitation des réseaux, rendues possibles par les évolutions du cadre réglementaire et des technologies disponibles

Financements européens en matière de R&D et de démonstration, dont des dispositifs spécifiques à l'énergie (NER 300, KIC InnoEnergy)

MENACES

Volatilité du cours des hydrocarbures

Capacité d'investissement d'acteurs émergents (exemple de la Chine avec le solaire et l'éolien)

Avance technologique et industrielle des pays nord-européens en matière d'éolien offshore

Acceptabilité sociale, conflits d'usage (sols, espaces maritimes)

SOURCES

Académie des sciences (Comité de prospective en énergie)

La recherche scientifique face aux défis de l'énergie – septembre 2012

ADEME

Climat, air et énergie – Edition 2013

AIE

Energy Technology Perspectives – 2014 & 2015

World Energy Outlook 2014

Eurobserv'ER

EWEA

The European offshore wind industry – key trend and statistics 2013

France Énergie Eolienne

Statistiques

GIEC

Contribution du groupe de travail III au Vième rapport.

GWEC

Global Wind Report: annual market update 2013

Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie :

Les filières industrielles stratégiques de l'économie verte : enjeux
et perspectives – mars 2013

Rapport de la mission d'étude sur les énergies marines renouvelables –
mars 2013

Eolien, photovoltaïque : enjeux énergétiques, industriels et sociétaux

OPEP

World Oil Outlook 2014

SoeS

GLOSSAIRE

ADEME : agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

ANCRE : alliance nationale de coordination de la recherche sur l'énergie

ANDRA : agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

AIE : agence internationale de l'énergie

ASN : autorité de sûreté nucléaire

BRGM : bureau de recherches géologiques et minières

CEA : commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

CDEFI : conférence des directeurs des écoles françaises d'ingénieurs

CIRAD : centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

CITEPA : centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique

CNRS : centre national de la recherche scientifique

CPU : conférence des présidents d'université

CSTB : centre scientifique et technique du bâtiment

DOE : department of energy (États-Unis)

GIEC : groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

EWEA : European wind energy association

GWEC : global wind energy council

IFPEN : IFP énergies nouvelles

IFREMER : institut français de recherche pour l'exploitation de la mer

IFSTTAR : institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux

INERIS : institut national de l'environnement industriel et des risques

INRA : institut national de recherche agronomique

INRIA : institut national de recherche en informatique et en automatique

IRD : institut de recherche pour le développement

IRSN : institut de radioprotection et de sûreté nucléaire

IRSTEA : institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture

LNE : laboratoire national de métrologie et d'essais

MW : méga watt (unité)

OCDE : organisation de coopération et de développement économique

ONERA : office national d'études et de recherches aérospatiales

PIPAME : pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques

PNAEE : plan national d'action en matière d'efficacité énergétique

Tep : tonne équivalent pétrole (unité)

TWh : téra watt heure (unité)

ppm : partie par million (unité)

SoeS : service de l'observation et des statistiques (ministère du développement durable)

SRCAE : schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie



MOBILITÉ

Définition

La mobilité couvre l'ensemble des modes de déplacement de biens et des personnes. Elle comprend les modes de déplacement classiques comme la route avec l'automobile, les bus, les autocars et les poids-lourds, le ferroviaire avec les trains et tramways, l'aérien, le maritime, les modes doux comme la marche et le vélo. Par ailleurs, on s'intéressera tant aux véhicules et moyens matériels qu'à l'organisation des transports. Ainsi, les champs technologiques vont de la mécanique aux systèmes d'information, en passant par le génie civil, les outils d'optimisation logistique ou la formulation de matériaux.

Technologies clés du domaine

N°	Intitulé	Spécifique / Transversale
1	Matériaux avancés et actifs	Transversale
2	Capteurs	Transversale
3	Valorisation et intelligence des données massives	Transversale
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique	Transversale
5	Internet des objets	Transversale
6	Infrastructures de 5 ^{ème} génération	Transversale
7	Systèmes embarqués et distribués, sécurisés et sûrs	Transversale
8	Procédés relatifs à la chimie verte	Transversale
9	Fabrication additive	Transversale
10	Cobotique et humain augmenté	Transversale
11	Intelligence artificielle	Transversale
12	Robotique autonome	Transversale
14	Technologies immersives	Transversale
15	Procédés relatifs à la chimie du pétrole	Transversale
16	Recyclage des métaux critiques et terres rares	Transversale
20	Nouvelles intégrations matériel-logiciel	Transversale
22	Réseaux électriques intelligents	Transversale
23	Batteries électrochimiques de nouvelle génération	Transversale
24	Carburants de synthèse	Transversale
25	Technologies de l'hydrogène	Transversale
45	Technologies pour la propulsion	Spécifique



Les grands enjeux et les stratégies françaises

ENVIRONNEMENT

Qu'elle soit pour les voyageurs ou les marchandises, la quête d'une mobilité écologique et durable est un enjeu toujours plus important tant pour la réalité de ses impacts que pour l'attente qu'elle suscite dans la société.

Malgré cela, les transports routiers croissent toujours : le trafic routier a progressé en France, entre 1990 et 2012, de 32 % pour les voyageurs et de 18 % pour les marchandises, au détriment d'autres modes moins polluants et moins consommateurs d'énergie tels que le ferroviaire (+9 % entre 1990 et 2012) ou encore le fluvial (+5 % entre 1990 et 2012). La route assure, en 2013, 83 % des déplacements des voyageurs et 88 % des déplacements de marchandises.

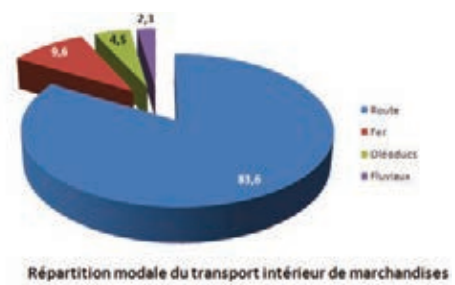
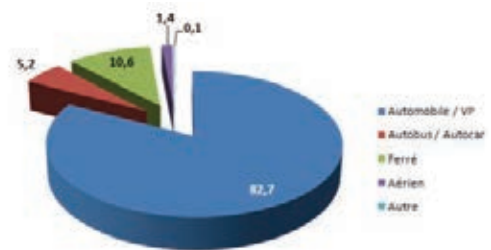


Figure 1 : Répartition du transport intérieur de voyageurs et de marchandises par modes (2012)¹

1 – Rapport ADEME – Stratégie Transports et Mobilité (2014)

Avec 35 % des émissions totales, le transport est le premier secteur émetteur de CO₂ en France avec près de 130 MtCO₂² en 2011 (+16 % entre 1990 et 2000 et -7 % entre 2000 et 2011) comme le montre la figure 2. L'inversion de cette tendance est due notamment au succès commercial des véhicules diesel, moins émetteurs de CO₂. Les émissions dues aux autres modes de déplacement (aérien, ferroviaire et maritime) sont aujourd'hui anecdotiques comparées au mode routier. Le secteur aérien contribue aujourd'hui à 3,3 % des émissions de gaz à effet de serre mais affiche une croissance considérable de 87 % ces quinze dernières années. L'objectif à horizon 2020³ est de réduire de 50 % les émissions de CO₂ et de 80 % les émissions d'oxyde d'azote (NOx).

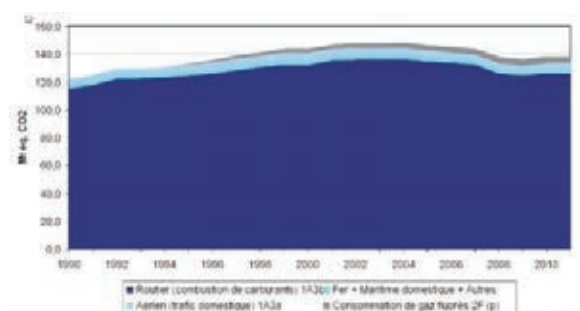


Figure 2 : Évolution des émissions de CO₂ du secteur des transports⁴

L'impact considérable sur la qualité de l'air représente aujourd'hui un enjeu sanitaire en France. Il est estimé que l'exposition aux particules fines (PM_{2,5}) réduit l'espérance de vie de 8,2 mois et est à l'origine de 42 000 décès⁵ prématurés chaque année. D'une manière générale, les études scientifiques montrent un lien étroit entre pollution de l'air et pathologies respiratoires et cardiovasculaires ; le programme APHEKOM⁶ en 2012, conclut à environ 3 000 décès évités par an pour les 12 millions d'habitants de 9 grandes villes, associés au respect des valeurs guides. Notamment les véhicules diesels sont aujourd'hui classés comme « cancérigènes certains » par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

2 – millions de tonnes de CO₂

3 – ACARE – Conseil consultatif pour la recherche aéronautique en Europe.

4 – Source : Direction générale de l'énergie et du climat, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (2013)

5 – Rapport IIASA 2005

6 – <http://www.aphekom.org>

Le secteur européen de la mobilité se mobilise sur cette question environnementale autour des problématiques suivantes⁷ :

- Allègement des véhicules terrestres, aériens et maritimes. Les exemples des prototypes Renault Eolab ou encore les récents Airbus A350 et Boeing 787 ;
- Développement des carburants alternatifs ((bio) CNG et LNG, électrique à batterie ou à hydrogène...) ;
- Aérodynamisme et amélioration de la tribologie ;
- Améliorer les rendements des moteurs et systèmes de propulsion et optimiser l'utilisation de l'électronique de puissance afin d'améliorer la production électrique à bord, notamment pour l'aéronautique ;
- Indirectement liée au vecteur de mobilité, une meilleure gestion du trafic qu'il soit aérien ou terrestre ;
- La problématique du bruit est également à prendre en compte dans les enjeux environnementaux, notamment pour les poids lourds et les avions ;
- Le véhicule connecté fait également partie de la réponse aux enjeux environnementaux ;
- Enfin, limiter la mobilité par des évolutions en matière d'urbanisme (rapprochement des zones d'emploi et de résidence) ou d'organisation du travail (télétravail, téléconférences...) est un axe de réflexion.

RÉGLEMENTATION

La réglementation en matière de déplacements et de transports est un moteur essentiel de l'innovation technologique sur les véhicules et les transports ; elle porte sur leurs différentes dimensions :

■ Environnement

Créée en 2001, la directive CAFE (Clean Air for Europe ou Air pur pour l'Europe) a pour mission d'établir une stratégie intégrée et de lutter contre la pollution atmosphérique. La directive définit des seuils d'émission des polluants dans l'atmosphère, notamment à destination des industriels automobiles.

L'Union européenne a quant à elle instauré des normes pour les émissions des véhicules neufs :

- 130g CO₂/km en 2015 ;
- 95g CO₂/km en 2020.

7 – SRRIA and ERTRAC Roadmaps – H2020 (2014)

C'est en ce sens qu'une procédure mondiale d'homologation des émissions visant une harmonisation mondiale des tests de véhicules (*worldwide harmonized light vehicles test procedure, WLTP*) a été engagée et dont la mise au point devrait être finalisée au mois d'octobre 2015. Le RDE (Real Driving Emissions) sera également un cadre réglementaire clé pour les tests et certifications des futurs véhicules, entre 2017 et 2020. Enfin, la commission européenne engage en 2015 les premières négociations sur la réduction des émissions de CO₂ après 2020.

La directive européenne 2000/53/CE du 18 Septembre 2000 relative aux véhicules hors d'usage (VHU) instaure des enjeux majeurs d'un point de vue environnemental. La directive fixe des objectifs chiffrés qui devaient être atteints au plus tard le 1^{er} Janvier 2015 à :

- Un taux minimum de réutilisation et de recyclage de 85 % en masse de VHU ;
- Un taux minimum de réutilisation et de valorisation de 95 % en masse de VHU.

La directive européenne REACH pour la gestion des substances chimiques a pour objectif principal d'assurer un niveau élevé de protection de la santé humaine et de l'environnement (métaux lourds, composés organiques volatils, radionucléides, etc.). L'interdiction de certaines substances impacte les procédés et les produits des différents secteurs de la mobilité.

La norme Euro VI, applicable depuis janvier 2014 pour les poids lourds et septembre 2015 pour les véhicules particuliers, exige 5 fois moins de rejets d'oxydes d'azote et 3 fois moins de rejets de particules que la précédente. L'adaptation des véhicules Diesel à cette norme renchérit leur coût d'achat et d'entretien.

La directive AFI (Alternative Fuel Infrastructure) sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs a été publiée au Journal officiel de l'Union Européenne le 28 octobre 2014. Elle oblige les États-membres à se doter d'une stratégie nationale pour mettre en place des infrastructures de carburants alternatifs et ainsi développer la mobilité durable alternative.

Dans le monde maritime, la directive dite « soufre » adoptée fin 2013 impose depuis le 1^{er} janvier 2015 une limitation ambitieuse de la teneur en soufre des combustibles maritimes à 0,1 % (contre 1 % auparavant) dans les zones SECA, incluant la Manche,

la Mer Baltique et la Mer du Nord. En dehors de ces zones, l'obligation sera de 0,5 % eu 1^{er} janvier 2020.

■ Nuisances sonores

L'OMS⁸ considère le bruit dans l'environnement comme un problème de santé publique. La réglementation française comprend plusieurs dispositifs de lutte contre les nuisances sonores introduits par la loi du 11 Juillet 1985 relative à l'urbanisme au voisinage des aéroports, la loi du 31 Décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit et la directive 2002/49/CE relative à l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement.

■ Sécurité

La réglementation concernant la sécurité électrique des véhicules électriques et hybrides est en passe d'harmonisation via un Règlement Technique Mondial (RTM). L'Europe se base sur la réglementation internationale de Genève (réglementation ECE), les États-Unis divergent sur certains points de l'ECE, alors que la Chine produit des normes et règlements avec des exigences sévères qui freinent de nombreux projets. En outre, la réglementation en cours (R100.01) en Europe concerne la protection contre le contact direct et le contact indirect du véhicule, la résistance d'isolation et la sécurité fonctionnelle. L'Europe, la Chine et le Japon ont voté la R100.02 qui ajoute à R100.01 la sécurité de la batterie et R94, R95 et R12 sur les exigences post crash.⁹

Un règlement européen de 2009 (EC/79/2009) établit des normes européennes pour l'homologation des véhicules à hydrogène. Cette législation vise à assurer le bon fonctionnement du marché européen de ces voitures et à fournir un cadre aux fabricants qui développent déjà des véhicules de ce type. Le règlement permet aussi de promouvoir les voitures à hydrogène dans les villes européennes et de protéger leur environnement.

EuroNCAP, le programme indépendant d'évaluation européen pour l'automobile, prévoit des crash tests afin de tester la sécurité imposée par la législation. En raison des constantes avancées des constructeurs automobiles en matière de résistance au crash, deux nouvelles épreuves entrent en vigueur en 2015 sur les

8 – Burden of disease from environmental noise, Bureau régional Europe, OMS (2011)

9 – PFA – 11/12/2013

tests en choc frontal et latéral. La conformité à cette certification non-obligatoire est un moteur fort de l'innovation en termes de sécurité active et passive.

La forte expansion du marché des drones civils ces dernières années a contribué à l'accélération des avancées réglementaires. La France a été l'un des premiers pays au monde à avoir développé une réglementation spécifique permettant l'usage des drones civils à des fins industrielles et commerciales. Les différents scénarios de vol et le cadre réglementaire précis établis par la DGAC ont permis de garantir des opérations en toute sécurité, tout en offrant un cadre propice au développement de très nombreux usages. La réglementation a ainsi permis, sur une base simple, d'autoriser l'exploitation d'appareils de faible poids (jusqu'à 25 kg pour la majorité), essentiellement à basse altitude (maximum 150 mètres), sans survol de population, et en-dehors des zones de trafic aérien, pour éviter toute collision avec d'autres aéronefs. La grande majorité des drones civils sont opérés « en vue du pilote ». Cependant, la réglementation française a également permis l'opération de drones légers hors de la vue du télépilote, sur des longues distances. Il s'agissait là d'une première mondiale en matière de réglementation des drones civils. La Commission européenne travaille actuellement sur une harmonisation de la réglementation sur les drones civils et des réflexions sont en cours sur les assurances.

Enfin, l'émergence des véhicules autonomes nécessite un cadre réglementaire strict et clair. De nombreux gouvernements, notamment aux États-Unis où les états autorisent de plus en plus la circulation des véhicules autonomes pour les premières expérimentations en circulation. En France des évolutions du cadre réglementaires sont prévues dans le cadre du plan « Véhicule Autonome » entre 2014 et 2019 en vue des expérimentations et de la mise sur le marché des véhicules.

■ Usages de la mobilité – les VTC

Les plans de déplacements urbains (PDU) consistent à planifier sur une période de 10 ans un projet global en matière d'aménagement du territoire et des déplacements. Selon l'article 1214-1 du Code des Transports, le PDU vise à déterminer « *les principes régissant l'organisation du transport de personnes et de marchandises, la circulation et le stationnement dans le ressort territorial de l'autorité organisatrice de la mobilité* ». À titre d'exemple, les objectifs du PDU en Ile de

France vise, entre autres, une réduction de 20 % des GES d'ici 2020, une croissance de 20 % des déplacements en transports collectifs, une croissance de 10 % des déplacements en modes actifs (marche et vélo) et une diminution de 2 % des déplacements en voiture et deux-roues motorisés.

Les VTC (Véhicules de Tourisme avec Chauffeur) sont aujourd'hui au cœur d'un différend les opposant aux taxis pour des questions de règles de concurrence. Fin 2014, les textes réglementaires sur les nouvelles formes de mobilité individuelle évoluent régulièrement et devraient faire l'objet de modifications au fur et à mesure des retours d'expérience¹⁰.

■ Ferroviaire¹¹

En France, le cadre législatif et réglementaire des transports est imposé par la Loi d'orientation des transports intérieurs (LOTI) et précise en particulier la répartition du service public du transport ferroviaire entre les différents acteurs du territoire : État, Régions, Départements et Autorités organisatrices des transports publics. La réglementation française résulte de la transposition des directives européennes applicables au transport ferroviaire de voyageurs qui aborde :

- La séparation des rôles de gestionnaires d'infrastructures et d'exploitation des services,
- La répartition des capacités d'infrastructures ferroviaires,
- La sécurité ferroviaire,
- L'ouverture à la concurrence des transports internationaux.

Au vu de la forte dette contractée par les opérateurs ferroviaires (44 Md€), la nouvelle réforme ferroviaire adoptée en 2014 prévoit la réunification de la SNCF et de RFF pour créer des synergies et mutualiser les coûts en prévision de l'ouverture du marché à la concurrence en faisant financer les grands travaux directement par l'État.

D'un point de vue plus opérationnel, le système ERTMS (European Railway Traffic Management System) vise à harmoniser les systèmes de signalisation ferroviaires européens.

10 – Étude de cas Allocab (VTC), 2014

11 – Service d'études sur les transports, les routes et les aménagements, MEDDE (2009)

Un accélérateur du déploiement des innovations dans les secteurs de la mobilité est la globalisation des réglementations, permettant un accès large au marché pour les entreprises européennes. À contrario, un frein à l'innovation est parfois la sévèrisation des réglementations, qui nécessite alors une forte anticipation de leur mise en œuvre.

MARCHÉ

La croissance de la mobilité est hétérogène entre les différents pays ces prochaines années. Modérée dans les pays développés alors qu'elle sera très importante dans les pays émergents. Les caractéristiques des pays développés par rapport aux pays émergents sont les suivantes¹² :

Pays développés

- Revenus élevés mais croissance ralentie
- Urbanisation développée, à faible croissance
- Population stable et vieillissante
- Motorisation élevée, à peu près stabilisée
- Systèmes contraignants de dépendance automobile

Pays émergents

- Revenus bas mais à forte croissance
- Urbanisation massive, émergence de mégapoles accompagnées de forte croissance des villes de second rang
- Population jeune, en forte croissance
- Motorisation faible, en forte croissance
- Autres segments de mobilités possibles

Automobile

L'automobile est omniprésente dans la plupart des grandes villes mondiales. Le CAS¹³ parle même d'un « modèle de société automobile » avec des variantes où la voiture reste omniprésente (notamment dans les grandes villes américaines). Certaines métropoles comme Paris, Londres, Amsterdam ou encore Hong-Kong sont moins structurées sur ce « modèle

12 – Rapport CAS – Les nouvelles mobilités (2011)

13 – Commissariat général à la stratégie et à la prospective (ex centre des affaires stratégiques).

de société automobile ». La marche à pied, les transports collectifs et les vélos y occupent une place importante. Enfin, l'urbanisation des pays émergents est un facteur de croissance pour le développement de la mobilité et ses infrastructures.

La Chine reste en tête des ventes automobiles en 2014 et domine le marché de l'automobile depuis maintenant plusieurs années. L'Allemagne conforte sa place de numéro 1 européen. En revanche, la situation géopolitique complexe en Europe de l'Est, notamment depuis que la Russie est soumise à des sanctions internationales, a un impact néfaste sur le marché automobile. Avec une chute de 23 % des ventes en juillet et 26 % en août, les constructeurs locaux ont revu leurs objectifs et leurs stratégies marchés. D'une manière générale, le marché automobile européen présente de fortes différences suivant les pays : niveaux d'équipement hétérogènes, âge du parc, dynamisme des ventes, etc.

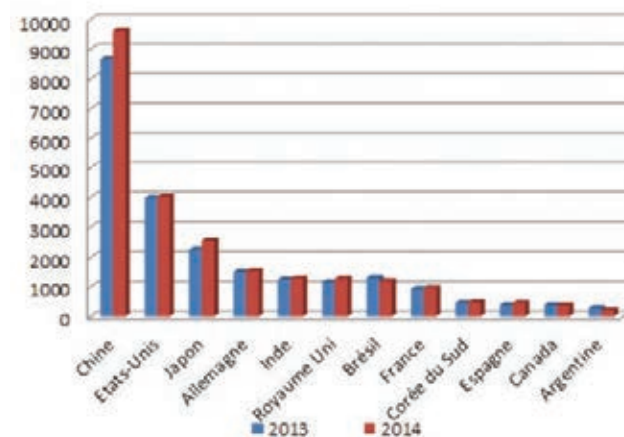


Figure 3 : Ventes mondiales d'automobiles (Source : Comité des Constructeurs Français de l'Automobile)

Rail

Le marché mondial représentait 105 Mds€ en 2013. L'industrie ferroviaire est dominée aujourd'hui par le trio Amérique/Asie-Pacifique/Europe et est de plus en plus tirée par les pays émergents qui promeuvent une mobilité durable et écologique comme les pays du Golfe notamment (Qatar, Bahrein, Émirats Arabes Unis, etc.). À titre d'illustration, l'urbanisation croissante a des conséquences positives en termes de besoins d'équipement : on estime que plus de 330 parmi les 500 villes¹⁴ de plus d'un million d'habitants dans le

14 – Source AIF

monde n'ont pas encore de transports urbains guidés, et pourraient donc franchir le pas dans les prochaines décennies.

Aéronautique

L'année 2014 a été marquée par une nouvelle progression du trafic aérien mondial de passagers supérieure à 5 % et de nouveaux records en termes de commandes et de livraisons pour les grands avionneurs mondiaux (1 490 appareils livrés et 3 680 commandés). La tendance historique du trafic aérien, en croissance de l'ordre de 5 % par an depuis 30 ans, soit un doublement tous les 15 ans, devrait se prolonger à moyen terme en lien avec la croissance économique mondiale. Les avionneurs estiment que 32 000 à 38 000 avions nouveaux seront mis en exploitation à horizon 20 ans, soit pour renouveler les flottes existantes (Amérique du Nord, Europe), soit pour équiper les marchés émergents ou en développement (Asie, Moyen-Orient) où le développement économique appelle de nouveaux besoins de mobilité. Sous ces hypothèses, le marché mondial de la construction aéronautique civile devrait représenter environ 5 000 Md\$ en valeur sur les 20 prochaines années.

Les prises de commandes record des dernières années ont porté les carnets de commandes d'Airbus et de Boeing à des niveaux historiques représentant plus de 8 années de production aux cadences actuelles. Afin de continuer à livrer leurs clients dans des délais raisonnables, Airbus et Boeing ont désormais pour priorité la montée en cadence de leur production. Pour son best-seller, l'A320, l'objectif d'Airbus est ainsi d'augmenter la production à 50 appareils par mois contre 42 actuellement d'ici début 2017, avec un point d'étape mi-2016 à 46 appareils par mois.

Naval

La Chine conforte son rang de leader dans la construction navale et son carnet de commande ne fait qu'augmenter. Les commandes exécutées en 2013 s'élèvent à 35 Mt en port lourd (37,8 % du total mondial), les commandes reçues s'élèvent à 46,44 Mt (46,4 % total mondial) et les commandes en cours portent sur 118 Mt (45,4 % du total mondial). L'Europe, quant à elle, conforte ses niches technologiques, construisant principalement des navires spécifiques où les fonctions de travail l'emportent sur celles de transport de marchandises (paquebots, yachts, navires support à l'off-shore, etc.). L'Europe élargie à la Turquie et la Russie

ne représente que 10 à 12 % du total des navires en commande – soit le 4^e rang mondial derrière la Chine, la Corée et le Japon.

Logistique/Fret

La logistique, dont la logistique de transport, est un élément clé de la compétitivité des entreprises. Faciliter les échanges est par ailleurs un facteur clé de l'attractivité industrielle du territoire national, conduisant à des concurrences entre territoires sur les grands aménagements. Le marché du fret est aujourd'hui dominé par le transport routier (83 % des marchandises transportées), y compris sur les longues distances, en raison notamment de la faiblesse du secteur du fret ferroviaire français. Porté par plus de 37 000 entreprises, le transport routier intérieur de marchandises représente en 2013 188 milliards de tonnes.km, contre 100 milliards de tonnes.km sous pavillon étranger.

Du point de vue de la logistique, force est de constater le lien direct entre croissance économique et intensité de l'activité de fret, faisant des zones de forte croissance comme l'Asie du Sud-Est des marchés de croissance incontournables.

Amorçage de la mobilité hydrogène

Le consortium public-privé Mobilité Hydrogène France, fédéré par l'Association Française pour l'Hydrogène et les Piles à Combustible (AFHYFAC), a présenté en septembre 2014 une étude sur les bénéfices et les possibilités de diffusion des véhicules électriques à pile à hydrogène, basée sur les demandes réelles et immédiates des premiers marchés que constituent les flottes de véhicules professionnels en environnement urbain. Les résultats de cette étude confortent les perspectives concrètes d'un plan de déploiement sur le territoire national. Le scénario d'ici à 2020 propose 15 à 20 stations, 500-700 véhicules utilitaires légers et quelques dizaines de petits camions, permettant d'épargner 500 M€ entre 2015 et 2030 en terme de santé publique, de générer 700 M€ de chiffre d'affaires et de réduire de 1,2 Mt les émissions de CO₂ par an (10,5 Mt en 2050).

L'originalité de l'approche française réside dans l'utilisation des véhicules électriques existants, dont on améliore l'autonomie par des prolongateurs à base de piles à hydrogène. Cette option permet d'étendre les ventes des véhicules électriques à des usages plus intensifs, comme ceux de la livraison urbaine de colis.

Les publics spécifiques

La Silver Économie¹⁵ est aujourd’hui une opportunité de croissance importante pour la France. Le secteur de la mobilité se voit impacté par ce vieillissement démographique notamment autour de la problématique de perte d’autonomie qui impacte les mobilités domestique et extérieure. On peut alors citer les dispositifs de transports aux personnes à mobilité réduite ou encore à l’assistance à domicile. Le marché français de la Silver Économie représente en 2013 92 Md€ et dépassera les 130 Md€¹⁶ en 2020. L’effet d’âge a un impact considérable sur la mobilité : en vieillissant, la population devient moins mobile et plus sédentaire. L’effet de maturité montre que la population vieillissante est plus réceptive aux nouvelles technologies et est plus axée sur une demande haut de gamme, avec un taux de renouvellement plus faible.

Les Smarts Cities

La forte dynamique autour de la ville intelligente est une opportunité pour la mobilité durable, interopérable (et donc multimodale), particulièrement pour la filière du stationnement automobile qui est aujourd’hui au carrefour de la mobilité. De nombreux services voient le jour afin d’améliorer la qualité de l’expérience de l’usager, allant de l’information voyageur à la billetterie. D’une manière plus générale, le Big Data est aujourd’hui un levier avéré pour la mobilité interopérable car elle « connecte » les utilisateurs aux différentes infrastructures existantes.

PRODUCTION

L’Asie conforte sa place de premier producteur automobile mondial, marché aujourd’hui en convalescence pour les acteurs européens en ce premier semestre de 2014. Ce phénomène de délocalisation des industriels de l’automobile est motivé par une optimisation des coûts et par le rapprochement de ses marchés locaux. Depuis 2000, 30 % de la production française a diminué au profit de l’Espagne, de l’Europe centrale et orientale (PECO) et le Maghreb.

15 – Rapport CAS - La Silver Économie, une opportunité de croissance pour la France (2013)

16 – DGE, Ministère de l’Économie, des Finances et de l’Industrie

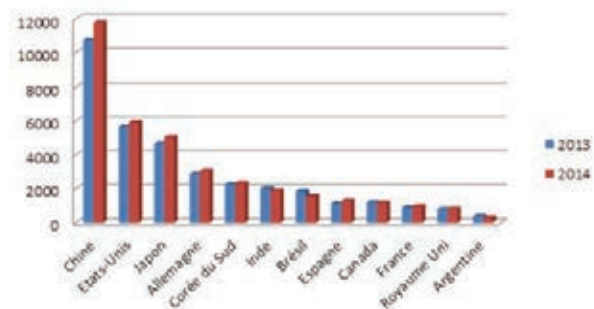


Figure 4 : Production mondiale d’automobile (Source : Comité des Constructeurs Français de l’Automobile)

Dans le même ordre d’idées, les grands contrats en aéronautique civile, de défense ou de matériels roulants ferroviaires sont régulièrement assortis d’engagement des industriels en termes de transferts de technologie ou d’une partie de la production, voire des services associés.

L’Usine du futur, chantier phare de la Nouvelle France Industrielle (NFI), porte une approche évolutive des méthodes industrielles. Un exemple marquant est la montée en puissance de l’impression 3D comme outil de production ou de la cobotique, permettant aux chaînes de production de gagner en versatilité et en flexibilité.

L’accès à la matière première, notamment certains métaux¹⁷ produits à 97 % en Chine, est un enjeu majeur de taille pour les industriels des transports, que l’on parle d’automobile (les terres rares par exemple sont utilisées pour la conception d’aimants permanents destinés à la conception et la fabrication des moteurs pour véhicules électriques dans l’automobile) ou d’aéronautique (pour les alliages spéciaux).

Les grandes tendances

TECHNOLOGIQUES

Les véhicules décarbonés

Le véhicule 2l/100km, également objet d’un des 34 plans, est la suite logique des avancées technologiques des dernières années. Les réglementations sur l’efficacité énergétique et environnementale, et

17 – Enjeux économiques des métaux stratégiques pour les filières automobile et aéronautique, PIPAME

notamment les engagements internationaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre, poussent les constructeurs à réinventer les motorisations et la conception même des véhicules afin de s'y conformer. On peut citer par exemple en réponse à cet enjeu l'allègement des véhicules et l'utilisation de matériaux comme la **fibres de carbone** ou encore les **chaînes de traction hybrides**. La mobilité verte est aujourd'hui un catalyseur de nouvelles alliances et partenariats R&D entre donneurs d'ordre, équipementiers et chercheurs, à l'image de Renault et Bolloré, BMW et Daimler ou encore Nissan et Ford...

Le véhicule électrique est aussi un chantier important. Les nouvelles technologies de motorisations, de stockage et de conversion d'énergie sont au cœur des activités des industriels de l'automobile. Les **moteurs électriques à aimants permanents** par exemple équipent la plupart des véhicules électriques. Compte tenu de la rareté des terres rares nécessaires à la fabrication des aimants du moteur, certains constructeurs optent pour le moteur à **rotor bobiné**. La technologie de batteries **lithium** répond au mieux aux enjeux du véhicule électrique : capacité volumique de stockage chimique de l'énergie, limitation des risques de détérioration. Les BMS (**Battery Management/Monitoring System**) sont aussi un composant critique des systèmes – aussi bien pour les véhicules électriques qu'hybrides – pour prolonger la vie de la batterie en protégeant les cellules et la batterie des défaillances, déclencher les actions nécessaires en cas de détérioration de la batterie ou des cellules et assurer la traçabilité lors de la vie de la batterie. Le déploiement accru des bornes de recharge électrique et des politiques d'incitation sont des moteurs du marché, et objets d'innovations technologiques. L'utilisation **de piles à combustibles (hydrogène)** dans le champ de la mobilité (voitures, mais aussi véhicules industriels) fait également l'objet de développements prometteurs. Toyota a ainsi commercialisé en 2015 un véhicule basé sur cette technologie, la Mirai, et la plupart des constructeurs poursuivent des programmes de R&D sur le domaine.

Le downsizing, qui consiste à diminuer la taille de la cylindrée sans réduire ses performances constitue un réel enjeu économique mais également environnemental pour les constructeurs automobiles. Renault a lancé en 2014 un premier moteur 1,6 l diesel bi-turbo

qui délivre une puissance de 160 ch¹⁸ et un couple moteur de 380 N.m¹⁹, dont les performances permettent de diminuer les émissions de CO₂ de près de 25 %.

Enfin, les acteurs des filières du transport se penchent sur la problématique de la seconde vie de la batterie et **son recyclage comme le démantèlement et le traitement des cellules de la batterie endommagée**. Des alternatives au lithium sont également en développement au cas où la ressource viendrait à manquer comme les batteries au **magnésium** ou autour des **enzymes de la biomasse** par exemple.

Mobilité urbaine

Concept datant de 2005, on retrouve de plus en plus (57 %) de projets **Bus à Haut Niveau de Service** dans le troisième appel à projets de transports collectifs porté par le Ministère en charge de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE). À cheval entre le bus en site propre et le tramway, ce bus amélioré circule sur voie propre (TCSP) et garantit donc une circulation fluide et des temps d'attente réduits. L'intégration des technologies et services télématiques comme l'information voyageurs ou encore la billettique sont aujourd'hui gages de confort et d'innovation. Le BHNS serait une solution idéale pour les petites agglomérations où le tramway ne peut être déployé.

Le véhicule autonome et communicant

Le véhicule autonome et communicant, qui fait partie des 34 plans de la NFI, est aujourd'hui un moteur de l'innovation dans la filière automobile avec une commercialisation des premiers modèles annoncée pour 2020 par les acteurs français (Renault Next Two par exemple) et internationaux. Outre les technologies d'assistance à la conduite (ADAS) telles que l'assistance au stationnement, la multiplication des capteurs (caméras, radars) et les technologies de **télématique et services connectés** (GPS connectés, téléphonie, multimédia), l'innovation se focalise sur l'autonomisation des véhicules : autonomie de la prise de décision, actionneurs, capteurs... dans une problématique d'optimisation de coût, de sécurité, d'interaction entre mobiles, mais aussi avec les usagers (piétons, conducteurs...). À l'exemple du véhicule de Google, la voiture

18 – Chevaux

19 – Newton.mètre

est aujourd'hui capable de s'insérer et de circuler en toute sécurité sur la voie publique.

Rail

Le TGV du futur vise une augmentation du nombre de places de 25 %, et 50 % d'économies d'énergie de traction. Il est une vitrine des enjeux technologiques rencontrés par le rail. Une meilleure résistance des voies/rails permet par exemple d'augmenter la vitesse des trains et de répondre aux problématiques liées à la tribologie, aux vibrations et de nuisances sonores. Des aciers plus résistants à la fissuration et à l'usure ont pu être mis au point par des recherches, comme les **aciers bainitiques** (testés par Eurotunnel) dont la microstructure fine permettent de retarder l'apparition de fissures ou les **aciers perlitiques**, dont la formulation enrichie en chrome permet une forte résistance à l'usure.

Depuis ses débuts en 1981 avec le TGV SE, suivi par le TGV Atlantique en 1989, la Très Grande Vitesse est toujours un sujet sur lequel les entreprises travaillent et cherchent à innover. L'**AGV (Automotrice Grande Vitesse)** répartit la motorisation sur l'ensemble de la rame, apportant gain de place et de consommation énergétique. La technologie AGV offre la modularité du matériel roulant et assure la réussite du carry-over qui est aujourd'hui un facteur essentiel de rentabilité et de gain de temps de développement.

Le confort de l'utilisateur est également un enjeu considérable de la mobilité et particulièrement de la filière ferroviaire. Le domaine des équipements ferroviaires embarqués donnent naissance à des produits plus performants et constamment adaptés aux besoins des passagers et exploitants. Cela passe par des améliorations d'ordre esthétique - design, revêtement anti tag... - ou pratique - accès WIFI, espaces vélos, portes à larges ouvertures ou encore la climatisation, qui doit également prendre en compte l'efficacité énergétique du train.

Enfin, une **signalisation** et un **contrôle commande** bien conçus et robustes garantissent une circulation des trains en toute sécurité en permettant le dialogue entre les trains et l'infrastructure. L'enjeu principal de la signalisation est celui de l'**interopérabilité** et de l'harmonisation. La norme actuelle en Europe est **ERTMS (European Rail Traffic Management System)** qui se repose sur une brique GSMR (téléphonie mobile) et **ETCS (European Train Control System)**, permettant

au train de passer d'un réseau à un autre sans interruption. Les technologies d'aide à la conduite, exploitation et la maintenance (**SACEM**), les pilotages intégralement automatisés sont de plus en plus répandus dans nos trains et métros.

Intermodalité et mobilité 2.0, l'informatique au service de la mobilité

Il s'agit ici du développement de solutions informatiques qui harmonisent les données afin d'en faciliter l'accès pour adapter nos déplacements de demain. L'**information multimodale** est un critère indispensable aujourd'hui car elle donne la possibilité de planifier des itinéraires optimaux « minute par minute » tout en combinant plusieurs modes de transports qui s'appuient sur des infrastructures différentes les unes des autres.

Logistique

Trois grands axes de développement technologique sont portés par la logistique :

- Les technologies pour la traçabilité et le suivi des marchandises : RFI, NFC, etc. ;
- Les systèmes pour l'optimisation de la chaîne logistique, permettant notamment de limiter les pertes de temps liées aux ruptures de charge et de couvrir de manière efficace le dernier kilomètre et l'approvisionnement juste à temps.
- La limitation des émissions polluantes comme sonores des groupes froids lors du transport réfrigéré en zone urbaine est également une piste d'amélioration significative tant environnementale qu'économique suivie par de grands transporteurs tels que STEF, STAF

Aérien

L'avion à propulsion électrique ou hybride est aussi pris en compte dans les 34 plans initiaux de la NFI. Bien que le secteur aérien soit responsable de seulement 3 % des émissions mondiales de GES, il existe une réelle volonté des pouvoirs publics de converger vers des systèmes de propulsion aéronautiques plus respectueux de l'environnement. À ce titre, plusieurs entreprises misent sur le potentiel des avions électriques, à l'instar d'Airbus Group avec son projet E-Fan d'avion-école biplace à propulsion 100 % électrique, qui vise une production en série pour le marché de la formation initiale des pilotes. D'autres projets sont également en cours de

développement, mais avec une visée plus sportive qu'industrielle, notamment le projet d'avion solaire Solar Impulse 2 ou encore le projet Eraole d'avion hybride biocarburant et photovoltaïque porté l'association Océan Vital. À plus court terme, l'électrification des systèmes de traction pour déplacer les avions au sol (*pushback*, roulage) offre un important potentiel d'économie de carburant, estimé entre 4 % et 8 % selon les solutions développées. Le motoriste Safran a ainsi investi avec son partenaire Honeywell dans le développement d'une solution de roulage électrique (*green taxiing*) qui permet d'utiliser l'énergie électrique fournie par le groupe auxiliaire de puissance (APU) plutôt que de solliciter les moteurs principaux grâce à des actionneurs intégrés aux roues du train d'atterrissage principal. La solution alternative consiste à électrifier les traditionnels tracteurs d'avions, à l'instar du TaxiBot et du TBL à propulsion hybride développés respectivement par le groupe français TLD et le groupe suédois Kalmar Motor, tous deux testés en conditions réelles depuis début 2015 dans le cadre du projet « E-Port an » sur l'électromobilité à l'aéroport de Francfort.

Le JTI européen Cleansky, structurant la recherche européenne en aéronautique, s'appuie sur les objectifs de la feuille de route ACARE 2020 :

- Réduire la consommation de carburant de 50 % par passager.kilomètre ;
 - Réduire les émissions de CO₂ de 50 % par passager.kilomètre ;
 - Réduire les émissions de NOx de 80 % ;
 - Réduire les nuisances sonores de 50 % ;
 - Réduire l'impact environnemental de la production, la maintenance et la seconde vie (recyclage) des avions.
- Cleansky identifie deux types de systèmes pour atteindre ces objectifs :
- MAE - Management of Aircraft Energy (Gestion énergétique de l'avion) qui comprend notamment les architectures 100 % électriques et une meilleure gestion thermique des moteurs.

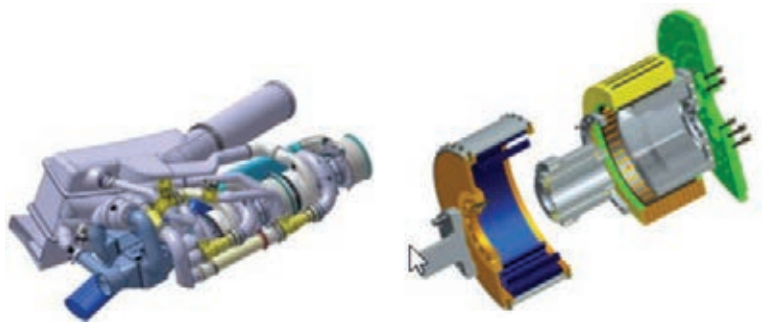


Figure 5 : Modélisation d'un système de gestion énergétique (Source : Cleansky)

■ MTM - Management of Aircraft Trajectory and Mission (Gestion de la trajectoire des avions) qui comprend le trafic aérien mais également les opérations au sol.

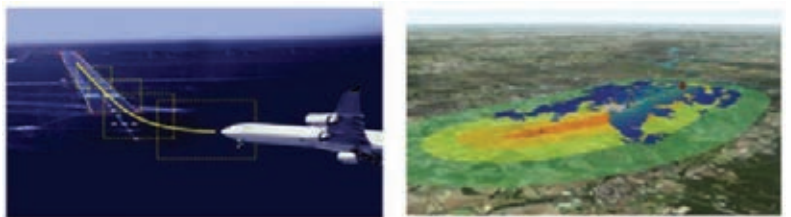


Figure 6 : Modélisation de la trajectoire optimale d'un avion (Source : Cleansky)

■ En 2013, le niveau d'avancement des membres de Cleansky sur ces problématiques environnementales est le suivant²⁰ :

Clean Sky concept aircraft	Noise area (take-off)	CO ₂	NO _x
Low Sweep Bizjet (innovative Empennage)	-68%	-30%	-26%
High Sweep Bizjet	-10%	-19%	-28%
TP 90 (Regional Turbo-prop)	-71%	-30%	-34%
GTF 130 (Regional geared Turbo-fan)	-76%	-20%	-34%
Short-medium range /CROR engine	-36%	-28%	N/A
Long Range /3 shaft Advanced Turbo-fan	-27%	-18%	-17%
Single Engine Light	-47%	-30%	-75%
Twin Engine Light	-49%	-26%	-74%
Twin Engine Heavy	NA	-22%	-47%

Figure 7 : Problématiques et avancement actuels des acteurs de Cleansky (2013)²¹

20 – Source : Cleansky (2013)

21 – Source : Cleansky

Les technologies autour de la sûreté et de la sécurité sont aussi essentielles pour la mobilité aérienne. Alors que l'impact de l'erreur humaine est significativement réduit grâce aux avancées de design, des formations et des technologies d'aide à la décision, il est nécessaire d'être capable de prédire les éventuelles défaillances. C'est pourquoi les systèmes avancés à bord de monitoring permettent de plus en plus la prédiction et la résolution de défaillances techniques et opérationnelles liées qui peuvent être intrinsèques ou d'origine extérieure. La sécurisation des données de navigation, des données de vol, de la communication air-sol est constamment renforcée contre les cybers attaques.

Maritime

Le navire écologique est un des 34 plans de la NFI, dans leur version de 2013. Les acteurs de la filière

française ont engagé plus de 250 projets de R&D collaborative ce qui représente plus de 800 M€ d'investissements depuis 2006¹.

Les acteurs de la filière visent un objectif de réduction de 50 % des impacts environnementaux et de la consommation de carburant des navires, ainsi que d'amélioration de la sûreté de fonctionnement et de la sécurité des passagers, équipages et cargaisons. La concrétisation de ces ambitions passera en particulier par l'intégration des nouvelles technologies de l'information sur les navires.

L'utilisation du gaz naturel liquéfié (GNL) comme carburant marin, de l'énergie électrique et de la production vélique auxiliaire, le traitement des émissions, la récupération d'énergie et le navire éco-intelligent sont les défis de la filière navale d'aujourd'hui.

Principales actions	Pilote	Calendrier	Finalités / livrables
I. Relever le défi énergétique : GNL, énergie électrique et propulsion vélique			
Développer conjointement l'offre industrielle française et l'utilisation du GNL comme carburant marin			
Développer un navire ravitailleur GNL à membranes	GTT	Mise en service en 2017	Prototype
Accompagner les armateurs dans leurs projets d'investissement dans des ferries propres	Ministères	Appel à projets ouvert jusqu'à fin 2015	Flottes renouvelées
Accompagner le déploiement des infrastructures portuaires dédiées à l'utilisation du GNL	Ministères	Lancement d'un appel à projets fin 2014	Stations d'approvisionnement en GNL
Aboutir à des navires intégrant une électrification optimale			
Développer un navire de pêche à propulsion hydrogène	DCNS	Mise en service en 2018	Prototype
Utiliser la force du vent par le vélique			
Développer et industrialiser la propulsion auxiliaire des navires par kits	Beyond the Sea	2015 à 2019	Offre de kits
Développer un prototype paquebot à propulsion hybride vélique-électrique	STX France	Mise en service en 2018	Prototype
II. Développer une passerelle intelligente			
Développer une passerelle maritime intelligente	Sagem	2015 à 2018	Offre de passerelle intégrée complète et équipements
III. Tendre vers le navire éco-efficient			
Développer et intégrer sur navire des équipements de traitement des rejets à bord	DCNS STX France	2014 à 2020	Offre de système complet de traitement
IV. Renforcer les fonds propres et les capacités export			
Renforcer les fonds propres et les capacités export des PME et ETI de la filière navale française	GICAN	à partir 2014	Solutions de financement des navires et équipements

Figure 8 : Synthèse des actions du plan «navires écologiques»²³

22 – CORICAN – comité de pilotage « navires écologiques » (2014)

23 – Source : CORICAN – Recherche et innovation navale

INDUSTRIELLES

Automobile

Des constructeurs aux équipementiers, les acteurs de l'automobile **consolident leur stratégie internationale** et investissent de plus en plus en **Asie et en Europe de l'Est**. La Chine ou la Russie (dont les marchés automobile connaissent en 2015 un ralentissement, voir un fort recul en ce qui concerne la Russie) sont devenus des secteurs d'investissement massifs de l'industrie automobile européenne. Ces actions ont pour but principal d'améliorer l'accès à des marchés aujourd'hui difficilement accessibles pour les acteurs « non-locaux », de **renforcer des synergies et des process** afin de relancer la productivité et **d'améliorer la rentabilité de production et de concevoir de nouveaux produits**.

Le développement de la mobilité au gaz naturel et notamment au biométhane, que ce soit **CNG** ou **LNG**, est une tendance marquée. On prévoit 65 millions de véhicules au GNV dans le monde d'ici à 2020²⁴, soit 9 % du marché. En France, les poids lourds au GNV devraient constituer 10 % de la flotte des nouvelles immatriculations d'ici 2020 et 40 % en 2030, le GNV équipant également respectivement 2 et 6 % de la flotte des véhicules particuliers et des véhicules utilitaires légers en 2030²⁵. De grands constructeurs proposent des modèles de motorisations au gaz naturel, comme IVECO ou Scania, qui construisent ces modèles en France.

Aéronautique

Les États-Unis et l'Europe sont les deux marchés historiques majeurs de l'aéronautique mondiale avec Boeing et Airbus. Cependant, l'industrie aéronautique progresse plus fortement en Asie, notamment avec l'augmentation constante du trafic commercial asiatique, qui sera le principal moteur de l'industrie aéronautique dans les années à venir. Le salon du Bourget 2015 a ainsi vu une plus forte exposition des constructeurs, équipementiers et visiteurs venus de Chine, Inde, Corée du Sud et Asie du Sud-est. En particulier, la Chine poursuit ses efforts pour le développement et la certification d'avions de ligne régionaux et commerciaux, avec l'ambition de remettre en question le duopole Airbus-Boeing. Le constructeur aéronautique chinois COMAC achève actuellement l'assemblage du premier prototype de son monocouloir

24 – NGVA Europe et Study Group 5.3 de l'International Gas Union

25 – MEDEF avec CCFA, UFIP, CFBP, UFE, AFGNV et AFG

C919 dont l'entrée en service est prévue en 2018. Mais la concurrence se renforce également d'autres régions du monde, notamment au Canada avec Bombardier et au Brésil avec Embraer qui cherchent à monter en gamme avec des projets de monocouloirs.

Ferroviaire

Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'industrie ferroviaire est dominante en Amérique, Europe et en Asie. Alors que les acteurs européens ont la main mise sur les infrastructures ferroviaires, ils arrivent en second rang derrière la Chine et le Canada dans les 6 premiers acteurs mondiaux s'agissant des matériels roulants.

Infrastructures ferroviaires

	Entreprise	CA 2012 (M€)	Pays
1	Voestalpine-Bahnsysteme	1 447	Autriche
2	Vossloh AG	1 243	Allemagne
3	Evrast Group	1 473 (consolidé)	Russie
4	Arcelor Mittal Steel	1 000	Europe/Inde
5	Steel Authority of India	912	Inde

Matériel roulant

Sur le matériel roulant, Alstom Transport se démarque comme le leader français du secteur. L'Allemagne et l'Espagne figurent également comme leaders mondiaux du matériel roulant.

	Entreprise	CA 2012 (M€)	Pays
1	CSR Corporation Ltd	10 700	Chine
2	Bombardier Transport	8 100	Canada
3	CNR Changchun Railway Vehicles	7 100	Chine
4	Siemens Mobility	5 970	Alle- magne
5	GE Transportation	5 600	États-Unis
6	Alstom Transport	5 200	France
7	CAF	1 720	Espagne
8	Ansaldo Breda	591	Inde

Naval

La Chine est sans conteste le plus grand pays de construction navale au monde avec une part de marché de 41 %, suivi par la Corée et le Japon. L'Europe possède aujourd'hui un rôle mineur dans la construction navale avec seulement 2 % de part de marché au monde. Les fabricants européens se sont plus spécialisés dans l'ingénierie et la fabrication de navires de croisières, de yachts de luxe, de ferries, etc. Les fabricants asiatiques eux suivent la tendance de la fabrication de navires de transport de marchandises de très grosse taille, pouvant transporter entre 19 000 et 22 000 conteneurs standards.

L'Usine 4.0 (ou Industrie 4.0)

L'ensemble des secteurs industriels se positionne par rapport à l'évolution des méthodes de production. Les filières automobile et aéronautique sont à la pointe de la réflexion et de la mise en œuvre des nouveaux concepts, afin de répondre à des enjeux de montée en cadence, de personnalisation accrue et de compétitivité de l'industrie.

L'Usine 4.0 appuie la conception d'une production entièrement intégrée d'un point de vue numérique. Elle repose sur 5 grands piliers :

- La numérisation des toutes les opérations, dans un souci d'optimisation de l'action, de contrôle qualité au fil de l'eau, de traçabilité accrue et d'intégration poussée dans le système d'information de l'entreprise ;
- La modélisation et la simulation comme outils de conception, de validation numérique, voire de certification numérique avant déploiement réel ;
- La flexibilité : la reconfiguration ou le redéploiement des personnels et des outils en réponse à la variation des demandes ;
- La logistique pour sécuriser au meilleur coût les approvisionnements ;
- L'optimisation des consommations de ressources.

D'USAGE

La mobilité partagée

L'usage de la voiture **personnelle** diminue et laisse place de plus en plus à la mobilité partagée. L'utilisateur est de plus en plus demandeur d'un service, et est moins enclin à posséder son propre véhicule personnel. L'autopartage, le covoiturage, la location entre

particuliers ou encore les VTC sont des tendances d'usage de plus en plus répandues dans le paysage urbain, notamment en s'appuyant sur l'essor du numérique et l'intervention des pouvoirs publics.

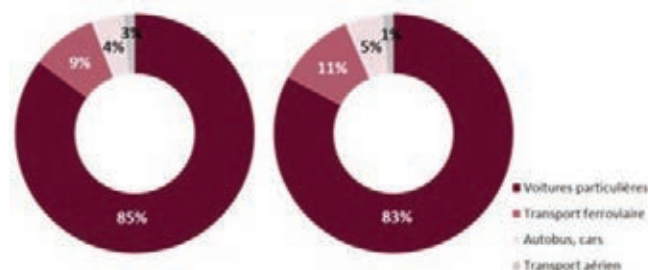


Figure 9 : Évolution de la part modale de la voiture en France en 2001 et 2011²⁶

L'autopartage est aujourd'hui un marché avéré de la mobilité partagée en France et dans le monde. Il permet aux usagers abonnés de louer de façon ponctuelle un véhicule en libre-service. L'exemple de la BlueCar de Bolloré dans Paris (Autolib) est une preuve significative de ce phénomène, objet de verrous majeurs sur le véhicule, le système d'information et l'organisation globale du système.

Les vélos en libre-service sont quant à eux totalement intégrés dans le paysage urbain et acceptés des usagers. Leur instauration il y a quelques années a entraîné une forte hausse des déplacements quotidiens à vélo, notamment dans les grandes villes, victimes de congestion du trafic.

Les VTC (Véhicule de Tourisme avec Chauffeur) ont connu un boom important ces dernières années, notamment avec Uber, mettant en question le monopole de taxis et posant de fait des questions réglementaires importantes.

La position de la France

INDUSTRIELLE Automobile

L'industrie automobile française est aujourd'hui dominée par PSA Peugeot Citroën et Renault-Nissan avec des chiffres d'affaires respectifs en 2013 de 55 Md€ (36,5 Md€ pour la division automobile) et 96 Md€

26 – Source : SOeS, commissariat des comptes des transports (2012)

(41 Md€ pour Renault seul). Renault, avec des investissements à hauteur de 1,7 Md€ en 2013, figure à la 60^{ème} place du classement des entreprises qui investissent le plus en R&D et PSA, qui est le plus grand déposant de brevets français, à la 54^{ème} avec 2,4 Md€ investis en 2013. En 2014, PSA, qui emploie 10 600 ingénieurs et chercheurs et Renault, qui en emploie 9 600, se penchent sur les problématiques liées à l'architecture embarquée, les chaînes de traction et les matériaux.

Du côté des équipementiers, Faurecia se penche sur l'efficacité énergétique par l'allègement grâce à l'utilisation de matériaux composites et l'amélioration des performances environnementales. L'équipementier, réalise un CA en 2013 de 18 Md€ et a investi 917 millions d'euros dans la R&D, mobilisant 1 360 employés (Faurecia figure en 2013 parmi les 100 premiers innovateurs au niveau mondial).

Michelin, numéro 1 mondial du pneumatique avec un CA en 2013 de 20 Md€ se penche sur la R&D autour des pneumatiques à hauteur de 1,9 Md€. L'équipementier officialise en 2014 la création d'un laboratoire européen des usages routiers qui permettra de collecter des informations issues des usages de 2800 automobilistes. Il a également investi dans la PME Symbio FCell qui équipe les Kangoo ZE de Renault de prolongateur d'autonomie à hydrogène.

Valeo, avec un CA 2013 de 12,1 Md€, concentre ses recherches autour de 4 problématiques : le confort et l'aide à la conduite (18,4 % du CA), les systèmes de propulsion (27,8 % du CA), les systèmes thermiques (27,8 % du CA) et les systèmes de visibilité (26 % du CA) et a investi 650 millions d'euros dans la R&D avec 1100 ingénieurs et chercheurs. L'équipementier figure parmi les 100 innovateurs en 2013.

Enfin, Plastic Omnium consacre 5 % de son CA sur la R&D autour des problématiques liées à l'allègement des véhicules, de l'amélioration de l'aérodynamisme, du développement des systèmes de dépollution pour les moteurs diesel et le développement d'équipements pour VHR/VE.

En 2013, les équipementiers représentent un chiffre d'affaires de 41,3 Mds\$, et un excédent commercial pour la France de 2 Mds\$. Il est à noter que les équipementiers français ne dépendent plus, pour leur croissance, des marchés avec les constructeurs nationaux.

Aérien

La France est le seul pays européen présent sur l'ensemble de la chaîne de valeur aéronautique et maîtrisant l'ensemble des compétences nécessaires à la production d'un aéronef. L'industrie aéronautique française est présente sur tous les segments de marché (avions de transport, avions d'affaires, hélicoptères, moteurs, systèmes) et y occupe souvent une place de leader.

Le chiffre d'affaires de l'industrie aéronautique française en 2014 est en progression de 3 % et atteint 51 Md€²⁷ dont 33 Md€ à l'exportation (+6 %). Le secteur civil représente quant à lui 77 % du chiffre d'affaires de la filière et 84 % des prises de commandes totales reçues en 2014 dont le niveau égale celui de 2013 à 73 Md€. L'implication des PME et équipementiers français progresse également avec un chiffre d'affaires de 16,5 Md€ (+6 %) et 16,8 Md€ de commandes (+5 %). L'industrie aéronautique française emploie par ailleurs plus de 350 000 salariés sur l'ensemble de la filière, concentrés à 80 % dans cinq régions (Ile-de-France, Midi-Pyrénées, Aquitaine, PACA, Pays de la Loire), et possédant pour la plupart un haut niveau de qualification. Avec plus de 80 % de son chiffre d'affaires exporté et un excédent commercial de plus de 20 G€ en 2014, elle représente la première industrie exportatrice française.

La filière nationale est structurée autour d'un nombre restreint de grands constructeurs ensemble (Airbus, Airbus Helicopters, Dassault Aviation), de motoristes (Snecma et Turbomeca du groupe Safran), d'équipementiers fournisseurs de sous-ensembles complets (Safran, Zodiac Aerospace, Thales...) et de grands sous-traitants de rang 1 (Stelia, Daher, Latécoère), qui font travailler un tissu de sous-traitants et prestataires estimé à plus de 3 000 entreprises, principalement des PME.

Airbus, avec 2 200 ingénieurs et chercheurs, concentre ses recherches sur les technologies optiques, avioniques, logicielles et les systèmes de vol. Dassault Aviation compte 1 100 ingénieurs et chercheurs sur la mécanique et les matériaux. Enfin Safran, qui figure dans le Top 100 des innovateurs mondiaux de Thomson Reuters de 2013 et 2014 est le deuxième déposant français de brevets au classement INPI 2013 et plus de

27 – Données GIFAS, 2014

20 % de son effectif travaille dans la R&D (1,8 Md€ investis en 2013). Ses recherches se concentrent sur les moteurs à architectures classiques et novatrices, l'utilisation des matériaux composites et le recours accru à l'énergie électrique.

Ferroviaire

En France, si les filières de l'infrastructure et de la signalisation présentent des résultats en hausse (respectivement +3 % et +6 %), en particulier pour les équipements (+31 % en 2014), le matériel roulant et l'industrie des équipementiers affichent des résultats à la baisse. S'il est à noter une légère baisse du CA entre 2013 et 2014 (4,01 Mds d'€, 2,84 Md€ sur le marché intérieur et 1,17 Md€ à l'export), il faut également prendre en compte que le marché intérieur du matériel roulant continue de baisser (-12 % en 2014 contre -16 % en 2013).

Le constructeur Alstom consacre 360 chercheurs dans la R&D autour des tramways et trains. Thales, qui figure dans le Top 100 des innovateurs mondiaux de Thomson Reuters de 2013, concentre ses recherches sur la sécurisation du réseau de transports urbains et la signalisation.

Naval

La filière navale française se situe au 6^e rang mondial, 2^e rang européen et représente 10 Md€ de CA. DCNS et STX France sont les acteurs majeurs de l'industrie navale en France, autour desquels gravitent des équipementiers et sous-traitants, ainsi que des bureaux d'étude et d'ingénierie dynamiques.

DCNS est leader européen du naval militaire. L'exemple de la création de sa nouvelle entité dans le nucléaire civil et les énergies marines est la preuve de sa capacité et de son besoin de se diversifier.

STX France, filiale à 66 % de STX Europe et à 34 % de l'État français, est un constructeur de navires à forte valeur ajoutée. L'entreprise, dont le chiffre d'affaires atteint 450 millions d'euros en 2013, intervient sur de nombreux secteurs de l'industrie maritime comme la construction de navires pour cargaison, voyageurs, l'ingénierie, la sécurité et l'environnement. Cet acteur se diversifie aujourd'hui également vers les grands éléments mécano-soudés pour les énergies marines renouvelables.

Mobilité

La France compte quelques-uns des acteurs majeurs au niveau mondial chez les opérateurs de mobilité.

Transdev est un opérateur de transport français, présent à l'international dans plus de 20 pays, qui affiche un chiffre d'affaires de 6,6 milliards d'euros en 2014. Transdev concentre son effort autour de la multimodalité des transports et leur accessibilité vers une mobilité durable : Bus à Haut Niveau de Service (BHNS), auto-partage, Transport à la Demande (TAD), etc. Le groupe a récemment remporté un contrat d'exploitation de Mittlesaschen (Allemagne, 5,6 millions de trains kilomètres par an) pour une durée de 14,5 ans.

Keolis, filiale à 70 % de la SNCF, est un opérateur de transport présent dans 13 pays et affiche un chiffre d'affaire de 5,6 milliards d'euros en 2014 dont 47 % à l'international. Le groupe tient une expertise forte des transports multimodaux et des services voyageurs associés, notamment en étant le premier transporteur de personnes à mobilité réduite en France. Le groupe s'est notamment illustré en 2013 en remportant un contrat de gestion d'une partie des bus de Las Vegas aux États-Unis (200 bus, 30 millions de passagers par an).

Filiale de la RATP, RATP Dev assure l'exploitation et la maintenance des réseaux de transports multimodaux (métro, bus, tramway, rail et leurs services) urbains et périurbains en France et dans 14 pays au monde. Le groupe contribue fortement à la hausse du chiffre d'affaires global du groupe. RATP Dev remporte de nombreux contrats d'exploitation comme celui de la première ligne de tramway à Washington aux États-Unis ou l'exploitation du futur réseau de bus de Riyad en Arabie Saoudite.

Le groupe Air France-KLM est le premier réseau long-courrier d'Europe dont les activités couvrent le transport aérien de passagers, de fret et la maintenance aéronautique. Son chiffre d'affaire s'élève à 25,4 milliards d'euros. Le groupe travaille en collaboration avec des fournisseurs de technologies autour de nouvelles applications, produits et services, comme Thales avec qui le groupe a co-développé une application de vol *Electronic Flight Bag* pour l'assistance numérique dédiée aux pilotes.

ADP (détenu à 50 % par l'État) est le principal opérateur français de plateformes aéroportuaires dont les aéroports d'Orly et de Roissy Charles-de-Gaulle, et est le premier opérateur du secteur en Europe (5^{ème} mondial). Ses activités sont les services aéroportuaires, commerces en zones de transit, l'immobilier, et

l'ingénierie aéroportuaire (conception et gestion d'aéroports, services de télécommunications aéroportuaires, etc.). Son chiffre d'affaires s'élève à 2,79 milliards d'euros en 2014.

ACADÉMIQUE

IFSTTAR (1 150 agents)

Acteur majeur de la recherche européenne, l'institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux axe ses recherches et son expertise sur les mobilités et infrastructures, les risques et environnement et les territoires, notamment autour de grands projets comme Sens-city, Railenium, VeDeCom ou la route de 5^{ème} génération.

IFP Énergies Nouvelles (345 chercheurs)

L'IFPEN regroupe 345 chercheurs autour des innovations technologiques dans les domaines des systèmes de motorisation et de propulsion, des filières énergétiques et les procédés de thermique industrielle avec captage de CO₂.

ONERA (2 018 salariés dont 230 doctorants et post-doctorants)

L'ONERA est aujourd'hui le premier acteur français de la recherche aéronautique, spatiale et de défense avec 25 % de l'effort de recherche national autour de quatre branches scientifiques : mécanique des fluides et énergétique, matériaux et structures, traitement de l'information et systèmes et la physique.

CETIM (925 agents)

Le CETIM, à la croisée de la recherche et de l'industrie est le centre technique de la mécanique français, notamment au service des filières des transports sur des problématiques d'actualité comme l'utilisation des matériaux composites dans l'automobile ou l'aéronautique.

CEA LIST (710 collaborateurs, dont 508 permanents et 160 doctorants et post-doctorants)

Le CEA est un institut de recherche publique spécialisé dans la conception des systèmes numériques dans les domaines du manufacturing avancé, systèmes embarqués et de l'intelligence ambiante notamment au service des transports et de la mobilité. Les projets R&D sont principalement : le développement de calculateurs et d'architectures intrinsèquement sûrs pour les systèmes embarqués, la fiabilisation de la conception

des applicatifs ou encore le développement d'interfaces homme-machine tactiles et haptiques à retour d'efforts et systèmes d'aide à la conduite.

CEA LITEN (1 015 collaborateurs dont 283 sur le transport électrique)

Le laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux est un des principaux centres européens de recherche sur les nouvelles technologies de l'énergie. Les activités du LITEN sont centrées sur les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique et les matériaux hautes performances pour l'énergie. Le LITEN travaille sur des projets liés aux technologies pour les transports et ses recherches portent sur : la production d'hydrogène, le stockage de l'hydrogène, les piles à combustibles PEMFC²⁸ et SOFC²⁹, l'économie de l'hydrogène, les batteries et la gestion de l'énergie.

Chaires industrielles

Les chaires industrielles matérialisent le lien étroit entre l'industrie et la recherche académique. Dernière en date à la rédaction de cet ouvrage, la chaire sur les systèmes d'éclairage embarqués pour l'automobile associe l'ESTACA, l'Institut d'Optique Graduate School, Strate-École de Design, PSA Peugeot Citroën, Valeo et Automotive Lighting Rear Lamps.

IRT Jules Verne

L'IRT cible ses recherches sur les technologies avancées de production composites, métalliques et structures hybrides et s'intéresse aux questions de conception, d'intégration, de procédés de fabrication de matériaux innovants, de structures complexes et d'usine du futur. Le cœur de la stratégie de l'IRT porte sur quatre filières : aéronautique, construction navale, énergie et transports terrestres.

IRT Railenium

L'institut de recherche Railenium vise trois grands marchés ferroviaires : les liaisons intercity et la grande vitesse, les liaisons de proximité et périurbaines, le transport ferroviaire de marchandise autour de trois enjeux : l'amélioration des performances du réseau ferroviaire, la maîtrise des coûts d'utilisation et de développement du réseau et l'impact écologique en

28 – Proton Exchange Membrane Fuel Cell

29 – Solid Oxide Fuel Cell

diminuant l'empreinte écologique et les consommations d'énergie.

IRT SystemX

L'IRT se concentre sur l'ingénierie numérique et les systèmes du futur notamment au cœur de la filière transport, autour de la thématique du transport multimodale et interopérable.

IRT Saint-Exupéry

L'IRT, associé au pôle de compétitivité AerospaceValley, concentre son action sur les technologies pour l'industrie aéronautique autour des systèmes embarqués, de l'avion plus électrique et des matériaux haute performance.

ITE VeDeCoM

VeDeCoM est un institut de recherche partenariale publique-privée et de formation dédié à la mobilité individuelle décarbonée et durable. Ses ambitions sont d'être une référence européenne dans le domaine des véhicules électrifiés, les véhicules autonomes et connectés, des infrastructures et services de mobilité et énergies partagées.

IRT M2P

L'IRT a pour mission de développer la recherche et les technologies autour des matériaux (aciers, métaux non ferreux, matériaux de construction, polymères, composites, ...), la métallurgie et les procédés.

CISIT

Le Campus International pour la Sécurité et l'Intermodalité dans les Transports structure régionalement la recherche académique en Nord-Pas de Calais sur les transports terrestres et l'aéronautique autour de la multimodalité, l'interopérabilité, les véhicules propres et la mobilité intelligente.

Instituts Carnot

De nombreux instituts Carnot s'impliquent dans les transports, et méritent d'être cités. Parmi eux, et de manière redondante avec certains acteurs déjà cités : IFPEN TE, Ingénierie@Lyon, CEA LIST, ARTS, MINES, ESP, CETIM, Énergies du Futur, TSN, ONERA, INRIA...

D'autres organismes de recherche sont impliqués dans les travaux sur les transports :

- Mines ParisTech,
- Telecom ParisTech,

- LASMEA,
- LAAS,
- LAMIH,
- CORIA,
- Etc.

Ainsi que les centres de ressources technologiques : Centre d'Études et de Recherche en Aérothermie et Moteurs (CERTAM), CRITT M2A, Valutec...

PÔLES DE COMPÉTITIVITÉ

Sur le transport routier :

- Mov'eo,
- I-Trans,
- ID4Car,
- LUTB,
- Véhicule du Futur ;

Sur le Rail :

- I-trans ;

Sur l'aéronautique :

- Aerospace Valley,
- Astech,
- Pegase,

Sur le maritime

- Pôle Mer Bretagne Atlantique,
- Pôle Mer Méditerranée ;

Sur la logistique :

- Novalog ;

Transversaux :

- System@tic,
- EMC2,
- Materialia,
- Matikem,
- Viaméca,
- Cap Digital,
- Advancity,
- ...

De nombreux pôles, non cités ici, interviennent sur le domaine de la mobilité...

Matrice AFOM

ATOUTS

Acteurs industriels d'envergure mondiale chez les donneurs d'ordre, les opérateurs et les équipementiers et sous-traitants

Forte présence de l'accompagnement à travers les pôles de compétitivité

Forte mobilisation de la recherche publique autour de la mobilité et développement des relations industrielles (IRT, ITE, Instituts Carnot)

Développement de la co-innovation

FAIBLESSES

Secteur de la logistique de transport peu consolidé et peu fédéré, et très lié à des considérations d'aménagement

Faiblesse du fret ferroviaire français

Prise en compte des start-ups par les grands groupes encore insuffisante (mais s'améliorant fortement)

OPPORTUNITÉS

Développement des nouvelles mobilités (nouveaux services, véhicules électriques, etc.)

Enjeux des transports et de la mobilité fortement identifiés dans les travaux de la NFI

Accroissement de la demande de mobilité dans le monde, particulièrement dans les zones de forte croissance (Asie notamment)

MENACES

Arrivée attendue de nouveaux entrants venant du monde du numérique sur des produits ou des modèles économiques en rupture

Faiblesse des investissements industriels en France (non spécifique à la mobilité), notamment dans les PME

GLOSSAIRE

BHNS : Bus à Haut Niveau de Service	Mobile communication - Railway	REACH : Registration, Evaluation, Authorization & Restriction of Chemicals
BMS : Battery Management/ Monitoring System	JTI : Joint Technology Initiative	RTM : Règlement Technique Mondial
CAFE : Clean Air For Europe	LOTI : Loi d'Orientation des Transports Intérieurs	SACEM : Système d'aide à la conduite, à l'exploitation et à la maintenance
CGSP : Commissariat Général à la Stratégie et la Prospective	MEDDE : Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie	SOFC : Solid Oxide Fuel Cell
CRITT : Centres Régionaux d'Innovation et de Transfert de Technologie	MEIN : Ministère de l'Économie, de l'Industrie, et du Numérique	SRA : Strategic Research Agenda
ECTRI : European Conference of Transport Research Institutes	NFI : Nouvelle France Industrielle	TCSP : Transport en Commun sur Site Propre
ERTMS : European Railway Traffic Management System	OMS : Organisation Mondiale de la Santé	VE : Véhicule Électrique
ETCS : European Train Control System	PECO : Pays de l'Europe Centrale et Orientale	VHR : Véhicule Hybride Rechargeable
GES : Gaz à Effet de Serre	PEMFC : Proton Exchange Membrane Fuel Cell	VHU : Véhicule Hors d'Usage
GSM-R : Global System for	PDU : Plan de Déplacements Urbains	VTC : Véhicule de Tourisme avec Chauffeur

BIBLIOGRAPHIE & SOURCES

- ADEME. *Stratégie Transport & Mobilité 2014-2017*. (2013)
- ADEME. *Les systèmes de mobilité pour les biens et les personnes*. (2011)
- CAS. *Les nouvelles mobilités : adapter l'automobile aux modes de vie de demain*. (2010)
- CAS. *Les nouvelles mobilités*. (2011)
- ECTRI. *Transport challenge in Horizon 2020*. (2013)
- MEDDE. *Compte des transports*. (2013)
- PIPAME. *Enjeux et perspectives des métaux stratégiques pour les filières automobile et aéronautique*. (2013)
- PIPAME. *Étude sur la location de biens et services innovants*. (2013)
- SRA. *Strategic Rail Research and Innovation Agenda*. (2014)
- SRA. *European Road Transport Research Advisory Council: H2020 Implementation plan*. (2014)
- CleanSky. *Challenges under H2020*.
- GIFAS. *Rapport annuel 2013/2014*. (2014)
- MINEFI. *34 plans de reconquêtes pour une nouvelle France industrielle*. (2013)
- CORICAN. *Recherche et innovation navale : Comité de pilotage « navires écologiques*. (2014)
- Thomson Reuters. *Top 100 global innovators*. (2014)



NUMÉRIQUE

Définition

Par domaine du numérique, on entend **l'ensemble des moyens techniques** (matériels, logiciels et services) permettant de collecter, générer, diffuser, partager, stocker, organiser, traiter et analyser des données de types et formats variés, unitairement ou en masse¹.

Le numérique recouvre ainsi l'ensemble des marchés basés sur les technologies (matérielles et logicielles) et services numériques, soit² :

- Les composants électroniques ;
- Les équipements de télécommunications : équipements de réseaux publics ou privés (équipements de cœur de réseaux : routage, transport, plateformes, etc. ou équipements d'accès fixe ou mobile) et les logiciels et services associés ;
- Les services de télécommunications : téléphonie fixe et mobile, transmission de données et d'images ;
- Les équipements informatiques : les PC et périphériques, les *smartphones*, tablettes, serveurs, *data-centers*, etc. ;
- Les services informatiques et les logiciels ;
- L'électronique grand public et les objets connectés ;
- Les services et applications d'Internet : les réseaux sociaux, l'e-commerce, les applications mobiles et internet, le *Cloud Computing*, le *Big Data*.³

Par définition, ces technologies sont transverses et ont des impacts sur l'ensemble des secteurs de l'économie (santé, énergie, environnement, éducation...). Nous ne chercherons pas ici à couvrir l'intégralité d'un sujet aussi vaste, mais plutôt à mettre en exergue ses grands enjeux et les tendances sous-jacentes.

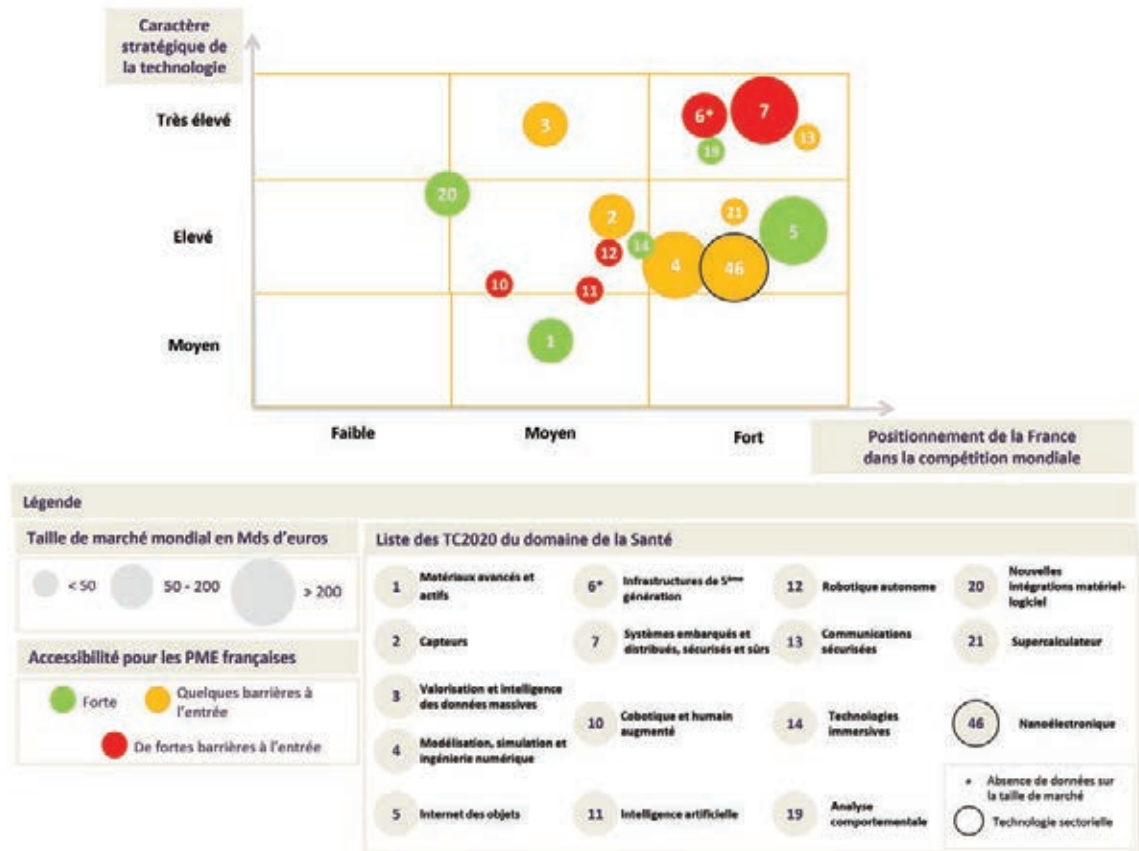
1 – Cette définition a été proposée lors de l'atelier de travail du 31 mars 2015, avec les experts du groupe « Télécommunication » mobilisés dans le cadre de cette étude.

2 – IDATE, *DigiWorld Yearbook*, 2014

3 – Les contenus audiovisuels sont exclus du contour de cette étude.

Technologies clés du domaine

N°	Intitulé	Spécifique / Transversale
1	Matériaux avancés et actifs	Transversale
2	Capteurs	Transversale
3	Valorisation et intelligence des données	Transversale
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique	Transversale
5	Internet des Objets	Transversale
6	Infrastructures de 5 ^{ème} génération	Transversale
7	Systèmes embarqués et distribués, sécurisés et sûrs	Transversale
10	Cobotique et humain augmenté	Transversale
11	Intelligence Artificielle	Transversale
12	Robotique autonome	Transversale
13	Communications sécurisées	Transversale
14	Technologies immersives	Transversale
19	Analyse comportementale	Transversale
20	Nouvelles intégrations matériel-logiciel	Transversale
21	Supercalculateurs	Transversale
46	Nanoélectronique	Spécifique



Les grands enjeux et les stratégies françaises

ENVIRONNEMENT

Le domaine du numérique fait face à de nombreuses évolutions impactant tous les segments de marché qui le constituent, et plus largement, tous les secteurs de l'économie.

L'Internet des objets (IoT)

Montres connectées, lampes connectées, serrures connectées, chaussures connectées, les objets connectés se multiplient et envahissent tous les aspects de notre quotidien. En 2020, **80 milliards d'objets**⁴ seront connectés dans le monde contre 15 milliards en 2014⁵. Considéré comme la **troisième révolution de**

4 – IDATE, *The Internet of Things Market*, 2013

5 – Le marché des Objets connectés est étudiée de manière plus approfondie dans la fiche Technologie Clé « Objets connectés ».

l'Internet, faisant suite à l'ère du web social, l'Internet des objets crée des passerelles entre le monde de l'Internet et le monde réel, en connectant les objets et les informations qui les concernent. Ainsi, notre manière même d'interagir avec notre environnement, urbain ou domestique, pourrait s'en trouver modifiée, de même que beaucoup de nos processus de décisions. Le **potentiel disruptif de l'IoT** pourrait donc s'avérer au moins aussi important que celui de l'internet classique né en 1989. Ce potentiel disruptif recouvre la transformation du paysage industriel mondial, les opportunités de croissance pour les segments de marché du domaine du numérique, et les impacts potentiels sur tous les secteurs de l'économie :

■ L'essor de l'internet des objets **transformera considérablement et en très peu de temps le paysage industriel mondial et affectera l'ensemble de la chaîne de valeur et des facteurs de production** : travail, capital, énergie et information. L'impact économique se fera ressentir en priorité sur la manière dont les produits sont fabriqués. En conciliant les phases initiales de la conception technique, les processus de production en usine et l'organisation

du service après-vente, les fabricants pourront réduire les erreurs, gagner en flexibilité dans leur manière de gérer les modifications techniques tardives, réduire les processus en cours et, enfin, accélérer l'introduction de nouveaux produits supposément rentables. Par ailleurs, les produits intelligents et connectés récupéreront des données en temps réel qui permettent d'optimiser leur gestion et leur maintenance.

■ L'IoT constitue également un **fort potentiel pour le B2B** puisque la majorité des objets connectés sont situés au sein des usines et des entreprises. Les applications dans ces structures peuvent aller de l'analyse de la chaîne de production (ex. : maintenance prédictive) à la machinerie robotique. Il est donc essentiel pour les acteurs du B2B de pouvoir accéder à des données concernant les habitudes de consommation de leurs clients, les besoins de maintenance en temps réel, etc. Cela permettrait d'adapter les solutions et de gagner en efficacité.

■ L'IoT offre des **opportunités de croissance pour de nombreux segments de marché du numérique**. La hausse du nombre d'objets connectés tirera la demande pour les composants électroniques, les sociétés de services informatiques seront mises à contribution d'une part pour concevoir les applications de pilotage de ces *devices* sur tablette ou sur *smartphone* et d'autre part pour intégrer les SI avec les outils de traitement *Big Data* des grands acteurs du *Cloud* public ; en générant d'importants volumes de données, l'IoT contribuera également à la croissance du marché du *Big Data* et du *Cloud*.

■ Enfin, il génère des **innovations et de nouveaux usages dans tous les secteurs de l'économie** : domotique, e-santé, smart city, mobilité, sécurité, etc.⁶

De nombreuses opportunités seront à saisir pour les PME et entreprises françaises, comme en témoignent les initiatives qui se mettent en place au niveau européen. *L'Alliance for Internet of Things Innovation* (AIO-TI) lance ainsi un appel à expression d'intérêt qui vise directement les PME et *start-ups*. De nombreux appels à projets ont également été lancés par le programme Horizon 2020.

Le *Big Data* ou valorisation et intelligence des données massives

Le *Big Data* constitue sans nul doute le **deuxième enjeu majeur à horizon 2020**. Objets connectés, emails et réseaux sociaux vont générer un flot croissant de données non structurées et hétérogènes d'une valeur très forte pour les entreprises. Ces données personnelles comme des entreprises sont aujourd'hui une **ressource pour la société numérique que l'on peut comparer aux matières premières pour l'industrie traditionnelle**. Détenir ces données et être capable de les analyser sera demain un **critère de puissance mondiale et un enjeu essentiel de la souveraineté numérique**. Capturer les données est donc stratégique pour la société, pour l'économie mais aussi pour la sécurité des entreprises et des organisations et les libertés individuelles⁷.

Si la plupart des acteurs économiques ont un intérêt à valoriser les données personnelles grâce aux technologies du *Big Data*, seule une poignée d'entre eux contrôle néanmoins l'essentiel des données échangées et stockées en ligne, à l'image des grandes plateformes du GAFA (Google, Apple, Facebook et Amazon). Alors que les États-Unis dominent plus des deux tiers des plus grandes sociétés de la toile, l'Asie et tout particulièrement la Chine est très active, et l'Europe demeure en retrait⁸.

L'exploitation des données des entreprises est un autre enjeu particulièrement important, puisque **le *Big Data* devrait révolutionner le monde de l'entreprise**. Demain, les technologies d'analyse et de prédictions appliquées aux données massives permettront, et ce sont des exemples parmi d'autres, de créer de nouveaux produits plus efficaces, de mieux anticiper les évolutions de marchés, de réduire les erreurs d'approvisionnement, de réaliser des simulations numériques pour la conception, etc.

Ce positionnement européen par rapport à la compétition internationale doit être amélioré au regard des enjeux particulièrement stratégiques du *Big Data*. En effet **la maîtrise des données est clé pour la souveraineté numérique européenne**, d'autant plus

6 – Les nouveaux usages seront abordés de manière plus détaillée dans la partie 4.3.2.

7 – INRIA, *Plan stratégique horizon 2020*, 2012

8 – « L'empire numérique américain, on le perçoit mieux avec des chiffres », Slate.fr, 26/10/2014

que le Big Data soulève des inquiétudes liées à la protection des données personnelles, organisationnelles, et professionnelles, au respect des personnes et à leur vie privée. C'est aussi dans ce but que la Commission européenne cherche à mettre en place un marché unique numérique, qui figure parmi ses dix axes de travail prioritaires⁹. Il doit permettre de supprimer les obstacles et menaces afin d'exploiter pleinement les opportunités offertes par les technologies numériques, identifiées comme des moteurs de la croissance de l'industrie et de l'emploi en Europe.

Le Cloud

Directement lié au *Big Data*, le *Cloud computing* ou nuage informatique est un **service qui permet la fourniture de données à caractère évolutif et qui sont le plus souvent accessibles à la demande sur internet**. Trois grandes catégories des données du *Cloud computing* peuvent être établies : les données de type IaaS (Infrastructure as a Service), PaaS (Platform as a Service) et SaaS (Software as a Service).

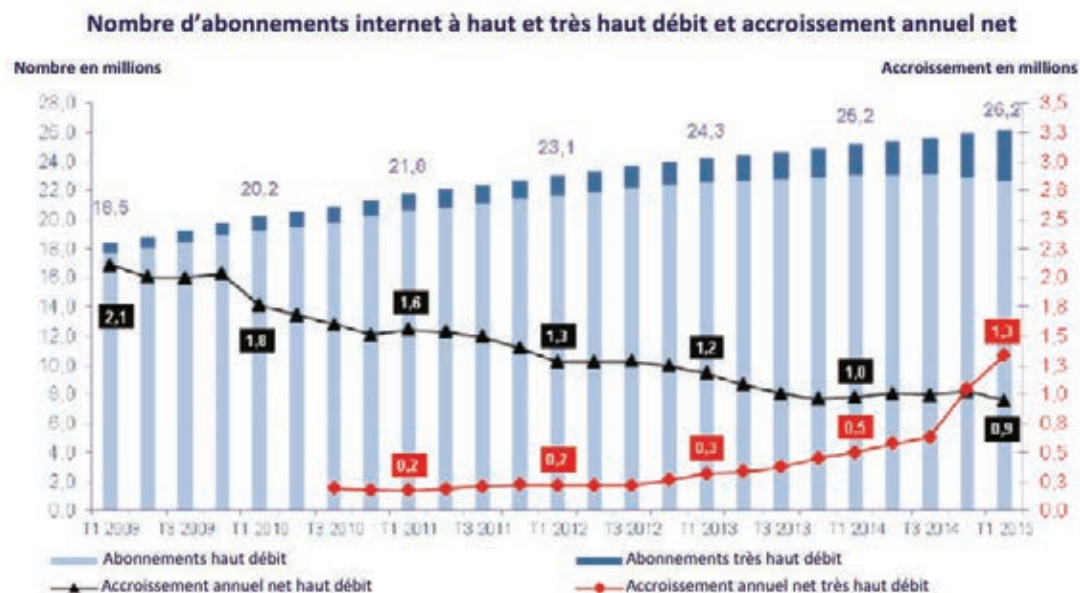
Le Cloud computing est un enjeu technologique majeur puisqu'il permet de répondre aux besoins des entreprises: rentabilité, flexibilité, simplicité et possibilité pour les utilisateurs finaux de convertir une partie de

leurs dépenses d'investissements en dépenses d'exploitation. En permettant aux entreprises d'améliorer leurs performances, le *cloud* représente non seulement un enjeu stratégique mais également un enjeu de compétitivité économique.

Le *Cloud computing* est pourtant encore en phase d'apprentissage et la généralisation de son utilisation par les entreprises françaises est susceptible d'être freinée à l'horizon 2020 par plusieurs facteurs¹⁰, au sommet desquels se trouve **la sécurité des données**¹¹. Les acteurs du marché doivent apporter des réponses concernant la localisation des données, la sécurité et plus globalement remplir un rôle d'accompagnement, notamment sur les parties de leur système d'information à transférer dans le *Cloud*.

L'accès au très haut débit

Le développement de l'accès au très haut débit est une tendance forte qui accompagnera l'explosion de l'Internet des objets et du *Big Data*. En France, le nombre d'abonnés au très haut débit croît de façon soutenue depuis 2010. Cette croissance est fortement liée au **Plan France Très Haut débit**, lancé au printemps 2013, visant à généraliser le déploiement du très haut débit sur l'intégralité du territoire d'ici



Source : ARCEP

9 – *Stratégie pour un marché unique numérique en Europe*, Communication de la Commission Européenne, Mai 2015.

10 – Par ordre décroissant d'importance pour les entreprises, ces facteurs sont : la sécurité, le fait que le *cloud* ne soit pas adapté aux métiers, les gains non démontrés, la transition problématique, la performance, l'opacité contrats & coûts.

11 – Données du PAC *CloudIndex*, juin 2014

2022 grâce à la mobilisation d'un investissement de **20 milliards d'euros** en dix ans, partagé entre l'Etat, les collectivités territoriales et les opérateurs privés.

L'accès au très haut débit fixe (fibre optique) et mobile (4G) aujourd'hui, et à l'ultra haut débit mobile demain (5G) est **indispensable pour faire face à l'augmentation considérable des besoins en débit** et à l'apparition d'usages et besoins innovants que la 4G a du mal à intégrer.

L'arrivée de l'ultra haut débit par une infrastructure de cinquième génération doit en outre permettre de **répondre aux besoins de nouveaux usages clients** tels que l'Internet des Objets et le *Machine to Machine* (M2M).

Pour les entreprises, l'accès au très haut débit constitue également un enjeu fort : la fluidité et la rapidité des transferts améliorera la productivité, facilitera le travail des salariés à domicile et accélèrera le recours au *Cloud computing*, ensemble de services devenus incontournables aujourd'hui pour les PME¹².

La transformation numérique des entreprises

La transformation numérique des entreprises constitue **un enjeu économique comme sociétal particulièrement important pour la France à l'horizon 2020**. Cette transformation est **multidimensionnelle** et comprend tant la dématérialisation des processus internes/externes, la remise en question des organisations, des métiers et des habitudes de travail et le développement de produits de plus en plus intelligents et connectés. Tous les secteurs de l'entreprise seront impactés, des outils de production au marketing.

Les étapes les plus basiques de la transformation numérique sont déjà très largement intégrées par les entreprises françaises : 99 % d'entre elles disposent d'un accès internet, 65 % ont un site web et elles mobilisent massivement les emails pour leurs communications internes et externes¹³. La dématérialisation des documents et des processus est un autre usage répandu. Ce procédé, qui permet d'optimiser l'organisation de l'entreprise,

12 – Les enjeux des infrastructures de 5^{ème} génération sont étudiés de manière plus approfondie dans la fiche Technologie Clé « Infrastructures de 5^{ème} génération »

13 – *Du rattrapage à la transformation, L'aventure numérique, une chance pour la France*, Étude de Roland Berger Strategy Consultants en collaboration avec Capdigital, Septembre 2014.

devrait être complètement généralisé à l'ensemble des secteurs de l'économie à l'horizon 2020.

Ce sont des usages beaucoup plus avancés qui transformeront en profondeur les habitudes de travail et le fonctionnement de l'entreprise. La **digitalisation de la gestion des processus**, à travers des outils de gestion intégrée (ERP), requiert en effet une intégration totale au sein de l'entreprise. Il en va de même pour la **digitalisation de la production** (outils de type CAO, DAO, PAO et commande numérique) qui transforme les usages de la production industrielle par l'optimisation de l'utilisation des matériaux et le pilotage à distance des machines-outils. **Le développement de ces outils digitaux, aujourd'hui peu intégrés dans les entreprises françaises** (33 % utilisent des ERP), **constitue une opportunité clé à l'horizon 2020**.

Autre aspect de la transformation numérique des entreprises, le **marketing digital qui modifie en profondeur les interactions de l'entreprise**. Des outils digitaux comme les réseaux sociaux, *l'e-mailing*, le trafic de sites web et les *newsletters* sont ainsi déjà largement mobilisés pour les relations de type B2C et B2B. Le e-commerce est également en plein essor même si en France un décalage est observé entre l'usage fait par les consommateurs et l'offre des entreprises¹⁴. Les outils digitaux de la gestion de la relation client (GRC / CRM) permettent de traiter directement avec le client en lui offrant un service personnalisé. Leur utilisation par les entreprises françaises est relativement faible (27 % en 2013). **À l'horizon 2020, ce sont les évolutions de la data sociale et les comportements mobiles qui devraient constituer les plus fortes opportunités de développement**. La *data* sociale ouvre en effet des possibilités d'analyse des interactions C2C via les réseaux sociaux afin de mieux cibler les offres publicitaires.

L'intégration des technologies numériques au sein même des produits des entreprises est une autre dimension importante de la transformation numérique. Les technologies d'analyse et de prédictions appliquées aux données massives permettront par exemple de créer de nouveaux produits, toujours plus intelligents et connectés.

14 – En 2013, 11 % des entreprises françaises vendent en ligne alors que 59 % des particuliers achètent en ligne. Commission européenne, *Digital Agenda Scoreboard 2014* - France

Les pratiques dans l'entreprise devraient en outre connaître une profonde transformation dans les années à venir, que certains analystes qualifient de « quatrième révolution industrielle »¹⁵. Le développement « d'industries intelligentes » est ainsi porté par des applications qui semblent illimitées. Parmi ce grand nombre d'applications possibles, les technologies de la modélisation numérique permettront par exemple de mieux anticiper les évolutions de marchés et de réaliser des simulations pour la conception de nouveaux produits. La mise en place de capteurs dans les usines renforcera également les possibilités du *data analytics* et la compréhension des besoins en temps réel. Ces besoins comprennent tant la production (anticipation des erreurs dans les chaînes d'approvisionnement, maintenance préventive, etc.) que la consommation (transformation profonde du marketing en permettant aux magasins d'ajuster leur prix, stocks, et produits en fonction de la demande).

La transformation numérique des entreprises est donc un enjeu essentiel, en partie amorcé mais qui reste à concrétiser, offrant des opportunités pour les entreprises positionnées sur le secteur. **Les grands groupes sont ceux qui intègrent le plus facilement la digitalisation et en 2020 l'enjeu de la transformation numérique portera principalement au niveau national sur les PME et les ETI.** Celles-ci peuvent s'appuyer sur les entreprises de services du numérique (ESN) et les fournisseurs de solutions techniques à l'instar des fournisseurs de capteurs.

Enfin, il est intéressant de noter que des **entreprises deviennent elle-même acteurs de la transformation en se transformant**, à l'image de La Poste qui a développé des outils numériques en interne mais également des outils au service des entreprises et des e-commerçants.

L'intelligence Artificielle (IA)

L'intelligence artificielle a pour objectif la construction d'entités douées d'intelligence. Le développement de nouvelles technologies a permis de renouveler les recherches et le développement de l'IA, grâce notamment à l'amélioration des outils de calcul puissants (supercalculateurs) et à l'accès aux données massives du *Big Data*.

15 – FIRIP, *Quelle France numérique pour 2020 ?*, avril 2014

Les systèmes d'IA deviennent en effet capables d'analyser ces données et d'en tirer des conclusions, ce qui annonce le **déploiement de l'analyse prédictive, utile à la prise de décision dans de nombreux domaines. Cet aspect constitue un enjeu majeur à l'horizon 2020.**

Si les applications principales de l'IA sont en effet aujourd'hui en santé, dans la traduction automatique, la reconnaissance faciale, les jeux vidéo ou l'automobile, le développement de ces technologies intelligentes ouvre des perspectives dans **l'anticipation de phénomènes stratégiques en politique, en économie comme en sécurité.** La prédiction et la gestion de situations de crise (climatiques, technologiques, etc.) pourra également être améliorée grâce au système d'IA.

L'engouement actuel de nombreux acteurs à l'échelle internationale pour ces technologies témoigne de son intérêt pour demain. La NSA, l'Union Européenne (*Humain Brain Project*), ou des entreprises comme Facebook ou Microsoft sont ainsi impliquées dans des programmes de développement technologiques appliqués à l'Intelligence Artificielle.

RÉGLEMENTATION

Le domaine du numérique est par ailleurs confronté à des défis réglementaires de taille concernant la protection de la vie privée et des données personnelles, la sécurité des données, l'accès et la propriété des données ainsi que la réglementation en faveur de l'offre légale sur Internet et la lutte contre le piratage.

Dans un contexte d'extension des connexions, des réseaux sociaux et de l'usage commercial des données, **la protection de la vie privée et des données personnelles** devient un enjeu réglementaire majeur. En France, le traitement de données à caractère personnel est régi par les dispositions de la loi « Informatique et Libertés » du 6 janvier 1978. Cette loi définit une donnée personnelle comme « toute donnée permettant d'identifier directement ou indirectement une personne physique » et énonce les principes relatifs à la protection des données personnelles. Le principe de « finalité » exige notamment que tout traitement automatisé de données personnelles réponde à des finalités bien identifiées et préalablement explicitées auprès des personnes concernées. Un tel principe s'avère particulièrement difficile du fait de la sérendipité dans la finalité de traitement des données massives. L'Union européenne travaille depuis 2012 sur un

projet de règlement européen unifiant le droit de tous les États en la matière. L'objectif principal de ce règlement est de fournir aux entreprises un cadre européen harmonisé, en renforçant les règles de protection sur les données personnelles tout en offrant aux responsables de traitement des outils plus souples de mise en conformité¹⁶. La stratégie numérique du gouvernement adoptée en juin 2015 comporte un volet important dédié au renforcement de la confiance et de la protection des citoyens dans leur vie numérique. Le projet de loi numérique que prépare le gouvernement vise également à inscrire de nouvelles règles de protection des données : portabilité, protection des données des mineurs, renforcement des pouvoirs de contrôle de la CNIL, etc.

En lien avec le développement du « Cloud » et des accès à distance, **l'accès et la propriété des données** sont aujourd'hui réglementés de manières fortement différentes selon les pays.

L'harmonisation des législations nationales pour **développer l'offre légale de contenus culturels sur Internet et lutter contre le piratage** est un autre enjeu réglementaire fort. Les chartes entre les marques et les sites de vente en ligne pour lutter contre la vente sur Internet de produits contrefaisants est un exemple d'élément sur lequel les législations doivent s'accorder afin de mieux protéger la propriété intellectuelle.

Suite à la décision récente de la *Federal Communications Commission* (FCC) américaine, visant à garantir l'égalité de traitement de tous les flux de données sur Internet, **la neutralité des réseaux** devient un autre enjeu réglementaire d'importance du domaine du numérique. Ce principe exclut toute discrimination à l'égard de la source, de la destination ou du contenu de l'information transmise sur le réseau sans toutefois interdire les mesures indispensables à la gestion du trafic acheminé sur les réseaux numériques.

Le changement des normes de l'audiovisuel (formats, interfaces...) a un effet structurant sur le marché, en donnant un avantage concurrentiel aux acteurs qui sont déjà en conformité avec ces normes.

Par ailleurs, les **préoccupations éthiques** sur la coévolution entre l'homme et les « machines » (robotique,

objets connectés, implants...), ainsi que sur l'essor de l'intelligence artificielle, pourraient susciter la mise en place d'un cadre réglementaire spécifique.

MARCHÉ

Production et stockage des données

Les marchés de l'Internet des Objets (i), du *Big Data* (ii) et du *Cloud* (iii) vont connaître une **croissance particulièrement importante à l'horizon 2020**. Celle-ci entraînera une augmentation des capacités des serveurs et *datacenters* (iv) pour le stockage des données.

L'Internet des objets

Le marché naissant des objets connectés a de **très belles perspectives de croissance à l'horizon 2020**. L'offre de nouveaux produits connectés touchera en effet tous les secteurs du quotidien (la maison, l'équipement de la personne, la santé, la voiture, la sécurité, etc.) et le nombre d'objets connectés 2020 devrait atteindre **80 milliards**¹⁷ pour un marché estimé à **1700 milliards de dollars (1525 milliards d'euros)**¹⁸ à horizon 2020 hors *smartphones*, tablettes et ordinateurs.

Un grand nombre d'acteurs ont un rôle à jouer dans le développement de ces nouveaux objets, des fabricants de semi-conducteurs et de cartes à puce aux fournisseurs de capteurs en passant par les équipementiers de réseaux voire les opérateurs télécoms. L'entreprise française Sigfox a ainsi développé un réseau bas débit sur toute la France, suffisant pour transmettre les données des objets connectés à un coût beaucoup moins élevé.

Pour plus de détails, se référer à la fiche dédiée à l'Internet des objets.

Sous la pression de l'essor de l'Internet des objets et des nouveaux arrivants sur le marché, **les marchés traditionnels devront également se réinventer** puisque, équipés de puces ou de capteurs, tous les objets sont susceptibles d'être connectés et de produire des données valorisables. Des constructeurs automobiles travaillent ainsi par exemple au développement de voitures communicantes, au même titre que des constructeurs électroménagers qui en font des objets connectés.

16 – Commissariat général à la stratégie et la prospective, Marie-Pierre Hamel et David Marguerit, *Analyse des Big Data Quels usages, quels défis ?*, novembre 2013

17 – IDATE, *The Internet of Things Market*, 2013

18 – International Data Corp, *Worldwide and Regional Internet of Things (IoT) 2014–2020 Forecast: A Virtuous Circle of Proven Value and Demand*, mai 2014

Big Data

Le *Big Data*, enjeu majeur du numérique en 2020 connaîtra une **envolée de croissance les prochaines années**. Le chiffre d'affaires du marché du *Big Data* (hors services) devrait croître de **40 % par an** pour atteindre **44,4 milliards d'euros en 2018**¹⁹. L'IDC estime le marché du *Big Data* en France à seulement 387 millions d'euros en 2013 mais prévoit un taux de croissance de **40 % par an** (logiciel et services)²⁰. Le plan dédié de la Nouvelle France Industrielle estime pour sa part que le marché en France devrait atteindre **9 milliards d'euros en 2020**²¹. Le développement du *Big Data* impactera tous les secteurs (producteurs de données) de l'économie. De nombreux projets se développent dans des secteurs tels que la santé, la mobilité, la ville, l'aéronautique etc. Ce marché, à fort potentiel, doit néanmoins lever le verrou de la sécurité et de l'intégration à grande échelle par les entreprises pour se déployer pleinement.

Le marché mondial du *Big Data* est **largement dominé par les Américains**, leaders sur toute la chaîne de valeur : en amont, avec la création de l'infrastructure Hadoop et MapReduce par Google, IBM, Cloudera et Oracle sur la création de plateformes Hadoop, en aval sur les technologies d'Analytics avec HP par exemple. La France dispose d'acteurs forts sur ce marché – Atos, Orange, Criteo par exemple – mais accuse encore un retard qu'il convient de rattraper pour acquérir une position de leadership au niveau mondial.

Cloud

Le *cloud computing* constitue une technologie dont le développement aura des impacts sur les marchés des TIC, à l'instar du marché des équipements et services informatiques et des logiciels. **Les prévisions de marché à horizon 2020 sont très encourageantes**. Le marché mondial du *Cloud computing* devrait passer de 40,7 milliards de dollars en 2011 à 241 milliards de dollars en 2020²².

En France, la part des dépenses *Cloud* dans les dépenses informatiques globales devrait passer de 4 % en 2010 à 20 % à horizon 2020²³.

Fortement concurrencés par les leaders américains du *cloud* public (Amazon, Microsoft, IBM Software Group Google et Salesforce), les acteurs français doivent proposer des services aux PME répondant à leurs attentes en termes de sécurité. La société française OVH, leader européen du *cloud* développe ainsi en complément de ses offres des solutions réseaux et sécurité. Des initiatives publiques doivent également permettre de généraliser l'utilisation du *cloud* par les entreprises en renforçant la sécurité, comme le label « *Secured Cloud* » du plan « *Cloud Computing* » de la Nouvelle France industrielle. Il doit permettre d'auditer et certifier la sécurité des prestataires de *Cloud*.

Serveurs et datacenters

Le marché des serveurs est en croissance modérée et régulière depuis 2011. Néanmoins, si plus de serveurs sont livrés par les constructeurs, **les revenus, eux, ont enregistré une croissance relativement faible** sur l'année 2014. **Le premier trimestre de l'année 2015 est pourtant encourageant** avec un chiffre d'affaires des ventes de serveur en hausse de 17,9 % par rapport au dernier trimestre de 2014, hausse dominée par la demande de produits *hyper-scale*²⁴. La tendance concerne également les serveurs *blade*, très utilisés pour la virtualisation et le *cloud*, dont la croissance s'est chiffrée à 7 % de 2013 à 2014. Les principaux acteurs de ce marché sont HP, totalisant une part de marché de 42,2 % au deuxième trimestre 2014, suivi par IBM, Dell, Oracle et Fujitsu²⁵.

Le **marché mondial des centres de données devrait connaître une forte croissance à l'horizon 2020**, estimée à 10,66 %²⁶ sur la période 2014-2019. Les principaux segments qui le constituent devraient également connaître des croissances importantes :

■ la croissance du segment des services de *datacenters* est estimée à 15,80 %²⁷ entre 2014 et 2019, le mar-

19 – Estimations du cabinet Transparency Market Research, janvier 2014

20 – «Le marché du *Big Data*, nouveau graal de l'informatique», LeFigaro.fr, Tech & Web, 02/04/2014

21 – Ministère de l'Economie, de l'Industrie et du numérique, *Les 34 plans de la nouvelle France industrielle*, Ministère de l'Economie, de l'Industrie et du numérique, 2013

22 – Forrester, *Sizing the Cloud*, avril 2011

23 – Cabinet Pierre Audoin Consultants(PAC), *Cloud France 2011 : le marché des services informatiques dans le nuage*, 2011

24 – Données de Gartner. Inc

25 – Données de l'IDC.

26 – Global Data Center Market 2015-2019, Technavio, Septembre 2015.

27 – Global Service Market for Data Center Market 2014-2019, PR Newswire,

ché passant de près de 27 milliards d'euros à 56 milliards d'euros. Ce segment est dominé par des grands groupes américains (Emerson Network Power, Cisco, IBM Corp, HP) ainsi que par le groupe français Schneider Electric.

■ le segment des équipements de *datacenters* devrait quant à lui enregistrer une croissance de 10,93 %²⁸ sur la même période

■ la croissance du segment de la sécurité des centres de données est estimée à 12 %²⁹ entre 2015 et 2019.

Le marché américain devrait continuer de dominer le marché mondial au cours des prochaines années, suivi du marché européen et d'Asie-Pacifique³⁰.

Selon le cabinet d'étude Gartner, le **marché des centres de données** (*datacenters*) pourrait par ailleurs connaître des bouleversements significatifs dans les prochaines années. On distingue 4 principaux facteurs:

■ des modifications concurrentielles liées à **l'essor de technologies** qui constituent de véritables ruptures, tels que le Software Defined, les processeurs basse-consommation et les infrastructures convergées évolutives.

■ **la domination des grands fournisseurs de Cloud**, comme Amazon, Google, IBM et Microsoft. Cette forte présence peut conduire à terme à un effacement progressif des MSP (fournisseurs de services managés) traditionnels. Ce retrait aura une incidence sur le prix des infrastructures pour les *datacenters*.

■ **La concurrence internationale** : Gartner prévoit que la Chine va augmenter fortement sa présence sur le marché des infrastructures des *datacenters*, avec une part de marché qui devrait progresser de 2 points à la fin 2017.

■ **Les enjeux de souveraineté nationale**, qui pousseraient les clients à changer de fournisseurs pour privilégier des productions et des capacités de stockage locales et contrôlables.

Février 2015

28 – Global Data Center Construction Market 2015-2019, Market Watch, Avril 2015

29 – Data Center Security: Global Market Research Report 2015-2019, Technavio, Septembre 2015

30 – Global Data Center Market Overview and Forecasts, 2014-2020, DCD Intelligence, Avril 2015

Traitement et utilisation des données

Le traitement et l'utilisation des données impliquent une diversité d'acteurs et de technologies, depuis les composants électroniques et les équipements informatiques, jusqu'au logiciel et aux services informatiques.

Composants électroniques

La micro et la nanoélectronique **constituent un marché majeur et très attractif qui concerne tous les secteurs de l'économie.**

Évalué à **347 milliards d'euros en 2015** par l'organisation en charge des statistiques mondiales sur le marché des semi-conducteurs, le marché des composants électroniques devrait continuer de croître à **3 %** par an en moyenne pour atteindre **500 milliards d'euros en 2025**³¹. Largement portée par la demande soutenue de semi-conducteurs pour les smartphones et pour l'automobile en 2015, l'explosion prévue de l'Internet des objets (IoT) offre des perspectives de croissance plus qu'optimistes pour les acteurs du marché à horizon 2020 et au-delà. Ainsi, le marché des semi-conducteurs pour l'IoT devrait-il représenter près de **45 milliards de dollars en 2020**, contre seulement 10 milliards en 2014³².

L'Europe et la France ont cependant **encore du retard à rattraper** sur le marché de la production de composants électroniques, largement dominé par les trois géants américains et asiatiques Intel, TSMC et Samsung. STMicroelectronics, Infineon et NXP représentent des acteurs européens importants mais détiennent des parts de marché bien inférieures à leurs concurrents : 2 % pour STMicroelectronics contre 10 % pour Samsung et 15 % pour Intel³³.

Le franco-américain Alcatel-Lucent se place en quatrième avec 7 % de part de marché devant le géant chinois ZTE, qui détient 4 % du marché mondial.

Supercalculateurs

Le stockage et l'exploitation de données toujours plus massives nécessitent des machines capables de réaliser des calculs dans des temps record, **les supercalculateurs ou superordinateurs. Ces machines devraient connaître des ruptures majeures dans les années à**

31 – Données de l'*IRT NanoElec*.

32 – Estimation de la société d'études Gartner, 2015

33 – *Ibis*

venir avec la construction de systèmes dotés d'un très grand nombre de processeurs. Un supercalculateur de 150 pétaflops est annoncé pour 2016 et les constructeurs travaillent pour 2020 à atteindre l'exaflop. Porté par ces avancées technologiques, **le marché mondial du calcul intensif ou High Performance Computing (HPC) devrait ainsi connaître une croissance moyenne annuelle importante** de 8,3 % à l'horizon 2020 et atteindre 39 milliards d'euros³⁴. La croissance est également stimulée par la diversification de la demande. Initialement utilisées en recherche, les technologies du calcul intensif ou *High Performance Computing continueront en effet de se répandre dans les secteurs des services et de l'industrie*, en priorité dans des grands groupes comme Airbus, Total ou la Société Générale qui les utilisent pour des modélisations et des simulations. Les supercalculateurs sont en outre de plus en plus utilisés par les gouvernements qui voient des opportunités en matière de défense. Les financements publics doivent permettre de **démocratiser l'accès à ces super machines pour les PME dans les prochaines années**. La Commission européenne a en ce sens prévu de doubler les investissements consacrés au HPC d'ici à 2020. Ce marché est enfin dominé par les constructeurs américains avec en tête de file IBM, HP et Dell. La France est pourtant en bonne position avec l'entreprise Bull qui figure parmi *les leaders* mondiaux du marché et qui est l'unique constructeur européen.

Équipements informatiques

Le marché des équipements informatiques comprend à la fois les PC, tablettes, et *smartphones* et d'autre part, les serveurs de stockage. Face au succès des tablettes et des *smartphones*, les ventes de PC diminuent et sont en décroissance de -0,2 %, avec 308,1 millions d'unités vendues en 2014.³⁵ **Le marché du PC doit se repositionner face au besoin accru de mobilité des utilisateurs**. Intel a par exemple créé le concept d'ultraportable, le *netbook*. De même, Microsoft a développé un PC mettant l'accent sur une interface utilisateur adaptée au contrôle tactile, démontrant une volonté de s'adapter à cette nouvelle tendance. **Sans un repositionnement, le marché du PC risque de disparaître au profit des tablettes et des *smartphones***.

34 – *Worldwide High Performance Computing (HPC) Market Forecast 2015-2020*, Market Research Media, Février 2014.

35 – Données de *Gartner*.

Services informatiques et logiciels

Si le *cloud* est un puissant *driver* de l'industrie des serveurs, il représente également une vraie rupture pour l'industrie du logiciel. Le *cloud* entraînera en effet une **refonte complète des chaînes de valeur et imposera de nouveaux partenariats ou compétitions entre des acteurs** venant d'horizon très divers³⁶.

Certains domaines très prometteurs comme le *Big Data* ou l'Internet des objets (IoT) contribuent également fortement à la création de nouveaux éditeurs et à leur développement. Avec le *cloud*, ces éditeurs pourront répondre très rapidement et sans investissement initial lourd à la croissance rapide de la demande. **La valeur ajoutée des produits industriels ou grand public devrait ainsi reposer de plus en plus sur le logiciel**. Les industriels devront donc investir fortement et chercher à conforter leurs parts de marchés à travers la propriété intellectuelle « matérialisée » dans du logiciel.

Le **domaine de la cyber-sécurité est également très prometteur** puisqu'il doit permettre de lever de nombreux verrous, technologiques comme économiques. Le manque de sécurité des données est en effet une problématique récurrente des technologies du numérique. Le marché mondial des logiciels de cyber-sécurité devrait ainsi connaître une forte croissance à l'horizon 2020. Estimé à 96 milliards d'euros en 2015, il atteindra 153 milliards d'euros en 2020 sur la base d'une croissance annuelle moyenne de 9,8 %³⁷. (*La fiche « Communications sécurisées » détaille cet aspect*).

Les leaders historiques du logiciel (Microsoft, Oracle, IBM Software,...) sont par ailleurs **de plus en plus concurrencés par les géants de l'Internet qui sont Google, Amazon et Facebook** qui bénéficient à la fois de la puissance financière et de capacités d'hébergement gigantesques. Face à ces derniers, ils multiplient les acquisitions de start-up, dont la plupart dans le *Cloud* et le Saas. Cette course à la capture des start-up innovantes rend plus difficile des percées indépendantes comme *Salesforce.com*, seul acteur du Saas ayant réussi à dépasser le milliard de dollars.

36 – Institut G9+, *Livre Blanc, 2020 : où vont les industries françaises du numérique ?*, 2014

37 – Markets & Markets, *Cyber security market by solution – Global forecast to 2020*, juin 2015.

C'est ainsi que les éditeurs leaders ont pu préserver leur propre modèle basé sur la vente de licence et évoluer à leur rythme vers le SaaS. Les éditeurs français comme leurs concurrents doivent **relever le défi du SaaS et en tirer le meilleur parti dans le cadre de la recomposition du secteur que cela entraînera.**

Conscients de cette opportunité, une dizaine de start-up « pur SaaS » et/ou « pur Open Source », réalisant plusieurs dizaines de millions d'euros, ont émergé en France et pourraient devenir de nouveaux Business Objects ou Dassault Systems.

Le développement du SaaS et du *Cloud* induit par ailleurs des **opportunités pour les acteurs proposant des services de conseil et d'accompagnement. Sur ce segment les acteurs français sont bien positionnés avec la présence de leaders mondiaux comme par exemple Atos, Capgemini et Sopra-Steria.** Ainsi, la mise en place de modèles de type *cloud* génère des projets de transformation au sein des entreprises clientes que les ESN peuvent accompagner : appui à la diffusion du *Big Data* dans les différentes unités support, accompagnement vers le passage à la mobilité dans l'entreprise (intégration des terminaux, harmonisation et synchronisation des applications, etc.), conseil en *cyber-sécurité* à l'heure où cet enjeu devient majeur dans les entreprises, mise en place de solutions CRM personnalisées sont autant de chantier en cours et à venir pour les entreprises du secteur.

Applications mobiles et internet

Avec l'augmentation du nombre de *smartphones* et de tablettes, le développement de l'Internet des objets et le très haut (4G) et ultra haut (5G) débit mobile, **les applications mobiles continueront de croître de façon exponentielle.** Elles représentent aujourd'hui **88 % de l'activité sur les smartphones** et 82 % sur les tablettes³⁸. Dans les cinq grands pays d'Europe de l'Ouest (Allemagne, France, Royaume-Uni, Italie et Espagne), 102 milliards d'applications ont été téléchargées en 2013, dont 9,2 milliards sont payantes³⁹. Ce chiffre devrait bondir à **269 milliards en 2017, pour 15 milliards payantes.** De nouveaux usages apparaissent sans cesse : payer ses impôts sur son mobile,

effectuer ses transactions bancaires ou encore surveiller ses constantes de santé.



Source: FEVAD, Mc Kinsey & Company

Deux acteurs américains – Apple et Google dominent ce marché. Microsoft et Facebook proposent également des plateformes de développement, respectivement Windows Phone et Facebook Messenger. Les entreprises françaises, **absentes sur le marché des plateformes de développement**, pourraient tirer profit du dynamisme des téléchargements pour se tourner de plus en plus vers l'Internet mobile tant les possibilités d'applications sont vastes, et les opportunités de croissance nombreuses.

e-Commerce

Autre marché du numérique, le e-commerce (ou vente en ligne) est un secteur attractif et extrêmement dynamique. Il devrait connaître une **croissance forte d'ici à 2020, pour atteindre 90 milliards d'euros en France**⁴⁰. **Les principaux moteurs de cette croissance seront la multiplication des points d'accès à Internet** (*smartphones*, tablettes, PC, etc.), **l'augmentation du nombre d'internautes**, et le **développement de l'offre en ligne**⁴¹. Cette croissance sera néanmoins différente en fonction des catégories de produits. Si les pionniers du secteur tels que le multimédia, l'électroménager ou les biens culturels devraient peu à peu être moins porteurs, l'optique et la santé (grâce à l'évolution des législations), tout comme la bijouterie-horlogerie, le bricolage-jardinage, les articles de sport, d'habillement et d'alimentation connaîtront une forte croissance. Le marché de

38 – Comscore, *The US Mobile App Report*, 2014

39 – Boston Consulting Group, *The Mobile Internet Economy in Europe*, 2014

40 – Xerfi-Precepta, Delphine David, *L'e-commerce en France à l'horizon 2020*, 2014

41 – *Ibid.*

l'équipement de la personne et de la maison devrait lui maintenir son dynamisme. **Ce marché, loin d'arriver à un stade de maturité, devrait connaître des transformations à horizon 2020.** Quatre grandes tendances laissent imaginer ce à quoi ressemblera le futur marché de l'e-commerce⁴² :

■ **La migration vers les mobiles.** Les dépenses sur mobile devraient atteindre 7 milliards d'euros en France en 2015 contre 3,7 milliards en 2014⁴³. Cette migration s'accroîtra d'ici 2020.

■ **L'essor du multicanal et du web-to-store :** les vendeurs physiques développeront de plus en plus de sites de vente en ligne. Du côté des consommateurs, une tendance démontre qu'ils utilisent les sites de vente en ligne, moteurs de recherche et comparateurs de prix pour visualiser les produits avant d'aller les acheter sur internet. 33 % des Français achètent par ailleurs leurs produits en ligne pour les retirer ensuite directement dans les points de vente. Le *web-to-store* reflète le besoin, pour les marques, de créer une synergie entre leur site Internet et leurs différents points de vente dans une logique multicanale.

■ **Les technologies du Big Data** constituent un véritable gisement d'opportunités pour les marques et les enseignes françaises. Alors qu'aujourd'hui 97 % des visiteurs d'un site de e-commerce le quittent sans avoir acheté, la collecte et le traitement des données massives peuvent en effet permettre aux entreprises de mieux connaître le parcours d'achat de leurs clients et, grâce aux techniques d'analyse prédictive, de développer des offres ciblées et personnalisées. Les acteurs industriels français – start-up et PME – doivent ainsi se positionner sur les technologies du *Big Data* pour accompagner l'essor de l'e-commerce : web-sémantique, analyse prédictive, à l'instar d'Amazon, leader incontesté du web sémantique.

■ Enfin, **les réseaux sociaux** impacteront de plus en plus le processus d'achat. Ils peuvent, en effet, être un portail d'accès ou un lien direct avec les marques et les enseignes. Pour ces derniers, l'optimisation de leur présence sur les réseaux sociaux devient donc impérieuse.

Réseaux sociaux

Phénomène mondial, les réseaux sociaux⁴⁴ sont devenus un **moyen de communication incontournable entre les individus mais également pour les entreprises et des administrations.** Réseaux sociaux généralistes, professionnels, « de partage », de « rencontres » sont autant de réseaux pour autant d'usages : partager des informations (musique, photos, vidéos etc.), se créer un réseau professionnel, discuter sur des sujets précis etc.

Les chiffres clés des réseaux sociaux témoignent de l'ampleur de ce phénomène. Sur les 3,025 milliards d'internautes à travers le monde, **2,060 milliards sont actifs sur les réseaux sociaux, soit 68 % des internautes et 28 % de la population mondiale.**⁴⁵

L'écosystème des réseaux sociaux, aujourd'hui très vaste, est dominé par **Facebook** avec 1,35 milliards d'utilisateurs actifs mensuels en 2015 dont 28 millions en France, **Twitter**, avec 284 millions d'utilisateurs actifs mensuels dont 2,3 millions en France, et 320 000 nouveaux comptes chaque minute, et enfin Google+. D'autres réseaux, tels que LinkedIn ou Viadeo en France, Youtube, Instagram, Snapchat rassemblent des millions voire des milliards d'utilisateurs. **Les réseaux sociaux devraient continuer à montrer en puissance à horizon 2020 pour atteindre 2,8 milliards d'utilisateurs**⁴⁶.

Si les réseaux sociaux permettent de partager, d'échanger ou de créer un réseau professionnel, ils constituent aussi un moyen de communication et de promotion au service des entreprises.

En majorité gratuite pour les particuliers, l'utilisation des réseaux sociaux à des fins publicitaires est payante pour les entreprises permettant ainsi de générer d'importants revenus. A noter que le chiffre d'affaires en 2014 de Facebook s'élevait à 8,615 milliards de dollars contre 7,872 milliards en 2013.

Selon une étude de l'INSEE, en 2013, en France, 20 % des sociétés d'au moins 10 personnes disposent d'un profil, d'un compte ou d'une licence d'utilisateur pour

42 – McKinsey & Company-FEVAD, *Réinventer le parcours client multicanal pour booster la rentabilité*, juin 2013

43 – Centre for Retail Research, *RetailMeNot*, janvier 2015

44 – Un réseau social est un outil numérique dont l'usage est de mettre en relation des personnes via internet afin de faciliter la communication entre elle, et dont l'aboutissement est la constitution d'une communauté que l'on rejoint ou que l'on constitue autour de soi via sa marque ou sa profession.

45 – Agence We are Social, *Digital, Social & Mobile in 2015*, 2014

46 – UDECAM, *Quel sera le paysage média en 2020 ?*, 2012

accéder à un ou plusieurs médias sociaux⁴⁷. Avec la croissance continue du nombre d'utilisateurs, les réseaux sociaux continueront de représenter en 2020 un enjeu pour les PME. Ces dernières doivent renforcer leur présence sur ce canal de communication pour se développer.

En permettant de collecter des données sur les préférences des clients, les réseaux sociaux participent également au phénomène du *Big Data*. En effet, une fois les données collectées, les technologies du *Big Data* les analysent pour mieux comprendre les besoins des clients ou encore réaliser du reciblage publicitaire (Critéo). Prenant conscience de la valeur de marché des données, de grands groupes prennent des participations dans les réseaux sociaux. C'est le cas du japonais Rakuten qui a pris des participations dans Pinterest par exemple.

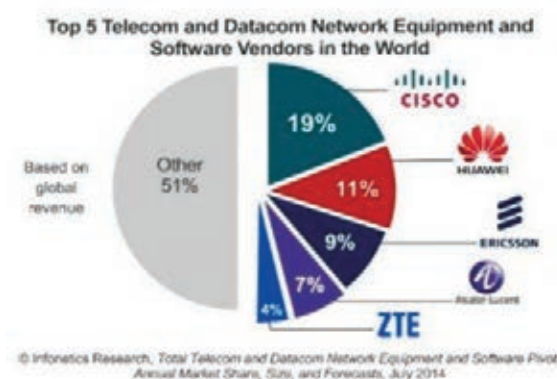
Communication et transfert des données

Face à la croissance rapide voire exponentielle de certains marchés du numérique à l'horizon 2020, l'ensemble de la chaîne de valeur des TIC est forcée d'innover et de s'adapter : i) investissements des opérateurs télécoms dans des infrastructures de 5^{ème} génération, ii) développement des services télécoms.

Les équipements de télécommunications

Le marché des équipements et logiciels réseaux croît à un rythme de 3 % de 2012 à 2013 à 183 milliards de dollars, notamment grâce à la bonne tenue de l'Asie-Pacifique (+6 %) et de l'Amérique du Nord (+4,5 %)⁴⁸. La croissance devrait se maintenir les prochaines années avec un chiffre d'affaires cumulé de 1000 milliards de dollars d'ici 2018 grâce au déploiement généralisé des infrastructures de 4^{ème} génération et de la fibre. Les investissements massifs en R&D dans les infrastructures de 5^{ème} génération devraient également soutenir une forte demande en équipements et dynamiser la croissance à horizon 2020.

Le marché se caractérise par ailleurs par une **concentration forte** entre cinq principaux acteurs, représentant 50 % du marché mondial : Cisco, Huawei, Ericsson, Alcatel-Lucent et ZTE. Sur le segment de l'accès mobile, les cinq premiers équipementiers en 2014 sont, dans l'ordre, Ericsson, Huawei, Nokia, Alcatel-Lucent et ZTE qui totalisent près de 90 % du marché.



Les services télécoms

Les services télécoms concernent tous les services qui consistent, en tout ou en partie en la transmission et l'acheminement de signaux sur le réseau public de télécommunications⁴⁹. Il s'agit notamment des services de téléphonie fixe et mobile, services internet, de messagerie instantanée, de transmission de contenu multimédia (MMS) et de courrier électronique⁵⁰.

Depuis 2009, le marché mondial des services télécoms a retrouvé le chemin de la croissance. Selon l'IDATE, les revenus mondiaux des services télécoms devraient passer de 1 186 milliards d'euros en 2013 à 1 341 milliards d'euros en 2018, soit une progression annuelle moyenne de 2,5 %. Néanmoins, une analyse plus fine du marché met à jour des **disparités importantes au niveau régional**. Entre 2010 et 2016, les pays émergents continuent de tirer la croissance mondiale, tandis que l'Amérique du Nord connaît une croissance plus faible et l'Europe un recul important. Des disparités apparaissent également entre services de téléphonie fixe et mobile/internet. En effet, si la téléphonie fixe

47 – INSEE, *L'usage d'Internet par les sociétés en 2013 : un recours minoritaire aux médias sociaux*, 2013

48 – Données Infonetics Research, 2015

49 – Article 1 de la directive 2004/18/CE du Parlement européen et du Conseil, du 31 mars 2004, relative à la coordination des procédures de passation des marchés publics de travaux, de fournitures et de services)

50 – Liste non exhaustive. Voir *op. cit* pour avoir accès à une liste plus détaillée des services télécoms

semble être en déclin durable, les services de téléphonie mobiles et les services internet connaissent quant à eux une croissance modérée :

■ **Les revenus des services mobiles progresseront de 17 % entre 2013 et 2018** (+3 % par an en moyenne), pour atteindre 826 milliards d'euros en 2018 ;

■ **Les revenus associés à la transmission de données et à Internet progresseront plus fortement (+24 % entre 2013 et 2018, soit +4 % par an en moyenne),** pour atteindre 338 milliards d'euros en 2018 ;

■ **Le chiffre d'affaires de la téléphonie fixe continuera de décliner sensiblement** (-15 % entre 2013 et 2018, soit un recul de 3 % par an en moyenne), pour s'établir à 177 milliards d'euros en 2018.

Le **déclin de la téléphonie fixe** s'explique par des effets de substitution de la téléphonie fixe à la téléphonie mobile, mais également de transfert vers l'internet et ses applications de *VoIP*⁵¹ (Skype, Facebook Call) et de messagerie instantanée (Facebook, Google Hangout etc.). Le déploiement des services fixes de haut et très haut débit continuent par ailleurs à progresser et à tirer la croissance dans les pays avancés.

En France, les revenus des services fixes et mobiles sont en déclin mais parviendraient à se stabiliser grâce à une accélération du déploiement de la fibre et du très haut débit⁵². Cette baisse des revenus est notamment due à une pression continue sur les prix exacerbée par l'arrivée des services « over-the-top » (OTT) et leurs poids grandissant dans les flux de télécommunications⁵³ ainsi que par la concurrence des GAFAM (Google, Amazon, Facebook, Apple et Microsoft). Ces derniers se déploient et gagnent du terrain dans le domaine des services en offrant applications internet, appareils et plateformes de services permettant aux consommateurs de combiner leurs activités en ligne et de gérer de manière uniforme mails, téléphone, contacts etc.⁵⁴

51 – *Voice over Internet Protocol*

52 – ARCEP, *Observatoire des marchés des communications électroniques en France*, 2014

53 – EY, *Industrie des télécommunications: tendances et défis*, mai 2014

54 – Roland Berger, *Telco 2020 : Un nouveau modèle industriel pour les opérateurs télécoms dans l'économie du numérique*, 2012

Pour faire face à cette pression grandissante, les industriels français doivent mettre en place des stratégies:

■ **Investir dans des infrastructures réseaux à forte valeur ajoutée** : aujourd'hui, la fibre pour stabiliser voire augmenter le prix de ses services, et demain les infrastructures de 5^{ème} génération (ultra très haut débit) ;

■ **Développer leurs propres services OTT** afin de récupérer une partie de la valeur ajoutée captée par leur concurrent OTT (exemple de l'application LiBon d'Orange) ;

■ **Créer des partenariats avec des acteurs OTT.**

Les grandes tendances

TECHNOLOGIQUES

L'Internet des objets

Le monde de demain connectera l'homme à la machine, grâce à des **capteurs de plus en plus nombreux**. Le **développement de la nanoélectronique** *More than Moore* permettra de créer des systèmes de plus en plus petits, rapides, performants et consommant moins d'énergie. Cette technologie, considérée par le programme européen Horizon 2020⁵⁵ comme une **technologie générique au sein de la catégorie plus vaste des nanotechnologies**, modifiera profondément le numérique d'ici 2020.



55 – Commission Européenne, *High Level Expert Group, on Key Enabling Technologies*, juin 2011

Demain, ce sont des capteurs connectés **invisibles** qui feront partie de notre quotidien. L'Université de Californie à San Diego (UCSD) développe par exemple des timbres épidermiques dotés de capteurs mesurant le niveau de glucose sans prélèvement sanguin⁵⁶. La communication entre objets (**Machine to Machine**) sera facilitée par le développement de réseaux bas débit, à bas coût et faible consommation d'énergie. Les start-up françaises Cycleo et SigFox proposent des technologies abouties reconnues au niveau mondial, respectivement les **technologies Long Range et Ultra Narrow Band**. SigFox en particulier propose une technologie de réseau très bas débit qui lui permet de se positionner sur le secteur très convoité des objets connectés. En déployant un réseau mondial de télécommunications à faible coût et consommant peu d'énergie, l'entreprise a ainsi réalisé d'impressionnantes levées de fonds auprès d'acteurs importants (Samsung, le Fonds Ambition Numérique, géré par Bpifrance pour le compte de l'État dans le cadre du Programme d'Investissements d'Avenir, etc.).

Enfin, la **question de l'interopérabilité** des objets se pose. Les objets connectés sur le marché aujourd'hui (bracelets connectés par exemple) ont un usage unique et ne sont souvent pas en mesure de communiquer avec d'autres objets connectés⁵⁷. Des initiatives Open source sont lancées afin de proposer aux développeurs des *frameworks* techniques robustes et ouverts permettant d'accueillir différents protocoles de communication et d'aboutir à un langage universel. Ainsi, **lever le verrou de l'interopérabilité représente le défi essentiel pour l'Internet des objets d'ici 2020**. La Nouvelle France Industrielle répond à ce fort enjeu technologique en dédiant une des neuf solutions industrielles aux objets intelligents.

Pour plus de détails sur ces éléments, consulter la fiche Internet des Objets.

La valorisation des données massives

La quantité de plus en plus importante de données générées nécessite d'utiliser des technologies pour gérer le stockage, l'identification, l'analyse et la modélisation, simulation et visualisation de ces données.

56 – Institut G9+, *Breakthrough: Electronic circuits that are integrated with your skin*, 2011

57 – « Sécurité et interopérabilité les enjeux de demain pour les objets connectés », *Journaldunet.fr*, 13/04/2015

■ Les technologies **d'analyse sémantique** permettront de distinguer les données brutes extraites du monde numérique et les connaissances qui en sont issues. **L'analyse prédictive**, appliquée au *Big Data*, permettra d'anticiper des tendances et des événements. Elle ouvre ainsi un champ d'opportunités immense dans le domaine de la santé (médecine prédictive) et du marketing (marketing prédictif).

■ L'exploitation du *Big Data* nécessitera des **capacités de calcul de plus en plus importantes**⁵⁸. **L'utilisation du calcul intensif** par les entreprises se généralisera, favorisée par de faibles coûts d'accès à la puissance de calcul grâce au modèle locatif du *cloud*. Plus généralement, le *cloud* favorisera l'intégration de stratégies *Big Data* dans les entreprises – grands groupes, PME et TPE - grâce aux faibles coûts de stockage et de serveurs. Ainsi, le développement de la modélisation et de la simulation numériques, essentielle pour gérer les données en masse, est-il conditionné aux performances de ces technologies matérielles et logicielles.

Selon le plan stratégique de l'INRIA à horizon 2020, le stockage, l'échange, l'analyse et la manipulation de ces données soulèvent d'autres **défis technologiques majeurs** auxquels la recherche doit répondre, à savoir :

■ **L'identification des données pertinentes** dans les espaces de stockage. Repérer les données pertinentes requiert souvent de faire un compromis entre vitesse de traitement et pertinence des données.

■ **L'intégrité des données**. Des réflexions sont en cours sur les critères de mesure de la qualité des données afin de limiter le risque de calcul à partir de données erronées.

■ **L'analyse des données**. Les algorithmes d'analyse sémantique et prédictive ont d'importantes marges d'amélioration d'ici 2020.

■ **La sécurisation du cloud** est indispensable pour rassurer les entreprises quant à l'utilisation du *Big Data*. Le recours au *cloud* public offre de nombreux avantages mais est freiné par les risques liés à la protection des données personnelles. **La cyber-sécurité, corolaire du Big Data, se développera rapidement d'ici 2020** pour sécuriser le *cloud*. Aux États-Unis, les dépenses en *cyber-sécurité* atteindront 63,5 milliards en

58 – CNRS, *Livre blanc du calcul intensif*, 2012

2017. Des acteurs de la recherche français, tel que le CEA List, sont déjà bien avancés dans ce domaine (ex. : technologie inédite de cryptocalcul homomorphe).

Conscient de ces forts enjeux technologiques, l'État français a dédié une des neuf solutions industrielles du programme intitulé La Nouvelle France Industrielle à l'économie des données.

L'accès au très haut débit et à l'ultra haut débit

Avec l'Internet des objets et le *Big Data*, les flux de données augmentent, ce qui soulève plusieurs **défis technologiques importants liés aux infrastructures réseaux**. Ils concernent :

- **L'augmentation des débits** : Les futurs réseaux devront soutenir en 2020 des volumes de trafic mobile mille fois plus élevés qu'actuellement, alors que le spectre des fréquences utilisables aujourd'hui est limité⁵⁹. Pour **éviter le « capacity crunch »**⁶⁰, de nouvelles infrastructures réseaux verront le jour. La création d'infrastructures de 5^{ème} génération, encore au stade de recherche et développement permettra de fournir un débit plus fiable et fluide⁶¹.

- **La création d'infrastructures flexibles et adaptables** : les infrastructures de 5^{ème} génération doivent en effet pouvoir intégrer de futures innovations des usages et services, dans des délais toujours plus restreints.

- **La réduction des coûts liés à l'exploitation des réseaux** est un autre défi, dans le but de favoriser le développement de l'Internet des objets notamment.

- **La réduction de la consommation énergétique** est enfin essentielle afin de réduire l'impact environnemental de l'économie numérique, qui est croissant avec son développement. Les réseaux de communication qui consomment le plus de bande passante seront ainsi les premiers visés par la 5G.

(La fiche « Infrastructures de 5^{ème} génération » détaille plus précisément ces aspects).

59 – « Interview de François RANCY réélu au poste de Directeur du Bureau des radiocommunications de l'UIT », Agence Nationale des fréquences, 24/04/2014

60 – Situation où les infrastructures ne parviendront plus à véhiculer des données de plus en plus importantes. Pour certains scientifiques britanniques, ce manque de capacité signera la mort d'Internet. Ils estiment qu'il surviendra dès 2023. The Royal Society, London, "Meeting : Communication networks beyond the capacity crunch", mai 2015

61 – Voir fiche « Infrastructures de 5^{ème} génération ».

Ces infrastructures s'appuieront en outre demain sur les **satellites à orbite basse, les ballons** et les **drones** pour fournir un accès à internet à toutes les régions du monde et ce à faible coût. En France, Thales Alenia Space a investi dans la R&D pour la construction de satellites à orbite basse fournissant des services internet haut débit et permettant une couverture maximale à faible coût. Le plan de lancement de la constellation de satellites est prévu pour 2019-2020.⁶² Parallèlement, Google, à travers l'acquisition du fabricant de drone Titan Aerospace, s'est donné l'objectif de fournir l'accès à Internet *via* des drones aux pays les moins connectés mais également aux États-Unis.

L'Intelligence Artificielle (IA)

Les technologies mobilisées par l'Intelligence artificielle sont plurielles et complexes, du fait notamment qu'elles cherchent de plus en plus à **intégrer des paramètres issus d'autres disciplines** telles que la psychologie, les neurosciences, les sciences cognitives, la linguistique et l'économie.

La nécessité de **concevoir des systèmes auto-adaptatifs capables de faire face à toutes les situations** est un défi technologique majeur pour le développement de l'IA. Cette faculté d'apprentissage automatique (*Deep Intelligence learning*) peut être rendue possible grâce à un ensemble de données représentatif des situations possibles et des données captées en temps réel lors du fonctionnement.

Les systèmes intelligents de demain se doivent en effet d'être non seulement capables de raisonner dans le temps et dans l'espace mais également de pouvoir **intégrer des aspects plus complexes de raisonnement tels que les grandeurs scalaires et symboliques**.

INDUSTRIELLES

L'essor des technologies du numérique entraîne en premier lieu un **bouleversement important de la chaîne de valeurs**. Les acteurs traditionnels des télécommunications, comme par exemple les opérateurs télécoms, voient leur environnement radicalement modifié par l'arrivée de nouveaux acteurs qui se positionnent sur le marché des infrastructures réseaux. La chaîne de valeur évolue ainsi vers un écosystème de plus en plus large et ouvert au sein duquel les rôles

62 – « Bourget : déluge de satellites pour le web », Libération.fr, 15/06/2015

entre les opérateurs de télécoms, les fournisseurs de contenu, les fabricants de terminaux, et les fournisseurs de services OTT tendent à être partagés.⁶³

Les acteurs traditionnels des télécommunications font également face à une **concurrence de plus en plus forte de la part des géants de l'Internet, les GAFAM (Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft)**. En effet, la valeur créée est de plus en plus captée par les constructeurs de terminaux et les acteurs Internet, au détriment des opérateurs télécoms⁶⁴. À titre d'exemple, Facebook et Apple proposent un service *over-the-top* (Facebook Call et Facetime) et Google souhaite lancer en 2015 une offre de service OTT qui viendra concurrencer celles des opérateurs de téléphonie.

Les GAFAM se positionnent également sur le marché de la fourniture réseau, traditionnellement occupé par les équipementiers réseaux. C'est le cas de Google qui a investi dans des drones et des satellites pour fournir un accès au très haut débit à bas coût dans les pays les moins avancés mais également aux États-Unis. Sur le marché des équipements informatiques, les infrastructures et services *cloud* proposés par Microsoft, Amazon et bien d'autres acteurs de l'Internet viennent aujourd'hui concurrencer et transformer l'industrie du serveur et du logiciel.

Le paysage du numérique évolue et les acteurs traditionnels des télécommunications doivent composer avec les acteurs de l'Internet en adaptant leur offre (baisse des prix, diversification des services etc.) afin de rester compétitif.

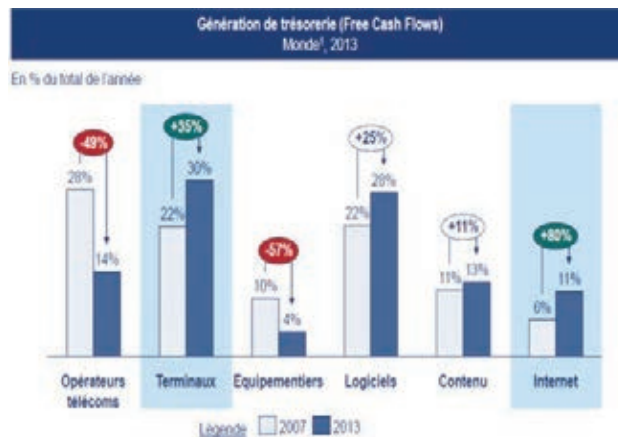
D'USAGE

Avec le développement des technologies du numérique, de nombreuses applications ont été développées, créant de nouveaux usages et impactant toutes les dimensions de notre quotidien. De manière non exhaustive, nous pouvons citer les principales tendances :

■ **(Se) mesurer (*quantified-self*)** : balances connectées, bracelets et tensiomètres automatisés sont autant de coaches numériques qui font partie d'une mouvance nommée « *quantified-self* ». L'auto-mesure de la distance parcourue, des aliments ingurgités, du rythme cardiaque est devenu un usage courant des objets connectés, en vogue.

63 – Données d'Orange.

64 – Arthur D. Little, *Économie des Télécoms*, novembre 2014



Source : Arthur D. Little, *Economie des Télécoms*, 2014

■ **Se soigner** : la **e-santé** est également une application des objets connectés dont les enjeux industriels sont immenses. Elle **transformera radicalement les pratiques médicales** : la multiplication des capteurs permettra aux patients d'obtenir des informations en temps réel sur leur état de santé. Ces données, couplées à des technologies d'analyse prédictive, pourront demain réduire les risques de crise cardiaque, hypoglycémie, crise d'épilepsie et plus encore⁶⁵. Plus particulièrement, avec une durée de vie en progression continue, le maintien à domicile des personnes âgées constitue le pilier des applications des objets connectés dans le cadre de l'e-santé. Limitation des coûts, sécurité du senior vivant seul à son domicile, et prolongation de sa durée d'autonomie font partie des enjeux majeurs du XXI^{ème} siècle. La France soutient le développement d'une filière **Silver Economie** visant à fédérer les industriels autour de solutions technologiques nouvelles pour anticiper la transition démographique⁶⁶ et soutenir l'autonomie des personnes âgées de demain.

➤ Pour plus de détails sur la e-santé, se référer aux paragraphes dédiés de la monographie « Santé et bien-être ».

■ **Vivre à son domicile (contrôle à distance, loisirs, adaptation, etc.)** : la **domotique** intègre de plus en plus d'objets connectés pour transformer le domicile en maison intelligente. En 2015, 30 % des Français

65 – CNIL, *Le corps, nouvel objet connecté du quantified-self à la m-santé : les nouveaux territoires de la mise en données du monde*, Cahiers IP - Innovation & Prospective, Mai 2014

66 – En France, les personnes âgées de 60 ans ou plus sont aujourd'hui 15 millions. En 2030, elles seront 20 millions. Site du Ministère des Affaires Sociales, de la Santé et des droits des femmes, Dossier Silver Economie

déclarent posséder un objet connecté dans leur maison (TV connectée, électroménager, alarme etc.)⁶⁷.

■ **Se déplacer** : les technologies du numérique génèrent de nouveaux usages en termes de mobilité, par exemple avec le développement de la voiture connectée.

■ **Consommer autrement : la consommation collaborative**. Le développement des technologies de la communication et de l'information ainsi que du e-commerce ont fortement contribué et contribueront de manière encore plus importante à l'horizon 2020 à faire évoluer la relation consommateurs-entreprises. La consommation collaborative, qui rassemble les pratiques visant à échanger et à partager des biens entre particuliers ainsi qu'à limiter les intermédiaires entre producteur et consommateur ^[1], se développe ainsi principalement grâce à des services en ligne, tels que *Bla bla Car*, *de Particulier à Particulier*, etc.

■ **Vivre et « piloter » la ville (smart city)**, et notamment, à travers l'intégration de technologies numériques dans toutes les fonctions urbaines : régulation dynamiques des réseaux entre eux (transport, énergie, eau), boutiques virtuelles, éclairage intelligents, trottoirs connectés etc.

■ **S'éduquer et se former** : Avec l'accès au très haut débit fixe et mobile, les usages concernant les loisirs, jusqu'alors limités par les capacités du réseau, pourront se généraliser⁶⁸: regarder des événements sportifs, accéder à des films et séries à la demande, sur plusieurs écrans à domicile. Se cultiver : Bien d'autres usages sont appelés à se développer avec la fibre, comme l'éducation en ligne (les MOOC) qui permet des formations ouvertes à distance.

La position de la France

INDUSTRIELLE

Offre technologique

La France dispose **d'acteurs de rang mondial** sur l'offre technologique. À titre d'exemples, sur le segment des composants électroniques, STMicroElectronics se situe au 9^{ème} rang mondial (2014), Alcatel-Lucent est

le 4^{ème} acteur mondial du segment des équipements de télécommunications, Orange fait partie des cinq premiers leaders mondiaux de la téléphonie fixe et mobile

Les positions de leadership sont cependant majoritairement occupées par les acteurs américains et asiatiques tels que par exemple Samsung et Intel sur le marché des composants électroniques, Cisco et Ericsson sur le marché des équipements.

Dans le cadre de la **Nouvelle France Industrielle**, le gouvernement a en outre mis en œuvre différents programmes pour soutenir le développement industriel, à travers notamment les solutions Économie des données, Confiance Numérique et Objets intelligents. La matrice Industrie du futur est un autre exemple de politique menée envers l'industrie.

Solutions de digitalisation de l'industrie.

Les entreprises de services du numérique sont également très bien positionnées à l'échelle mondiale avec Capgemini qui se situe au 13^{ème} rang mondial dans les services numériques⁶⁹, Criteo qui est leader du ciblage publicitaire dans le *Big Data*, OVH qui est le *leader* européen du Cloud et se positionne au troisième rang mondial et Dassault Système qui est enfin le leader mondial de la 3D et qui figure parmi les dix premiers éditeurs mondiaux de logiciels.

Comme pour le secteur de l'offre technologique, la France dispose de grands groupes classés dans les premiers au niveau mondial pour les solutions de digitalisation de l'industrie mais **les positions de leadership restent majoritairement occupées par les acteurs américains et asiatiques** tels que par exemple Amazon sur le marché du cloud, Facebook sur le marché des réseaux sociaux, Microsoft et IBM sur le marché du logiciel.

Les entreprises françaises du numérique ont généré environ 110 milliards d'euros en 2014, soit une valeur supérieure à l'agriculture ou les services financiers par exemple. Le numérique représentent plus de **5,5 % du PIB français**, une performance dans la moyenne européenne et égale à celle de l'Allemagne⁷⁰. Malgré la place importante accordée au numérique dans le PIB de la France et la présence d'un écosystème d'indus-

67 – Hakisa.com, *De la domotique à la maison intelligente* (infographie)

68 – FIRIP, *Quelle France numérique pour 2020 ?*, avril 2014

69 – Selon le Top100 réalisé par la revue *Software Magazine*.

70 – McKinsey, *Accélérer la mutation numérique des entreprises : un gisement de croissance et de compétitivité pour la France*, septembre 2014

triels riche, les entreprises françaises ont encore du **retard dans l'adaptation au numérique**. Trois facteurs permettent d'expliquer ce retard :

- Le numérique bouleverse les organisations traditionnelles : il implique de changer l'organisation, le management et les usages ;
- Les entreprises ont un déficit de compétences numériques : elles ont du mal à trouver les talents nécessaires à cette mutation ;
- Les dirigeants d'entreprises ne s'approprient pas assez les enjeux et manquent de leadership pour entraîner les salariés dans cette révolution culturelle.

Alors que cette adaptation représente un gisement d'opportunités et de croissance pour les entreprises, **les entreprises françaises doivent aujourd'hui réussir leur transition vers le numérique pour rester compétitives**.

ACADÉMIQUE ET ÉCOSYSTÈME DE L'INNOVATION

La richesse et le dynamisme de l'écosystème d'acteurs de la recherche et de l'innovation est **une force majeure de la France**. Le domaine du numérique est structuré autour de onze pôles de compétitivité dont Systematic, Cap Digital, Image & Réseaux, Elopsys, Minalogic, SCS et TES. Ces pôles de compétitivité soutiennent financièrement et accompagnent la transition de la France vers le numérique. Parallèlement, les pouvoirs publics ont fait du numérique une priorité. Dans le cadre du premier volet des Investissements d'Avenir, l'État a fléché 4,25 Mds€ spécifiquement pour le secteur numérique (Fonds pour la Société Numérique), en complément de financements préexistants, à l'image du FUI. De nombreuses initiatives voient le jour pour encourager la transition de la société vers le numérique et faire de la France un leader mondial. On peut citer à titre d'exemple la création de la **Cité des objets**

connectés et de l'Agence des Systèmes d'Information Partagés de santé (ASIP), le Plan France Très Haut Débit, le programme hôpital numérique et le Plan École numérique.

D'autre part, afin de développer les acteurs français du numérique et de renforcer sa visibilité au niveau mondial, l'État a décidé de créer le label « French Tech ». Elle a vocation à représenter l'ensemble de l'écosystème des *startups* françaises, d'être un soutien à l'innovation et de renforcer la lisibilité des actions publiques à l'égard des *startups*. Fin 2014, neuf écosystèmes ont reçu le label Métropole French Tech, et quatre autres l'ont reçu en juin 2015⁷¹. Pour soutenir cette démarche, un fonds d'investissement de 200 millions d'euros géré par Bpifrance sera amené à investir dans des accélérateurs de start-up privés à partir de 2015.

La France est le premier pays d'Europe représenté au *Consumer Electronics Show (CES)* avec 160 start-up françaises présentes, dont 10 primées (Parrot, Netatmo, Withings, Lima Technology, Emiota, My Fox, Technicolor, Voxtok, Giroptic, Cityzen Sciences). La France affiche un écosystème de PME et start-up dense, couvrant les nouveaux marchés de l'Internet, et en premier lieu, les objets connectés.

La France dispose, enfin, de nombreuses structures de recherche dédiées à l'innovation dans le domaine du numérique : le CEA, l'INRIA et le CNRS, les IRT SystemX, Nanoelec, B-com et Saint Exupéry font avancer la recherche dans ce domaine, sur tous les sujets qui le composent : *analytics*, *cloud*, objets connectés, réseaux très haut débit, systèmes embarqués, etc. Onze laboratoires ont été labellisés Laboratoires d'excellence (Labex), et la France dispose également de sept programmes d'équipements d'excellence (Equipex).

71 – Aix-Marseille, Bordeaux, Grenoble, Lille, Lyon, Montpellier, Nantes, Rennes, Toulouse, Brest, Côte d'Azur, Lorraine, Normandie.

Analyse AFOM

ATOUTS

Présence de plusieurs grands groupes industriels et de services, leaders mondiaux et actifs en R&D et à l'international

Tissu de start-up et PME numériques autour de la French Tech et forte dynamique entrepreneuriale

Existence d'un écosystème spécialisé en IoT et systèmes embarqués

Existence d'un tissu d'entreprises et de compétences fortes dans le domaine des infrastructures (traitement du signal, optique, logiciel, codage, etc.)

Savoir-faire des start-up françaises dans l'innovation d'usages

Garantie d'éthique et de responsabilité juridique par rapport à d'autres États

Qualité reconnue de la recherche académique (Télécom ParisTech, CEA, etc.), en particulier de l'école française de mathématiques.

Instruments et projets financés dans le cadre du PIA : FSN (ex. : concours d'innovation numérique, grands enjeux numériques, challenges numériques...), IRT, Labex et Equipex) et solutions industrielles de la Nouvelle France Industrielle

Projets européens et clusters Eureka mobilisant les acteurs français (ITEA 3, Celtic-Plus, ECSEL...)

FAIBLESSES

Faible capacité d'investissement et manque de capitaux pour développer des actions d'échelle

Faible maîtrise des composants et de la production des terminaux

Pas de système d'exploitation « Made in France »

Pas de plateforme majeure d'intermédiation et de collecte des données

Transfert à développer/accélérer entre académiques et industriels

Fragmentation du marché européen (infrastructures)

OPPORTUNITÉS

Les grandes tendances technologiques, industrielles et d'usage : confiance numérique, objets intelligents, valorisation des données massives (analyse, certification des données, modélisation et visualisation), dans les domaines de la ville durable, de l'énergie, de la Santé notamment

Appels à propositions d'Horizon 2020

L'Usine du futur et la digitalisation des entreprises (avec de nombreux leaders sectoriels : Airbus, Veolia, Valeo, etc.) dans un contexte où les PME françaises sont en retard.

MENACES

« Trous » dans la chaîne de valeur et risque de dépendance technologique (souveraineté)

Monopole de fait des GAFAs et risque d'abus de position dominante

Vulnérabilité à l'intelligence économique (transferts de données)

Montée de la compétition internationale, notamment avec les États-Unis, le Japon, l'Allemagne et de plus en plus avec la Chine (équipements réseaux)

Peu d'entreprises positionnées sur certains sujets clés (notamment l'intelligence artificielle)

Acceptabilité sociale de la co-évolution homme-machine

SOURCES

- ARCEP, *Observatoire des marchés des communications électroniques en France*, 2014
- Boston Consulting Group, *The Mobile Internet Economy in Europe*, 2014
- Cap Digital et Roland Berger, *L'aventure numérique, une chance pour la France*, 2014
- CNIL, *Le corps, nouvel objet connecté du quantified-self à la m-santé : les nouveaux territoires de la mise en données du monde*, Cahiers IP - Innovation & Prospective, mai 2014
- CNRS, *Livre blanc du calcul intensif*, 2012
- Commission Européenne, *High Level Expert Group, on Key Enabling Technologies*, juin 2011
- Commission « Innovation 2030 », *Un principe et sept ambitions pour l'innovation*, 2013
- Comscore, *The US Mobile App Report*, 2014
- Deloitte, *Technology, Media and Telecommunications Predictions*, 2014
- EIT ICT Labs, *Strategic Innovation Agenda*, 2014
- EY, *(Big) data : où en sont les entreprises françaises ?*, 2014
- EY, *Industrie des télécommunications: tendances et défis*, mai 2014
- FIRIP, *Quelle France numérique pour 2020 ?*, avril 2014
- IDATE, *L'évolution des solutions de distribution des contenus vidéo*, 2012
- IDATE, *DigiWorld Yearbook*, 2014
- INRIA, *Plan stratégique horizon 2020*, 2012
- Institut G9+, *Breakthrough: Electronic circuits that are integrated with your skin*, 2011
- Institut G9+, *Livre Blanc, 2020 : où vont les industries françaises du numérique ?*, 2014
- Ministère de l'économie, de l'industrie et du numérique, *Les 34 plans de la nouvelle France industrielle*, 2013
- Observatoire du numérique, *Chiffres clés*, 2014
- Roland Berger, *Telco 2020 : Un nouveau modèle industriel pour les opérateurs télécoms dans l'économie du numérique*, 2012
- Fédération E-commerce et Vente à Distance (FEVAD), *Chiffres clés*, 2014
- Fédération Française des Télécoms et Arthur D. Little, *Économie des Télécoms*, 2014
- Systematic, *Plan stratégique 2013 -2018*, 2013
- Union Internationale des Télécommunications, *ICT Facts and Figures*, 2014

« Sécurité et interopérabilité les enjeux de demain pour les objets connectés », Journaldunet.fr, 13/04/2015

«Le marché du *Big Data*, nouveau graal de l'informatique», LeFigaro.fr, Tech & Web, 02/04/2014

Données de l'*IRT NanoElec*

Données de *GfK*

Données de l'*IDC*

Données de *Gartner*

Site de la Commission Européenne

Site de la FEVAD

Site de l'observatoire du numérique

Site de la Direction générale des entreprises

GLOSSAIRE

5G : Infrastructures de cinquième génération pour la téléphonie mobile

Big Data : Les données massives désignent des ensembles de données qui deviennent tellement volumineux qu'ils en deviennent difficiles à travailler avec des outils classiques de gestion de base de données ou de gestion de l'information

CRM : Customer Relationship Management : gestion de la relation client

Cloud : Le cloud computing, ou informatique en nuage, est l'exploitation de la puissance de calcul ou de stockage de serveurs informatiques distants par l'intermédiaire d'un réseau, généralement Internet

E-commerce : Commerce électronique

ERP : Enterprise Resource Planning : progiciel de gestion intégré

French Tech : French Tech est le nom collectif pour tous les acteurs de l'écosystème de startups français, en particulier du numérique

GAFA : Google, Apple, Facebook, Amazon

IoT : Internet of Things : l'Internet des objets représente les échanges d'informations et de données provenant de dispositifs présents dans le monde réel vers le réseau Internet et inversement

MOOC : Massive Open Online Course : formation en ligne ouverte à tous

OTT : Over-The-Top content : Service de livraison de contenu audio, vidéo et d'autres médias sur Internet par contournement,

c'est à dire sans la participation d'un opérateur de réseau traditionnel

SaaS : Software as a Service : Logiciel en tant que service. C'est un modèle d'exploitation commerciale des logiciels dans lequel ceux-ci sont installés sur des serveurs distants plutôt que sur la machine de l'utilisateur.

UIT : Union internationale des télécommunications

THD - UHD : Très Haut Débit – Ultra Haut Débit

TIC : Technologies de l'information et de la communication

VOD : Video on demand : vidéo à la demande. On parle aussi de Vidéo à la demande avec abonnement

SVoD : Subscription Video on Demand



LOISIRS ET CULTURE

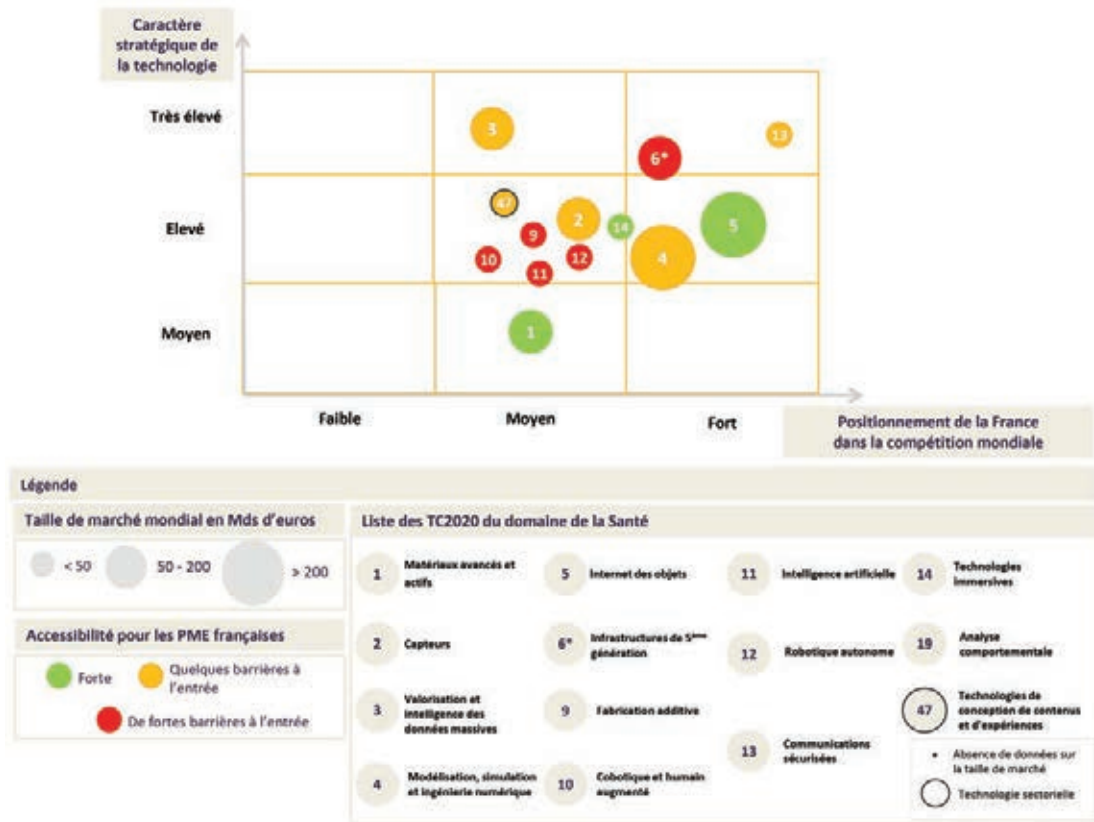
Définition

Le domaine des loisirs et de la culture regroupe un spectre large de secteurs basé principalement sur une économie de service et/ou une économie de contenu. Il regroupe :

- le tourisme c'est-à-dire la promotion des territoires, les offres de services liés au tourisme comme l'hôtellerie, ainsi que les supports touristiques (guides, service de réservation...);
- les activités liées au patrimoine, aux musées et monuments (supports de visites mais aussi restauration et conservation);
- les espaces de loisirs (parcs d'attraction, animaliers...);
- la production de contenus qu'elle soit audiovisuelle (cinéma, télévision, radio, web), multimédia (web, jeux vidéo), ou encore la production textuelle et l'édition dans le cadre des loisirs et de l'éducation;
- le sport en termes d'équipements collectifs et personnels;
- les biens de consommation liés aux loisirs comme les jouets et la robotique personnelle et de loisirs.

Technologies clés du domaine

N°	Intitulé	Spécifique / Transversale
1	Matériaux avancés et actifs	Transversale
2	Capteurs	Transversale
3	Valorisation et intelligence des données massives	Transversale
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique	Transversale
5	Internet des objets	Transversale
6	Infrastructures de 5 ^{ème} génération	Transversale
9	Fabrication additive	Transversale
10	Cobotique et humain augmenté	Transversale
11	Intelligence artificielle	Transversale
12	Robotique autonome	Transversale
13	Communications sécurisées	Transversale
14	Technologies immersives	Transversale
19	Analyse comportementale	Transversale
47	Technologies de conception de contenus et d'expériences	Spécifique



Les grands enjeux et les stratégies françaises

ENVIRONNEMENT

L'impact de l'environnement sur le secteur concerne principalement **le tourisme** : le changement climatique va modifier les pratiques. Les impacts majeurs risquent de se produire à très long terme (hausse de 2 à 4° C des températures d'ici à 2050) mais, dès 2020, des changements plus locaux sont à prévoir¹. Certains espaces balnéaires sont soumis au risque de l'augmentation du niveau de la mer et d'érosion mais, selon les estimations de l'ONERC, les impacts significatifs ne devraient être ressentis qu'à partir de 2035. D'ici à 2020, les conséquences perceptibles devraient concerner en premier lieu les espaces français de sport d'hiver. Le WWF évalue la diminution globale des neiges à 30 % par rapport à 1990. Un manteau neigeux amoindri

induit un raccourcissement des périodes d'accessibilité des pistes et modifie la pratique des sports alpins.

Les zones touristiques les plus touchées par le changement climatique sont les DROM – COM : de par leur situation insulaire, le risque de submersion marine est important à long terme. Plus encore, le nombre croissant d'événements climatiques extrêmes et de crises sanitaires fait chuter l'attractivité touristique de ces régions.

A contrario, la hausse des températures, l'adoucissement du climat et l'allongement des périodes d'ensoleillement peuvent permettre à certains territoires de gagner en attractivité et d'étendre la période de fréquentation touristique des zones balnéaires.

D'autre part, la pression écologique induite par le tourisme a d'ores et déjà des impacts sur l'activité. Les vacances et les loisirs sont responsables de 5 % des gaz à effet de serre à l'échelle mondiale et 10 % en France². L'importance des sensibilités écologiques et les enjeux de protection de l'environnement ont conduit au dé-

1 – Secrétaire d'État chargé du Commerce, de l'Artisanat, des PME, du Tourisme, des Services et de la Consommation, 2011, *Le tourisme des années 2020*

2 – Idem

veloppement de nouvelles pratiques, d'une offre de tourisme vert et de tourisme durable ayant vocation à réduire l'impact du touriste en termes d'énergie, de consommation d'eau, de production et de gestion des déchets.

RÉGLEMENTATION

L'irruption du numérique dans l'économie bouleverse de nombreuses conventions économiques et sociales et met la réglementation au défi de s'adapter à des technologies et des pratiques en mouvement constant. Nulle part ailleurs ce bouleversement n'est plus visible que dans le domaine des loisirs et de la culture : émergence de plateformes de services et de contenus qui remettent radicalement en cause les chaînes de valeurs existantes et les règles traditionnelles de la concurrence et du commerce, vaste utilisation des données des utilisateurs qui rendent nécessaire une réévaluation des politiques de confidentialité et de vie privée, dématérialisation de nombreux produits qui bouleversent les systèmes de protection et de rémunération de leurs auteurs, développement de l'économie collaborative qui fragilise le droit du travail et les protections des salariés. L'organisation du marché numérique des loisirs et de la culture sous la forme de plateformes prestataires de services et fournisseuses de contenus représente un défi important de régulation du marché. En effet, l'effet de réseau lié au fonctionnement de telles plateformes, qui jouent sur le lien social et le service personnalisé pour rendre le consommateur captif, crée une situation de « winner takes all », où la plateforme la plus importante tend à devenir naturellement monopolistique. La plateforme dominante peut alors imposer à ses consommateurs et à ses fournisseurs, de services ou de contenus, des conditions commerciales contraignantes, voire abusives, comme le montre le conflit récent entre Amazon et l'éditeur Hachette. Cette situation avantageuse lui permet aussi de mettre en avant ses propres services, au détriment des services concurrents, sous le prétexte d'une recommandation personnalisée ou performante. Il n'existe néanmoins pas, à l'heure actuelle, de réglementation des plateformes dominantes, qui protégerait les fournisseurs et les consommateurs contre leurs pratiques prédatrices éventuelles et qui, pour être efficace, devrait être implémentée au niveau européen.

L'impact économique de ces plateformes (Apple, Amazon, Google, Facebook) est aussi causé par leurs

pratiques d'évasion fiscale et d'optimisation réglementaire. Elles profitent de la disparité des règles fiscales des États européens pour s'installer dans les pays les plus permissifs et optimiser ainsi leur fiscalité et mettent leurs concurrents établis en France dans une situation de concurrence inéquitable. Une solution alternative à l'harmonisation globale des fiscalités européennes est d'adapter les règles fiscales aux spécificités de l'économie numérique, telles que l'immatérialité des services et la forte prépondérance des revenus liés à la publicité. Ainsi le principe du pays de destination a été appliqué à la TVA depuis le 1^{er} janvier 2015, permettant de réduire les distorsions de concurrence liées aux différences de taux entre les États européens.

Avec le développement de l'économie collaborative, dont des sociétés comme Uber ou Airbnb se réclament, la protection traditionnelle des salariés vole en éclat. En se posant comme simples intermédiaires entre les consommateurs et des particuliers fournisseurs de services, elles nient toute obligation sociale ou commerciale envers les uns ou les autres. En théorie, ces plateformes visent à mettre dans le circuit économique des ressources privées inexploitées (immobilier, véhicules, heures de travail occasionnel) dont d'autres consommateurs pourraient profiter. En réalité, la frontière entre ce qui était traditionnellement du travail salarié et de l'activité professionnelle d'un côté, et des hobbies faiblement rémunérés de l'autre, s'estompe et menace de transformer toute une catégorie d'employés, traditionnellement de classe moyenne et protégés par le code du travail, en travailleurs précaires dotés d'une protection sociale minimale et portant financièrement tout le risque commercial lié à leur activité. La protection sociale n'est pas la seule impactée par des plateformes qui peuvent aussi bouleverser le paysage urbain et la mixité sociale, réduisant significativement le nombre d'appartement en location de longue durée dans des quartiers entiers pour les remplacer par des locations saisonnières qui n'ont de collaboratives que le nom³. Les autorités des différents pays affectés commencent à réagir, comme le montrent les actions de groupe contre Uber en Californie et l'activisme croissant de la ville de New York contre Airbnb. Toute la difficulté, pour le régulateur, réside dans sa

3 – http://cdn1.vox-cdn.com/uploads/chorus_asset/file/2361090/airbnb-ag-report.0.pdf

capacité à empêcher une remise en cause de la réglementation sociale, tout en soutenant l'innovation et la mobilisation de ressources privées et occasionnelles par des particuliers, qui peuvent ainsi compléter leurs revenus professionnels.

Enfin, les industries des loisirs et de la culture génèrent une quantité de données personnelles sur les consommateurs, dont la gestion et le commerce deviennent centraux dans le modèle économique des grands acteurs du numérique. Or l'Europe peine actuellement à établir des règles communes sur leur utilisation par les entreprises qui les collectent et sur leur monétisation, qui échappe pour l'heure à toute imposition dans le pays où elles ont été produites.

Tourisme et Patrimoine

Ce secteur est largement influencé par les nouvelles pratiques de la population et en premier lieu par la connectivité croissante. Ainsi, l'encadrement européen du *roaming* représente un enjeu pour ces acteurs. Les frais induits par l'itinérance facturée par les opérateurs aux clients voyageant d'un pays européen à un autre limitent le développement du m-tourisme pour les étrangers : ceux-ci ne voulant pas payer de surcoûts, ne profitent pas des applications disponibles sur leur *smartphone*, tablette... Leur suppression prévue en décembre 2015 a été reportée à 2018. Qui plus est, il est envisagé de fixer un plafond (en octets, en euro ou dans le temps) pour la suppression de ces coûts : l'opérateur Free offre par exemple à ses abonnés la possibilité de profiter de leur forfait dans 12 pays de l'Union Européenne sans surcoût, durant 35 jours. Dans le même temps, cela réduit la quantité de données récupérées par les acteurs du tourisme. Ces données leur permettent de faire du « profilage » numérique et d'adapter leur offre.

Le « profilage » numérique est une pratique utilisée pour analyser ou prédire les performances professionnelles d'une personne, sa situation économique, sa localisation, etc. Il représente un atout pour le tourisme et les parcs de loisirs. Celui-ci permet de créer des offres plus personnalisées et d'analyser le flux touristique afin d'adapter l'offre globale. La mise en place en mars 2014 d'un règlement européen commun sur les données personnelles vise à faciliter les échanges transfrontaliers de données et garantir l'uniformité. Le non-respect de ce règlement implique des amendes allant jusqu'à 100 millions d'euros (ou 5 % du chiffre

d'affaires annuel de l'entreprise). Les nouvelles dispositions devraient mieux protéger les données sur Internet. Elles incluent le droit à l'effacement des données, de nouvelles limites au « profilage », ou encore l'obligation d'utiliser un langage clair et simple pour expliquer les politiques sur le droit à la vie privée. Tout fournisseur de services Internet qui souhaite traiter des données à caractère personnel serait d'abord tenu d'obtenir le consentement libre, informé et explicite de la personne concernée.

La production de contenu

Le numérique bouscule les notions traditionnelles de droit d'auteur. L'apparition de produits reproductibles indéfiniment sans perte de valeur a remis en cause les règles habituelles de rémunération des auteurs et mis en danger la création artistique. Ainsi les pratiques de piratage ont sans cesse une longueur d'avance sur les réglementations répressives censées les freiner : la loi Hadopi a détourné les pirates du peer-to-peer vers les sites de streaming, le blocage des sites a provoqué une recrudescence de l'utilisation de DNS alternatives ou de sites miroirs. Au point que les gouvernements et les ayants-droit se tournent vers des approches non réglementaires : celles destinées à accroître l'attractivité de l'offre (sites de streaming pour la musique, plateformes-DRM de services pour les jeux vidéo) ou à toucher les opérateurs de plateformes illégales au portefeuille (signature de chartes avec les régies publicitaires et les services de paiement en 2015).

Le piratage n'est pas la seule conséquence de l'irruption du numérique dans la culture. La territorialisation traditionnelle des droits, par laquelle les ayants-droit négocient pays par pays la cession de droits d'exploitation, est remise en cause par le caractère mondial des nouvelles plateformes de contenus.

Les exceptions, dont certaines reposent sur le caractère éphémère des supports culturels traditionnels (papier, cassettes vidéo), doivent être adaptées à ce nouveau paradigme. Ainsi comment étendre le droit de prêt des bibliothèques au livre numérique sans remettre en cause le modèle économique des éditeurs ? Comment appliquer et rémunérer l'exception pédagogique aux manuels scolaires numériques ? L'exception où la problématique du numérique est la plus prégnante est celle autorisant la copie à titre privé d'œuvres légalement acquises. La dématérialisation totale des œuvres, qui peuvent être copiées d'un support à l'autre au gré

des usages et des pratiques de sauvegarde, interroge sur le lien qu'établit le droit d'auteur entre l'œuvre et son support. Les approches divergent sur ce point : là où la musique et l'audiovisuel continuent de considérer qu'un droit de jouissance n'est cédé qu'en lien avec un support et que toute copie privée à partir de ce support cause un préjudice, le secteur du jeu vidéo, natif du numérique, préfère attacher le droit de jouissance à l'individu qui l'a acheté et autorise cet individu à installer les jeux achetés sur un nombre illimité de supports, pour peu qu'il reste le seul à en jouir.

Outre les exceptions au droit d'auteur, le numérique facilite des pratiques, souvent liées au droit de citation, auxquelles le code de la propriété intellectuelle peine à trouver des réponses : « mashups », « lipdubs », « machinima », « let's play », etc. Ces pratiques, considérées par certains ayants-droit comme bénéfiques à leur activité (notamment par les créateurs de jeu vidéo) peuvent être également vues comme des atteintes au droit moral du créateur sur son œuvre. Tout le défi de la réglementation reviendra donc à garantir le respect des droits du créateur tout en ne freinant pas ces innovations, qui deviennent souvent à leur tour des œuvres artistiques à part entière.

La démocratisation des outils de production et de distribution des contenus culturels rend également de plus en plus floue la frontière entre productions professionnelles et productions amatrices. La confusion est entretenue par la popularité croissante des hébergeurs comme Youtube, chez qui professionnels et amateurs se mêlent sans distinction de traitement. Comment, dans ce cas, appliquer une réglementation qui établit une distinction claire entre ces deux types de production ? La confusion des rôles se retrouve dans l'ensemble de la chaîne de valeurs. L'offre de contenus en ligne se caractérise par la coexistence de services qui ciblent des marchés similaires mais relèvent de statuts juridiques différents (éditeur de services, distributeur, hébergeur, etc.). Il en résulte des distorsions potentielles de concurrence entre des acteurs soumis à des réglementations plus ou moins contraignantes. Par exemple, pour écouter gratuitement de la musique en ligne, les internautes ont le choix entre des services éditorialisés de streaming musical (Deezer, Qobuz, Spotify, etc.) et des plateformes vidéo communautaires généralistes (Dailymotion, YouTube, etc.), dont la responsabilité dans la lutte contre le piratage est différente. Si les rôles des acteurs de la chaîne de valeur

étaient plutôt bien définis dans l'ère analogique, le numérique brouille les frontières, en favorisant la diversification des modèles économiques et l'émergence de rôles hybrides.

La révision prochaine des directives européennes sur le droit d'auteur, sur les services audiovisuels, sur le câble et le satellite, ainsi que leur future transposition en droit national, devront répondre à l'ensemble de ces problématiques, en trouvant un équilibre entre soutien aux modèles économiques et commerciaux innovants et protection des créateurs.

Enfin aux enjeux purement réglementaires, viennent s'ajouter les enjeux fiscaux. En effet, les crédits d'impôt importants, mis en place dans le domaine audiovisuel ou vidéoludique par d'autres pays producteurs, ont un impact important sur la localisation des entreprises et des projets de production.

L'audiovisuel

L'impact de la transformation numérique sur la pertinence de la réglementation est particulièrement visible dans le domaine de l'audiovisuel, où celle-ci est plus contraignante que dans les autres industries culturelles, en raison du système de soutien à la production mis en place au nom de l'exception culturelle.

Ce système, qui repose sur un ensemble de contraintes financières (obligation de financement de la production européenne/française) et commerciales (mise en valeur de l'offre européenne et française à travers des quotas de diffusion), est remis en cause par l'installation ailleurs en Europe d'éditeurs étrangers de services. En l'absence de principe de pays de destination, ils ne sont pas tenus de respecter les mêmes règles de soutien culturel que leurs homologues français et se retrouvent en situation de concurrence biaisée. De la même manière, ils ne sont pas contraints d'appliquer la réglementation sur la chronologie des médias, censée préserver la rentabilité des différents supports de diffusion (dont les salles de cinéma) en imposant un délai obligatoire avant la diffusion sur un support donné.

Ces réglementations, qui ont été mises en place pour promouvoir et défendre l'exception culturelle européenne, se heurtent également aux nouveaux modèles économiques et commerciaux apportés par le développement du numérique. Les quotas de diffusion freineraient l'apparition de services audiovisuels

thématiques, qui pourraient séduire des publics cibles de niche. De même, la chronologie des médias est accusée de promouvoir le piratage en réduisant l'attractivité des services de médias audiovisuels à la demande sur abonnement (SVoD), qui sont soumis à des délais minimaux de diffusion de 3 ans après la sortie en salle. La révision en cours de la directive sur les services de médias audiovisuels et celle de l'accord interprofessionnel sur la chronologie des médias seront l'occasion de répondre à ces problématiques.



Le secteur audiovisuel a également cette particularité d'être soumis à des contraintes de normes de diffusion, destinées à permettre l'accès de tous à la télévision hertzienne. L'État a, par le biais des normes qu'il impose au secteur hertzien par voie terrestre et qui se diffusent de fait aux autres modes de distribution, une influence considérable sur le rythme de déploiement des innovations dans le domaine. Ainsi la libération de la bande 700 MHz le 5 avril 2016 sera l'occasion d'encourager la généralisation de la haute définition (HD) et de préparer l'arrivée de l'ultra-haute définition (UHD), par l'introduction progressive des normes de compression et de diffusion les plus avancées (HEVC, DVB-T2).

Le jeu vidéo

Le jeu vidéo est un secteur qui, contrairement aux autres industries culturelles, montre une préférence pour l'autorégulation. Le système de classification des contenus en vigueur en France (PEGI ou Pan-European Game Information) a été créé par l'Interactive Software Federation of Europe (ISFE), qui représente les éditeurs de jeux vidéo en Europe. Bien qu'homologué par décret par les autorités françaises, ce système contraste avec celui qui domine dans l'audiovisuel, où

ce sont un établissement public (CNC) et une autorité indépendante (CSA) qui sont chargés de la classification des contenus.

L'autorégulation domine également dans le domaine des pratiques commerciales, et notamment celles employées par les jeux *free-to-play*. Ce modèle économique s'appuie sur des jeux gratuits au sein desquels s'intègre un principe de micro-paiements par le biais de boutiques virtuelles. L'intégration de vente (objets, argents...) dans un jeu se décrivant comme gratuit est prise pour cible au Royaume-Uni, par la Commission européenne et en France. Cela n'a pour l'instant donné lieu qu'à l'émission de règles de bonne conduite par l'OFT anglais, tandis que la France n'a pas annoncé d'initiative en propre. En réponse à ces contestations et aux actions de groupes aux États-Unis, les principaux opérateurs de plateformes concernés, Apple et Google, ont pris des mesures destinées à informer les utilisateurs de l'existence de microtransactions dans les jeux et à bloquer les achats intempestifs par des utilisateurs non avertis (enfants en particulier). Cependant le régulateur, en la personne morale de l'ARJEL (Autorité de Régulation des Jeux d'Argent en Ligne), pourrait s'intéresser aux entreprises de jeux vidéo, si celles-ci continuent de flirter avec les jeux d'argent⁴.

Enfin, avec la popularité croissante de l'e-sport, la question d'une reconnaissance officielle de cette nouvelle discipline se pose, avec tous les verrous réglementaires qu'elle pourrait aider à lever : possibilité d'organiser des tournois avec des récompenses monétaires, reconnaissance des sponsors dans les diffusions de compétitions, reconnaissance du statut des participants (visa pour les étrangers, revenus), etc.

L'édition

Les principaux enjeux réglementaires de l'édition tournent autour de l'application du principe de neutralité technologique au livre papier et à son équivalent numérique. Depuis sa condamnation en mars 2015 par la Cour de Justice de l'Union européenne, la France a dû appliquer un taux de 20 % au livre numérique, considéré comme un service numérique, au lieu du taux réduit de 10 % qui s'applique au livre papier. Cette différence de taux crée une iniquité de concurrence entre papier et numérique, qui nuit au développement du

4 – Comme le montrent les incursions menées par Konami et Zynga dans le domaine des jeux de hasard et de casino

marché du livre numérique en France. Seule une acceptation par l'Union européenne d'un taux unique permettra de résorber cette distorsion.

La question de la neutralité technologique se pose également dans le modèle de prêt en bibliothèques, qui est imposé par la loi dans le cadre du livre papier mais n'a pas été étendu au numérique. Les éditeurs avancent, pour justifier leur opposition à une extension de cette obligation au numérique, que le livre numérique ne connaît pas les mêmes contraintes que le papier (horaires fixes d'accessibilité, dégradation progressive, nombre limité d'utilisateurs simultanés). Si un accord a été trouvé fin 2014, sous l'égide du ministère de la Culture, celui-ci a été dénoncé par plusieurs associations de bibliothécaires en raison du coût exorbitant qu'il leur impose.

Enfin, la loi sur le prix unique du livre a été étendue depuis 2011 au livre numérique. Cette loi impose à l'éditeur de fixer un prix de vente de l'œuvre identique pour tous les revendeurs (en France comme à l'étranger). Mais elle se prête plus difficilement aux spécificités du numérique, où elle limite la possibilité pour les revendeurs de proposer des offres groupées, couplées entre numérique et papier ou encore des abonnements en accès illimité aux œuvres numériques sur le modèle d'une bibliothèque numérique. Ainsi, en janvier 2015, la médiatrice du livre a conclu à la légalité des offres illimitées, à condition que leur prix soit fixé additivement par les éditeurs qui les composent. Les négociations qu'elle mène depuis avec l'ensemble des acteurs du secteur pourraient permettre d'arriver à un compromis qui maintienne l'attractivité commerciale d'offres illimitées multi-éditeurs tout en respectant le principe du prix unique.

MARCHÉ

L'événement le plus marquant, intervenu dans le domaine des loisirs et de la culture ces 15 dernières années, est l'irruption des technologies numériques, qui continuent d'induire des changements profonds dans le secteur. L'abondance de l'offre et la mondialisation ont favorisé le développement de plateformes numériques intermédiaires, qui ont provoqué des bouleversements sans précédent de la chaîne de valeur et des rapports de force. En se posant comme simples outils de mise en relation directe du producteur et de son consommateur, elles présentent leur rôle comme celui d'une désintermédiation des intermédiaires

traditionnels. Cependant, en réalité, par leur rôle dans la mise en valeur de l'offre et par leurs négociations contractuelles avec les producteurs, elles constituent bel et bien de nouveaux intermédiaires sur le marché (phénomène de réintermédiation plutôt que de désintermédiation).

Ces plateformes occupent une place centrale de la chaîne de valeur, qui leur donne un pouvoir disproportionné sur l'ensemble du marché :

- comme cela a déjà été mentionné dans la partie « réglementation », l'effet de réseau inhérent au rôle de ces plateformes comme intermédiaire tend à favoriser des positions quasi-monopolistiques des plus importantes d'entre elles ;

- les plateformes tentent d'accroître cet effet de réseau en rendant le consommateur captif d'écosystèmes fermés lui fournissant tout ce dont il a besoin ;

- cette position dominante est encore accentuée par la rente de situation que leur confère la quantité importante de données qu'elles collectent sur les consommateurs et les producteurs de services et de contenus. Ainsi une nouvelle plateforme sera très désavantagée par rapport à une autre qui a accumulé des années de données comportementales sur ses utilisateurs.

Le marché, qu'il soit touristique ou culturel, se retrouve alors constitué d'une poignée d'intermédiaires dominant une masse de producteurs de contenus qui luttent pour être visibles sur ces plateformes. Une grande partie de la valeur se retrouve alors captée par les grandes plateformes du fait de deux phénomènes :

- leur position dominante, face à un grand nombre de petits acteurs qui dépendent de leurs algorithmes de recommandation ou autres outils de visibilité (comme les recommandations éditoriales sur l'Appstore), leur donne un pouvoir de négociation important qui leur permet d'obtenir des conditions commerciales avantageuses, comme le montre le conflit entre Amazon et les auteurs de littérature ;

- la multiplication de l'offre, sa grande disponibilité et sa faible visibilité tirent les prix des contenus et des services vers le bas et favorisent, dans le cas des produits dématérialisés, les modèles gratuits rémunérés par la publicité et les modèles freemium. Ceux-ci donnent alors une valeur croissante aux données

comportementales qui sont aux fondements de leur performance. Ainsi on observe un transfert de la valeur des contenus et services vers les données, souvent monopolisées par les plateformes.

L'enjeu pour le marché devient alors de maintenir des conditions de concurrence créatrices de valeur et d'innovation dans un contexte où :

■ les nouvelles plateformes innovantes se trouvent confrontées à des concurrents dominants armés d'une grande expérience du comportement des utilisateurs, d'un pouvoir de négociation important et s'étant assuré de la captivité de leur clients (par la non-portabilité des contenus par exemple) ;

■ les nouveaux fournisseurs de services et de contenus entrent sur un marché souvent saturé d'offres et dominé par des intermédiaires aux pratiques parfois prédatrices. Les compétences vitales sur ce type de marché peuvent alors être très éloignées de leur expertise première dans la production de contenus ou de services : maîtrise des algorithmes de recherche et de recommandation (SEO ou Search Engine Optimization), connaissance approfondie des nouveaux canaux de marketing et de leurs avantages respectifs.

Les producteurs de contenus et fournisseurs de service doivent également tenir compte de l'évolution géographique et démographique des marchés ciblés :

■ les pays émergents, en particulier la Chine, prennent une part croissante dans la consommation de produits culturels et touristiques. Cela implique, pour les entreprises, une adaptation linguistique et culturelle de leurs produits. Par exemple, les attentes chinoises en matière de modèles économiques dans le jeu vidéo sont extrêmement différentes de celles des occidentaux (réticence devant les jeux payants mais forte propension à acheter des objets dans les jeux qui témoignent de leur statut social) ;

■ le vieillissement des populations occidentales met la Silver Economie au cœur des stratégies commerciales des secteurs des loisirs et de la culture. Dès 2015, les 60 ans et plus assureront 54 % des dépenses de biens et services dont 57 % pour les loisirs⁵. 42 % des acheteurs de biens culturels ont 50 ans et plus, ce qui représente (en valeur) 38 % des dépenses.

5 – CGSP, décembre 2013, *La Silver économie, une opportunité de croissance pour la France*

Tourisme et Patrimoine

Le secteur du tourisme est particulièrement affecté par les modifications démographiques. Si les jeunes sont les plus nombreux à partir, les seniors alimentent davantage le marché du tourisme en raison de dépenses plus importantes (pouvoir d'achat plus élevé) et de séjours de plus longues durées.

La France est la première destination touristique mondiale avec 83,7 millions de touristes en 2014⁶, soit un marché de 134 milliards d'euros⁷.

Le secteur est largement influencé par les pratiques socioculturelles dont l'augmentation de la connectivité des populations. En conséquence, l'e-tourisme représente le premier secteur du e-commerce en France. Avec la pénétration croissante du smartphone (et dans une moindre mesure des tablettes) au sein de l'ensemble des populations, le m-tourisme connaît une croissance importante. L'usage est encore restreint puisque si 37 % d'internautes ont préparé leurs vacances depuis leur mobile en 2013, seuls 11 % ont finalisé l'acte d'achat⁸. Les acteurs du tourisme ont encore une présence relativement faible sur ces média (3 % des offices de Tourisme et 37 % des agences de voyage, et agences en ligne⁹) mais commencent à mettre en place diverses stratégies afin de conquérir ces marchés. Les agences de voyages, tour-operators et autres guides de voyage adaptent progressivement leurs offres pour s'adapter à une demande « connectée » via par exemple la création d'applications de « guides de voyage » interactifs avec la possibilité d'utiliser la géolocalisation.

Le nombre d'objets connectés passera de 62 millions à 21 milliards en 2020¹⁰ à l'échelle mondiale et le nombre de connexions entre objets communicants devrait progresser de 27 % d'ici à 2016¹¹. Les acteurs du tourisme intègrent donc ces nouvelles pratiques à leur offre avec les technologies du « sans contact » (NFC - *Near Field Communication*) donnant ainsi accès aux

6 – DGE 2015

7 – INSEE, 2011

8 – Fevad 2012

9 – DGCI, 2013

10 – Analysys Mason

11 – ABI Research

transports, aux espaces touristiques, aux billetteries événementielles, et des potentiels développements dans les accompagnements, de visite (mise en place à l'essai à Nice par exemple en 2014).

Cependant, le développement du m-tourisme est pour l'instant limité aux touristes français (voire européens) et exclut une part montante de nouveaux clients n'ayant pas forcément accès au réseau internet. Les enjeux liés au *roaming* constituent ainsi l'un des défis à relever pour le secteur tant d'un point de vue technologique que réglementaire. Les touristes issus des classes moyennes hautes des pays émergents représentent un segment de marché à ne pas négliger. (5 millions de touristes asiatiques en 2014¹² dont 1,7 million de touristes chinois, soit une clientèle qui a doublé entre 2010 et 2014 et qui connaît toujours la hausse la plus dynamique (+23 % en 2014)¹³).

Avec 21 milliards d'euros de chiffre d'affaires du tourisme pour la valorisation et le tourisme patrimonial, les musées et autres acteurs de la culture sont en partie intégrés au secteur du tourisme. Les musées français ont enregistré 60 millions d'entrées en 2013, auxquelles s'ajoutent les 16 millions d'entrées des monuments historiques¹⁴. Cependant, quelques musées et monuments (le Louvre, le Centre Georges Pompidou, la Tour Eiffel) concentrent la majeure partie des visites notamment étrangères. Afin d'étendre leur marché et de s'adapter à un nouveau public, ces derniers souhaitent cibler les usagers « connectés » en utilisant les technologies comme la réalité augmentée. Cela permet également d'améliorer l'accessibilité des musées et d'ouvrir leurs portes à des publics handicapés (malvoyants, sourds...) et aux enfants grâce à la dimension ludo-pédagogique. Les villes mettent également en place des activités touristiques (visites thématiques comme à Bordeaux ou Lyon, parcours à énigme) en lien avec la réalité augmentée et la gamification afin d'augmenter leur attractivité. Si la réalité augmentée concerne surtout le patrimoine culturel pour le moment, le patrimoine naturel fait également l'objet d'attention avec la volonté de développer des applications permettant par exemple de donner des informations sur la faune et la flore.

12 – DGE, 2015

13 – DGE, 2015

14 – Ministère de la Culture et de la communication

Les parcs de loisirs regroupant parcs d'attraction, parcs animaliers, parcs aquatiques, parcs à thèmes et plaines de jeux couvertes pour enfant, sont au nombre de 600 sur l'espace français. Les parcs de loisirs accueillent environ 30 millions de visiteurs par an ce qui représente un peu plus de 2 milliards d'euros de chiffre d'affaires annuel moyen, mais ces chiffres sont en grande partie le fait des majors (Disneyland, la Compagnie des Alpes avec le Futuroscope et le Parc Asterix, le Puy du Fou, le Zoo de Beauval)¹⁵.

Le sport

Depuis 2012, les ventes d'articles de sport et de services associés ont connu une croissance stable autour de +3 % qui porte le chiffre d'affaires du secteur à 9,6 milliards d'euros¹⁶.

Le marché français des équipements, textile et chaussures de sport a progressé de 3 % en 2014 à 10,8 milliards d'euros. Le marché est notamment porté par la chaussure de sport, en hausse de 8 % en valeur et le textile à + 1 %. Les pantalons de survêtement, pantalons courts, vestes coupe-vent/imperméables, tops stretch, doudounes sans manche et maillots de football bénéficient de hausses de plus de 5 %. En termes de disciplines pratiquées, le running, le basketball et les activités pratiquées en clubs de gym sont les moteurs de l'activité¹⁷.

Le marché de l'*outdoor* représente en Europe 16,3 milliards d'euros (en 2013) et malgré une stagnation voire une régression à l'échelle européenne, le marché français progresse modestement¹⁸.

Le marché du sport se concentre en particulier autour des accessoires de sport (chaussures et textiles). Le textile appliqué au marché du sport (qui représente 50 % du marché *outdoor* en moyenne) vise deux principaux objectifs : la performance et le confort. Les textiles chauffants par exemple connaissent une croissance annuelle de 50 % selon les industriels présents sur ce marché (Gerbing, Alpenheat 43).

15 – < www.veilleinfotourisme.fr >, consulté le 25/06/2015

16 – Ministère des Sports, de la jeunesse de l'éducation populaire et de la vie associative, 2013, Les chiffres clés du Sport

17 – DGE 2015

18 – NPD Group, 2013

L'ensemble du secteur voit également se développer le marché des textiles et équipements sportifs connectés et en lien avec celui-ci le développement de technologies liées au big data pour les sportifs. Ces nouveaux équipements permettent de suivre d'une part les performances et d'autre part l'état de santé des sportifs. S'adressant aussi bien aux sportifs de haut niveau qu'au grand public, le marché des objets connectés pour le sport devrait représenter 18 milliards de dollars à l'échelle mondiale d'ici à 2018.¹⁹

En 2013, une étude du CEA chiffrait à 33 % le pourcentage de personnes qui utilisent régulièrement leur téléphone mobile pour mesurer des données de santé. Une habitude qui devrait se développer car selon une étude Opinion Way, 53 % des Français pensent que les outils technologiques sont une aide dans la gestion de la santé et du bien-être.

De plus, l'ère du textile connecté semble s'ouvrir. Parmi les 9 solutions de la Nouvelle France industrielle, la solution « Objet connecté » intègre la question des textiles intelligents et connectés, reprenant ainsi l'un des 34 plans industriels lancés fin 2013 qui avait comme objectifs d'« Exploiter les opportunités offertes par les révolutions numériques et les nanotechnologies, grâce aux textiles intelligents et innovants ».

La production de contenu

Le marché de l'audiovisuel, du multimédia et la production de contenu est très mondialisé. Les marchés s'organisent aujourd'hui par bassins linguistiques et culturels, et par spécialisation de programme. Sous l'impulsion de la numérique et de la mondialisation, la production et la distribution des contenus se concentrent sur un nombre restreint d'acteurs mondiaux (Sony, Disney, Time Warner, Google, Bertelsmann, Vivendi, etc.), tandis que des bassins régionaux émergent (comme Bollywood). Parallèlement les coopérations internationales s'intensifient. Des milliers de programmes culturels se coproduisent et s'échangent sur des marchés globaux et dématérialisés. Les programmes produits par les multinationales des médias sont déclinés et adaptés aux goûts des marchés locaux. C'est là la forme moderne de la diversité culturelle que l'on nomme « *mondialocalisation* » (globalisation). Dans ce contexte, l'Europe, en l'absence de

marché unique perd chaque année, et depuis plusieurs années, 8 % de parts d'exportation.

Or, l'Europe, les États-Unis et le Japon représentent actuellement 80 % du marché mais ne devraient représenter d'ici à 2020 que 60 % de ce marché. Sa croissance est largement tractée par les BRIC et les pays émergents.

Usagers, producteurs, diffuseurs, développeurs, industriels, sont aujourd'hui à l'étape cruciale de la convergence numérique, née de l'interopérabilité et de l'interconnexion des technologies et des supports. Les usages et les modes de création de contenus s'en trouvent profondément modifiés. Jusqu'alors, l'utilisateur juxtaposait ses pratiques car la distinction entre médias était bien marquée quant à la nature des contenus. Dans un univers technologique interconnecté, le consommateur passe d'un média à l'autre de manière transparente pour y trouver le même type de biens et de services informationnels désormais libérés des contraintes liées au support technique (mobile, tablette, etc.). La convergence technologique va donc peu à peu conduire à la convergence culturelle entre anciens et nouveaux médias.

La multiplication des modes de consultation des contenus a ouvert la voie à des nouvelles formes de narration et de production à travers le transmédia qui favorise l'interaction, la participation et l'immersion du spectateur. Ce phénomène suppose également une adaptation des modèles économiques, ainsi que des compétences des créateurs. En réponse à ce contexte de convergence technologique et de mutations des usages, les contenus se sont faits multi supports, géolocalisés, ubiquitaires, communautaires ; ils se diffusent de plus en plus via des plateformes et bientôt via des objets communicants (*Internet of Things*).

La démocratisation des outils de production, la facilité de distribution sur les plateformes de contenus dématérialisés et l'apparition de sources de financement alternatives (crowdfunding par investissement ou par don) ont dans un premier temps provoqué une importante multiplication et une diversification de l'offre de contenus culturels. Des genres entiers avaient été écartés par les éditeurs qui s'étaient détournés des marchés de niche en raison des coûts de production croissants et sont réapparus sur les plateformes communautaires. L'afflux de nouveaux créateurs a également provoqué l'apparition de genres nouveaux,

19 – Juniper Research

notamment dans l'audiovisuel et le jeu vidéo. Dans le même temps, le rôle des éditeurs a été remis en cause, du fait de la capacité des créateurs à marketer et distribuer directement leurs œuvres aux consommateurs.

Cependant, l'offre devenue pléthorique a vite été confrontée aux limites de visibilité des plateformes, dont les algorithmes de recommandation, basés sur les usages et la popularité des œuvres, ne sont pas conçus pour faire sortir de l'ombre de nouvelles œuvres prometteuses. Au contraire, ces algorithmes encouragent une certaine bestsellerisation de l'offre en accentuant la popularité ou le caractère méconnu des contenus présents sur les plateformes. Ainsi :

■ La concurrence sur ces plateformes s'est opérée principalement par les prix, seul outil disponible à ces nouveaux auteurs pour enclencher l'effet d'entraînement dans la visibilité. Cette pression sur les prix n'a pas eu de limites, du fait du coût marginal négligeable des produits dématérialisés. En particulier, pour les marchés où la concurrence a été la plus brutale (presse, jeu vidéo mobile), ce sont maintenant les modèles freemium ou rémunérés par la publicité qui prédominent. Cette course vers la gratuité a été accélérée d'ailleurs par les pratiques encore fréquentes de piratage qui ont diminué la propension des consommateurs à payer pour leurs contenus (musique en ligne).

■ La boucle de rétroaction positive, créée dans la visibilité des œuvres par le mode de fonctionnement des algorithmes de recommandation, a eu pour effet de rendre encore plus imprévisible le succès des œuvres, qui, lorsqu'elles n'adressent pas un marché de niche déjà conquis, doivent compter sur l'effet de viralité pour se faire connaître.

■ La pression à la baisse des prix et la viralité ont contribué à diminuer encore le taux de succès d'une industrie déjà connue pour son risque. Par exemple, dans le jeu vidéo, alors que le taux de succès dans les jeux traditionnels à gros budget était d'environ 20 %, il est estimé à moins de 1 % pour le marché mobile.

Ce phénomène a eu et aura à court terme plusieurs conséquences :

■ une mortalité importante de petits acteurs au profit de quelques élus, qui auront tiré leur épingle du jeu de la viralité. Cependant, sur les marchés les plus volatiles, comme le jeu mobile ou les vidéos sur Youtube, un succès n'est pas une garantie d'une prospérité pérenne et les « one-hit wonders » sont nombreuses,

comme le montrent les difficultés des géants Zynga, Gameloft ou Rovio ;

■ un tarissement des sources de financement : les banques et les investisseurs traditionnels se détournent de ces industries jugées trop risquées. Quant au financement participatif, il souffre d'une désaffection du public, du fait de plusieurs phénomènes simultanés : échecs retentissants de campagnes phares, utilisation abusive des plateformes de crowdfunding comme outil marketing ou de mesure d'audience, report du risque par les investisseurs traditionnels sur les mécènes du crowdfunding (comme l'illustre la vente d'Oculus à Facebook qui a profité aux investisseurs entrés après le succès de la campagne Kickstarter) ;

■ un retour en force des éditeurs (chaînes Youtube, grands groupes de presse en ligne), dont l'expérience dans les campagnes de marketing traditionnelles et la capacité à absorber leurs coûts est redevenue un atout sur un marché saturé. Ces éditeurs ne sont pas toujours les acteurs traditionnels, devenus très frileux sur un marché risqué, mais parfois des acteurs nouveaux (producteurs Youtube tels que Maker Studios, éditeurs de « jeux indépendants » tels que Devolver Digital, grands groupes de presse en ligne du type Vox Media ou BuzzFeed).

Le rééquilibrage du marché par l'extinction de nombreux acteurs sera brutal, mais le foisonnement de l'offre demeurera et l'enjeu principal sera alors de rétablir une certaine prévisibilité de la rentabilité des projets. Celle-ci passe par des moyens de « trouvabilité » qui permettent à chaque public de trouver l'œuvre qui est susceptible de lui plaire, quelle que soit sa popularité. Ces outils de visibilité devront vraisemblablement reposer sur une combinaison des analyses d'achat et d'usage (à l'instar du magasin d'Amazon), des caractéristiques intrinsèques des œuvres (sur le modèle de la radio Pandora) et des recommandations de leaders d'opinions (comme tentent de l'implémenter les plateformes Steam ou Spotify).

Pendant ce temps, les médias traditionnels (chaînes de télévision, journaux papier, jeux vidéo à gros budget), qui cohabitent maintenant avec ce foisonnement de contenus numériques, doivent trouver leur place dans ce nouvel écosystème, en réinventant leurs modèles et en affirmant leur valeur ajoutée.

L'audiovisuel

Portés par les éditeurs de chaînes de télévision et les FAI, le streaming et la VOD représentent également un marché en plein essor pour la diffusion de contenu vidéo. Le marché a progressé de 3,8 % en 2014 à 250 millions d'euros. On compte à ce jour environ 90 services de VOD en France et force est de constater que l'effet NETFLIX n'est pas encore visible. On peut penser que dans les années à venir, les nouvelles offres (Netflix, EST,...) devraient booster ce marché.

Le marché français de la musique représente quant à lui 25 % des ventes numériques. Si l'ensemble du marché a perdu le tiers de sa valeur depuis 2007 et que ses revenus ont chuté de 5,3 % en 2014, le marché numérique progresse avec une hausse de 6 % de ses revenus entre 2013 et 2014.

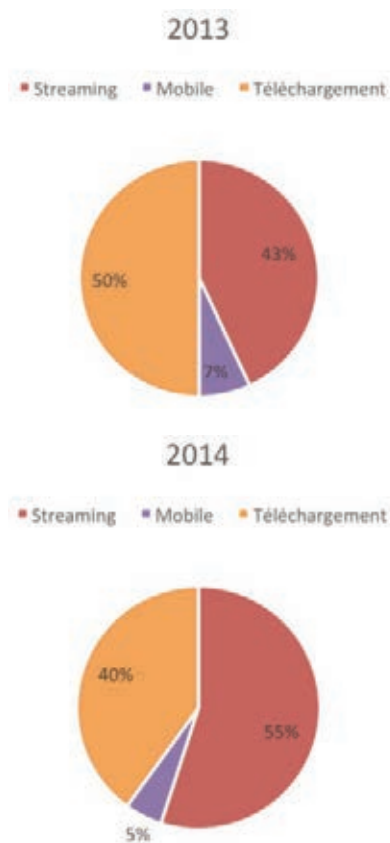


Figure 1 : Le marché numérique français de la musique - Répartition des revenus (sources : SNEP retraité par Erdyn)

■ Le téléchargement représente un peu moins de la moitié de la distribution numérique de musique avec sur le devant de la scène Itunes. Ce géant capte près de 80 % des revenus du téléchargement.

■ Le streaming est le secteur connaissant la plus importante progression en France mais aussi à l'échelle mondiale, les revenus du streaming ayant enregistré une hausse de 39 % en 2013²⁰ et 34 % en 2014²¹. Il représente aujourd'hui 16 % des revenus totaux de la musique. Le suédois Spotify et le français Deezer dominent le marché hexagonal, notamment grâce à leurs partenariats respectifs avec SFR et Orange dont l'offre mobile intègre l'accès au service de streaming.

Dans le domaine de la production, si la production audiovisuelle française (fiction, documentaires, animation, magazines, vidéoclips et spectacles vivants) se situe aux alentours de 900 millions d'euros, il faut aussi considérer les marchés des films *corporate*, des contenus pour sites web ou encore les films à usage publicitaire (700 films environ pour un chiffre d'affaires de 250 millions d'euros).

Le jeu vidéo

De même, le marché du jeu vidéo et des médias est à la fois en expansion et en mutation (évolution des supports et des pratiques). Sa croissance est limitée dans les pays matures (France, Royaume Uni, Allemagne, États-Unis...) avec une croissance de 4,1 % en 2014 mais les BRIC connaissent une croissance à deux chiffres notamment en Chine (12 %) ou au Brésil (10,6 %)².

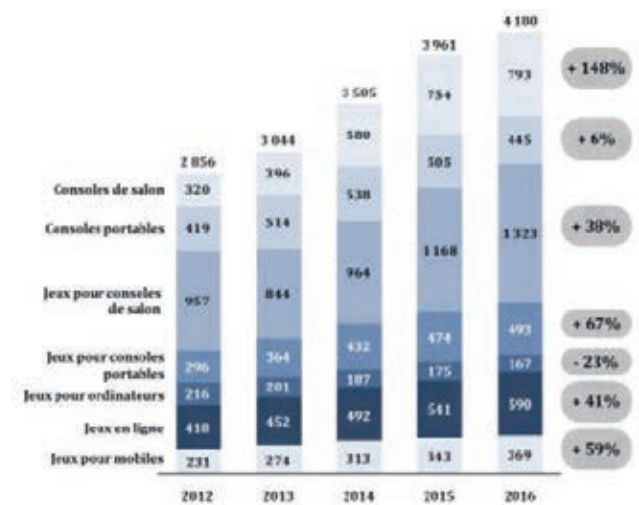


Figure 2 : Évolution du marché du jeu vidéo en France (M€) - IDATE - 2012

20 – Syndicat National de l'Édition Phonographique, 2014, *L'Économie de la production musicale*

21 – < <http://www.snepmusique.com> > , consulté le 12.05.2015

22 – IDATE, 2012

Avec un chiffre d'affaires de 2,7 milliards d'euros en France (2013) et 50 % de la population qui joue, le jeu vidéo est la deuxième industrie de loisirs française. Le dynamisme du secteur varie selon les supports avec des taux de croissance plus ou moins importants. Le *software* pour PC (physique et dématérialisé) représente 134 millions d'euros par an avec une tendance forte à la dématérialisation²³. Il faut cependant tenir compte de l'impossibilité d'évaluer avec exactitude les ventes dématérialisées sur PC, les principaux acteurs concernés ne communiquant pas leurs chiffres de vente. Cela induit une sous-estimation chronique du marché notamment avec la part grandissante prise par le *free-to-play*. Le développement de ce nouveau business model oblige les concepteurs de jeux à repenser leur pratique. La part croissante du jeu dématérialisé est liée à la mutation du marché et à un renversement de l'équilibre en faveur des plateformes mobiles : si l'ordinateur individuel représente toujours un peu plus de 50 % de l'offre des éditeurs français, le jeu sur mobile (*smartphone* et tablette) connaît une forte croissance à la fois en terme d'offre puisque plus de 30 %²⁴ de l'offre française est à destination des plateformes mobiles, que de pratique puisque 50 % des joueurs français jouent sur un *smartphone* ou une tablette²⁵.

Au sein de ce secteur, le *serious game* est lui aussi en développement avec une réappropriation dans divers secteurs (santé dans le cadre de rééducation et d'éveil ; formation et e-learning ; réappropriation par les musées et parcs d'attraction...). Avec une croissance annuelle de l'ordre de 47 % entre 2010 et 2015 et un marché français représentant 47 millions d'euros en 2012²⁶, le *serious game* connaît un essor important. Si le « boom » espéré s'avère moins important qu'attendu, le positionnement des acteurs français sur le marché reste un enjeu important.

L'édition

Parmi les secteurs liés à l'économie de contenu, c'est l'édition qui stagne le plus en France. Ses revenus sont relativement stables. Ils sont mesurés par les revenus nets des éditeurs (2,8 milliards d'euros en 2011²⁷) et

par les ventes en sortie de caisse (4,13 milliards d'euros en 2012²⁸). L'un des enjeux majeurs réside dans l'essor de l'édition numérique qui est encore marginale : 2 % du chiffre d'affaires des éditeurs en 2011²⁹ et 0,6 % du marché total du livre en 2012 (soit 21 M€³⁰). Elle pourrait atteindre 75 M€ en 2015. C'est très inférieur aux marchés américains et anglais, où le livre numérique atteint respectivement 20 et 15 % de la valeur. L'équipement croissant de la population en liseuse (500 000 unités fin 2013³¹) et en tablettes contribue à l'augmentation des ventes d'e-book mais dans une moindre mesure qu'attendu. Celles-ci devraient atteindre 20 % des ventes de livres d'ici 2017³². Le marché professionnel représente encore la majeure partie de l'activité (56 % soit 46 M€), mais sa progression a surtout été portée par la forte augmentation des ventes vers le grand public avec 44 % du chiffre d'affaires en 2014 contre 29 % en 2012. Cette augmentation est liée à la fois à l'augmentation de l'équipement de la population comme évoquée mais également aux évolutions des habitudes de lecture et à l'étouffement de l'offre des éditeurs. Les enjeux d'évolution de ce marché reposent sur ces deux derniers points. Cependant, le livre numérique, et notamment le livre enrichi grâce aux possibilités qu'offre ce support, suppose des coûts de production plus importants qui ne peuvent encore être totalement répercutés sur le prix de vente. Si le livre numérique bénéficie d'une diminution des coûts avec l'absence de point de vente, le rééquilibrage des coûts n'est pas encore effectif avec des coûts de communication plus élevés que dans l'édition traditionnelle. Qui plus est, les comportements d'achat sont très différents entre le secteur de l'édition traditionnel et le secteur de l'édition numérique. Mais les initiatives se multiplient depuis près de cinq ans pour créer les conditions de réussite de ce nouveau marché. Si Numilog, filiale de Hachette qui distribue des livres numériques, existe depuis 2008, citons le Labo de l'Édition, labellisé Paris & Co, qui cherche à développer l'innovation dans le domaine de l'édition. Parmi les sociétés incubées, la société FlameFy, qui développe un outil de *storytelling*

23 – Syndicat des Editeurs de Logiciels de Loisirs

24 – SNJV – IDATE, 2014, *Baromètre annuel du jeu vidéo en France*

25 – SELL 2015, *L'essentiel du jeu vidéo*

26 – IDATE, Digiworld, 2014

27 – Syndicat national de l'édition

28 – GfK, 2014

29 – Syndicat national de l'édition

30 – GfK, 2014

31 – GfK, 2014

32 – Xerfi, 2014, *La distribution de livres face aux enjeux du numérique - Prévisions et perspectives à l'horizon 2017, paysage concurrentiel et mutations de l'offre*

interactif, est emblématique de ce secteur qui cherche de nouvelles façons d'écrire, de nouvelles formes de narration.

PRODUCTION

Tourisme et Patrimoine

Le premier enjeu lié à la production d'offres touristiques et d'activités liées au patrimoine réside dans les nouvelles technologies utilisées telles que la réalité augmentée ou les enjeux liés à la ville connectée qui font nécessairement augmenter les coûts de production. Les grandes villes telles que Paris, Bordeaux ou Lyon misent sur ces nouvelles tendances pour étendre leur gamme de service. Bordeaux propose ainsi un parcours en réalité augmentée permettant de se balader dans la ville en retraçant son histoire. Lyon s'illustre en proposant le premier service de wifi de poche permettant aux touristes étrangers de rester connecté : il s'agit d'un boîtier fonctionnant sur le modèle d'une clé 4G (disponible à la location auprès du Pavillon ONLYLYON Tourisme). Cela offre ainsi aux étrangers la possibilité de profiter de l'ensemble de l'offre de m-tourisme local. Cependant, le secteur se caractérise par la présence de nombreux acteurs de taille modeste pour qui l'investissement nécessaire est trop important.

Le second verrou rencontré dans le secteur du tourisme concerne l'étude de la clientèle. Il est à la fois financier, technique et réglementaire et limite l'usage des données de téléphonie mobile pour « tracker » les flux touristiques. L'analyse des données de géolocalisation des téléphones portables représente un nombre d'informations important (origine des touristes, durée du séjour, lieux d'hébergement, mobilité touristique et excursion...) mais soulève en premier lieu la question de l'usage des données personnelles, bien que ces données soient anonymisées voire regroupées par l'opérateur de téléphonie (l'accès aux données sources n'étant pas légal). Le second problème réside dans l'obtention de ces données auprès de l'opérateur. Cela suppose un accord avec l'un des fournisseurs et donc un enjeu financier potentiellement important auquel s'ajoute l'absence d'interopérabilité entre les bases de données des différents opérateurs.

Qui plus est, le suivi des touristes par données de géolocalisation ne peut être effectif que dans les zones bien couvertes en termes de réseau, excluant ainsi les espaces ruraux et montagneux. Les touristes étrangers

sont également plus difficiles à suivre dans la mesure où ils ne sont pas nécessairement connectés.

Le sport

L'industrie des équipements sportifs est particulièrement concernée par la délocalisation et en particulier pour les activités « traditionnelles » comme la production textile. Décathlon par exemple réalise près de la moitié de sa production en Asie (Chine et Thaïlande)³³. L'augmentation des technologies incorporées au sein des produits est, selon la FIFAS (fédération française des industries sport & loisirs), un levier permettant de conserver une part de la production en France.

La production de contenu

La dématérialisation des contenus et leur coexistence éventuelle entre plusieurs formats ou avec leurs équivalents physiques oblige les entreprises traditionnelles des médias et de la culture à revoir intégralement leur processus de production de contenus, en changeant leurs outils, leurs formats ou l'organisation humaine ou matérielle de leurs chaînes de production. Au-delà des investissements matériels considérables que cela demande à des entreprises qui ont souvent des marges de manœuvre financière faibles, ces bouleversements imposent des ajustements dans la gestion des ressources humaines, qui incluent des formations à ces nouveaux outils mais aussi à de nouveaux métiers. Au vu des changements importants que la numérisation intégrale de leur chaîne de production impose et des risques financiers et commerciaux qu'elle comporte, la tentation est forte de se contenter de rajouter, par-dessus l'infrastructure de production traditionnelle, des processus peu optimisés de production numérique. Les entreprises sont alors confrontées à des coûts marginaux de production élevés et à des problèmes d'assurance qualité importants.

Ces bouleversements des processus sont rendus d'autant plus difficiles à gérer que s'ajoutent des étapes de traitement des contenus spécifiques au numérique (postproduction). Ces étapes doivent alors être intégrées de manière harmonieuse dans le flux de la production des contenus. Mais elles peuvent également faciliter le travail des créateurs traditionnels en accroissant l'information disponible lors du processus de création

33 – Dalila Messaoudi. Le territoire français à l'épreuve de la délocalisation des activités industrielles : le cas du secteur textile-habillement. Bulletin de la Société géographique de Liège, 2012

(prévisualisation des effets spéciaux, aide à l'écriture d'articles journalistiques). Elles nécessitent alors une formation spécifique des créateurs à leur utilisation.

Les différences de compétitivité entre les pays à bas coût structurel, ceux qui pratiquent des politiques d'incitation fiscale agressives et les autres provoquent des mouvements massifs de délocalisation des tâches à basse valeur ajoutée. Ainsi la numérisation de documents écrits, la réalisation de textures, d'animation ou de tests qualitatifs pour l'audiovisuel et le jeu vidéo sont majoritairement réalisées dans les pays émergents.

Ce mouvement pose d'importants problèmes économiques aux pays développés qui voient ainsi partir de nombreux emplois. Tout l'enjeu consiste alors, pour relocaliser en France ces emplois, à recentrer la production sur les tâches à forte valeur ajoutée, en automatisant avec des outils spécifiques (optical character recognition ou OCR, création procédurale d'assets 3D, etc.) celles sur lesquelles la France n'est pas compétitive. Ces développements d'outils impliquent des investissements importants, ainsi que l'acquisition de compétences inédites dans ces secteurs.

La délocalisation des tâches vient également amplifier l'effet de l'explosion des budgets et des équipes sur les processus de production. En effet, les productions les plus grosses, que ce soit dans le jeu vidéo ou le cinéma, impliquent une collaboration entre plusieurs studios, répartis sur l'ensemble du globe. La difficulté réside alors dans la création d'un processus de production et d'outils associés, permettant à ces équipes distantes de travailler simultanément ou séquentiellement sur les mêmes contenus. La tenue des délais devient alors très délicate, car le moindre bug dans les outils ou les procédures peut paralyser une grande partie de la chaîne.

A ces équipes professionnelles s'ajoute en outre la participation de plus en plus fréquente des communautés qui se forment autour de ces projets, selon le nouveau modèle de production par crowdsourcing. Cette participation peut aller d'une simple prise en compte en temps réel des retours de la communauté à la création d'une œuvre entière par la communauté, comme le tente actuellement le studio Epic sur son jeu Unreal Tournament.

Enfin, la conception de contenus est confrontée à un mouvement contradictoire de l'industrie sur le sujet des normes. Sur la partie traditionnelle de l'industrie, elle obéit de plus en plus à des normes standardisées, tant en termes de format et d'encodage (avec par

exemple la prédominance du MPEG4) qu'en termes de contenus en lui-même. Ainsi par exemple, les productions audiovisuelles françaises et notamment les séries s'uniformisent sur le modèle américain passant d'un format 90 min. à 52 min. et aujourd'hui tendent à diminuer à 40 min. Sur les nouveaux contenus numériques (livre numérique, réalité augmentée), c'est au contraire l'absence de standards qui complique parfois le développement des entreprises.

Audiovisuel

En raison des avantages fiscaux et autres *Tax Shelters* existant en Belgique, au Luxembourg ou au Canada, la production audiovisuelle française connaît un fort taux de délocalisation (60 %) ce qui est renforcé par l'internalisation des fonctions de postproduction par les agences. Le taux de délocalisation des tournages atteint 35 % au premier semestre 2012 selon la FICAM, dont 69 % pour les films à plus de 10 M€ de budget. Afin de remédier à cette fuite, le gouvernement a mis en place des aides via un crédit d'impôt pour dynamiser la production audiovisuelle et multimédia française et tenter de l'inciter à rester sur le sol français.

Jeux vidéo

Ces délocalisations vers le Canada concernent plus encore le secteur du jeu vidéo attiré par les mesures sociales et fiscales mises en place par le pays et qualifié par le SNJV de « dumping social et fiscal »³⁴. Produire un jeu au Québec permet de réduire les coûts de production de plus de 40 % par rapport à une production française. La concentration de la production de jeux autour des pôles traditionnels (Asie, États-Unis, Canada) continue de se renforcer.

L'édition

Le principal défi dans le secteur de l'édition est relative-ment similaire avec des enjeux liés à la reconfiguration des chaînes de production pour s'adapter au numérique et ce d'autant plus que produire un livre enrichi est souvent plus coûteux alors que le marché n'est pas encore prêt à en payer le prix. Ainsi en 2013, dans une étude réalisée par le site Slate, un consommateur se disait prêt à ne payer guère plus de 7 euros pour la version numérique dont la version papier serait de 18 euros.....

34 - < <http://www.culturecommunication.gouv.fr/Politiques-ministerielles/Industries-culturelles/Dossiers-thematiques/Le-jeu-vidéo> >, consulté le 20/03/2015

Les grandes tendances

TECHNOLOGIQUES

Les technologies liées aux TIC sont les plus prégnantes dans l'ensemble des secteurs traités. L'immersion et l'enrichissement numérique sont des tendances de plus en plus importantes que ce soit au sein des sites culturels ou dans la production audiovisuelle et multi-média. La réalité augmentée concerne aussi bien les secteurs des jeux vidéo, du tourisme ou encore de la muséographie. L'une des tendances majeures de la plupart de ces technologies consiste à proposer une nouvelle expérience utilisateur, et permettre à l'utilisateur d'aller toujours plus loin dans un univers hyperréaliste.

La robotique de service s'invite elle aussi dans les secteurs des loisirs et de la culture. Pour l'instant de manière très ponctuelle, les robots se substituent aux guides et hôtesses. Cela suppose le développement des modes d'interaction homme-machine. Il peut intégrer des fonctions de reconnaissance faciale.

L'usage est au cœur des préoccupations et les apports technologiques sont fortement attendus au service de nouvelles expériences.

Tourisme et Patrimoine

Après la visite virtuelle, aujourd'hui les visites deviennent interactives avec par exemple la préparation numérique de la visite, la création de parcours adaptés aux visiteurs ou pour aller encore plus loin l'immersion à une autre époque, en un autre lieu. Cela passe pour l'instant au travers d'un écran de type tablette mais l'interface a vocation à s'effacer voire à disparaître grâce à des lunettes stéréoscopiques (Cluny propose à ses visiteurs une salle en immersion et lunette stéréoscopique pour reconstituer la grande église disparue), à la présence d'hologrammes, du 3D naturel ou encore par le biais de l'immersion sensorielle. La modélisation 3D permet également aux acteurs du patrimoine d'effectuer des travaux de restauration et de conservation.

Le *Big Data* et le *datamining* représentent aujourd'hui un fort potentiel pour le tourisme en terme d'analyse de marché : qui vient, pour combien de temps, que vont-ils voir, comment se déplacent-ils ? Permettant ainsi aux professionnels du tourisme d'anticiper les tendances du marché et d'adapter leur offre face à des affluences de fréquentation sur le modèle du *yield* et du revenu management utilisé dans les transports

aérien et ferroviaire. L'usage du *Big Data* donne ainsi naissance à de nouveaux systèmes d'information décisionnels permettant d'optimiser l'offre en termes de prix, de quantité, d'accessibilité...

Jusqu'à-là, les observatoires du tourisme utilisaient les traces physiques des touristes (fréquentation hôtelière, trafic autoroutier) et des panels de touristes dans le cadre d'enquêtes afin de recueillir les informations. Le recueil des traces numériques laissées par les touristes représente un potentiel important via le *tracking* c'est-à-dire le recueil des données de géolocalisation auprès des opérateurs de téléphonie mobile ou encore le suivi de publications de photographie des touristes sur les réseaux sociaux. Le système de *tracking* est également utilisé au sein de navires de croisière, permettant aux passagers de suivre leurs bagages.

L'enjeu majeur pour le secteur du tourisme réside dans l'adaptation de ces technologies et leur appropriation et intégration au sein des offres par l'ensemble des acteurs y compris de taille modeste, très nombreux dans le tourisme.

Concernant plus particulièrement les navires de croisière, ceux-ci développent des technologies spécifiques afin de réduire leur impact énergétique tout en améliorant leur performance : l'usage de nouveaux revêtements à base de silicium permettant de réduire la friction, le développement de nouveaux systèmes de propulsion au GNL (Gaz Naturel Liquéfié) ou d'équipements de récupération du carburant réutilisable leur permet de réduire leur consommation de carburant. Les navires nouvellement construits sont équipés de *scrubbers* (épurateurs de fumées) afin de réduire les émissions de polluants dans les fumées...

Le sport

Le sport utilise lui aussi les technologies du *Big Data* en lien avec l'exploitation des données issues des capteurs de plus en plus présents (analyse des données de santé, de performance, d'efficacité...). Le développement des technologies de capteurs est, dans ce secteur, lié au développement des textiles techniques et notamment des textiles intelligents intégrant les capteurs aux équipements ainsi que des outils de géolocalisation (équipements de sport d'hiver par exemple). La valorisation des données massives a un double impact sur le sport de haut niveau : cela permet d'analyser, adapter et améliorer les performances d'un joueur ou d'une équipe et

dans un second temps, cela modifie la perception du sport par les supporters de plus en plus connectés qui ont ainsi accès à davantage d'informations en temps réel. L'impact sur les pratiques des amateurs réside davantage dans leur lien avec le développement des objets connectés et des stratégies marketing associées pour suivre leurs performances et progressions (en effectuant des statistiques personnelles, le *quantified self*) que dans le fait de pratiquer en toute sécurité.

Les technologies liées aux textiles intelligents sont variées et passent également par la capacité de ceux-ci à générer, stocker et rediffuser l'énergie et la chaleur.

La production de contenu

Les enjeux liés à la mobilité et au multi-support sont très présents. La multiplication des services interactifs hybrides (via la norme HbbTV notamment) conduit à des modifications dans les modes de conception des contenus, ceux-ci devant s'adapter et être transposables entre le *online* et le *offline*, les divers écrans (écran secondaire sur tablette par exemple). Il est donc indispensable de lever les verrous technologiques qui brident encore l'interopérabilité et l'interactivité des contenus. Les formats hybrides, les outils de création procédurale, les outils de production et de diffusion de contenus immersifs par exemple constituent des éléments dont le développement conditionne le déploiement de la production de contenu. Les technologies de conception de contenu, les technologies immersives, l'analyse comportementale sont ainsi influencées les unes par les autres (cf. fiches correspondantes).

Le jeu vidéo

Le jeu vidéo utilise les technologies afin d'augmenter l'interactivité et le réalisme. La recherche de l'immersion est la tendance la plus présente. Il en découle le développement de multiples technologies liées à la réalité virtuelle, la réalité augmentée, la réalité mixte... Des briques technologiques participent de cette recherche de réalisme comme la capture faciale et celle des mouvements, la génération procédurale (de formes 3D, de textures, d'animation, etc.), la simulation du réel par les moteurs de jeu (simulation de lumière, de fluides, de comportements individuels ou de groupe, physiques, de tissus, etc.) et dans les studios virtuels, les technologies de retour haptique, de reconnaissance vocale... (cf. Fiche Technologies Immersives). Si le jeu vidéo cherche à immerger toujours

plus le joueur, son développement passe également par la compréhension des comportements de jeu. Il s'appuie ainsi sur des procédés d'analyse prédictive ou d'intelligence artificielle : le jeu vidéo est un pionnier dans la valorisation et l'intelligence des données massives par le biais du *game analytics*.

INDUSTRIELLES

Du fait du périmètre étendu du secteur Loisirs et Culture, il est difficile d'établir une chaîne de valeur spécifique. Le domaine des loisirs et de la culture est avant tout constitué d'une offre de service et de production de contenu. Toutefois cette révolution numérique a généré plusieurs changements disruptifs: la dématérialisation des contenus et des supports, la délinéarisation de la chaîne de valeur, une mutation complète des usages et l'avènement progressif de la convergence numérique.

Tourisme et patrimoine

Par définition, production de service et consommation sont largement corrélés dans le secteur du tourisme. Cependant, l'offre de tourisme français doit faire face à la concurrence internationale. Le développement touristique au sein de nouvelles destinations en Europe centrale, dans les pays baltes ou encore en Chine détourne les flux touristiques de la France. Ces destinations disposent de services de plus en plus similaires et à moindre coût (pouvoir d'achat plus important pour les touristes étrangers et main d'œuvre bon marché). Cette tendance est renforcée par les facilités de circulation (en termes de transport mais aussi de visas).

La production de contenu

La localisation d'une production induit une « coloration culturelle » du contenu. La délocalisation de la production de contenu soulève deux enjeux majeurs : la souveraineté culturelle d'une part et d'autre part la nécessité d'adapter les procédés de production afin de prendre en compte la nécessaire adaptation du produit. Cette problématique économique majeure liée à la capacité à adapter le produit au lieu de consommation et à lui faire perdre sa coloration initiale implique une prise en compte dès la conception. Cela est particulièrement prégnant concernant les grosses productions de jeux vidéo avec par exemple l'adaptation du faciès du personnage ou des couleurs (la symbolique du blanc par exemple n'a pas du tout la

même signification en Europe et en Asie). Il est clair que sur les grosses productions, il existe cependant une répartition des tâches entre plusieurs prestataires souvent spécialisés (nettoyage des plans, animation de personnages, décors...). Cela contribue à une certaine automatisation de tâches et une réduction parfois du *time to market*. La tendance actuelle est donc double, la création de contenu tend à être de moins en moins marquée culturellement afin de plaire au plus grand nombre à l'export, et dans le même temps, les produits ne doivent pas devenir trop standardisés au risque de ne pas être appréciés.

La production collaborative est également une tendance qui vient modifier les modes de production grâce à des outils numériques de plus en plus adaptés et sécurisés (comme le cloud, les outils de stockage...). Le secteur de l'audiovisuel (vidéo comme musique) mais aussi celui du jeu vidéo voient également leur production se démocratiser de manière foisonnante grâce à des plateformes d'hébergement comme Youtube ou Dailymotion (comme en témoigne l'augmentation du nombre de chaînes sur Youtube).

L'audiovisuel

Les producteurs de contenus audiovisuels doivent faire face à la concentration des fournisseurs d'outils de production (ex : le quasi-monopole d'Adobe et d'Autodesk sur de nombreux segments comme l'imagerie 2D et 3D). Malgré la multiplication de divers concurrents, la Creative Cloud d'Adobe n'a pas encore été égalée et ce bien que son modèle économique basé sur l'abonnement soit critiqué, modèle qu'Autodesk adopte progressivement pour ses diverses applications. Il faut également tenir compte des aspects industriels de cette industrie avec notamment les plateaux de tournage, machinerie... qui peuvent induire des lieux de tournage multiples. Il faut aussi évoquer plusieurs outils déjà existants en production tels que les studios virtuels (beaucoup utilisés en télévision) ou encore les multiples possibilités d'insérer des acteurs virtuels ou avatars dans les contenus. Ces technologies continuent d'évoluer pour apporter un réalisme de qualité ou proposer des nouveaux types de contenus. La prévisualisation, qu'elle soit d'objets 3D ou non, fait l'objet de plusieurs dossiers de R&D en cours.

Le jeu vidéo

Le secteur du jeu vidéo bénéficie lui aussi d'une démocratisation des outils de production avec le

développement de plateformes et de *frameworks* mettant à disposition des outils de développement comme Unity ou Allegorithmic. Cela permet à de petits studios de produire mieux, plus vite et à moindre coût. Cela se développe dans le même temps que la production collaborative. Ces deux tendances permettent à des acteurs de taille plus modeste d'être plus compétitifs sur la scène nationale par la mutualisation des compétences.

L'édition

Le livre numérique, s'il induit un surcoût de production pour les éditeurs classiques (liés à l'apport de valeur ajoutée, aux apports du transmedia... mais aussi fait d'un changement et d'un équilibrage des coûts non encore répercutés), permet de faciliter les démarches des auteurs qui peuvent ainsi s'auto-éditer.

D'USAGE

Comme déjà évoqué, ce qui influence en premier lieu les secteurs des loisirs et de la culture est la connectivité galopante des populations. Cette tendance devrait se poursuivre (en lien avec l'augmentation du nombre d'objets connectés). Le déploiement des réseaux Internet et la libéralisation des réseaux de télécommunications ont multiplié les supports de distribution, de diffusion et d'accès aux contenus. Les médias d'audience se sont vus peu à peu concurrencés par des médias d'accès qui ont renversé les usages. Le public jusqu'alors passif est devenu actif, interactif, voire producteur, multipliant des pratiques pluri plateformes, nomades, ubiquitaires, communautaires (médias sociaux, blogs, forums, etc.). Le déploiement des réseaux Internet et la libéralisation des réseaux de télécommunications ont multiplié les supports de distribution, de diffusion et d'accès aux contenus. Les contenus étant devenus des data infiniment transférables et appropriables, certains consommateurs confondent droit d'usage et droits d'auteurs et agissent comme des passagers clandestins (piratage). On constate chez les utilisateurs une incompréhension de la chaîne de valeur et des droits. Les principaux phénomènes de consommation constatés sont :

- La consommation en mobilité sur différents terminaux et à tout moment
- Cet éclatement favorise la consommation simultanée de plusieurs contenus. Ainsi environ 80 % des personnes possédant un terminal mobile intelligent le consultent en regardant la télévision, dans 30 %

des cas pour consulter des informations en lien avec l'émission en cours sur le flux

■ Le rôle de la prescription est majeur dans le succès d'une œuvre

■ L'interaction (sociale ou avec le contenu) et la contribution: recommandation, notation, annotation. Une dérive induite par le « *user generated content* » et le non professionnalisme des créateurs/contributeurs serait une production de contenus de qualité inférieure et peu objective

Tourisme et Patrimoine

Selon l'OMT, les pratiques touristiques d'ici à 2020 devraient s'harmoniser entre pays et faiblement se modifier : on retrouvera toujours en premier lieu le tourisme balnéaire suivi du tourisme sportif d'hiver et d'été, du tourisme de découverte et d'aventure, le tourisme de nature... Il ne serait donc pas nécessaire de modifier l'offre actuelle mais de la réadapter aux attentes du public. De même, le grand enjeu pour les musées réside dans leur intégration à l'ère numérique. Le musée devient participatif ainsi que centre de ressource en ligne (via par exemple la numérisation des œuvres). Dans leurs pratiques, les acteurs des loisirs intègrent également cette connectivité en interne par la mise en place d'espaces de travaux collaboratifs (permettant par exemple les travaux simultanés au sein de différents musées).

La production de contenu

L'audiovisuel

Le secteur de l'audiovisuel est également concerné par la multiplication des supports : les productions à destination des flux classiques (télévision et radio) doivent s'adapter aux nouveaux modes de diffusion (ordinateur, tablette, téléphone) et aux pratiques délinéarisées (VOD, Replay, Streaming, Podcast...). Ces nouvelles pratiques introduisent une nouvelle concurrence pour les acteurs classiques (chaînes de radio, télévision) avec l'émergence des plateformes de VOD, la multiplication des chaînes Youtube... qui s'adaptent en conséquence en proposant une offre multi-plateforme ou encore des expériences télévisuelles interactives avec la possibilité d'interagir avec un programme en direct via une application tablette ou *smartphone*.

Le jeu vidéo

Le secteur du jeu vidéo connaît une modification de ses usages avec d'une part le déploiement des supports *smartphone* ou tablettes, faisant croître considérablement le nombre de joueurs. D'autre part, le développement du jeu en ligne modifie également les dynamiques de marché : 36 % des jeux (gratuits ou payants) sont désormais des jeux en ligne. À cela s'ajoute le développement d'un nouveau modèle économique lié aux nouveaux usages du consommateur: avec le *free-to-play* ou *freemium*, le consommateur souhaite de plus en plus essayer avant d'acheter voire ne souhaite plus payer pour le jeu. Il se déploie sur l'ensemble des supports : PC, Console, *smartphone* et tablette. Réservé à ses débuts aux petits acteurs et aux jeux pour *smartphone* (en moyenne, plus de 90 % des jeux du Top 20 de l'App-Store sont des *free-to-play*), des géants du jeu vidéo comme Blizzard ou Ubisoft développent dès à présent leurs nouveautés sur le modèle du *free-to-play*.

Qui plus est et en lien avec le vieillissement de la population des joueurs, les jeux s'adaptent à la diminution du temps à consacrer au jeu avec la naissance de session de jeu courte à la fois sur *smartphone* et tablette avec des jeux comme CandyCrush ou Hearthstone mais également sur PC avec Left4Dead ou League of Legend.

Ce dernier jeu est également l'une des stars des deux dernières tendances du secteur : l'E-sport et le streaming de jeux vidéo. Le jeu vidéo voit en effet se développer le nombre de tournois internationaux donnant lieu à des retransmissions sur les chaînes spécialisés. Le joueur devient en effet spectateur soit en suivant les compétitions, soit en visionnant des productions d'autres joueurs (pro-gamers ou non) diffusées sur des plateformes comme Youtube ou spécialisées comme Twitch (appartenant à Amazon) dont la finalité est tout à fait différente : faire découvrir ou découvrir un jeu en même temps que le spectateur.

De nouveaux usages des joueurs introduisent également des enjeux technologiques nouveaux : le retour au « *couch coop* », c'est-à-dire au jeu multi-joueurs sur un même écran (par rapport au jeu en réseau) implique pour les créateurs des jeux de permettre le split d'écran tout en conservant une qualité suffisante. D'autre part, les pratiques liées notamment aux jeux mobiles, ont poussé au développement des jeux multi-joueurs asynchrones ou des jeux en réalité alternée. Pour ce dernier, le *smartphone* permet de suivre le joueur grâce à la

géolocalisation notamment et de lui offrir des informations (via des QR codes par exemple) sur le monde qui l'entoure lui permettant de poursuivre le jeu.

La position de la France

INDUSTRIELLE

Le domaine des loisirs et de la culture est représenté en France par quelques grands leaders mondiaux implantés sur des secteurs bien définis (tourisme, sport, production audiovisuelle) ou des applications transversales (capteurs, photonique) :

Tourisme et Patrimoine

La France étant la première destination touristique mondiale, cela lui procure un atout considérable pour ses acteurs. La qualité de son hôtellerie et de ses installations est souvent mise en avant. Ainsi la France compte des géants du tourisme comme le groupe hôtelier Accor, premier opérateur européen et sixième mondial, présent dans 92 pays³⁵. L'un des objectifs d'Accor pour conforter et améliorer sa place réside dans « l'accélération en matière de CRM³⁶, de fidélisation et de digitalisation ». L'usage du *Big Data* est donc une des clés de sa nouvelle feuille de route.

La Compagnie des Alpes est quant à elle un acteur majeur de la production de loisirs actifs en Europe. Elle compte 11 domaines skiables des Alpes (Les Arcs, Val d'Isère...) et 15 parcs de loisirs dont le parc Asterix, le Futuroscope, Walibi. Elle cumule un chiffre d'affaires de 678 millions d'euros en 2013 et une progression moyenne de 4,4 %.

Cependant, le secteur du tourisme reste constitué en majorité d'une myriade de petits et moyens acteurs, qu'ils s'agissent des hôteliers, des restaurateurs ou des offices de tourisme des communes de taille moyenne. La mutualisation devient un élément central pour leur permettre de gagner en compétitivité et en visibilité en passant notamment par des plateformes de réservation.

Le sport

La France occupe actuellement la quatrième place mondiale dans le secteur du sport. Basée sur les résultats des sportifs de haut niveau, cette place met en

avant une activité importante mais aussi des infrastructures de haut niveau (stades, salles, stations de ski,...)

Concernant les fabricants d'articles de sport, Décathlon est leader dans son domaine. Le groupe réalise un chiffre d'affaires de 7,4 milliards d'euros en 2013 et connaît une croissance supérieure à 5 % chaque année depuis 2008. 58 % de son chiffre d'affaires est réalisé à l'international³⁷. L'innovation est au cœur de la stratégie de Décathlon aussi bien sur le textile (thermique, régulation de chaleur, anti bactérien...) que sur l'équipement (allègement des matériaux). On trouvera également des acteurs spécialisés dans les équipements sportifs connectés comme Babolat pour les raquettes.

Du fait de sa situation géographique, la France possède avec les Alpes l'un des plus importants domaines skiables du monde. Cela a une incidence forte sur les acteurs industriels avec des sociétés leaders dans leur domaine comme POMA (infrastructures, télécabines,...), Salomon, Rossignol ou encore TechnoAlpin, leader mondial de la neige artificielle.

Hykob est spécialisé dans les capteurs et ce pour différentes applications dont les systèmes inertiels et de positionnement (permettant par exemple le suivi des performances sportives, l'orientation et cap d'objets mobiles), l'amélioration de la production médiatique et notamment sportive (acquisition de données très précises en temps réel). C'est un des projets de Hykob avec le groupe ASO et le Tour de France mais leur activité majeure touche aux capteurs urbains.

Enfin, plusieurs clusters existent, contribuant ainsi à fédérer des acteurs autour de la R & D, du développement international (Outdoor Sport Valley, Sporaltec, Eurosima ou encore Sport et Bien être/Euralens)

La production de contenu

Que ce soit dans le cinéma, la production audiovisuelle, l'animation ou encore le jeu vidéo, la France est considérée comme l'une des nations leaders au niveau mondial. Cette position est due à plusieurs atouts indéniables que de nombreuses nations nous envient :

- la créativité et la fameuse French Touch
- la qualité de nos écoles de formation (graphisme, ingénieurs, informatique)

35 – < www.accor.com >, consulté le 25/06/2025

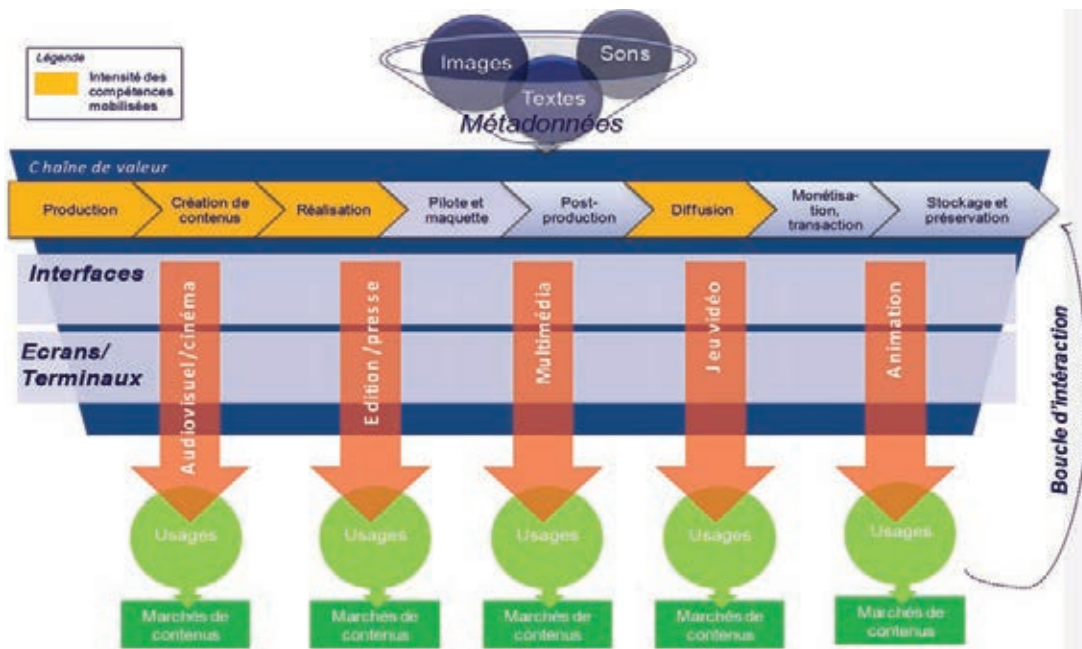
36 – Customer Relationship Management

37 – < <http://corporate.decathlon.com/> >, consulté le 25/06/2015

- un tissu industriel de qualité
- un environnement favorable et sensible à la création

La vision de nos professionnels tout comme leur niveau de formation sont ainsi considérés comme des atouts et nos ingénieurs et créatifs sont ainsi « chassés » dès les remises de diplômes par les grands acteurs américains et canadiens. Mais tous ne répondent pas aux sirènes nord-américaines.

La chaîne de valeur des contenus numériques est complexe, mettant en œuvre des aspects technologiques et industrielles à tous les niveaux : création, conception (outils et méthodologie), production, format et encodage, diffusion et désormais monétisation. La France est présente sur l'ensemble avec des acteurs de taille souvent hétéroclites.



Parmi les acteurs industriels majeurs, Technicolor est une entreprise spécialisée dans la conception et la fabrication de systèmes de vidéo et d'image numériques. Elle travaille principalement sur les technologies immersives et de réalité augmentée. L'entreprise cherche également, afin de conforter son dynamisme récent, à renforcer et étendre la couverture géographique du groupe afin de réaliser des gains d'échelle ou d'avoir accès à un écosystème plus large. Après plusieurs années délicates, c'est aujourd'hui un des leaders mondiaux de la création de contenus et des effets spéciaux pour l'audiovisuel en général (cinéma et télévision).

Concernant la réalité virtuelle, Homido et Archos sont bien positionnés bien qu'ils ne soient pas leaders sur le marché des casques de réalité virtuelle. Infinteye, start-up française devenue Starbreeze Paris en juin 2015 après son rachat par les studios suédois Starbreeze AB, dispose d'un projet qui pourrait le porter

sur le devant de la scène : bien qu'il ne soit qu'au stade de prototype contrairement aux autres technologies, son casque dispose d'un champ de vision bien plus large que ses concurrents. Light and Shadows se positionne également sur le marché de la réalité virtuelle et des technologies immersives : s'il se positionne davantage sur le secteur du B2B et à destination des industriels (automobiles, aéronautiques...), sa technologie peut être appliquée au secteur des loisirs et de la culture.

Contrairement à la réalité virtuelle, la réalité augmentée est un marché plus segmenté, composé de multiples briques technologiques et ne faisant pas émerger de leader pour le secteur des loisirs et de la culture. Des acteurs d'autres secteurs comme Total Immersion, pionnier dans son domaine, Diotasoftware, Artefacto, Optinvent, Laster ou quelques start-up comme AugmenteDev tirent leur épingle du jeu et contribuent au développement de la technologie

dans le secteur des loisirs et de la culture (cf. Fiche Technologie Immersive). Ils travaillent à la fois pour le BtoB (avec par exemple des applications d'aide à l'aménagement de point de vente, d'espace de tourisme) et le BtoC (application smartphone et ordinateur pour la vente, lunettes de réalité augmentée à destination du grand public). Chacun développe de nouvelles technologies de réalité augmentée en lien avec la géolocalisation, les applications médicales ou le marketing digital... (cf. Technologies Immersives).

Audiovisuel

Concernant les studios de production, la France compte quelques leaders européens disposant d'une visibilité de plus en plus internationale comme Mac Guff pour la production d'effets visuels numériques et notamment le 3D Relief ou Solidanim, Team TO et GeBeKa sur l'animation. La France dispose d'une place de leader sur la scène cinématographique internationale et est notamment le 2^{ème} pays exportateur pour ce qui concerne l'animation. En termes de compétences techniques, Thales Angénieux est un fabricant mondialement reconnu d'optiques de précision offrant les meilleurs objectifs pour la production cinématographique ou télévisuelle (et dans une moindre mesure pour le secteur de la sécurité), la société travaille également sur les capteurs 3D. 70 % de son chiffre d'affaires est réalisé à l'étranger. Au niveau des prestataires techniques, il faut mentionner le rôle majeur du groupe Euromédia au niveau européen, leader de la prestation de services audiovisuels (car régies, liaisons HF, studios de tournage,...)

Ces contenus étant de plus en plus complexes et lourds en termes d'images 3D notamment, les outils d'encodage sont au cœur de la diffusion. 2 acteurs français se sont fait une place significative sur ce créneau. Envivo a ainsi développé depuis près de quinze ans une compétence forte autour du MPEG4 alors que tous les acteurs concurrents se préoccupaient encore du MPEG2. ATEME, initialement prestataire de service autour des matériels électroniques, s'est concentré depuis plusieurs années aussi sur le MPEG4, qui sera la norme internationale haute définition en 2016.

En ce qui concerne la diffusion, force est de constater que les grands acteurs globaux internationaux (Google, Apple, Amazon et Facebook) occupent une place prépondérante sur les marchés. Pour ces

derniers, les contenus sont avant tout, comme les données personnelles de leurs utilisateurs, un « carburant ». Ces acteurs globaux ont pour point commun de tirer leurs revenus et leurs profits de l'exploitation d'un réseau d'activités investissant chaque segment de valeur et se renforçant mutuellement : vente d'espaces publicitaires, exploitation des données personnelles, vente de terminaux, *cloud computing*, etc. La distribution / diffusion de contenus, notamment culturels, n'est qu'une « brique » parmi d'autres, au milieu des bouquets de services (moteur de recherche, messagerie, réseau social, stockage et partage de documents, etc.) que ces « plateformes » offrent aux internautes. Sans grands égards pour les auteurs, les artistes et les intermédiaires de la chaîne de création, les plateformes cherchent à limiter au maximum le coût du carburant que constituent pour elles les contenus. Ainsi, l'un des principaux enjeux de l'exception culturelle à l'heure du numérique est de promouvoir le développement d'un tissu de services culturels numériques puissants et indépendants, qui ne puissent devenir de simples produits d'appel pour des plateformes globales.

Le secteur français de l'audiovisuel dispose d'acteurs de premier ordre parmi les diffuseurs avec par exemple la plateforme de streaming Deezer ou le service d'hébergement, de partage et de visionnage de vidéo en ligne Dailymotion. Ce dernier appartient aujourd'hui à la multinationale française Vivendi, deuxième groupe de divertissement mondial qui regroupe Canal+, Universal Music Group. Dans une moindre mesure mais connaissant un taux de croissance élevé, Qobuz est une plateforme de streaming française proposant des titres dans des formats permettant d'éviter la perte (FLAC, Apple Lossless...). Les acteurs français en particulier du secteur de la musique restent cependant très en retard concernant les technologies liées au format. Des Think Tank comme Nouveaux programmes ont vu le jour, ce dernier a mis en place quant à lui une mutualisation de l'accès aux données stratégiques (marchés, concurrence...) afin de permettre aux TPE et PME françaises du secteur de l'audiovisuel et plus particulièrement travaillant sur les formats d'être compétitives sur la scène internationale. On peut également citer le Forum Blanc (tous les ans en janvier au Grand Bornand) qui se veut un Think Tank autour des nouveaux contenus, organisé en collaboration active avec Imaginove et le

Fonds des Médias du Canada (FMC), l'équivalent du CNC pour le Canada.

En ce qui concerne les plateformes de VOD, le marché de la VàD reste relativement concurrentiel : on dénombre, en février 2013, 75 éditeurs de services de VàD actifs en France (hors hébergeurs, télévision de rattrapage et plateformes spécialisées dans les films pour adultes).

En 2012, sept plateformes touchent plus de 10 % des consommateurs de VàD payante. Le marché est dominé par les offres des FAI et des chaînes traditionnelles, qui occupent 5 des 6 premières places en termes d'audience (FAI : la VoD d'Orange, Club Vidéo de SFR ; chaînes de télévision : CanalPlay, MyTF1Vod, Pass M6). C'est lié au poids de la TV sur IP, qui représente 77 % des transactions payantes et 69 % du marché. L'offre d'Apple (iTunes Store) fait toutefois une percée sensible (17 % des consommateurs de VàD payante déclarent avoir utilisé cette plateforme en 2012). L'essor de la télévision connectée pourrait amplifier ce phénomène et menacer les positions des FAI et des chaînes de télévision. L'arrivée en France du service de VàD par abonnement Netflix n'a pas bouleversé l'équilibre du marché français comme annoncé³⁸. Si les chiffres sur le nombre d'abonnés français restent flous, ils sont estimés entre 500 000³⁹ et 750 000⁴⁰ quand CanalPlay était à 600 000 au printemps 2015. La médiatisation de Netflix a de plus servi ses concurrents en donnant plus de visibilité à la VoD. Cependant, la taille internationale de ce dernier lui permet de négocier plus facilement les catalogues et donc d'étoffer son offre, d'autant qu'il dispose également de productions exclusives, y compris françaises, ce qui n'est pas le cas de CanalPlay. L'évolution tant du catalogue que technologique (avec le passage à l'ultra HD) de Netflix laisse à penser qu'il pourrait prendre de nouvelles parts de marché dans les années à venir pouvant aller jusqu'à 2 millions d'abonnés d'ici à 2019⁴¹.

Jeux vidéo

Dans le domaine des jeux vidéo, le champion français est Ubisoft. Il s'agit du troisième éditeur indépendant

de jeux vidéo dans le monde, qui développe de nombreux jeux en interne. Avec des best-sellers comme *Assassin's Creed*, *Just Dance*, ou encore *Rayman*, il réalise un chiffre d'affaires supérieur à un milliard d'euros⁴². La société se développe aujourd'hui sur iOS et Android au travers du modèle *free-to-play* avec le lancement de *CSI – Hidden Crime* (développé dans les studios d'Abu Dhabi). Les 29 studios d'Ubisoft sont implantés en France (Montpellier, Annecy, Montreuil), en Chine (Shanghai) et depuis peu à Abu Dhabi, cette dernière localisation doit permettre à Ubisoft d'étendre son marché sur la zone Moyen-Orient. Le plus important studio se trouve à Montréal et – outre le développement des jeux – est centré sur les opérations en ligne, la sécurité en ligne, la capture de mouvement. Quantic Dream est quant à lui un studio reconnu pour sa technologie de capture de mouvement. Tout comme Arkane Studio, ces développeurs ont créé des triples A qui font leur renommée (*Heavy Rain* pour le premier, *Dishonored* pour le second). Il est cependant difficile de les situer sur la scène mondiale dans la mesure où leurs éditeurs sont étrangers. Les recettes des jeux sont donc imputées à ces éditeurs. Ainsi par exemple, Eugen System, studio indépendant, a développé les jeux PC *Ruse* ou *Wargame*, édité par Ubisoft pour le premier et Focus Home Interactive pour le premier volet de *Wargame* (*European Escalation*).

Ce dernier est le premier éditeur français et se place sur la seconde marche du podium mondial avec des succès tel que *Farming Simulator*, les différents *Sherlock Holmes* ou encore le *Tour de France*. On peut également citer *Just for Game* et *Big Ben* dans le top 20 des éditeurs mondiaux de jeux pour consoles et PC⁴³. A ces acteurs du jeu vidéo, s'ajoutent ceux centrés uniquement sur le jeu pour plateforme mobile ou réseaux sociaux tel que *Kobojo* (*Pyramid Valley*, *Mutants Genetic Gladiators*), *Pretty simple* (*Criminal Case*, *Magical Ride*, *My Shops*), *Oh Bibi* (*Motor World: Car Factory*), *Royal Cactus* (*Sleepy Wings*), *Scimob* (*94 seconds*, *94 Degrees*, *94 percent*, *Word Academy*)...

L'édition

Le paysage français de l'édition est principalement constitué d'une multitude de petites et moyennes maisons d'édition disposant chacune d'une ligne

38 – Rapport Lescure

39 – Cabinet IHS

40 – Future Source Consulting

41 – Cabinet IHS

42 – < www.ubisoftgroup.com >, consulté le 25/06/2015

43 – SELL – L'essentiel du jeu vidéo 2015

éditoriale propre afin de se différencier face à la concurrence, y compris du livre numérique.

Le groupe Hachette est le principal éditeur de la scène française avec plus de 150 marques d'édition en littérature, éducation, dictionnaire, encyclopédies... et un chiffre d'affaires en 2012 de plus de 2 milliards d'euros. Il réalise 35 % de son chiffre d'affaires en France, 22 % au Royaume-Uni et autant aux États-Unis⁴⁴. Sa troisième place sur la scène internationale (5^e en tenant compte de l'édition professionnelle) s'appuie essentiellement sur les rachats d'éditeurs étrangers comme Hodder Headline au Royaume-Uni ou Time Warner Book aux États-Unis. Viennent ensuite des acteurs centrés principalement sur le marché français comme Éditis (600M€ de CA) qui, bien que devenu espagnole, regroupe les acteurs majeurs de la scène française Robert Nathan, Laffont ou encore Plon, le groupe Gallimard-Flammarion (421M€) dont les deux entités se positionnent en 48^e et 46^e position mondiale⁴⁵ ou Média Participation (388M€).

Le secteur de l'édition numérique compte également un grand nombre de petits et moyens acteurs. Ce foisonnement induit un renouvellement important des acteurs que ce soit au sein des distributeurs (librairies en ligne comme Feedbooks, Epagine, Actialuna, Izneo) de taille modeste comparée aux géants comme Amazon ou iTunes, des fournisseurs de technologies ou de terminaux (Beingenious ou encore Bookeen et son Cybook qui tente de rivaliser face au Kobo canadien ou au Kindle américain).

ACADÉMIQUE

Le CEA-List (Intelligence Ambiante –Systèmes Interactifs) par exemple, travaille sur la 3D et ses applications en réalité augmentée, sur l'analyse vidéo, sur la linguistique et l'analyse sémantique multilingue de documents pour des applications d'indexation, de veille... Ces applications ne sont pas directement liées aux univers de la production multimédia ou des jeux vidéo mais peuvent y trouver de nombreuses applications. Il en va de même pour le GIPSA-Lab (Grenoble Image

Parole Signal Automatique) qui s'intéresse aux systèmes linguistiques et machines parlantes, aux enjeux liés à l'interface Machine-Cerveau.

Tourisme et Patrimoine

L'Institut de Recherche et d'Études Supérieures du Tourisme, rattaché à l'Université Paris I – Sorbonne, se concentre sur l'analyse des différentes thématiques en liens avec le tourisme et structure l'Équipe Interdisciplinaire de Recherche sur le Tourisme (EIREST). Cette dernière travaille sur les enjeux liés au patrimoine culturel, à l'image et l'imaginaire et aux enjeux de la métropolisation et de l'influence sur le tourisme. A cela s'ajoute un axe transversal de recherche : « Méthodes : Enquêter, Mesurer, Évaluer (M.E.M.E.) ».

La Fondation des Sciences du Patrimoine assure la gouvernance du LabEx PATRIMA qui regroupe plus de 200 chercheurs issus de laboratoire de l'Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines, de l'Université de Cergy-Pontoise, du CNRS, du CEA, ainsi que de grandes institutions patrimoniales comme le Louvre, le Musée du Quai Branly, le musée de Port Royal... Ce LabEx vise à rassembler sciences de l'homme et sciences exactes autour des enjeux de l'ensemble de la chaîne des savoirs et savoir-faire liée au patrimoine, de la restauration, numérisation à la médiation du patrimoine.

Le sport

Dans le secteur du sport, la recherche se concentre principalement sur les usages et pratiques ou encore sur le lien entre santé et sport comme à Rennes 2 au sein du laboratoire Mouvement, Sport Santé (M2S). Ce dernier étudie les mécanismes et effets du sport, mais travaille également à l'amélioration du rapport bénéfiques sur risques de la pratique physique. Le Centre de recherche et d'innovation sur le sport (CRIS), rattaché à l'Université Claude Bernard de Lyon 1, dispose d'un axe de recherche sur la « Performance Motrice, Mentale et du Matériel » (P3M).

Venant faciliter l'innovation, la collaboration entre les structures de recherche et les entreprises et entre les entreprises elles-mêmes, plusieurs clusters viennent animer les réseaux de l'industrie du sport de montagne avec le cluster montagne et Outdoor Sports Valley ou de glisse avec EuroSIMA Cluster

44 - < <http://www.hachette.com/fr/presentation/chiffres-cles>>, consulté le 23/06/2015

45 - < <http://www.publishersweekly.com/pw/by-topic/industry-news/financial-reporting/article/58211-the-global-60-the-world-s-largest-book-publishers-2013.html>>, consulté le 23/06/2015

La production de contenu

Le LabEx ICCA (Industries culturelles et création artistique. Numérique et Internet) est un « laboratoire d'idées au cœur des industries culturelles, de la connaissance et de la création artistique⁴⁶ ». Il regroupe les problématiques liées aux industries culturelles (presse, radiotélévision, musique enregistrée, édition, cinéma, audiovisuel, nouveaux médias, jeu vidéo, etc.) et industries connexes (industries éducatives, ingénierie documentaire, data mining, etc.) ainsi qu'à la création artistique. Il a pour objectif de définir de nouveaux modèles économiques, de régulation, analyser la transformation juridique et l'essor de nouveaux usages ou marchés. Il se concentre donc sur les questions liées par exemple au format et au support (taille et multiplicité des écrans pour les différentes productions multimédia). Le LabEx a également vocation à tisser un lien entre les recherches qui y sont menées, les usages présents ou émergents qui peuvent en être faits au travers par exemple de la pédagogie numérique. Les membres du LabEx spécifiquement concentrés sur les industries créatives ou les technologies s'y rattachant sont :

■ Le LABSIC (Laboratoire des sciences de l'information et de la communication), rattaché à l'université Paris Nord, dispose d'une thématique sur les

« Industries culturelles, éducatives et créatives : reconfiguration des secteurs et logiques émergents ». Il s'agit « d'étudier d'où vient (et ce qui fait) la cohérence de chaque filière, ce qui en justifie l'appartenance à l'ensemble des industries culturelles, mais aussi ce qui, dans cet ensemble, laisse subsister d'importants clivages et conflits, et détermine, à l'occasion de la grande remise en question liée aux mutations numériques, les stratégies de multi-médiatisation et de multi-valorisation des grandes firmes du secteur.⁴⁷»

■ L'Institut de recherche sur le cinéma et l'audiovisuel (IRCAV) qui aborde les problématiques économiques et sociologiques du cinéma et de l'audiovisuel.

■ Le CEISME (Centre d'Étude sur les Images et les Sons Médiatiques) qui étudie les genres, les programmes (télévisés, cinématographiques, radio et web), leur réception et leur histoire.

De même que dans le secteur du sport, divers clusters viennent structurer la filière de la production de contenu en facilitant la mise en place de synergie. On trouve ainsi des pôles de compétitivité comme Cap-Digital, Imaginove ou encore Images & Réseaux mais également des clusters de taille plus restreinte sur des secteurs plus ciblés comme CapitalGames sur le jeu vidéo, Pictanovo sur l'image ou PRIMI sur le transmedia.

46 – < <http://www.univ-paris3.fr/labex-icca-industries-culturelles-et-creation-artistique-numerique-et-internet-121888.kjsp> >, consulté le 02/02/2015

47 – < <http://labsic.univ-paris13.fr/index.php/labsic/les-thematiques-du-labsic> >, consulté le 02/02/2015

Analyse AFOM

ATOUTS

Quelques acteurs français parmi les leaders mondiaux

Une qualité de la formation reconnue à l'international

Soutien des pouvoirs publics à l'industrie cinéma et audiovisuelle qui lui permet d'être conquérante

Plusieurs acteurs de référence allient développement de briques technologiques et production de contenu

Créativité (French Touch)

FAIBLESSES

Nombreuses PME - Secteur fragmenté

Barrière linguistique et culturelle qui complique l'accès aux plus gros marchés mondiaux

Déficit de compétitivité par rapport aux pays émergents et aux pays ayant des politiques d'incitation fiscale agressives

Règlementation lourde et instable (dont droit d'auteur)

OPPORTUNITÉS

Marchés en croissance (jeux vidéo, tourisme, musées, sport)

Croissance du marché dans les pays émergents

Emergence de nouveaux segments de marché (contenus immersifs)

MENACES

Risque de délocalisation de la production lié aux coûts de production

Risque de délocalisation de la production lié aux incitations fiscales de certains pays

Manque de fonds propres

Nouvelles destinations touristiques

SOURCES

- CapDigital, 2014, *Cahier de Tendances, Marchés & Leviers*
- CNC, 2011, *Les pratiques de consommation de jeux vidéo des Français*
- Deloitte, 2014, *Les tendances du tourisme et de l'hôtellerie 2014*
- EY, 2013, *1^{er} panorama des industries culturelles et créatives – Au cœur du rayonnement et de la compétitivité de la France*
- Institut G9+, 2014, *Livre Blanc « 2020 : Où vont les industries françaises du numérique »*
- Lepers J-F ; Portugal J-N, CNC, 2013, *Avenir à 10 ans des industries techniques du cinéma et de l'audiovisuel en France, Une vision prospective*
- Ministère des Sports, de la jeunesse, de l'éducation populaire et de la vie associative, 2013, *Les Chiffres Clés du Sport*
- PIPAME, 2011, *Prospective du m-tourisme*
- Rapport Lescure, 2013, *Mission « Acte II de l'exception culturelle » - Contribution aux politiques culturelles à l'ère numérique*
- Rapport Reda, 2015
- Revue Espace Tourisme et Loisirs, n° 316 – janvier 2014, *Partage non marchand et tourisme - Big data, traces numériques et observation du tourisme*
- Revue Espace Tourisme et Loisirs, n°318 – Mai 2014, *Qualité, classement et avis de consommateurs - Le renouveau des musées*
- Revue Espace Tourisme et Loisirs, n°314 – Septembre 2013, *Réalité augmentée & patrimoine - Handicap et loisirs de nature*
- SELL, 2014, *L'Essentiel du jeu vidéo*
- SNJV, 2014, *Baromètre annuel du jeu vidéo en France*
- VICERAT P., ORIGET DU CLUZEAU C., Conseil National du Tourisme, 2009, *Le tourisme des années 2020*
- Xerfi, 2014, *Le marché des croisières maritimes*
- Xerfi, 2014, *La distribution de livres face aux enjeux du numérique - Prévisions et perspectives à l'horizon 2017, paysage concurrentiel et mutations de l'offre*

GLOSSAIRE

CLIA : Cruise Lines International Association, association internationale des compagnies de croisières

CNC : Centre national du Cinéma et de l'image animée

DROM-COM : Départements et Régions d'Outre-Mer et Collectivités d'Outre-Mer

F2P : Free-to-play – Jeu en ligne dont une partie ou son intégralité est jouable gratuitement

FICAM : Fédération des Industries du Cinéma, de l'Audiovisuel et du Cinéma

IREST : Institut de Recherche et d'Etudes Supérieures du Tourisme

NFC : Near Field Communication – littéralement communication en champ proche, technologie de communication sans-fil à courte portée et haute fréquence

PEGI : Pan European Game Information

SELL : Syndicat des éditeurs de logiciels de loisirs

SNJV : Syndicat National du Jeu Vidéo

VOD ou VàD : Video-On-Demand ou Vidéo à la demande

TECHNOLOGIES CLÉS

1

Matériaux avancés et actifs

LOISIRS
& CULTURE

ÉNERGIE,
MOBILITÉ,
NUMÉRIQUE

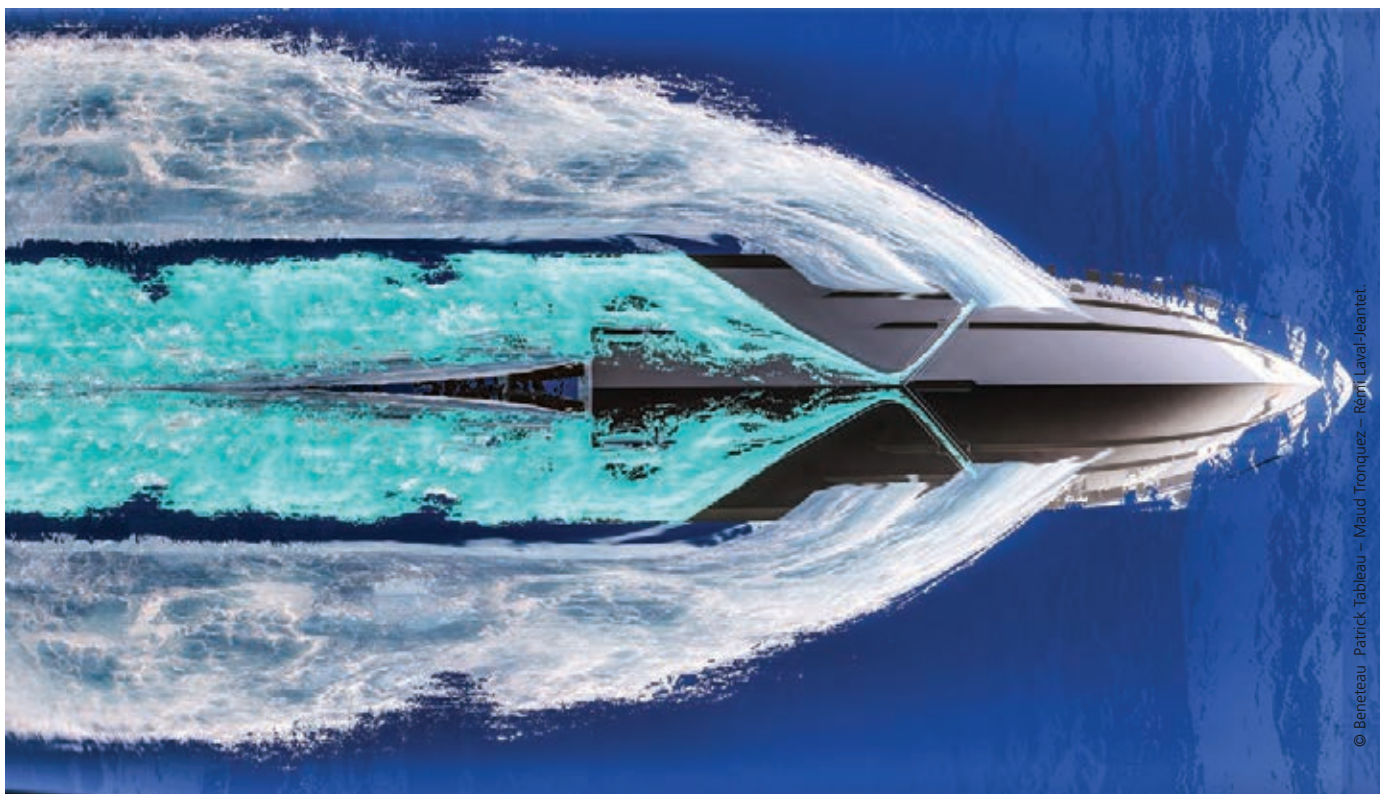
ENVIRONNEMENT, HABITAT,
SANTÉ ET BIEN-ÊTRE, SÉCURITÉ

ALIMENTATION

► Correspond à
une technologie clé 2015

MOTS CLÉS

Matériaux avancés,
matériaux fonctionnels,
matériaux actifs,
composites,
nanomatériaux



© Beneteau - Patrick Tableau - Maud Tronquez - Remi Laval-Jeanret.

Définition et périmètre

Les matériaux avancés désignent les matériaux fonctionnels, les matériaux à haute performance, les matériaux à haute valeur ajoutée, etc. Ils constituent une famille large de matériaux qui concernent de nombreux domaines d'application. Ils répondent à des besoins de hautes performances telles qu'une forte résistance mécanique, thermique ou à la corrosion par exemple.

Les matériaux actifs désignent les matériaux intelligents agissant directement sur leur environnement en ayant par exemple des propriétés antibactériennes, antistatiques, dépolluantes, autonettoyantes ou présentant des propriétés de conversion d'une énergie en une autre (matériaux pyroélectriques, piézoélectriques...).

Ces matériaux, qui sont opposés aux matériaux de commodité, ont en commun de posséder des fonctionnalités supplémentaires par rapport à la fonction première qu'ils apportent. Ils permettent ainsi d'améliorer les propriétés globales du système dans lequel ils sont intégrés comme par exemple la durabilité, l'efficacité, l'innocuité.

Pour bénéficier d'un référentiel exploitable, on se basera sur le marché des matériaux à haute valeur ajoutée, tel que défini par Oxford Research pour la Commission Européenne¹. Les matériaux inclus dans cette catégorie ont les particularités suivantes :

- nécessitent des connaissances poussées pour être développés et produits (« knowledge intensiveness ») ;
- possèdent des propriétés nouvelles, supérieures, sur mesure pour des applications structurales ou fonctionnelles ;
- ont le potentiel de contribuer à donner des avantages compétitifs sur le marché ;
- ont le potentiel d'adresser les grands challenges sociétaux définis, dans le programme Horizon 2020, par la Commission européenne dans le cadre de la stratégie Europe 2020².

1 – Oxford research, 2012 : *Technology and market perspectives for future value added materials*

2 – Exemples de grands challenges européens : santé, changements démographiques, bien-être ; sécurité alimentaire et bioéconomie ; énergie propre et efficace et à approvisionnement sécurisé

Oxford Research indique que les matériaux concernés couvrent les familles classiques de matériaux (polymères, matériaux métalliques, céramiques) et les nouvelles catégories de matériaux (matériaux composites, semi-conducteurs).

Oxford Research cite également la classification proposée par Moskowitz³ qui précise davantage les matériaux concernés :

- matériaux de bioingénierie ;
- alliages avancés ;
- céramiques avancées ;
- polymères techniques ;
- polymères organiques pour l'électronique (OPE) ;
- autres matériaux pour l'électronique ;
- revêtements avancés ;
- nanopoudres ;
- nanocarbones ;
- nanofibres ;
- couches minces ;
- composites avancés.

Quelques exemples sont donnés ci-dessous afin d'illustrer les types de matériaux concernés.

- Alimentation : emballages actifs (perméabilité/imperméabilité à l'eau, à l'oxygène, à l'éthylène par exemple) ;
- Habitat : verre électrochrome, matériaux dépolluants, textiles lumineux, matériaux à changement de phase pour l'isolation, surfaces photovoltaïques intégrées ;
- Santé : matériaux à libération contrôlée (thérapeutique, diagnostic), vecteurs thérapeutiques, dispositifs médicaux implantables ;
- Sécurité : exosquelette pour la défense en fibres de carbone et alliages de titane ;
- Mobilité : composites pour l'allègement des pièces ;
- Loisirs & culture : textiles intelligents (pour jeux immersifs par exemple).

3 – Moskowitz, S.L., 2009 : *Advanced Materials Revolution Technology and Economic Growth in the Age of Globalization*, John Wiley & Sons

Le sujet est donc très vaste. Cette fiche retrace les principaux matériaux par nature et par application, sans que les matériaux ou les débouchés n'aient toujours de relations entre eux.

Pourquoi cette technologie est-elle clé ?

Les matériaux sont à la base de tous les secteurs. Les rendre performants et les concevoir de manière à répondre de plus en plus spécifiquement à plusieurs besoins précis (au lieu d'un seul classiquement) augmente leur valeur ajoutée et contribue à leur déploiement ainsi qu'au développement des secteurs applicatifs.

Par exemple, les matériaux avancés sont utilisés pour les bétons bas carbone (dérivés de magnésium au lieu du calcium), pour les dispositifs médicaux implantables (films de fibroïnes, les protéines majoritaires de la soie), pour les pièces automobiles (composites polypropylène/fibre de verre).

Ainsi, il est clé de se positionner sur ce marché en forte croissance qui touche tous les secteurs d'activité à tous les niveaux des chaînes de valeur. Les matériaux à haute valeur ajoutée sont clés tant en termes de marchés propres qu'à travers leurs utilisations dans les applications qu'ils servent.

La technologie clé « modélisation, simulation et ingénierie numérique » (4) influence fortement les matériaux avancés car ces technologies permettent de prédire le comportement des matériaux sans passer par des tests laboratoire et offrent ainsi un gain de temps et d'argent.

Les capteurs (2) et les matériaux avancés s'influencent mutuellement dans le sens où de nouveaux besoins de performances sur les capteurs peuvent générer de nouveaux besoins en matériaux et inversement de nouveaux matériaux peuvent mener à de nouveaux marchés pour les capteurs.

La fabrication additive (9) est influencée par la nécessité de maîtriser finement les matériaux mis en œuvre, qu'ils soient métalliques, céramiques ou plastiques.

Les marchés

La dénomination « Matériaux avancés et actifs » étant sujette à interprétation, il est possible de trouver différents chiffres pour ce marché du fait de périmètres différents. Dans tous les cas, il est à noter que ce marché couvre une multitude de matériaux avec des propriétés bien spécifiques pour chaque application et représente donc la somme d'une multitude de segments de marché.

Liens avec d'autres technologies clés

Les matériaux avancés influencent :	Domaines d'application	Les matériaux avancés sont influencés par :
/	Alimentation	/
/	Habitat	/
Capteurs (2) Microfluidique (17)	Santé	Capteurs (2) Fabrication additive (9) Cobotique et humain augmenté (10)
Capteurs (2)	Sécurité	Modélisation, simulation et ingénierie numérique (4)
Fabrication additive (9)	Mobilité	Modélisation, simulation et ingénierie numérique (4)
Capteurs (2) Fabrication additive (9)	Loisirs & culture	Capteurs (2) Fabrication additive (9)

Le marché total des matériaux à haute valeur ajoutée est estimé par Oxford Research à 150 Md € en 2015 et 186,1 Md € en 2020. Les secteurs applicatifs principaux sont⁴ :

- l'environnement (les technologies d'efficacité énergétique pour la protection de l'environnement en représentent 40 %) avec 38,2 Md € en 2015 et 48 Md € en 2020 ;
- les TIC avec 38,8 Md€ en 2015 et 46,6 Md€ en 2020.

⁴ – Oxford research, 2012 : *Technology and market perspectives for future value added materials*

D'ici à 2020, les secteurs à plus forte croissance devraient être l'énergie et les secteurs transverses. Au contraire, la

santé et les TIC devraient être les secteurs les moins dynamiques (tout comme entre 2008 et 2015).

Taille du marché des matériaux à haute valeur ajoutée (Md €)	2008	2015	2020	2030	2050
Énergie	7,1	14,3	18,9	37,0	175,7
Transport	9,6	13,1	15,8	24,3	52,6
Environnement	24,6	38,2	48,0	86,8	352,2
Santé	27,0	32,1	37,4	55,0	115,2
TIC	29,6	38,8	46,6	70,7	152,2
Autres / transversales	3,6	13,5	19,3	42,2	250,8
Valeur totale estimée	101,7	150,0	186,1	316,0	1098,6

Figure 1 : Marché des matériaux à haute valeur ajoutée par secteur applicatif⁶

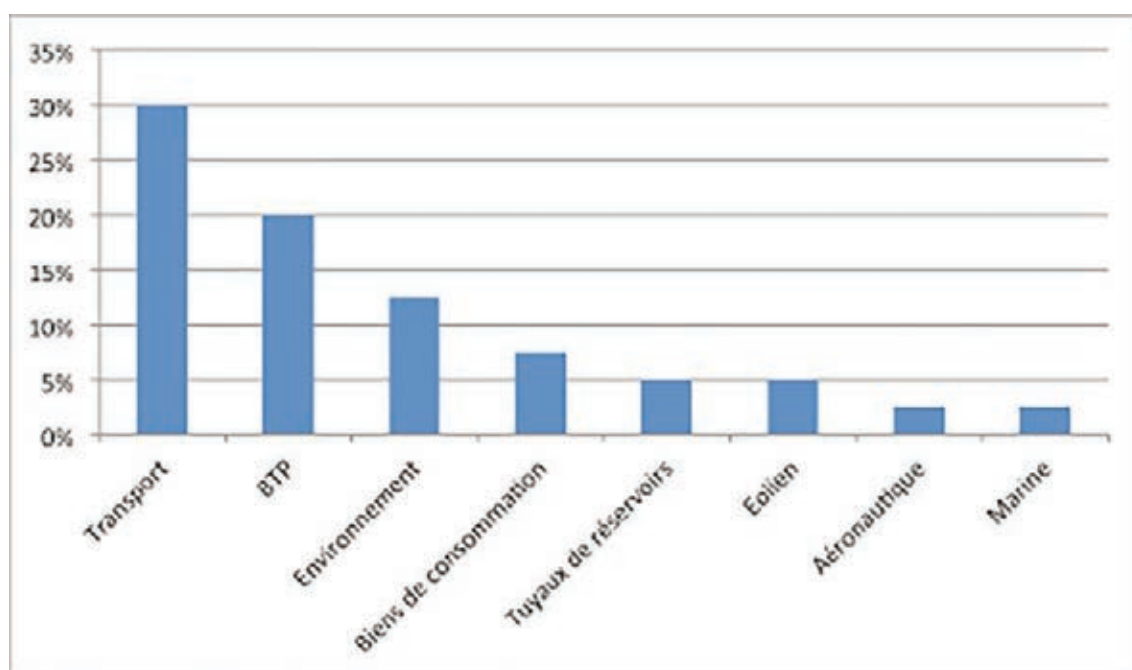


Figure 2 : Marché des composites par secteur client en France en 2012⁵

Le marché mondial des composites était de 7,3 Md \$ en 2012 et est estimé à 10,9 Md \$ en 2018, soit une croissance annuelle (CAGR) de 7 % sur cette période⁷.

Le marché français des composites en 2012 est de 2 Md € soit 300 000 t de composites commercialisés.

Les marchés applicatifs en France en 2012 étaient principalement les transports et le bâtiment⁸.

Le marché des nanomatériaux était estimé à 1,7 Md \$ en 2010 et projeté à 5,8 Md \$ en 2016 soit une croissance annuelle de 23 %⁹. Des craintes sur les conséquences sanitaires des nanomatériaux peuvent freiner cette expansion, en particulier en Europe, sans qu'il

5 – Oxford research, 2012 : *Technology and market perspectives for future value added materials*

6 – Fédération de la plasturgie et des composites, 2014 : *Panorama 2014*, d'après des données JEC

7 – Lucintel, 2013 : *Growth Opportunities in Global Composites Industry 2013-2018*

8 – Fédération de la plasturgie et des composites, 2014 : *Panorama 2014*, d'après des données JEC

9 – Lucintel, 2011 : *Global nanomaterial opportunity in energy and emerging trends*

n'émerge de réglementation spécifique. En France, la déclaration est toutefois obligatoire. Il est donc raisonnable de penser que le secteur verra encore une croissance d'ici 2020, pour un marché de l'ordre d'une dizaine de milliards de dollars.

Les défis technologiques à relever

Défis par grandes familles de matériaux

Verres et céramiques

L'industrie des verres et celle des céramiques proposent des matériaux avancés pour de nombreuses applications. L'industrie est fortement guidée par les impacts environnementaux, pour les marchés cibles d'une part, mais aussi pour leurs propres procédés, fortement consommateurs d'énergie et d'eau. Les développements des technologies de fours en particulier permettront de répondre à ces défis.

Les grands défis de ces deux secteurs sont aussi liés à l'augmentation de la durabilité des matériaux, afin de diminuer l'impact environnemental de la production sur l'ensemble de la durée de vie du produit. Le développement des techniques de recyclage est une attente majeure pour diminuer cet impact environnemental, avec par exemple des techniques de mise en forme basées sur la compaction de poudres.

Le développement de capteurs ou de matériaux actifs intégrés dans les céramiques forment les « céramiques intelligentes » capables de détecter la présence d'occupants et de mettre en place un éclairage ou un chauffage en conséquence.

Enfin, au niveau mondial, le secteur de l'énergie tire le développement de nouveaux verres (et de leurs revêtements) et de nouvelles céramiques techniques aussi bien pour l'énergie solaire (photovoltaïque, thermique) que pour l'éolien. Les céramiques sont aussi particulièrement exploitées pour les applications en santé.

Composites

Les composites sont notamment clés pour l'automobile, l'aéronautique et l'énergie éolienne. Ils répondent bien au besoin d'allègement des pièces et allient également de bonnes propriétés mécaniques. Les enjeux pour ces matériaux sont les suivants :

- augmentation de la durabilité et de la recyclabilité ;

— L'augmentation de la durée de vie passe par la tenue dans le temps des matériaux mais aussi par la mise au point de matériaux réparables.

— L'introduction des composites s'est largement faite en substitution de matériaux métalliques, qui ont vu aussi de leur côté leurs performances croître. Mais toutes les caractéristiques des matériaux ne peuvent être substituées. La durabilité et la recyclabilité des composites en sont des exemples frappants.

— En termes de recyclabilité et de réduction de l'empreinte carbone, l'introduction et le déploiement des fibres végétales dans ces matériaux représentent une tendance forte. Pour le moment, malgré les premiers succès d'intégration, ces fibres restent marginalement utilisées car elles posent des problèmes de fabrication, de durée de vie (faible résistance à l'humidité en général) et d'émission d'odeurs caractéristiques non acceptables (par exemple pour des véhicules particuliers).

- augmentation de la cadence de production ;

— ce n'est pas un sujet nouveau concernant les composites. Les développements en cours portent essentiellement sur le développement de CND (Contrôle Non Destructif) adaptés à de fortes cadences, telles qu'on peut en trouver dans l'automobile.

Matériaux métalliques

Le développement de nouveaux matériaux est principalement destiné aux marchés suivants : aéronautique, production d'énergie (matériaux constitutifs des turbines), stockage de l'hydrogène, construction navale, médical.

Il s'agit par exemple de superalliages et d'intermétalliques. Les superalliages sont des alliages qui ont une excellente résistance mécanique et une bonne résistance au fluage à haute température (typiquement 0,7 à 0,8 fois sa température de fusion). Les intermétalliques se distinguent des alliages classiques par leur microstructure.

L'un des enjeux liés aux alliages à haute performance est l'amélioration des performances spécifiques rapportées à la densité dans une optique d'allègement des structures, très présente dans l'aéronautique¹⁰.

10 – Pipame, 2015 : *Mutations économiques du secteur de l'industrie des métaux non ferreux – R&D et innovation*

De plus, la reproductibilité des propriétés des alliages est un fort enjeu pour garantir la fiabilité des pièces. Pour cela, le contrôle de la microstructure est essentiel. Cela se traduit donc par le choix d'un procédé d'élaboration adéquat et pour lequel les mécanismes qui entrent en jeu sont bien compris¹¹.

Nanomatériaux et matériaux nanostructurés

Les nanomatériaux ont connu ces dernières années de nombreux développements. Toutefois, les plus grandes avancées ont été réalisées au niveau de la recherche fondamentale. Au niveau industriel, le principal enjeu pour le développement des nanomatériaux est de créer de nouveaux procédés de production intégrés dans une chaîne de valeur des nanomatériaux¹².

Les enjeux court terme des nanotechnologies consistent à consolider les modèles de prédiction des propriétés des nanomatériaux, leurs procédés de production et leur intégration aux chaînes de production existantes.

En termes de fabrication, la priorité est de contrôler les propriétés des nanomatériaux lors de la fabrication et de développer des techniques bas coût pour les manipuler à l'échelle nanométrique et ainsi les intégrer comme constituants de systèmes nanoassemblés.

Modélisation

Une grande tendance est générale aux différents types de matériaux : la modélisation. Deux objectifs principaux sont visés dans le but d'accélérer le processus de développement des nouveaux matériaux :

- modélisation du comportement macroscopique à partir de propriétés microscopiques pour pouvoir prédire le comportement du matériau en fonctionnement ;
- modélisation et validation expérimentale pour prédire le comportement du matériau en fin de vie.

Pour cela, deux défis principaux existent :

- la gestion de données toujours plus nombreuses : les mesures expérimentales actuelles sont plus précises et davantage de paramètres sont mesurés. Il faut de ce fait adapter les modèles mathématiques. De plus, il faudra gérer et diffuser les bibliothèques de données

11 – Pipame, 2015 : *Mutations économiques du secteur de l'industrie des métaux non ferreux – R&D et innovation*

12 – EuMat, 2012 : *Strategic research agenda*

contenant une grande quantité d'informations sur les différents matériaux ;

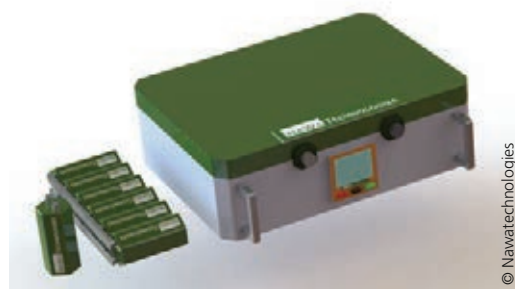
- l'optimisation de la modélisation et de la conception : un nouveau concept de logiciel a récemment été développé, PIDO (Process Integration and Multi-Objectives Design Optimization). Ce type de logiciel permet la formalisation et la gestion de flux à traiter en un procédé flexible et dynamique.

Outre la problématique de modélisation, les matériaux avancés et actifs regroupent des familles de matériaux bien distinctes avec des enjeux souvent très spécifiques du matériau considéré et/ou de l'application. Ainsi, les défis technologiques sont présentés ci-dessous par grande famille de matériaux.

Défis par applications

Matériaux pour les capteurs

L'un des enjeux majeurs dans le domaine des capteurs est la capacité à recevoir et émettre d'importants flux de données tout en consommant le moins d'énergie possible et en garantissant la fiabilité des données.



L'intégration des capteurs sur les plateformes CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) sera un grand défi pour les années à venir¹³. Cela inclura notamment le développement de capteurs basés sur des matériaux différents du silicium (comme les métaux semi-conducteurs des groupes III et V ou des matériaux plastiques) qui offrent de nouvelles fonctionnalités ou des coûts réduits.

De plus, de nouveaux capteurs basés sur des nanofils ou des nanotubes de carbone doivent être investigués en raison de leur potentiel pour améliorer la sensibilité des capteurs.

13 – Oxford research, 2012 : *Technology and market perspectives for future value added materials*

Par ailleurs, les progrès réalisés dans la synthèse de certains matériaux actifs (céramiques ou monocristaux piézoélectriques) permettent des avancées importantes dans le secteur des sonars, du CND¹⁴, des radars et de la récupération d'énergie ou des capteurs autonomes. Le domaine de l'optronique mobilise aussi de nombreux matériaux, aussi bien de l'électronique, que des céramiques ou des verres.

Matériaux pour la santé

Concernant les dispositifs médicaux de type prothèse ou implant, les enjeux matériaux s'articulent autour de trois thèmes¹⁵ :

- durabilité ;
- fonctionnalisation ;
- production.

La longévité des dispositifs et la restauration partielle des fonctions des tissus ou des organes sont clés. Notamment, afin d'améliorer la durée, la compréhension des cinétiques de (bio)résorption et l'étude de la toxicité des produits de dégradation permettra d'avancer sur cet aspect.

La maîtrise des propriétés de surface à l'échelle nanométrique (mouillabilité, adhésion des cellules, distribution des charges, (an)isotropie) est clé afin de garantir une meilleure intégration du dispositif dans le corps.

En termes de production, la reproductibilité des propriétés d'un lot à l'autre et la maîtrise des coûts de production (notamment à travers l'approvisionnement en biomatériaux à des coûts compétitifs) permettront d'améliorer la phase de production de ces dispositifs.

Pour les systèmes de libération contrôlée des médicaments, un système de biomatériaux capables de délivrer un médicament spécifiquement dans un tissu ou une cellule est requis. Une large littérature est aujourd'hui disponible montrant une libération contrôlée du principe actif à l'endroit souhaité. Il manque néanmoins de données relatives à leurs performances in vivo pour passer aux étapes de recherches cliniques¹⁶.

14 – CND : Contrôle non destructif

15 – EuMat, 2012 : *Strategic research agenda*

16 – EuMat, 2012 : *Strategic research agenda*

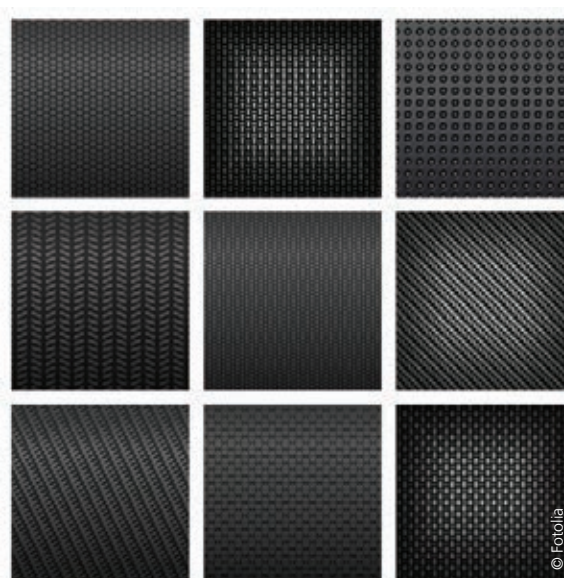
Matériaux pour l'électronique organique

Les applications de l'électronique organique se développent fortement. Les applications couvrent le textile, le packaging, jusqu'à l'automobile ou le médical.

Ce secteur recourt à des matériaux qui ont des propriétés conductrices, semi-conductrices, luminescentes, électrochromiques ou électrophorétiques. Les technologies portent aussi bien sur la sélection des matériaux (organiques purs ou nanoparticules métalliques) que sur la maîtrise des procédés, et notamment des technologies de dépôt et de revêtement.

Matériaux pour l'énergie

Pour la photovoltaïque, des matériaux avec de meilleures propriétés optiques et de plus hautes températures de travail sont nécessaires.



Les éoliennes off-shore et les systèmes de récupération de l'énergie marine sont construits pour résister dans des environnements très contraints où les réparations coûteuses représentent un véritable défi. En ce sens, les matériaux auto-réparant représentent un véritable enjeu pour la filière. De plus, l'augmentation de la puissance délivrée par ces systèmes nécessite des pâles plus grandes ayant un poids réduit pour fonctionner efficacement. Le développement de matériaux plus résistants à la fatigue (plastiques renforcés en fibres de verre et de carbone, incluant des nanoparticules) et de nouvelles architectures de matériaux et de procédés comme les constructions en sandwich sont clés ainsi que des solutions de tribologie durable.

Le stockage de l'hydrogène pourrait être un nouveau débouché pour les intermétalliques. Notamment Mg_2Ni s'avère être un bon candidat. Pour ces matériaux, un compromis entre capacité de stockage de l'hydrogène par le matériau, cinétique de sorption et température d'utilisation est nécessaire¹⁷.

Enfin, l'utilisation de terres rares pour réaliser des aimants permanents est aussi un sujet d'actualité (voir la fiche correspondante).

Les défis commerciaux et d'usage à relever

Les différents défis commerciaux sont liés de manière générale pour tous ces matériaux :

- À la protection des nouveaux matériaux par la propriété intellectuelle ;
- Au financement des PME ;
- Au passage à l'échelle industrielle.

Les matériaux à haute valeur ajoutée étant définis par leur forte intensité de connaissance mobilisée pour leur développement et par leur potentiel de création d'un avantage compétitif, il est clé de protéger ces atouts grâce à la propriété intellectuelle.

Analyse AFOM

ATOUTS

Présence d'acteurs des matériaux et de donneurs d'ordre qui sont des leaders internationaux

Fortes compétences sur les thématiques composites et nanomatériaux

FAIBLESSES

Accès limité des PME aux matériaux avancés en cours de développement

OPPORTUNITÉS

Nombreux secteurs en croissance

Stratégie de différenciation par l'innovation soutenue par les pouvoirs publics

MENACES

Forte concurrence à l'international

Les matériaux avancés sont des domaines pour lesquels les développements représentent généralement des risques élevés et des besoins capitalistiques forts. Dans ce contexte, les PME ont des difficultés particulières à tirer leur épingle du jeu car elles ne sont pas suivies par leurs financeurs sur ce type de projet.

Pour la même raison, la phase d'industrialisation est critique et peine à se concrétiser dans certains cas.

Les enjeux réglementaires

De manière générale, il n'y a pas de contrainte réglementaire générique sur les matériaux. Leur intégration s'appuie sur le cadre des différents marchés applicatifs le cas échéant.

Un obstacle au développement des nanomatériaux en Europe est la crainte de l'impact sur les utilisateurs finaux, notamment pour les produits en contact fréquent avec la peau. Les nanomatériaux sont aujourd'hui considérés avec méfiance par les consommateurs et les industriels mais ne font pas l'objet de restriction particulière pour le moment. Notamment, le règlement européen REACH régulant les produits chimiques sur le territoire ne fait pour le moment pas la distinction sur la forme physique des substances chimiques mais uniquement sur la composition chimique.

¹⁷ – Pipame, 2015 : *Mutations économiques du secteur de l'industrie des métaux non ferreux – R&D et innovation*

Facteurs clés de succès et recommandations

Le time-to-market des matériaux à haute valeur ajoutée est long en général (de l'ordre de 20 ans pour l'automobile et l'aéronautique par exemple). Ainsi, pour l'horizon 2020, les pouvoirs publics devront encourager les projets de développements applicatifs à partir des matériaux déjà développés en laboratoire. Étant donné les difficultés à introduire un nouveau matériau, il est crucial de soutenir les projets vraiment différenciants sur le mar-

ché. Les développements de matériaux ne devront donc être entrepris que dans l'optique d'avantages forts par rapport à l'existant. Typiquement, le secteur considère comme intéressant des gains de 30 % sur le coût ou sur les performances¹⁸.

Un soutien spécifique aux PME pourra être apporté dans le but de les accompagner davantage dans les phases de développement et d'industrialisation.

Acteurs clés

Les secteurs d'application sont transverses, et on compte en France de nombreux industriels et académiques actifs dans le domaine. On dispose en France de bonnes compétences en R&D industrielle et académique, et on compte généralement des acteurs tout le long de la chaîne de valeur, des grands donneurs d'ordre aux PME sous-traitantes. Une particularité du secteur est son dynamisme lié à la présence de nombreuses startups des matériaux avancés.

Industriels impliqués dans les composites : Yanara Technologies (producteur spécialiste des composites), Lineo (filiale de la coopérative agricole Cap Seine), Faurecia (fournisseur automobile), Plastic Omnium (fournisseur automobile), Baudet (fabricant d'articlés sanitaires), Bénéteau (fabricant nautisme), Hexcel (fibres), Toray (fibres), Stratiforme (fournisseur pour le ferroviaire), Airbus (donneur d'ordres aéronautique)

Industriels impliqués dans les matériaux métalliques : Eramet (fournisseur de matières premières), Safran (fournisseur aéronautique), Airbus (donneur d'ordres aéronautique)

Industriels positionnés sur des applications en santé : Carmat (fabricant de cœurs artificiels), Tornier (fabricant de prothèses orthopédiques), Adocia (spécialiste du drug delivery), Ademtech, Noraker (fabricant de dispositifs médicaux implantables)

Industriels producteurs de nanomatériaux : Mathym (solutions innovantes à base de colloïdes), McPhy (stockage

d'hydrogène sous forme solide), Nanoceram (fabrication et mise en œuvre de céramique nanostructurées), Nawa-Technologies (fabricant de matériaux et produits basés sur des nanostructures organisées), Neollia (production et développement de nanomatériaux), 3D-Oxides (films minces contenant des oxydes multiéléments)

Autres industriels des matériaux : Saint-Gobain (verre, céramique, matériaux avancés), Arkema (chimiste, producteur de résines), Poly-Ink (fournisseur d'encre contenant des nanoparticules), Affinsep (polymère à empreinte moléculaire), Lixol (producteur de résines alkydes), Arjowiggins (papier et électronique organique), Piezotech (électronique organique)

Centres de recherche et centres techniques : École des Mines de Douai, École Centrale Nantes, PEP, Onera, LMA (Laboratoire des Matériaux avancés, Université de Lyon, CNRS), MACS (Matériaux Avancés pour la Catalyse et la Santé, ICG Montpellier), CTIF (Centre Technique Industriel Fonderie), IFTH (Institut Français du Textile et de l'Habillement), INSERM, LCTS (Laboratoire des Composites Thermostructuraux, Bordeaux), SPCTS (Science des Procédés Céramiques et Traitements de Surface, Limoges), CEA LITEN (Laboratoire d'Innovation pour les Technologies des Énergies Nouvelles et les nanomatériaux, Grenoble), CTP (Centre Technique du Papier, Grenoble)

Instituts Carnot : Cetim, Cirimat, Chimie Balard, Mica

Pôle de compétitivité : Aerospace Valley, EMC2, Matériaux, Matikem, Plastipolis, Pôle européen de la céramique, Techtera, UP-TEX, Axelera, Pôle des Microtechniques, Pôle Européen de la Céramique

IRT : Jules Verne, M2P, Railenium, AESE (Aéronautique, Espace, Systèmes Embarqués)

18 – Oxford research, 2012 : *Technology and market perspectives for future value added materials*

Position des acteurs français

Position des entreprises françaises dans la compétition mondiale	
En position de leadership	
Dans la moyenne	●
En retard	

Position des acteurs académiques français dans la compétition mondiale	
En position de leadership	
Dans la moyenne	●
En retard	

2

Capteurs

LOISIRS
& CULTURE

ÉNERGIE,
MOBILITÉ,
NUMÉRIQUE

ENVIRONNEMENT, HABITAT,
SANTÉ ET BIEN-ÊTRE, SÉCURITÉ

ALIMENTATION

► Correspond à
une technologie clé 2015

MOTS CLÉS

Capteurs, détection,
contrôle, mesures
en ligne, biocapteurs,
photonique



Définition et périmètre

Un capteur est un système analytique intégré transformant une grandeur en un signal. Il permet la détection, la transmission et l'analyse de l'information recherchée. La figure 1 représente le schéma générique d'un capteur.

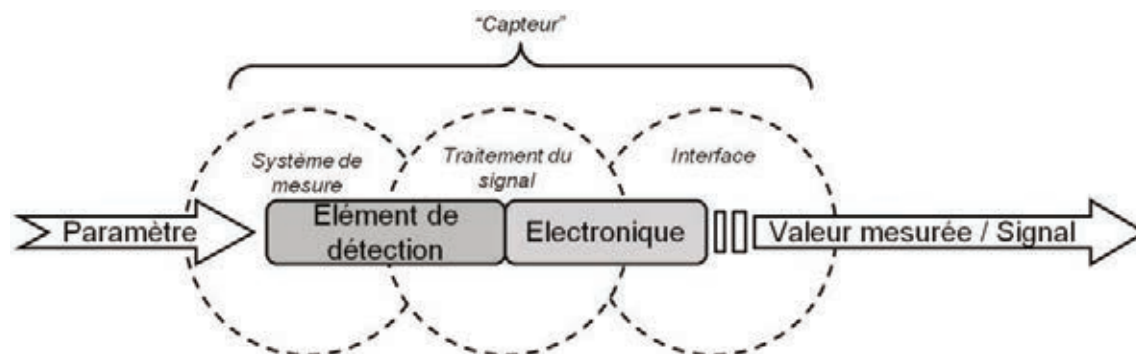


Figure 1 : Schéma du principe de fonctionnement d'un capteur¹

Il existe différents types de capteurs suivant le paramètre ou phénomène qu'ils détectent : oxygène, turbidité, mouvement, température, pression, chute, fuite, etc. On parle respectivement de capteur physique, chimique ou biologique lorsque la grandeur détectée par le capteur est physique (température par exemple), chimique (molécule ou type de molécule par exemple) ou biologique (enzyme, anticorps par exemple).

Un biocapteur est un capteur pour lequel l'élément de détection est une molécule biologique. Il est à noter qu'en ce sens, les capteurs d'empreinte digitale par exemple ne sont pas des biocapteurs et les traceurs d'activité (comptage de pas, évaluation des phases de sommeil...) n'en sont pas systématiquement.

À titre d'exemples, trois familles technologiques largement représentées dans les capteurs sont les MEMS (Micro-Electro-Mechanical System), les capteurs d'image dont les CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor), la spectroscopie optique (capteur photonique).

Étant donnée leur flexibilité de conception, les capteurs sont utilisés dans tous les domaines d'application comme le montrent les exemples suivants qui ne représentent qu'une petite partie des utilisations :

■ Alimentation : capteurs dans les champs ou embarqués (contrôles climatologiques, agronomiques...),

capteurs pour évaluer la présence d'allergènes dans les aliments, nez électronique, contrôle de procédés industriels (qualité, sécurité) ;

■ Environnement : biocapteurs, prévision des besoins de production en eau, traitement de l'eau, surveillance de fuites, activité sismique, tri des déchets, surveillance de la pollution ;

■ Habitat : pilotage au quotidien des performances des bâtiments, comptage intelligent, maintenance prédictive, éclairage ;

■ Santé : recherche médicale, traceurs d'activité, contrôle de paramètres physiologiques (glycémie par exemple), contrôle de procédés industriels (qualité, sécurité) ;

■ Sécurité : détection de risques biologiques, détection d'intrusion, défense ;

■ Énergie : contrôle de procédé, surveillance d'équipements ;

■ Mobilité : détection de composants toxiques dans l'habitacle, diagnostic embarqué d'infrastructures, aide à la conduite/pilotage et conduite/pilotage automatique, maintenance prédictive, sécurité au volant ;

■ Communications numériques : robotique autonome, téléphones portables ;

■ Loisirs & culture : jeux immersifs.

¹ – Association for sensor technology, 2014 ; *Sensor trends 2014* (traduction Erdyn)

Pourquoi cette technologie est-elle clé ?

L'amélioration des performances des capteurs est constante et s'effectue en parallèle d'une réduction des coûts de ces systèmes. Les capteurs contribuent de plus en plus à la mise en œuvre de systèmes d'informations complexes et automatiques et leur utilisation est devenue incontournable dans de nombreux domaines.

Par exemple, dans l'environnement, les capteurs sont utilisés pour la gestion de l'eau, la gestion de l'énergie, l'analyse de polluants chimiques et microbiologiques

(eau, air, sol). En santé, les traceurs d'activité, l'auto-contrôle de la glycémie chez le patient diabétique, les cardiofréquencesmètres et sondes pour la biologie sont autant de capteurs différents. Dans l'industrie, les capteurs sont également très utilisés en contrôle de procédé.

Ainsi il est clé de se positionner sur ce marché en forte croissance qui touche tous les secteurs d'activité à tous les niveaux des chaînes de valeur. Les capteurs sont clés tant en termes de marchés propres qu'à travers leurs utilisations dans les applications qu'ils servent.

Liens avec d'autres technologies clés

Les capteurs influencent :	Domaines d'application	Les capteurs sont influencés par :
Intelligence artificielle (11) Internet des objets (5) Valorisation et intelligence des données massives (3)	Alimentation	Modélisation, simulation et ingénierie numérique (4)
Gestion intelligente de l'eau (35) Intelligence artificielle (11) Internet des objets (5) Robotique autonome (12) Technologies de diagnostic rapide (eau, air et sol) (36) Valorisation et intelligence des données massives (3)	Environnement	Métabotique (18)
/	Habitat	Communications sécurisées (13)
Internet des objets (5)	Santé	/
Cobotique et humain augmenté (10) Internet des objets (5) Valorisation et intelligence des données massives (3)	Sécurité	/
Technologies pour l'énergie nucléaire (44)	Énergie	/
Cobotique et humain augmenté (10) Internet des objets (5) Robotique autonome (12) Technologies pour la propulsion (45)	Mobilité	/
Analyse comportementale (19) Cobotique et humain augmenté (10) Internet des objets (5) Modélisation, simulation et ingénierie numérique (4) Nanoélectronique (46) Nouvelle intégration matériel-logiciel (20)	Communications numériques	Analyse comportementale (19) Communications sécurisées (13) Infrastructure de 5 ^e génération (6) Internet des objets (5) Modélisation, simulation et ingénierie numérique (4) Technologies immersives (14) Valorisation et intelligence des données massives (48)
Infrastructure de 5 ^e génération (6) Internet des objets (5) Valorisation et intelligence des données massives (3)	Loisirs & culture	Infrastructure de 5 ^e génération (16) Internet des objets (20) Valorisation et intelligence des données massives (3)

Les marchés

Le marché mondial des capteurs a été évalué à 79,5 Md \$ en 2013 et est estimé à 154,4 Md \$ en 2020 avec une croissance annuelle de 10,1 % sur la période 2015-2020².

Le marché des biocapteurs se développe à la même vitesse que celui des capteurs. En 2013, les biocapteurs représentaient un marché de 11,4 Md \$. Ce marché devrait atteindre 22,68 Md \$ en 2020 avec une croissance annuelle de 10 % entre 2014 et 2020³. Les principaux marchés des biocapteurs sont le médical, l'environnement, la sécurité et l'agroalimentaire.

Le segment des réseaux de capteurs sans fil est un nouveau segment qui connaîtra un fort développement dans les années à venir. Ce marché était de 0,45 Md \$ en 2012 et totalisera 1,8 Md \$ en 2024 d'après les prévisions⁴. Ce nouveau type de capteurs répartis investit un grand nombre de champs d'applications.

Les marchés des capteurs est multi-applicatif, certains marchés d'intérêt sont spécifiquement analysés et quantifiés. Quelques exemples sont cités ci-dessous.

Marché	Valeur actuelle	Valeur à 5 ans	CAGR sur la période
Automobile ⁴	22,1 Md \$ en 2015	35,2 Md \$ en 2020	9,7 %
Environnement ⁵	13,2 Md \$ en 2014	17,6 Md \$ en 2019	5,9 %
Agroalimentaire ⁶	2,9 Md \$ en 2012	4,2 Mds \$ en 2018	6,4 %

Les défis technologiques à relever

Les défis technologiques actuels ont principalement deux objectifs :

- améliorer les performances des réseaux de capteurs ;
- améliorer les performances des biocapteurs ;

2 – BCC research, 2014 : *Global markets and technologies for sensors*

3 – MarketsandMarkets, 2015 ; *Biosensors market by application, product, technology & geography – Analysis and forecast to 2020*

4 – IDTechEx, 2014 : *Wireless sensor networks (WSN) 2014-2024: forecast, technologies, players*

5 – BCC research 2014 : *Global markets for automotive sensor technologies*

6 – BCC research 2014 : *Environmental sensing and monitoring technologies: global markets*

7 – Frost & Sullivan, 2013 : *Sensors market in the global food and beverage industry*

- développer les capteurs complexes.

Les capteurs en réseau doivent notamment être durables et fiables tout en limitant au maximum l'intervention humaine lors de leur fonctionnement et en limitant leurs coûts.

L'autonomie énergétique des capteurs est un enjeu clé pour atteindre le critère de durabilité. Notamment, cela passe par la réduction de la consommation énergétique en fonctionnement (protocoles de communication économique en énergie {Lora de Sigfox ou protocole propriétaire de Qowisio par exemple}, amélioration de la connectique électrique...), optimiser la récupération d'énergie (soleil, température, vibrations...) et améliorer la durée de vie des systèmes de stockage de l'énergie.

La fiabilité des capteurs doit notamment être améliorée pour les réseaux sans fil afin de limiter l'impact des interférences et de la propagation par trajets multiples. En ce sens, le choix du mode de communication et des modalités de communication devra être adapté à l'environnement du capteur afin de garantir des niveaux de fiabilité importants.

De plus, le coût des capteurs étant un verrou clé, l'objectif est d'améliorer les performances globales du réseau en exploitant au maximum les informations données par tous les capteurs et en recoupant les informations entre les différents capteurs, notamment des capteurs bas coût à performance individuelle limitée.

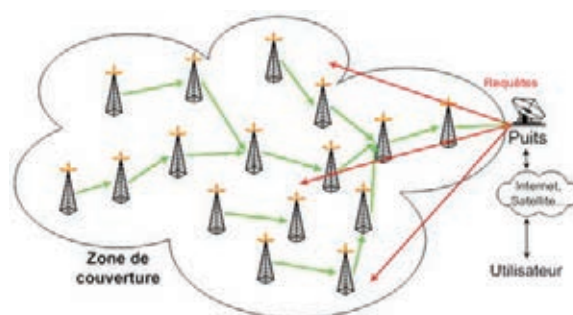


Figure 2 : Illustration du fonctionnement d'un réseau de capteurs

Pour les biocapteurs, de nouveaux systèmes de détection sont régulièrement en cours de développement afin d'améliorer la sélectivité des capteurs et d'augmenter le nombre et le type de molécules détectées.

Concernant les biocapteurs et de manière plus générale les capteurs à destination de la santé et de l'environnement, la miniaturisation continue d'être un enjeu fort afin d'obtenir des capteurs plus faciles à intégrer aussi bien pour un patient que pour les mesures sur site en environnement et sécurité. Les technologies NEMS (Nano Electro Mechanical Systems) doivent aider à passer les barrières de la miniaturisation. Ce ne sont pas les seules technologies cependant, comme le montre le développement de SWIFTS par Resolution Spectra Systems, un spectromètre haute résolution et ultra compact. De plus, les technologies de microfluidiques et nanofluidiques contribuent également à rendre possible la miniaturisation des capteurs reposant sur la circulation de fluides.

Enfin, l'intégration des capteurs dans les produits finaux est clé pour leur adoption par les marchés applicatifs. Cette problématique n'est pas nouvelle mais reste actuelle car elle survient quelle que soit l'application concernée. En ce sens, des disciplines comme la mécatronique (intégration de l'électronique dans des pièces mécaniques) et la plastronique (intégration de l'électronique dans des pièces plastiques) doivent être favorisées afin d'adresser la problématique d'intégration en amont.

Les défis commerciaux et d'usage à relever

Le marché des capteurs est mature du point de vue commercial. C'est un marché international, structuré et pour lequel les modèles économiques sont connus (à l'exception des modèles d'exploitation des données récoltées par les capteurs).

Les avancées technologiques notamment en lien avec la sélectivité des capteurs, le traitement du signal, l'autonomie énergétique et la miniaturisation des capteurs ont permis d'accroître considérablement leurs domaines d'application. L'un des plus grands freins actuels à leur généralisation est la réduction des coûts des capteurs performants afin de pouvoir introduire ces capteurs dans des marchés de masse comme l'automobile ou les produits de grande consommation.

De plus, outre le coût du capteur en lui-même, son intégration peut également être coûteuse. Une meilleure exploitation des données récoltées par les capteurs représente également une voie de réduction des coûts d'utilisation des capteurs (voir paragraphe défis technologiques). Il faut donc raisonner dans une logique de mesure à bas coût et pas seulement dans une logique de capteurs à bas coût.

La standardisation des langages de communication est clé pour le développement commercial des capteurs. En effet, si trop de langages qui ne communiquent pas entre eux existent, cela réduit la flexibilité des utilisateurs et ainsi ralentit le déploiement d'une technologie. Ce processus est actuellement en cours au niveau international et permettra le déploiement du marché.

Enfin, les capteurs dans les domaines de la sécurité de fonctionnement des systèmes, demandant des garanties de fonctionnement, doivent répondre à des processus de validation longs et coûteux qu'il est indispensable de prendre en compte dans leur déploiement commercial (par exemple, intégration de nouveaux capteurs dans les avions commerciaux).



© THALES Quentin Reyffinas

Les enjeux réglementaires

Il n'y a pas de contrainte réglementaire générique sur les capteurs. Leur intégration s'appuie sur le cadre des différents marchés applicatifs le cas échéant.

En revanche, la réglementation peut être moteur dans le déploiement commercial des capteurs notamment

sur les domaines de contrôle des effluents, contrôle de la qualité de l'air, de l'eau et des sols et amélioration des performances énergétiques.

Il y a également un fort enjeu pour les acteurs européens que l'Europe se dote d'une réglementation commune dans le but de déployer plus facilement les

technologies en disposant d'un marché plus vaste. En effet, une telle harmonisation – qui se fait sur les marchés d'application – donnerait aux entreprises européennes un accès facilité à l'ensemble du territoire européen et renforcerait leur taille critique par rapport aux acteurs américains ou asiatiques.

Analyse AFOM

ATOUTS

Capacités d'innovation fortes au sein des centres de R&D

Présence de donneurs d'ordre qui sont des leaders internationaux

FAIBLESSES

Difficulté de transfert des innovations vers les PME

OPPORTUNITÉS

Utilisation de la réglementation comme accélérateur du développement

Fortes tendances mondiales à mesurer, contrôler les phénomènes pour mieux les optimiser

Forts besoins dans les pays en développement pour le contrôle de l'énergie et de l'eau

MENACES

Forte concurrence à l'international

Facteurs clés de succès et recommandations

Le développement de nouveaux capteurs nécessite de mener des projets de recherche afin d'adapter des technologies à des usages spécifiques et des niveaux de performances requis. Ainsi, le financement de projets de recherche dans le domaine permettra d'assurer un développement de ces technologies sur le long terme et dans des domaines d'application toujours plus variés. Une partie de ces projets devra préférentiellement porter

sur la conception du capteur, l'analyse de ses performances et son intégration dans les systèmes finaux afin de favoriser leur valorisation sur le marché.

La standardisation est une étape clé dans tout développement industriel. Il est nécessaire que les acteurs français participent à l'élaboration des standards des langages de communication afin de promouvoir les systèmes français et ainsi faciliter l'accès à l'export.

Acteurs clés

Industriels fabricants des capteurs ou des technologies pour les capteurs : ST Microelectronics (nombreux domaines d'application), Ocaseoft (agroalimentaire, santé), Global Sensing Technologies (nombreux domaines d'application), Parrot (mobilité, sécurité), Fly-n-Sense (environnement), T-Waves Technologies (nombreux domaines d'application), Bodysens (santé, sécurité), Tronics Microsystems (nombreux domaines d'application), Sigfox (nombreux domaines d'application), Confluens (habitat), Whittings (santé), Sofradir (sécurité, défense), Safran (sécurité), Synnav (nombreux domaines d'application), Qowisio, Resolution Spectra Systems (nombreux domaines d'application), Spectralys (agroalimentaire), Pellenc ST (gestion des déchets), Force A (mesures agricoles), Leosphere (météorologie), Environnement SA (environnement), Indatech (capteurs photoniques), Effilux (éclairage), Sites (capteurs MEMS pour l'habitat).

Exemples d'industriels produisant des produits contenant des capteurs : Valéo (mobilité), Airbus (mobilité), Electricfil (EFI) (mobilité), IER (groupe Bolloré, mobilité), Suez (environnement), Veolia (environnement), Schneider Electric (nombreux domaines d'applica-

tion), Somfy (habitat), Legrand (habitat), Areva (énergie), EDF (énergie), Saint-Gobain (habitat), Bouygues (habitat)

Laboratoires de recherche et centres techniques : IEMN (Institut d'Électronique, de Microélectronique et de Nanotechnologies), FEMTO ST (Franche-Comté Électronique Mécanique Thermique et Optique - Sciences et Technologies), LNIO (Laboratoire de Nanotechnologie et d'Instrumentation Optique, UTT), LASMEA (Laboratoire des Sciences et Matériaux pour l'Électronique, et d'Automatique), Inserm

Instituts Carnot : CEA List, CEA Leti, Ifpen TE, Énergies du Futur, M.I.N.E.S., Ifremer, Inria, Irstea, BRGM, LAAS CNRS

Pôle de compétitivité : Vitagora, pôle risques, SCS (Solutions Communicantes et Sécurisées), Medicen, Optitec, Minalogic, TES (Transactions Électroniques sécurisées), Dream

Clusters/Réseaux : i-Care, Optics Valley

Association : Jessica France (porteuse du programme Cap'Tronic), Actia (Réseau français des instituts techniques de l'agroalimentaire)

Position des acteurs français

Position des entreprises françaises dans la compétition mondiale	
En position de leadership	
Dans la moyenne	●
En retard	

Position des acteurs académiques français dans la compétition mondiale	
En position de leadership	●
Dans la moyenne	
En retard	

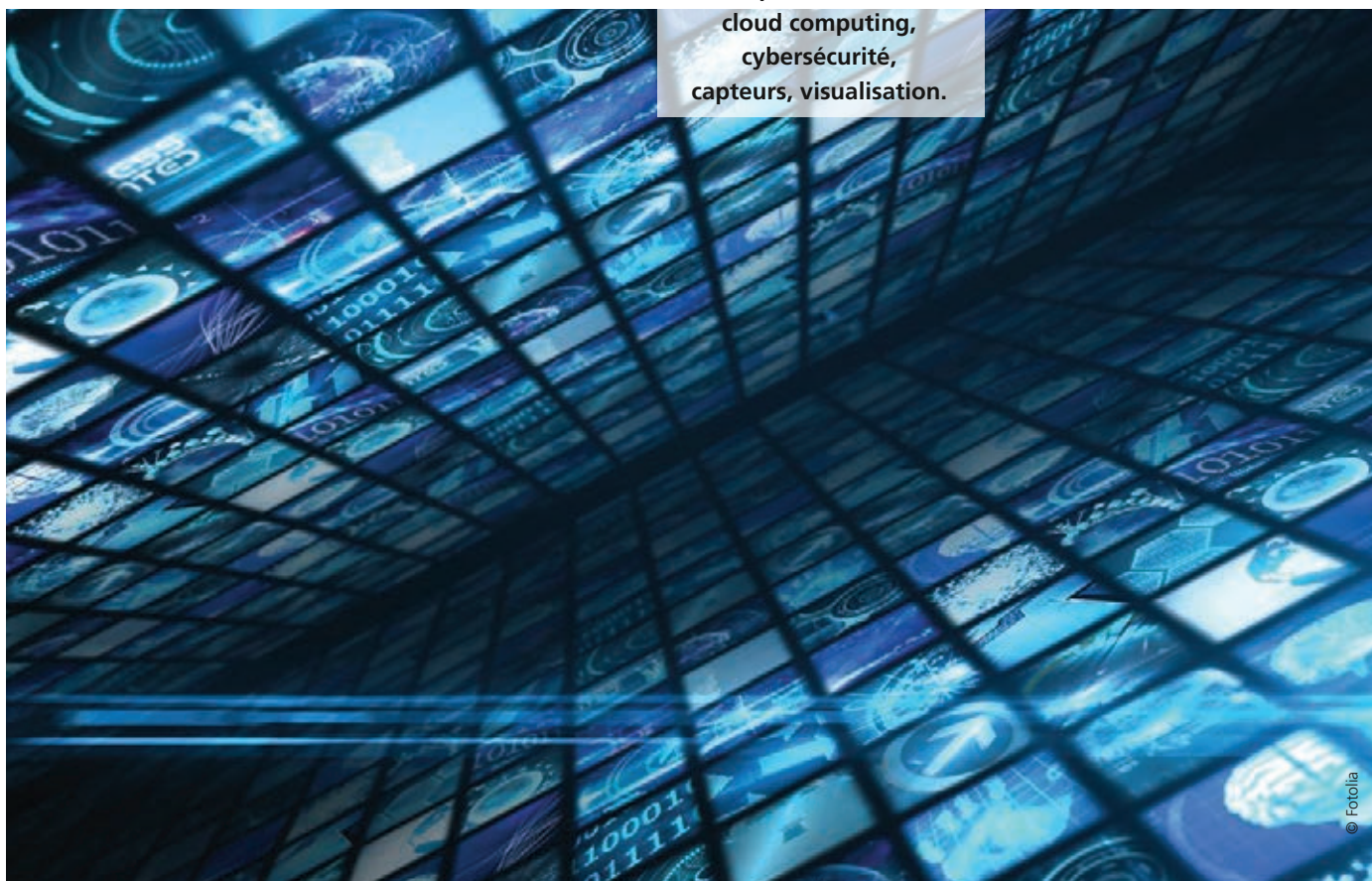
3 Valorisation et intelligence des données massives

LOISIRS & CULTURE
ÉNERGIE, MOBILITÉ, NUMÉRIQUE
ENVIRONNEMENT, HABITAT, SANTÉ ET BIEN-ÊTRE, SÉCURITÉ
ALIMENTATION

► Correspond à une technologie clé 2015

MOTS CLÉS

Données massives,
Big data,
mégadonnées,
analyse, stockage,
données personnelles,
prédiction,
cloud computing,
cybersécurité,
capteurs, visualisation.



Définition et périmètre

Définition

E-mails, réseaux sociaux, *smartphones* et objets connectés, capteurs et autres satellites génèrent un flot croissant d'informations hétérogènes et non-structurées. La valorisation et l'intelligence des données massives ou *Big Data* ou « mégadonnées »¹ désignent à la fois cette croissance exponentielle du volume des données disponibles sous forme numérique et la famille d'outils (technologies et algorithmes) permettant de les trier et les analyser en temps réel. De façon communément admise, le *Big Data* est défini par les 5V².

1. Volume : le *Big Data* fait référence en premier lieu au volume massif de données à traiter, augmentant à un rythme exponentiel. Il est en effet estimé que 90 % des données récoltées depuis le début de l'humanité ont été générées durant les deux dernières années³ ;

2. Vélocité : la vélocité fait référence à la vitesse à laquelle l'information est créée, circule et est analysée. Notre tendance à dupliquer l'information sur plusieurs supports, à la partager sur différents objets ou l'effet viral des réseaux sociaux amplifient la vitesse de circulation des données. Par ailleurs, les outils du *Big Data* (ex : logiciels d'analyse) permettent de réaliser des études sur ces données en quelques heures, quelques minutes, voire en temps réel contre plusieurs jours auparavant ;

3. Variété : la variété fait référence à l'hétérogénéité des sources (capteurs, archives, réseaux sociaux, documents, applications mobiles, etc.) ainsi qu'à la diversité de formats des données, des informations classiques structurées dans une base jusqu'à des données non-structurées telles que le texte, l'email, la photo, la vidéo, et les métadonnées etc. Le *Big Data* permet de réunir toutes ces données et de les analyser ;

4. Véracité : l'un des enjeux du *Big Data* est d'améliorer la fiabilité des masses de données non-structurées, en améliorant la gestion du bruit et de la consistance, en organisant son accès et en y associant les algorithmes d'analyse correspondant aux besoins des utilisateurs ;

1 – Traduction officielle de la Commission générale de terminologie et de néologie en date du 22 août 2014. Cette étude fera néanmoins référence à l'anglicisme en raison de son utilisation dans le Plan de la Nouvelle France Industrielle

2 – Bernard Marr, *Big Data, using smart Big Data analytics to make better decisions and improve performance*, Broché, 2015

3 – *Big Data Paris, Le Guide du Big Data, Editions 2014/2015, 2014*

5. Valeur : caractéristique clé du *Big Data*, le volume massif de données n'a d'importance que s'il permet de générer du sens et donc de la valeur pour ces données. Le défi principal est donc d'identifier ce que les outils de valorisation des données massives peuvent apporter.

Les technologies associées à la valorisation et l'intelligence des données massives sont nombreuses et concernent à la fois les solutions *hardware*, *software* et les services associés.

On identifie d'une part les **technologies software** permettant d'optimiser les temps de traitement sur des bases de données massives⁴ :

■ Les bases de données NoSQL, **utilisant de nouveaux formats de stockage** (MongoDB, Cassandra ou Redis) implémentent des **systèmes de stockage** considérés comme plus performants que le traditionnel SQL pour l'analyse de données en masse ;

■ Les infrastructures de serveurs permettent de réaliser le **traitement massivement parallèle**. L'infrastructure Spark, conçue spécifiquement pour les projets de *Big Data*, est aujourd'hui la plus utilisée pour traiter des données distribuées en *clusters* et exécuter plusieurs applications en simultanée. Elle combine le système de fichiers distribué HDFS (Hadoop Distributed File System), la base NoSQL et l'algorithme MapReduce développé par Google ;

■ **Le stockage des données en mémoire (Memtables)** accélère les temps de traitement de requêtes ;

■ **Les technologies de data mining** permettent d'identifier l'information pertinente à l'aide d'outils statistiques perfectionnés (*clustering, machine learning, data-viz, réseaux de neurones, algorithmes génétiques, etc.*).

D'autre part, de **nouvelles plateformes hardware de serveurs** se développent pour s'adapter à la valorisation et l'intelligence des données massives. Aujourd'hui, la majorité des solutions *software* de *Big Data* fonctionne sur du matériel standard. Cependant, la plupart des acteurs considèrent que demain, la massification des données des entreprises nécessitera que les serveurs s'adaptent aux flux de plus en plus importants de données⁵.

4 – AT Kearney, *Big Data and the Creative Destruction of Today's Business Models*, 2013

5 – IBM, *The Evolution of Hardware and What It Means for Big Data*, 2013

Enfin, un large éventail de services s'est développé autour de la valorisation et de l'intelligence des données massives. Il s'agit notamment de *analytics as a service*, *infrastructure as a service*, *data as a service* et *business intelligence*.

Pourquoi cette technologie est-elle clé ?

La maîtrise et la collecte des données massives seront certainement l'enjeu majeur du XXI^{ème} siècle⁶⁷ et revêt donc pour la France un caractère stratégique. À l'heure où les données personnelles ont une valeur économique, détenir ces données et être capable de les analyser sera demain un critère de puissance mondiale. Dans différents secteurs métiers, la maîtrise des données sera à l'origine de profondes transformations des métiers et de l'organisation des entreprises (par exemple : la prévention de panne et la maintenance, le design de nouveaux produits etc.).

Un fort caractère stratégique

La valeur économique associée aux données personnelles et à leur exploitation par les entreprises est très élevée, voire pour certains, « illimitée »⁸.

Les données personnelles, source primaire de cette « révolution » continueront à **augmenter de façon exponentielle** : réseaux sociaux, objets connectés, technologies mobiles et libéralisation des données publiques (*open data*) font exploser le volume des données disponibles. En 2020, il est estimé que 10,4 zettaoctets, soit 10 400 milliards de gigaoctets de données, seront partagés tous les mois sur Internet⁹.

Compte tenu de la valeur associée à la détention des données et leur exploitation, l'appropriation des technologies de collecte et d'analyse des données massives par les entreprises françaises paraît aujourd'hui indispensable pour se maintenir dans la compétition mondiale.

Atouts de la France

Le positionnement des acteurs français sur cette technologie clé est d'autant plus essentiel que la France dispose **d'un système académique particulièrement performant** dans les disciplines sur lesquelles s'adosent la valorisation et l'intelligence des données massives. En matière de formation, l'ENSAE, référence dans le domaine de la statistique, propose une spécialisation en « Data Science », de même que Télécom ParisTech ou l'École Polytechnique qui propose depuis 2014 un mastère spécialisé en *Big Data*. Les offres de ce mastère bénéficient par ailleurs d'un mécénat des entreprises Keyrus, Orange et Thalès, preuve que les groupes français sont conscients de la nécessité de former et de renforcer les compétences des « *data scientists* ». Des organismes comme l'Inria, le CNRS et le CEA sont en outre à la pointe de la recherche et de l'innovation en «Data Science».

Par ailleurs, **un riche tissu de start-up** dans le domaine de la collecte et de l'analyse de données a émergé. À titre d'exemple, Dataiku, pionnier dans le *Big Data* en France, propose des solutions d'analyse prédictive tandis que CitizenData stocke, analyse et crée de la valeur à partir de données issues des capteurs sur textile.



À cela s'ajoute, enfin, **une volonté politique forte et affichée** de faire de la France l'une des références mondiales de la gestion des données massives. En 2011, un nouveau service du Premier Ministre a été créé : Etalab. Il s'agit d'une mission de création d'un portail des données publiques en ligne, permettant aux entreprises et acteurs publics de développer des

6 – « Création de l'Alliance *Big Data* », Site de CapDigital, 20/03/2013

7 – « *Big data* ; impact et attentes pour la normalisation », Livre blanc de l'AFNOR

8 – *Le Big Data parle. L'entendez-vous?*, Livre Blanc de l'EMC

9 – « Vertigineux « *Big Data* », LeMonde.fr, 28/12/2012

nouveaux services à partir de ces données. En octobre 2013, le *Big Data* a fait l'objet d'un plan dédié de la Nouvelle France Industrielle, intégré depuis le 18 mai 2015 dans les neuf Solutions industrielles visant les marchés prioritaires pour la France. Plusieurs appels à projets ont déjà été lancés et seront publiés en 2015 et 2016 sur cette thématique dans le cadre du Programme d'Investissements d'Avenir et du Concours Mondial d'Innovation.

Liens avec d'autres technologies clés

La croissance du marché de la valorisation et de l'intelligence des données massives est étroitement liée à la maîtrise des technologies de production de données (objets connectés), de stockage (*Cloud computing*), de modélisation, de visualisation et de simulation, de calcul et d'analyse (analyse prédictive, analyse sémantique) :

■ **L'Internet des objets (IoT)** ; l'explosion du marché de l'IoT multipliera la quantité de données personnelles et professionnelles disponibles et rendra d'autant plus nécessaire l'utilisation des technologies d'analyse des données pour les entreprises, les administrations ou encore les particuliers ;

■ La maîtrise des **outils de modélisation, visualisation et simulation** est indispensable pour analyser et prendre des décisions à partir des données massives ;

■ Le **Cloud Computing** : la valorisation et l'intelligence des données massives exigent une capacité matérielle hors du commun à la fois pour le stockage des données et pour les ressources nécessaires au traitement. Le *Cloud* permet l'exploitation de la puissance de calcul ou de stockage des serveurs informatiques distants par l'intermédiaire d'un réseau, généralement internet, offrant ainsi une capacité de valorisation et d'intelligence des données massives ;

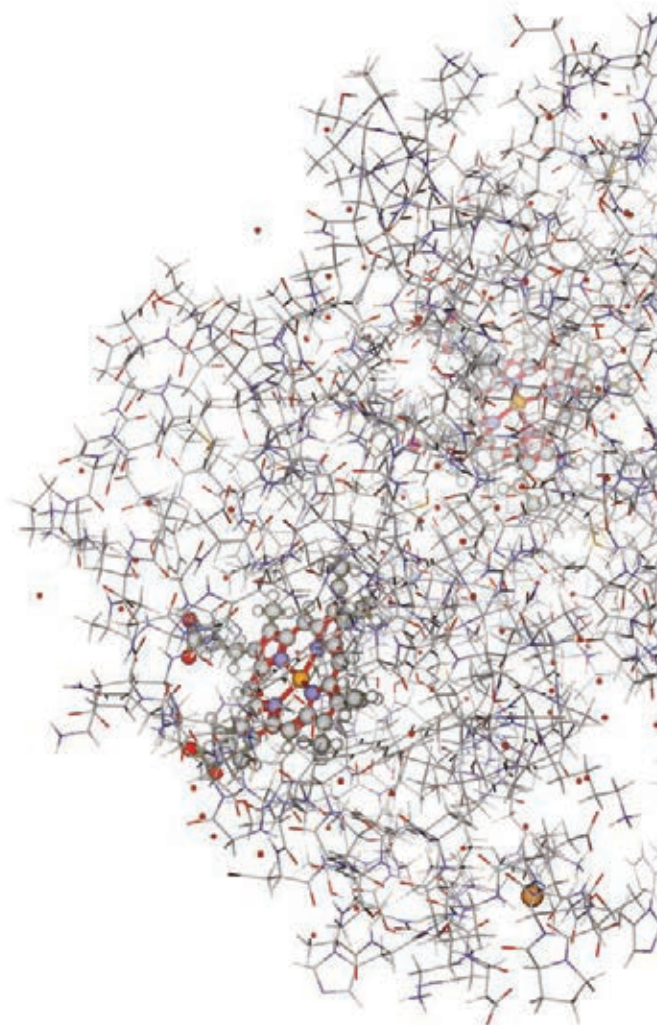
■ **Le calcul intensif** : l'émergence du *Big Data* et le développement des objets intelligents et connectés accroissent les besoins en calcul intensif. Ces technologies de calcul sont nécessaires à la valorisation et l'intelligence des données massives en ce qu'elles permettent d'analyser leurs flux¹ ;

1 – CNRS, *Livre blanc du calcul intensif*, 2012

■ **Les technologies d'analyse prédictive** : les algorithmes prédictifs constituent une application directe des techniques de *Machine Learning* au *big data*. Par exemple, à partir d'un historique d'achats, de sessions de navigation sur un site internet, ces algorithmes peuvent prédire les prochains besoins d'un consommateur ;

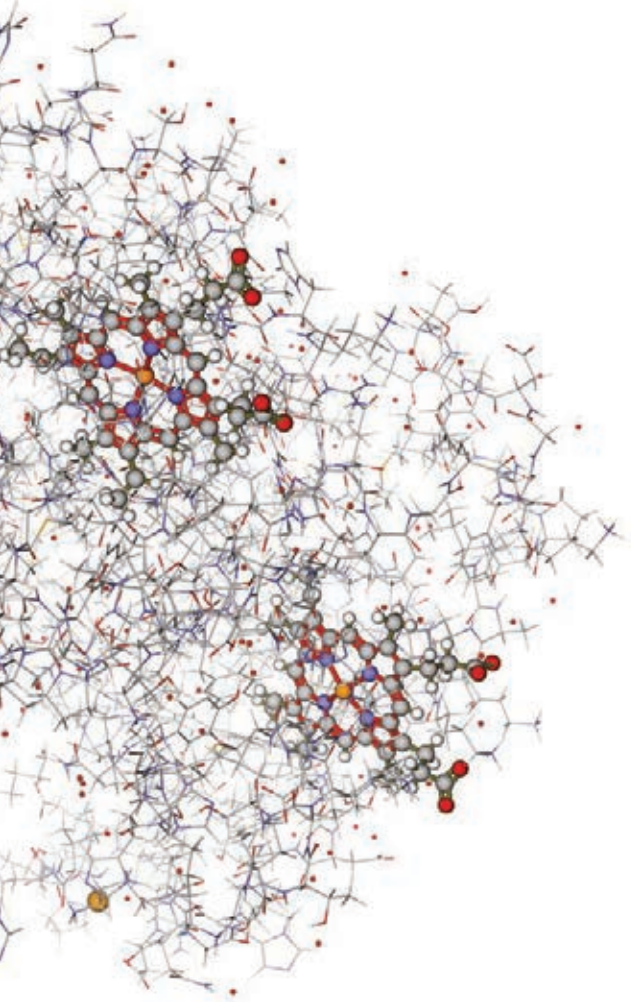
■ **Les technologies sémantiques** ; ces technologies permettent d'identifier les données pertinentes et signaux faibles cachés dans les données massives. Les possibilités d'extraction vont de la simple reconnaissance de personnes ou d'entreprises à l'analyse d'opinion en passant par la catégorisation thématique ;

■ **La cybersécurité** : l'augmentation du volume de données personnelles disponibles sur internet néces-



site de mettre en place des technologies de cybersécurité plus performantes pour protéger tant les données des utilisateurs (organisations et individus) que la possibilité d'intrusion et de prise de contrôle de systèmes, comme par exemple des objets connectés ;

■ **Les infrastructures de 5^{ème} génération** : le traitement de données de plus en plus importantes en



© Fotolia

un temps restreint nécessitera la mise en place d'un réseau plus rapide. Le développement de la 5G permettra donc, conjointement, le développement de solutions de traitement de Big Data tant centralisées que distribuées ;

■ **L'intelligence artificielle (IA) et le deep learning** : les algorithmes de *deep learning* s'inspirent de ceux de l'intelligence artificielle pour extraire automatiquement

des informations du *Big Data* ou des représentations de données avec un niveau élevé d'abstraction.

Les marchés

Aujourd'hui, toutes les projections du marché du *Big Data* prévoient **une très forte croissance d'ici 2020**. Elles concernent les solutions de serveurs, stockage, réseaux et logiciels (bases de données relationnelles NoSQL, Hadoop...) ainsi que les services associés.

Un marché en très forte croissance

Le chiffre d'affaires du marché de la valorisation et de l'intelligence des données massives (hors services) devrait croître de **40 % par an** pour atteindre **44,4 milliards d'euros en 2018**². En intégrant non seulement les logiciels mais aussi les services, le marché est évalué à 31 milliards d'euros en 2013 et à **105 milliards d'euros en 2018**, soit une progression annuelle de **29,6 %**³. Les leaders du marché mondial sont principalement américains. Il s'agit notamment de Google, Amazon, Facebook, Apple, IBM, Intel, Microsoft, TerraData, Cloudera, Oracle, EMC, Hortonworks et DataMeer.

En France, le marché de la valorisation et de l'intelligence des données massives est évalué à seulement 387 millions d'euros en 2013 mais est considéré comme particulièrement prometteur avec un taux de croissance de **40 % par an** (logiciel et services)⁴. Selon les estimations du plan dédié de la Nouvelle France Industrielle, intégré dans la Solution industrielle « Économie des données », le marché en France devrait atteindre **9 milliards d'euros en 2020**⁵. Les leaders du marché français sont notamment Atos, Thales, Criteo, Orange et Dataiku.

Des applications dans tous les secteurs

L'émergence des technologies de la valorisation et de l'intelligence des données massives décuple les possibilités d'analyse dans tous les secteurs comme l'illustre le tableau ci-dessous :

2 – Données de *Transparency Market Research*

3 – Données d'*ABI Research*

4 – « Le marché du « *Big Data* », nouveau graal de l'informatique », *LeFigaro.fr, Tech & Web*, 02/04/2014

5 – Ministère de l'Économie, de l'Industrie et du numérique, *Les 34 plans de la nouvelle France industrielle*, 2013

Secteurs	Exemple de projets
Santé	Projet de recherche en génomique mené par France génomique
Marketing, CRM, publicité	Solution de re-ciblage publicitaire utilisant des algorithmes de <i>machine learning</i> pour construire les bannières qui correspondent aux attentes des utilisateurs
Environnement	Projet « Dada » du CNRS : analyse de l'évolution climatique au niveau mondial
Lutte contre la fraude	Projet « Brand WatchDog » mené par l'entreprise Data & Data
Journalisme	Projet « The Migrant Files » mené par l'entreprise Journalism+++
Banque et assurance	Projet d'assurance évolutive mené par la société Progressive avec le lancement du service « Pay as you drive »
Loisirs	Projet « X-Field Paintball » de la société PCB Team : création d'une base de données géantes sur la communauté du paintball
Énergie	Projet « Deepky » de Cofely Service utilisant des algorithmes de data-analytics
Mobilité	Création d'un algorithme d'analyse des données de vol. Projet mené par l'entreprise Safetyline

Sources : Atelier d'experts « Communication Numérique » du 31 mars 2015, organisé dans le cadre de l'Étude Technologies clés 2020 et Guide du Big Data 2014/2015

Tableau non-exhaustif des secteurs d'application du Big Data et des projets en cours

Le marché de la valorisation et de l'intelligence des données massives bénéficie d'un potentiel très important pour les entreprises et administrations publiques⁶ :

- Le potentiel du Big Data dans le secteur de la santé serait de **275 milliards d'euros** ;
- Les économies potentielles liées à la collecte et au traitement des données massives pour les administrations publiques en Europe sont estimées à **250 milliards d'euros** ;
- La valeur des données de géolocalisation pour les prestataires de services représenterait **92 milliards d'euros** ;
- Enfin, la valeur des données personnelles en Europe est estimée à **315 milliards d'euros**.

Les défis technologiques à relever

Le stockage des données massives

Les entreprises de taille moyenne détiennent toutes un centre de données (*data centers*) ou externalisent cette fonction de stockage et d'archivage à des prestataires spécialisés. La croissance exponentielle de la masse des données des entreprises interroge sur le futur du stockage de données. L'augmentation du volume des centres de données ne pourra en effet pas

suivre la courbe exponentielle de croissance du volume de données générées dans le monde.

Le traitement et la qualité des données produites

Les technologies de traitement et d'analyse des données ne garantissent pas aujourd'hui une fiabilité totale des données analysées. En effet, le traitement de grands volumes de données peut accroître la marge d'erreur si les données ne sont pas intégrées à la base. Pour contrer cela, de nouvelles solutions sont développées pour mieux percevoir la source de la donnée et réduire le taux d'erreur. Des fournisseurs spécialisés dans l'analyse et le nettoyage de la donnée externe ont également vu le jour. Mais l'analyse humaine reste quoi qu'il en soit indispensable. La **montée en compétence** et la **formation de data scientists** présentent à ce titre un intérêt stratégique pour l'entreprise.

Le temps réel

Un autre enjeu technologique de la valorisation et de l'intelligence des données massives est la quête du temps réel *via* la réduction du temps de traitement. Les nombreux travaux de recherche technologique en cours proposent des solutions différenciées pour accélérer le traitement des données, à l'instar d'*in-memory*⁷. Le développement des infrastructures de 5^{ème} génération pourrait par ailleurs augmenter considérablement la vitesse de traitement des données.

6 – « Infographie ; Big Data, un marché à 100 milliards de dollars », Usine-digitale.fr, 08/04/2014

7 – Big Data Paris, Le Guide du Big Data, Editions 2014/2015, 2014

Sécurité et anonymisation des données

Face à un volume toujours plus massif de données disponibles, **l'enjeu de leur anonymisation est devenu un enjeu clé**. La nouvelle gestion des données du *Big Data* tend en effet vers ces procédés d'anonymisation des données qui garantissent aux individus une préservation de leur vie privée, tout en permettant aux entreprises de valoriser les informations contenues dans les données personnelles qui, une fois dissociées d'une personne identifiable, ne sont plus soumises à la loi Informatique et Libertés. L'objectif est ainsi d'aboutir à des procédés d'anonymisation irréversibles et absolus, rendant impossible toute identification, alors même que les recoupements massifs permis par le *Big Data* apparaissent antagonistes avec cette recherche. Des critères qui garantissent un niveau d'anonymisation suffisant sont encore à affiner. Cet enjeu technologique est en ce sens très lié au défi de confiance entre opérateurs et clients.

Les défis commerciaux et d'usage à relever

La croissance exponentielle des données dont disposent les entreprises créent des opportunités nouvelles. En améliorant la connaissance des comportements et préférences de consommation de leurs clients, ainsi que leurs processus de production, les entreprises peuvent proposer de nouveaux produits ou améliorer l'existant, personnaliser davantage leurs offres pour mieux répondre aux besoins de leurs clients et les fidéliser, et *in fine* améliorer leurs résultats commerciaux.

Le « défi de la confiance » entre opérateurs et clients

L'utilisation de données personnelles crée un **risque de réputation fort** pour l'entreprise positionnée sur ce marché, si ses clients n'ont pas confiance dans la manière dont leurs données sont protégées et utilisées⁸. La confiance est centrale dans la relation qui lie l'entreprise avec son client et est d'autant plus importante dans le cas de l'utilisation de données personnelles. Les événements récents qui ont marqué l'opinion publique - tels que la surveillance exercée par la NSA ou l'attaque informatique de Sony qui a révélé au public l'exploitation d'un nombre important de données personnelles - ont

mis en évidence et accentué la sensibilité du public à la protection de ces données et induit le besoin d'être rassuré. Selon une étude récente⁹, en moyenne, 78 % des personnes interrogées en Grande Bretagne, Allemagne, France, Italie et Espagne considèrent qu'elles doivent être prudentes lorsqu'elles partagent des données personnelles en ligne.

Une sous-estimation de la valeur et de l'utilité du Big Data par les entreprises françaises

La valorisation des données massives doit « révolutionner » le travail des entreprises mais encore faut-il qu'elles le réalisent. D'après une étude publiée en juin 2015, les entreprises françaises sont particulièrement en retard dans le domaine et n'ont pas pris conscience de la valeur que peut leur apporter la mise en place d'une stratégie de valorisation et d'intelligence des données massives. Pour deux tiers d'entre elles, le *Big Data* est un concept «intéressant, mais trop vague pour constituer un levier de croissance»¹⁰.

Un retard dans l'intégration du Big Data dans les entreprises françaises

En 2015, seules 18 % des entreprises françaises ont des plans d'actions en cours de déploiement dans le *Big Data*, et seules 17 % d'entre elles sont « très matures » dans l'exploitation de leurs données clients. La collecte de données est limitée aux canaux traditionnels. Les données non-structurées sont insuffisamment analysées. Les entreprises manquent de compétences analytiques pour traiter leurs données client ainsi que d'outils spécifiques pour les données non-structurées.

Selon l'Observatoire de l'Innovation de l'Institut de l'entreprise¹¹, cet état de fait peut s'expliquer par plusieurs limitations qui trouvent leur source dans les entreprises elles-mêmes :

- Des difficultés de coordination entre les différents services de l'entreprise, impliquant souvent la coûteuse mise en place d'un département de *data scientists* ;
- La complexité de l'évaluation des bénéfices en termes de productivité et de croissance des straté-

9 – *Ibid*

10 – EY, *(Big) data ; où en sont les entreprises françaises ?*, 2014

11 – Observatoire de l'Innovation de l'Institut de l'entreprise, *Faire entrer la France dans la troisième révolution industrielle ; le pari de l'innovation #1 Big Data*, mai 2014

8 – Boston Consulting Group et DLA Piper, *Le Big Data face au défi de la confiance*, juin 2014

gies liées au *Big Data*, face à des besoins d'investissements importants ;

■ La mise à niveau des compétences en statistique, informatique et management pour nombre de cadres.

A ces défis d'intégration et d'appropriation de la valorisation et de l'intelligence des données massives par les entreprises françaises s'ajoute un enjeu majeur pour l'industrie du *Big Data*, celui de la protection des données personnelles ou organisationnelles.

Les enjeux réglementaires

L'exploitation par des entreprises de données personnelles à des fins commerciales (base de données marketing, ciblage publicitaire, etc.) pose inévitablement la question de la protection des données personnelles. Qui peut collecter ces données ? Qui en détient la propriété ?

En France, le traitement de données à caractère personnel est régi par les dispositions de la loi « Informatique et Libertés » du 6 janvier 1978. Cette loi définit une donnée personnelle comme « toute donnée permettant d'identifier directement ou indirectement une personne physique » et énonce les principes relatifs à la protection des données :

- Finalité et proportionnalité de la collecte des données ;
- Pertinence des données traitées ;
- Conservation limitée des données ;
- Sécurité et confidentialité ;
- Respect des droits des intéressés : loyauté et transparence.

Ces principes constituent autant de défis du point de vue de la conformité réglementaire des opérations de valorisation et d'intelligence des données massives.

La finalité des opérations de *Big Data* est souvent imprécise, la proportionnalité et la pertinence sont donc difficiles à délimiter¹². Les opérateurs recherchent des signaux faibles dans la masse de données et des corrélations, mais ne savent souvent pas sur quoi ils vont s'arrêter : c'est le principe de « sérendipité »¹³. Du

12 – Société Française de Statistique, *Enjeux Ethiques du « Big Data » : Opportunités et risques*, Séminaire organisé par le groupe « Statistique et enjeux publics » de la SFdS le 22 mai 2014

13 – « Protection des données personnelles et *Big Data* ; inconciliables, vraiment ? », Site de Silicon.fr, 20/04/2014

fait des rapprochements, croisements et analyses de données issues de sources diverses et de la dispersion des moyens de traitement, la collecte et l'utilisation de ces données massives doivent être précisément encadrées sur le plan juridique.

Par ailleurs, **la sécurité et la confidentialité des données** sont capitales pour les opérateurs du *Big Data* étant donné la valeur potentielle qu'une analyse efficace du patrimoine informationnel de l'entreprise et du particulier peut générer. En stockant des données stratégiques sur lesquelles elle compte appuyer ses décisions, l'entreprise s'expose à des phénomènes de cybercriminalité et de piratage. Ce fut le cas d'*Ebay* en 2014, victime d'un vol important de données de ses clients.

Les solutions de stockage sur serveurs et dans le *Cloud* doivent de ce fait répondre à ce risque d'insécurité sur les réseaux. Des actions sont en cours dans le cadre de la Solution industrielle « Économie des données » avec la création d'un label sur la sécurité dans les services de cloud computing (Label Secure Cloud de l'ANSSI) qui permettra aux entreprises et acteurs publics d'avoir confiance en ces nouveaux services.

Corollaire de la sécurité des données, **le principe de collecte loyale impose que les intéressés consentent au traitement de leurs données personnelles**. Le 13 mars 2014, le Conseil d'État dans son arrêt « PagesJaunes » a donné raison à la CNIL à propos de l'obligation d'informer les internautes sur la collecte d'informations issues du *web social*.

Face à l'absence de cadre juridique spécifique, l'Union européenne travaille depuis 2012 sur un projet de règlement européen unifiant le droit de tous les États en la matière. L'objectif principal de ce règlement est d'établir clairement la finalité et les conditions d'utilisation des données personnelles¹⁶. Ce nouveau règlement devrait être proposé d'ici la fin de l'année 2015. En France, le projet de loi numérique en cours de rédaction devrait aussi aborder certaines thématiques liées aux données personnelles, comme la portabilité.

14 – Données du *Ministère de l'économie et des finances*

15 – GAFAM : acronyme témoignant de l'hégémonie de cinq acteurs américains sur le marché du *Big Data*. Il s'agit des initiales des entreprises : Google, Apple, Facebook, Amazon et Microsoft

16 – Commissariat Général à la stratégie et la Prospective, Marie-Pierre Hamel et David Marguerit, *Analyse des Big Data Quels usages, quels défis ?*, novembre 2013

Analyse AFOM

ATOUTS

Des instituts d'enseignement supérieurs de renommée internationale : l'Institut Mines-Télécom (Télécom Paristech notamment), École Centrale Paris, l'ENSAE, l'École Polytechnique, l'École normale supérieure (Cachan), l'École normale supérieure (Ulm), etc.

Des ressources d'informaticiens et mathématiciens plébiscités dans le monde entier sur des sujets clés comme le *Big Data* ou l'intelligence artificielle

Des centres de recherche à la pointe sur le *Big Data* tels que le CNRS, le CEA List et l'INRIA

Un dynamisme de l'action publique à travers :

L'intégration d'actions *Big Data* dans la Solution industrielle « Économie des données » de la Nouvelle France industrielle

La création en 2011 de la mission Etalab, « portail unique interministériel des données publiques »

La Présidence française du « Partenariat pour le gouvernement ouvert » (*Open Government Partnership*) en 2016¹

La création de la conférence *Big Data* Paris

FAIBLESSES

Un manque de compétences analytiques et notamment de ressources de *data scientists* pour subvenir aux besoins de ces prochaines années

Une faible perception des entreprises et des particuliers de la valeur des *Big Data* dans la prise de décision stratégique

OPPORTUNITÉS

Un marché mondial estimé à plus de 40 milliards d'euros en 2018

Un marché français estimé à 9 milliards d'euros en 2020

Un potentiel de 137 000 emplois d'ici 2020 en France

Une nouvelle réglementation européenne sur la protection des données à caractère personnel

MENACES

Un monopole des GAFAM² détenant les plateformes globales d'échange et collecte des données massives

Une faible protection des données personnelles

Une atteinte à la sécurité économique des entreprises à travers la vulnérabilité du patrimoine informationnel de l'entreprise

Facteurs clés de succès et recommandations

Aux pouvoirs publics

- Intégrer le traitement des données massives dans l'action publique : en tant que grand opérateur de données, l'État doit être un acteur phare du dispositif et se montrer exemplaire en la matière ;
- Participer à l'établissement d'un cadre réglementaire favorable à l'émergence d'une industrie française de valorisation et d'intelligence des données massives afin de répondre aux enjeux économiques et de souveraineté.

Aux entreprises

Mettre en place une stratégie efficace de valorisation et d'intelligence des données massives. Pour ce faire, quatre facteurs clés de succès peuvent être mentionnés :

- Impliquer fortement la direction générale de l'entreprise ;

- Définir la stratégie en impliquant l'ensemble des directions et en travaillant sur leur transversalité ;
- Recruter et former des *data-scientists* ;
- Définir une feuille de route agile et un plan d'action concret ;
- Garantir la sécurité des données pour créer un climat de confiance ;
- Expérimenter sur des problématiques *Big Data* concrètes et précises.

Aux académiques

- Améliorer les compétences en *analytics* à travers la formation de *data scientists* ;
- Accroître l'offre de formations continues, considérée par les experts comme plus efficaces pour former des *data scientists* à horizon 2020.

Acteurs clés

Organismes de recherche et de formation

En France, **l'INRIA, le CEA List, et le CNRS** sont les principaux centres de recherche travaillant sur la valorisation et l'intelligence des données massives. **L'IRT System X** est un acteur important qui mène des travaux de recherche technologique dans ce domaine. Par ailleurs, les principales grandes écoles françaises ont également lancé des programmes de recherche et formation sur le *Big Data*. **L'Institut Mines-Télécom** propose un programme complet de recherche et d'enseignement pluridisciplinaire sur le *Big Data* accessible en formation initiale et continue et concernant 13 enseignants chercheurs, 50 doctorants et une centaine de diplômés par an. L'école **Télécom ParisTech** a lancé à la rentrée 2013 un nouveau master spécialisé «*Big Data : Gestion et analyse de données massives*».

L'École Polytechnique, l'ENSAE et l'École Centrale Paris ont également mis en place des programmes spécialisés sur la thématique¹⁷. À titre d'exemple, l'École

Polytechnique propose le « *Data Sciences Starter Program* », l'École Centrale Paris a créé un programme de formation continue à destination des cadres dirigeants, chefs de projets, managers des systèmes d'information et experts sur la thématique « *Big Data - Enjeux et opportunités* » ; enfin, l'ENSAE a structuré un programme de spécialisation en *Data Science*, visant à former des *data scientists*, et ce tant en formation initiale que continue.

Grands groupes

La France est encore trop absente des « couches basses »¹⁸ du marché c'est-à-dire au niveau des technologies de base et des infrastructures. Ces « couches » sont aujourd'hui quasiment exclusivement occupées par des acteurs américains tels que Google (création de l'architecture *Hadoop*) ou encore Amazon et Cloudera. Les Français ont pris le train en marche, mais sont présents principalement au niveau des applications. **Atos et Bull, Thales, Orange et Keyrus** sont considérés comme les principaux groupes français de la valorisation et de l'intelligence des données massives. Le groupe Technicolor, leader mondial du secteur des médias et des divertissements, s'est lancé dans le

17 – Pour en savoir plus : sites Internet de Polytechnique, de l'École Centrale Paris et de l'ENSAE

18 – « L'équipe de France du *Big Data* ». LesEchos.fr, 15/10/2013

Big Data avec la création en 2014 de Virdata, en partenariat avec IBM. Ce service de *cloud* pour l'Internet des objets comprend des technologies avancées de gestion et analyse des *Big Data*.

Entreprises de taille intermédiaire (ETI)

Criteo est l'ETI leader dans le domaine de la valorisation et de l'intelligence des données massives en France. L'entreprise a mis en place une architecture informatique de pointe dans le domaine du *Big Data* et un algorithme capable de prédire les intentions d'achat des internautes à partir de leur historique de navigation afin de mieux cibler les publicités affichées.

Start-up et PME

L'écosystème du *Big Data* en France est majoritairement dominé par les très nombreuses start-up spécialisées dans l'*analytics*, la sémantique et les modèles prédictifs. On peut citer, parmi d'autres, **Citizen-Data**, solution hébergée de collecte, stockage et analyse de données issues de capteurs, ou encore **Dataiku**, qui édite une solution d'analyse de données et de construction d'applications prédictives¹⁹, **Mesagraph**, qui mesure l'audience sociale des programmes des chaînes de télévision en analysant des millions de tweets par mois et enfin, **Syllabs**, qui a récemment développé une offre de solutions d'analyse sémantique dédiées pour traiter les données massives dans les domaines de l'e-commerce, l'e-tourisme et les media.

Organismes de soutien et d'interface

Enfin, ces entreprises sont soutenues et accompagnées par les pôles de compétitivité français **Cap Digital, Images & Réseaux, SCS et Systematic**. Cap Digital a participé à la création de l'Alliance *Big Data* en 2013 dont l'objectif est de « contribuer à la construction d'une vision commune et de favoriser le développement de nouveaux services et projets dans le domaine du *Big Data* en France »²⁰.

Avec Cap Digital, quatre autres animateurs ont été sélectionnés pour lancer des appels à projets « Challenges Big Data », permettant de mettre en relation grands groupes et start-up. Il s'agit notamment de Numa, Images & Réseaux, TUBA Lyon et Euratechnologies.

Position des acteurs français

Position des entreprises françaises dans la compétition mondiale



Les acteurs français sont en retard dans la compétition mondiale par rapport aux États-Unis qui dominent très largement le marché²¹. La majorité des leaders mondiaux de fourniture de solutions de *Big Data* sont en effet américains. À l'échelle européenne en revanche, la France se positionne au même rang que l'Allemagne, devant le Royaume-Uni²².

Position des acteurs académiques français dans la compétition mondiale



Les grandes écoles de statistiques et de mathématiques françaises - tels que Télécom ParisTech, l'ENSAE, l'École Normale Supérieure de Cachan, l'École Normale Supérieure Ulm, l'École Centrale ou l'École Polytechnique - et les acteurs de la recherche publique (CNRS, INRIA, CEA etc.) ont permis à la France de développer un système académique performant, de former des talents et de se positionner en leader dans les disciplines de la valorisation et de l'intelligence des données massives. De nombreuses structures travaillent également sur ce domaine comme par exemple les LabEx SMP (porté par la Fondation Sciences Mathématiques de Paris), Digicosme et Ecodec, Les EquiEx CASD et Digiscope ou bien encore les Lidex CDS, ISN, etc.

19 – La start-up a levé 3 millions d'euros début 2015

20 – Site Internet de Cap Digital

21 – Ateliers d'experts réalisés dans le cadre de l'Étude Technologies Clés 2020

22 – Teradata, Communiqué de Presse : « Les entreprises françaises exploitent davantage le « nouveau » Big Data que leurs homologues anglaises », septembre 2014

4 Modélisation, simulation et ingénierie numérique

LOISIRS
& CULTURE

ÉNERGIE,
MOBILITÉ,
NUMÉRIQUE

ENVIRONNEMENT, HABITAT,
SANTÉ ET BIEN-ÊTRE, SÉCURITÉ

ALIMENTATION

➤ Correspond à
une technologie clé 2015

MOTS CLÉS

simulation, modélisation,
prévention, prédiction,
circulation, visualisation,
intégration, déluge de
données, hétérogénéité
de données, logiciels,
marché concentré



Définition et périmètre

Définition

Les technologies de simulation, de modélisation et d'ingénierie numérique visent à construire et à adapter aux moyens numériques un ensemble de fonctions mathématiques décrivant un phénomène qui peut comprendre des dimensions physiques, mécaniques, chimiques, biologiques ou sociales. En modifiant les variables de départ, il est ainsi possible de prédire les modifications et évolutions d'un système étudié.

Initialement appliquées à des domaines, tels que la métrologie, la mécanique, les matériaux ou l'écoulement des fluides, la simulation, la modélisation, et l'ingénierie numérique trouvent des applications dans des domaines de plus en plus nombreux : des réseaux de télécommunications en passant par la circulation d'énergie ou de personnes, la chimie, la biologie, les nanotechnologies, l'environnement et le climat, l'énergie, etc. **Le caractère multi-physique et multi-échelle de ces nouveaux types de phénomènes étudiés renforce le besoin de hiérarchiser le « déluge de données¹ » qui doivent être analysées.**

Les modèles sont ainsi conçus pour traiter la bonne information à la bonne échelle.

Un champ d'applications particulièrement vaste

La modélisation, la simulation et l'ingénierie numérique sont au cœur du domaine du numérique puisque des modèles mathématiques sont présents à toutes les étapes de la conception et du déploiement des **infrastructures et des services de télécommunications** (internet, smartphones, vidéo à la demande, etc.). L'enjeu est dans ce domaine d'éviter tout engorgement et d'offrir des services de qualité et des protocoles toujours plus performants. Cela passe notamment par l'analyse du trafic dont les propriétés évoluent en permanence.

Les applications de la simulation-modélisation numérique en santé sont multiples. Des modèles peuvent ainsi servir la **médecine régénérative** comme la **médecine préventive** et **prédictive** en modélisant l'évolution des pathologies (maladies neurodégénératives et chroniques, oncologie, AVC). Ces technologies

permettent également de déceler des bio-marqueurs. L'ingénierie numérique est ainsi placée au cœur de la **médecine in silico**, qui est basée sur la modélisation virtuelle de processus biologiques réels, son objectif étant d'arriver à une modélisation complète du corps humain. Enfin, les technologies de modélisation et de simulation numérique permettent de faire avancer l'épidémiologie et la gestion des pandémies.

Le domaine de l'énergie est également amené à être fortement impacté par l'élaboration de modèles informatiques et d'outils de simulation dans un contexte de prise de conscience du caractère fini des ressources énergétiques fossiles et de la maîtrise des gaz à effet de serre². La modélisation, la simulation et l'ingénierie numérique permettent ainsi de **comprendre comment produire et distribuer les différentes énergies**, par exemple en optimisant la production de biocarburants ou d'électricité.

Les applications de l'ingénierie numérique ont également un rôle clé à jouer dans le domaine de l'environnement, puisqu'elles permettent non seulement de comprendre les évolutions actuelles et de prévoir leurs conséquences, dans le cadre notamment de la **planification et de la gestion du risque environnemental**, mais aussi d'imaginer des scénarios d'inflexion. Le développement de technologies numériques dans ce domaine concerne en grande partie le développement de modèles prédictifs et de simulations numériques à des échelles très variées (de l'ensemble de la géosphère à l'échelle locale). Le domaine de l'alimentation, lié fortement à des problématiques environnementales, est également touché par ces technologies puisqu'elles permettent de doser les intrants et d'optimiser les procédés. Par exemple, elles peuvent ainsi servir à déterminer des quotas de pêche ou à modéliser la croissance végétale afin d'optimiser les ressources.

En ce qui concerne l'habitat et la mobilité, ces technologies permettent de penser les **villes intelligentes de demain**, par le biais notamment de plates-formes qui interconnectent les modèles de différentes composantes de l'écosystème urbain. Dans le domaine de la mobilité, elles peuvent, par exemple, être appliquées au trafic routier pour permettre d'anticiper des difficultés et de proposer des solutions en temps réel. Des données concernant l'environnement et l'énergie

1 – Terme employé dans *Objectif Inria, plan stratégique 2013-2017*, Inria, 2013

2 – *Objectif Inria, plan stratégique 2013-2017*, Inria, 2013

peuvent également être incorporées aux modélisations urbaines de ces « *smart cities* » (services à l'énergie, utilisation des sols et de l'eau, impacts environnementaux, sécurité, etc.). La **maquette numérique** est un autre outil important qui trouve des applications notamment dans l'habitat et l'urbanisme puisqu'elle permet de réaliser des prototypages visuels de projets (à l'échelle d'un bâtiment ou d'un territoire), de manière évolutive et adaptable, aussi bien dans le temps que dans les fonctionnalités.

Enfin, les technologies de modélisation, de simulation et d'ingénierie numérique sont amenées à impacter fortement les domaines des loisirs et de la culture, par le biais notamment de la **modélisation de comportements humains**, à l'échelle des individus comme des groupes sociaux. Toujours en phase de recherche, l'intégration d'aspects sociologiques et psychologiques couplés à des informations biologiques (neurosciences) dans des modèles pourrait ainsi à terme permettre de mieux comprendre, concevoir et exploiter les informations contenues dans les réseaux sociaux. Autre application dont le développement est en plein essor, la possibilité pour des sites de e-commerce de faire virtuellement essayer à leurs clients leurs produits (vêtements, chaussures) via la « cabine d'essayage virtuelle » composée de modèles intégrant leurs paramètres physiques. Cette approche pourrait avoir des conséquences importantes sur la **modélisation de la relation client**.

massives (data analytics). La convergence du *Big Data* et du calcul intensif est ainsi une tendance qui se confirme et devrait permettre de traiter les données massives générées par un nombre croissant de nouveaux capteurs et d'objets connectés, enregistrant des informations sur des phénomènes physiques, l'environnement ou le comportement humain.

Pourquoi cette technologie est-elle clé ?

Un fort caractère stratégique

Les technologies de la modélisation, de la simulation et de l'ingénierie numérique sont particulièrement clés à l'horizon 2020 puisqu'elles couvrent un champ incroyablement vaste de domaines et **constituent des solutions à des problématiques essentielles du développement humain** (préoccupations environnementales, gestion de l'énergie et des ressources, avancées thérapeutiques et nouvelle conception de la médecine dans un contexte de vieillissement croissant de la population, etc.)

La **multidisciplinarité** est ainsi au cœur de ces technologies qui bénéficieront des avancées dans leurs différents domaines d'application.

Atouts de la France

Le positionnement français dans ce domaine est également très favorable. La France dispose en effet

Domaine	Principales applications
Numérique	Conception et déploiement des infrastructures et des services de télécommunications
Santé et bien-être	Médecine préventive, médecine prédictive, médecine régénératrice, médecine <i>in-silico</i> , épidémiologie
Énergie	Optimisation de la production de ressources (électricité, biocarburants)
Environnement	Planification des ressources et gestion du risque.
Alimentation	Dosage des intrants et optimisation des procédés
Habitat ; Mobilité	Villes intelligentes (<i>smart cities</i>), maquette numérique
Loisirs & Culture	Modélisation de comportements humains collectifs, modélisation de la relation client.

Tableau récapitulatif des principales applications de la modélisation, de la simulation et de l'ingénierie numérique (Source : ALCIMED)

Par ailleurs, le développement de certaines de ces applications (villes intelligentes et modélisation de comportements humains) **dépend fortement de celui des nouvelles technologies d'analyse de données**

d'excellentes compétences académiques en mathématique et informatique et développe des formations spécifiques appliquées à la modélisation, la simulation, le calcul intensif et l'ingénierie numérique.

L'ensemble de l'écosystème national favorise également l'innovation : des partenariats entre recherche publique et privée ont été mis en place, à travers notamment les travaux de collaboration de grands groupes (au niveau national et international) avec l'Inria.

Dans le cadre du Programme d'Investissements d'Avenir, l'État soutient **deux initiatives de diffusion des usages industriels de la simulation en faveur des PME/ETI**, la première portée par GENCI et l'association Teratec, la seconde par l'association Micado. Ces initiatives permettront aux PME/ETI françaises d'intégrer la simulation numérique au sein de leurs processus de développement et de fourniture de produits et de services.

D'ici 2020, le numérique restera une **priorité de la politique de l'État** en faveur de la R&D et de l'innovation, notamment pour le développement de logiciels. La simulation numérique couplée au calcul scientifique constitue également un des axes majeurs des programmes publics d'aide à la R&D, les projets aidés allant de la recherche scientifique « amont » au développement expérimental de solutions industrielles³.

Des entreprises françaises font figure de *leader* mondial dans leur domaine, à l'instar de **Spring Technologies**, qui domine la simulation d'usinage.

Liens avec d'autres technologies clés

La croissance du marché de la simulation, la modélisation et l'ingénierie numérique est liée au développement d'un très grand nombre de technologies clés identifiées dans la présente étude, du fait notamment des nombreux champs d'applications qu'elles couvrent. Parmi les plus importantes ;

Les technologies qui influencent les technologies de la modélisation, de la simulation et de l'ingénierie numérique :

- Les **Capteurs** : les données transmises par les capteurs servent notamment l'actualisation des modèles en temps réel ;
- Certains **Dispositifs bio-embarqués** transmettent également les données nécessaires à la modélisation ou à la simulation pour des applications en santé ;

3 –France numérique 2012-2020 : Bilan et perspectives, Ministère de l'économie, novembre 2011

- Les **Supercalculateurs** : l'augmentation exponentielle des puissances de calcul permet des simulations toujours plus riches, sous réserve que les utilisateurs parviennent à exploiter ces moyens sophistiqués.

Les technologies influencées par les technologies de la modélisation, de la simulation et de l'ingénierie numérique :

- **La Métaomique** : production de très grandes masses de données brutes qu'il faut réussir à intégrer à travers des modèles numériques ;
- **La Fabrication additive** : modélisation et visualisation numérique comme étapes préalables à la fabrication ;
- **La Cobotique et humain augmenté** : par la simulation d'interactions homme-machine (ex. : implants) ;
- **Les Dispositifs bio-embarqués** : utilisation de logiciels de simulation et de modélisation des interactions entre les dispositifs implantés (organes artificiels, prothèses, etc.) et le corps humain ;
- **L'Énergie éolienne** : modélisation et simulation des vents pour l'optimisation en temps réel du fonctionnement des systèmes ;
- **Les Infrastructures de 5^{ème} génération** : importance de la modélisation du réseau pour optimiser son fonctionnement ;
- **L'Ingénierie génomique** : modélisation du génome ;
- **L'Internet des objets** : utilisation pour la modélisation et la simulation des données transmises en temps réel par les objets connectés.

Les marchés

Dynamique du marché mondial

Le marché mondial des technologies de la modélisation, de la simulation et de l'ingénierie numérique est compris dans le marché des logiciels, qui vaut près de 541,6 milliards d'euros en 2014. Ce marché devrait atteindre **789 milliards d'euros en 2020**, sur la base d'une croissance annuelle moyenne de **7,8 %**⁴. Malgré une croissance plus faible que sur la période 2010-2014⁵, ce marché reste l'un des plus dynamiques de l'industrie numérique.

4 –Software : Global Industry Guide, MarketLine, mai 2015

5 –La croissance annuelle moyenne entre 2010 et 2014 est évaluée à 10,9 %

À l'échelle mondiale, le marché est largement dominé par les États-Unis et des entreprises comme **Microsoft et Oracle**, qui ont enregistré des chiffres d'affaires respectifs de 47 et 24 milliards d'euros en 2014. L'Europe est le deuxième marché, suivi par l'Asie Pacifique dont le marché est principalement porté par le développement des industries chinoise et indienne. La Chine, particulièrement positionnée sur le marché de l'édition de logiciels, connaît une croissance dynamique, qui polarise tant les efforts internes que les investissements et implantations étrangères. À l'horizon 2020, ce pays pourrait figurer parmi les *leaders* du marché.

Le marché français, un marché concentré

L'industrie française du logiciel représente quant à elle près de **10 milliards d'euros en 2014**⁶ et son marché intérieur reste dominé par les leaders américains. Le marché français, qui compte près de **2 500 entreprises**, apparaît en effet très concentré puisque les cinq premiers groupes réalisent à eux seuls près de 55 % du chiffre d'affaires français. Le reste du tissu industriel est essentiellement composé d'ETI et de PME.⁷ Le leader français, **Dassault Systèmes**, est deuxième dans sa catégorie en Europe mais ne figure cependant pas au rang des leaders mondiaux, avec un chiffre d'affaires de 2,3 milliards d'euros en 2014.

Des segments en forte croissance

Le marché mondial des logiciels est divisé en plusieurs segments. À titre d'exemple, la simulation numérique pour l'industrie est un segment porteur du marché mondial des logiciels puisqu'il est estimé à 3,7 milliards d'euros en 2014 et devrait atteindre **6,3 milliards d'euros en 2020** sur la base d'une croissance annuelle moyenne de **7,7 %**⁸. À noter qu'en 2013, le marché français sur ce segment était de 350 millions d'euros.

Autre segment intéressant, celui de la simulation médicale devrait quant à lui atteindre **1,4 milliards d'euros en 2020**, alors qu'il est estimé à 613 millions d'euros en 2015, sur la base d'une croissance annuelle moyenne importante évaluée à **14,8 %** entre 2015 et 2020⁹.

6 – *The software and IT services market in France – key figures, trends and opportunities*, PAC, 2014

7 – Données du *Palmarès Truffle 100*, 2015

8 – *Simulation & Analysis Market Analysis Report*, CIMdata, 2014

9 – *Global Medical Simulation Market 2015-2020*, Meticulous Research, 2015

Les défis technologiques à relever

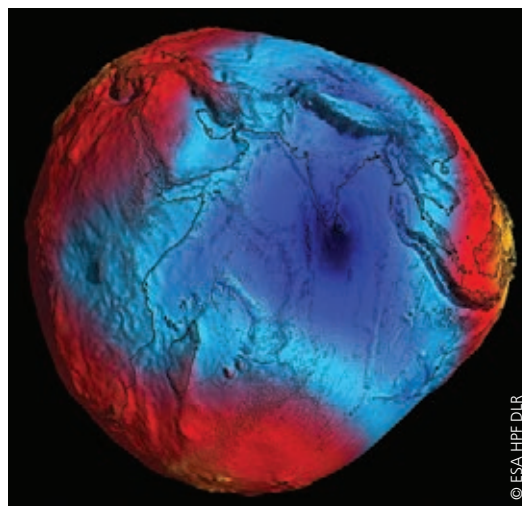
Défis communs à la valorisation et l'intelligence des données massives

Certains défis technologiques qui concernent la modélisation, la simulation et l'ingénierie numérique sont similaires à ceux développés dans la **fiche n°3 « Valorisation et intelligence des données massives »**. Ces défis concernent :

- Le stockage des données massives et la sécurité des systèmes ;
- La qualité des données ;
- Le temps réel.

Défis spécifiques de la simulation, modélisation et ingénierie numérique

On observe aussi des défis propres à la modélisation, de la simulation et de l'ingénierie numérique. Ils concernent notamment la nécessité de générer des modèles plus complets, plus précis et intégrant des données de plus en plus hétérogènes. **Le calcul haute performance (High Performance Computing)** est dans ce cas un levier intéressant puisqu'il permet de calculer plus vite à partir de données de taille plus importante¹⁰. L'arrivée de calculateurs multi-péta / exa flopiques aux environs de 2020-2025 sera un atout important pour réaliser des simulations complexes passant réellement à l'échelle (complexité des modèles, masse des données utilisées).



10 – Données de l'Inria

À ces défis technologiques généraux s'ajoutent d'autres défis plus spécifiques, comme la question de la **fiabilité des modèles**, en particulier lorsque ceux-ci sont prédictifs et servent la prise de décision (médicale, politique, etc.). En effet, si les logiciels de modélisation et de simulation numérique prennent en compte les probabilités d'erreurs, il demeure essentiel de pousser la recherche sur l'amélioration de la fiabilité des systèmes numériques afin de développer l'« adaptation » des logiciels aux défauts intrinsèques des systèmes¹¹.

Les défis commerciaux et d'usage à relever

Les défis pour les grands groupes : concurrencer les leaders mondiaux

Le marché français de l'édition logicielle est **très concentré et dominé par de grands groupes**, tels que Dassault Systèmes, Cegedim, Sopra Steria, Murex, Cegid et Axway¹². Dassault est le seul groupe à avoir une réelle visibilité internationale même s'il n'est pas présent parmi les leaders mondiaux, essentiellement américains. **Le développement à l'international** de ces groupes français est donc essentiel pour asseoir la position de la France.

Bien qu'ils ne soient pas directement positionnés sur le marché de l'édition logicielle, il est toutefois intéressant de noter que des groupes français d'envergure internationale comme Capgemini, Air Liquide, L'Oréal, Alcatel-Lucent, Veolia Environnement ou Atos développent en interne des logiciels de simulation et de modélisation numérique pour des applications dans leurs domaines respectifs.

Les défis pour les ETI et PME : se développer et atteindre une taille critique

La très grande majorité du tissu industriel dans le domaine des logiciels est par ailleurs composée d'ETI et de PME aux chiffres d'affaires beaucoup moins conséquents, 90 % réalisant moins de 50 millions d'euros par an. L'enjeu pour ces entreprises est donc d'atteindre une taille suffisamment importante afin de **capter des parts du marché intérieur** mais également de pouvoir **se développer à l'international**, par le biais de la qualité de l'innovation notamment.

Le rachat des entreprises françaises particulièrement innovantes (Virtuoz, Kelkoo, Ilog) par des entreprises américaines est un autre défi commercial important auquel l'écosystème français doit faire face.

Les enjeux réglementaires

Les enjeux réglementaires de la modélisation, la simulation et l'ingénierie numérique sont similaires à ceux détaillés dans **la fiche n°3 « Valorisation et intelligence des données massives »**. Ils concernent en particulier :

- Le traitement des données à caractère personnel - surtout lorsque sont en jeu des données de santé comme c'est le cas de certaines applications de la modélisation, de la simulation et de l'ingénierie numérique ;
- Le principe de collecte loyale des données ;
- La sécurité et la confidentialité des données personnelles ;
- La nécessité de mettre en place un cadre juridique spécifique en France, au sein de l'Union Européenne comme à l'échelle internationale.

¹¹ –Objectif Inria, plan stratégique 2013-2017, Inria, 2013

¹² –Données du *Palmarès Truffle* 100, 2015

Analyse AFOM

ATOUTS

Excellence académique (Inria, communautés scientifiques en mathématiques et en informatique, etc.)

Écosystème national favorisant l'innovation (French Tech, Ambition logicielle, stratégie numérique du gouvernement...)

FAIBLESSES

Absence de leadership international des leaders français de l'édition logicielle

Emiettement du tissu d'entreprises

Faible capacité d'investissement permettant de donner aux PME/ETI françaises des capacités d'accélération

OPPORTUNITÉS

Multidisciplinarité et très vaste champ d'applications possibles, liés notamment à des besoins croissants en énergie, en santé et en environnement.

Mise en place des accélérateurs dans le cadre de la French Tech pour favoriser la croissance des entreprises innovantes.

Initiatives de diffusion des usages industriels de la simulation en faveur des PME/ETI

Essor du *big data* et besoin en capacités d'analyse et de prédiction (modèles, simulation, etc.).

MENACES

Hégémonie du marché américain et montée des acteurs asiatiques

Facteurs clés de succès et recommandations

Aux pouvoirs publics :

■ La France doit conserver et renforcer un écosystème favorable à l'innovation en ce qui concerne les technologies de la simulation, de la modélisation et l'ingénierie numérique. Cette innovation, qui résulte notamment de **partenariats de recherche publics-privés**, est un **levier important pour le développement des entreprises françaises (PME et ETI en tête) à l'international**. Le programme « Ambition Logicielle » lancé en 2013 dans le secteur de l'édition de logiciels dans le but d'aider les entreprises prometteuses à se développer est un bon exemple de partenariats publics-privés à encourager.

Aux entreprises :

■ Le soutien aux entreprises innovantes peut également passer par le **renfort des financements et aides** apportés à la recherche et au développement. Les entreprises peuvent ainsi prendre part à des initiatives publiques comme la « French Tech »

qui met en place des accélérateurs à destination des start-up innovantes (fonds d'investissements) ;

■ Les entreprises doivent également prendre part à des projets d'envergure européenne et internationale afin de renforcer leur présence à l'étranger. Des partenariats doivent également être réalisés avec des acteurs leaders du marché (États-Unis et acteurs européens), mais également avec des pays émergents qui s'intéressent de plus en plus aux problématiques de simulation et de modélisation numérique, comme la Chine (santé et vieillissement, ville numérique) et l'Inde (innovations pour les masses)¹³ ;

■ Enfin, il paraît important que les entreprises françaises **intègrent les technologies du calcul intensif** à celles de la modélisation et de la simulation numérique dans le but de renforcer leur compétitivité par l'innovation. Cette intégration peut se réaliser *via* une participation aux appels à manifestation d'intérêt, à l'instar de « Diffusion de la simulation numérique » réalisé dans le cadre du Programme d'Investissements d'Avenir.

Acteurs clés

Organismes de recherche et de formation

En France, outre **l'Inria, le CNRS et les laboratoires universitaires spécialisés, le CEA, l'ANDRA, le BRGM et l'IFPEN** sont les principaux centres de recherche travaillant sur le développement de la modélisation et de la simulation numérique. A ces centres d'envergure nationale s'ajoutent deux IRT, **SystemX**, qui a lancé un projet de Simulation et Ingénierie Multidisciplinaire, ainsi que **B-Com**, orienté de manière plus générale sur les réseaux et l'hypermédia.

Le CEA, en partenariat avec **l'ONERA**, soutient par ailleurs une formation de Master 2 entièrement dédiée à la modélisation et à la simulation numérique. Cette formation est intégrée au département de mathématiques appliquées de **l'Université Paris-Saclay**.

Grands groupes

Le leader français de la production logicielle est incontestablement **Dassault Systèmes**, qui, s'il fait figure de *leader* européen, ne se positionne pas aujourd'hui en tant que *leader* mondial.

D'autres grands groupes français non spécialistes de la simulation et de la modélisation numérique ont développé des compétences internes pour mettre au point des solutions de simulation et de modélisation numérique dans leurs domaines respectifs. C'est le cas de **Véolia, Alcatel-Lucent, Airbus, Total, EDF, RTE et Capgemini**.

Entreprises de taille intermédiaire (ETI)

Les principales ETI françaises occupent le secteur de la production à l'instar de **Cegedim, Sopra Steria, Murex, Axway et Cegid**, qui concentrent avec le géant Dassault Systèmes la majorité du chiffre d'affaires français.

D'autres entreprises de taille intermédiaire comme **Atos**, acteur international des services informatiques et **GENCI**, société civile spécialisée dans le calcul intensif,

13 – Objectif Inria, plan stratégique 2013-2017, Inria, 2013

se positionnent de manière croissante sur le secteur de la simulation et de la modélisation numérique qu'ils intègrent à leur offre. Les deux entreprises ont ainsi lancé en juin 2015 la sixième édition du Prix Bull – Joseph Fourier 2015, visant à accélérer le développement de la simulation numérique et la transformation digitale.

Start-up et PME

Les PME et start-up constituent la grande majorité du tissu industriel français. Beaucoup de ces entreprises sont particulièrement prometteuses malgré des chiffres d'affaires encore peu importants en comparaison de ceux réalisés par les grands groupes du secteur logiciel.

Ces entreprises sont positionnées sur tous les domaines d'applications de la modélisation et de la simulation numérique. Il s'agit notamment de :

- Mécanique et conception : **Spring technologies, Esi Group, HydrOcean, MathWorks, Structure Computation, et EC2 modélisation** ;
- Santé : **Digisens, Rhenovia Pharma, Brain Vision Systems et Lixoft** ;
- Environnement: **Optifluides, Geomod, Datapole et Trinov** ;
- TIC : **Docea Power et QoS Design** ;
- Chimie : **Scienomics et TheCosmocompany** ;
- Energie: **Corys Tess, Izuba energies, Powersys**;

■ Sciences Humaines et sociales: **Golaem, Madea concept, Serious Factory**.

Organismes de soutien et d'interface

Les structures qui soutiennent l'écosystème de l'innovation français en matière de simulation et de modélisation numérique sont principalement **Teratec** et les pôles de compétitivité **Systematic, Cap Digital, Aerospace Valley, Images et Réseaux, SCS, TES, Minalogic** et **Imaginove**.

Le Groupement d'intérêt scientifique (GIS) « **Modélisation Urbaine** » a pour principale mission de faire converger, à l'échelon national, les besoins entre les mondes de la recherche, de l'ingénierie, de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre dans le champ de la modélisation urbaine.

Position des acteurs français

Position des entreprises françaises dans la compétition mondiale

En position de leadership	
Dans la moyenne	●
En retard	

Position des acteurs académiques français dans la compétition mondiale

En position de leadership	●
Dans la moyenne	
En retard	

5

Internet des objets

LOISIRS
& CULTURE

ÉNERGIE,
MOBILITÉ,
NUMÉRIQUE

ENVIRONNEMENT, HABITAT,
SANTÉ ET BIEN-ÊTRE, SÉCURITÉ

ALIMENTATION

► Correspond à
une technologie clé 2015

MOTS CLÉS

Objets connectés,
capteurs, données,
plateformes numériques,
interopérabilité,
confidentialité, vie
privée, réseaux,
middleware,
normalisation



Définition et périmètre

Il existe de **multiples définitions de l'Internet des objets (IoT)**, parmi lesquelles : « *un réseau de réseaux qui permet, via des systèmes d'identification électronique normalisés et unifiés, et des dispositifs mobiles sans fil, d'identifier directement et sans ambiguïté des entités numériques et des objets physiques et ainsi de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter, sans discontinuité entre les mondes physiques et virtuels, les données s'y rattachant* ». ¹

Internet devient ainsi progressivement un réseau étendu reliant entre eux les objets connectables. **Ce réseau constitue l'Internet des objets**. Les objets le constituant sont le plus souvent qualifiés de « connectés », mais aussi « communicants » ou « intelligents ». Leur nombre est estimé à 50 à 80 milliards dans le monde d'ici 2020 (15 milliards en 2014²).

Un **objet connecté** est un objet qui n'est en général pas destiné à se connecter directement à Internet mais qui interagit avec d'autres objets ou avec l'être humain, en **M2M, Machine-to-Machine**, ou *via* les **terminaux communicants** que sont les *smartphones*, les tablettes, les *smart TV*. Selon l'Institut de l'Audiovisuel et des Télécoms en Europe (IDATE), l'Internet des objets sera composé en 2020 à 85 % d'objets connectés, à 11 % de terminaux communicants et 4 % relèvera du M2M³.

En se connectant à Internet, les objets connectés génèrent des informations qui augmentent leur valeur intrinsèque. Ils participent au développement de l'économie servicielle en ouvrant de nouvelles possibilités de services innovants facilitateurs du quotidien.

Dans un rapport de 2013, **Cisco a introduit le terme d' « Internet of Everything »** qui comprend non seulement l'Internet des objets mais aussi les données, les processus et les individus⁴.

1 –BENGHOZI P.J., BUREAU S., MASSIT-FOLLEA F., 2009 : *L'Internet des objets, quels enjeux pour l'Europe*

2 –IDATE, 2013 ; *The Internet of things market*

3 –Ibid

4 –Cisco, 2013 ; *Internet of Everything*

Pourquoi cette technologie est-elle clé ?

L'Internet des objets est une **dimension fondamentale de l'Internet de demain**.

Caractère stratégique

En plus de couvrir une diversité de marchés d'application, les nouvelles solutions de services apportées par les objets connectés **impactent toutes les sphères de notre société** (administrations et collectivités, entreprises, consommateurs individuels) et devraient se développer fortement dans les cinq prochaines années.

De grandes multinationales comme Google, Cisco ou Samsung misent sur l'Internet des objets comme **relais de croissance** dans les années à venir, notamment en rachetant des fabricants d'objets connectés ou d'éditeurs de logiciels spécialisés.

Atouts de la France

La France bénéficie **d'acteurs économiques bien positionnés sur la scène internationale**, notamment des start-up et PME sur différents maillons de la chaîne de valeur : fabricants d'objets connectés (Netatmo, Parrot, Withings, etc.), opérateurs de réseau de l'Internet des objets et déploiement de réseaux très bas débit dédiés à l'IoT (Sigfox figure parmi les leaders mondiaux et a attiré des investisseurs étrangers), plateformes de gestion des données (Sen.se), etc.

La France est également bien positionnée sur les plateformes d'interopérabilité (Actility par exemple) et les hébergements (exemple d'OVH), qui peuvent être clés sur les sujets de la protection des données. Ses principaux opérateurs de téléphonie mobile (Bouygues, SFR, Orange, etc.) sont en outre engagés dans le déploiement de solutions d'Internet des objets.

Parmi les dix objets connectables à l'iPhone les plus vendus sur l'Apple Store, quatre sont français. Par ailleurs, **quatorze objets connectés français ont été primés en 2015 au Consumer Electronics show (CES) de Las Vegas**, parmi lesquels le maillot de sport connecté de Cityzen Sciences, la caméra de Giroptic ou la centrale d'alarme de MyFox dans la catégorie « maison intelligente ».

Bpifrance est le premier investisseur dans les fabricants français d'objets connectés avec environ

80 millions d'euros déjà investis⁵. La **Cité de l'objet connecté** a ainsi ouvert ses portes en juin 2015 à Angers et regroupe des infrastructures de prototypage et de production de préséries, et un réseau d'expertises et de partenaires capables d'accompagner les entrepreneurs dans l'industrialisation de leur produit. À terme, un site de production doit également s'y ajouter. La proximité de ces équipements à Angers comme dans d'autres lieux et de ces partenaires participera à **racourcir encore davantage les cycles d'innovation** pour demeurer compétitif dans ce marché mondialisé.

Liens avec d'autres technologies clés

Les objets connectés présentent des liens très étroits avec plusieurs autres technologies clés 2020 :

- **Capteurs** : en tant qu'instruments de recueil des données dans l'environnement, puis de traitement et de traduction de ces données en informations compréhensibles pour l'utilisateur, leur demande augmentera *via* l'essor de l'Internet des objets ;
- **Nanoélectronique** (puces, processeurs, capteurs miniaturisés, etc.) : les composants électroniques produits, plus petits et plus performants, proposant de nouvelles fonctionnalités toujours plus intégrées, répondent aux besoins du marché émergent des objets connectés ;
- **Infrastructures de 5ème génération** : la 5G accompagnera et favorisera le développement des objets connectés en permettant de gérer des volumes plus importants de données à une vitesse accélérée ;
- **Exploitation numérique des données de santé** : la collecte d'informations personnelles par des objets connectés de santé/bien-être soulève des défis en termes de diffusion et d'utilisation de ces données ;
- **Valorisation et intelligence des données massives (Big Data)** : par les nombreuses données collectées par les objets connectés, ceux-ci contribuent au développement du *Big Data* ;
- **Intelligence artificielle (IA) et machine learning** : en analysant les données collectées de manière intelligible de façon à pouvoir prendre des décisions ou prédire/prévenir des situations, l'Internet des objets participe à l'émergence de l'intelligence artificielle dans de nombreuses facettes de la vie quotidienne.

5 – France Stratégie, 2015 : *Demain l'Internet des objets*

Les marchés

Marché global en forte croissance

Le marché mondial de l'Internet des objets pesait 580 milliards d'euros en 2014 et **devrait atteindre 1 525 milliards d'euros en 2020**⁶. Le marché devrait **croître de 16,9 % par an** sur cette période 2014-2020. Cette estimation **exclut les smartphones, tablettes et ordinateurs individuels**.

Les **objets connectés et les services des technologies de l'information** constituent le segment principal du marché mondial de l'Internet des objets. Il est à noter que les objets connectés seuls représentent 38,5 % du marché total. À l'horizon 2020, avec l'arrivée à maturité du marché, **les logiciels** (applications, SaaS, etc.) **devraient gagner des parts de marché importantes**.

Marchés verticaux clés et champs d'application

D'abord développés dans le sport et la santé, les objets connectés deviendront clés sur d'autres marchés verticaux tels que par exemple l'énergie, l'industrie, les transports, l'alimentation, etc. Ils se développeront et intégreront la vie d'un individu, d'une entreprise, d'une collectivité, et y occuperont une place croissante : fonctionnement des hôpitaux et du système de santé, d'une ville, gestion de l'habitat, production de biens, marketing produits/services, etc.

En particulier, **les segments des entreprises et du secteur public apparaissent comme les plus porteurs**⁷. Cisco, leader mondial des infrastructures de télécommunications, estime ainsi dans une étude récente que l'Internet des objets représente un **potentiel d'économies de 3 300 milliards d'euros pour le secteur public (collectivités, administrations) au niveau mondial d'ici 2022**.

Certains domaines d'application sont ainsi jugés particulièrement prometteurs :

- **La ville intelligente / smart city** : l'Internet des objets permettra de gérer les infrastructures d'une ville de façon plus optimale et automatisée, en tenant compte de divers facteurs pour prendre la meilleure

6 – International Data Corp, 2014 ; *Worldwide and Regional Internet of Things (IoT) 2014–2020 Forecast: A Virtuous Circle of Proven Value and Demand*

7 – L'Usine Digitale, 02/06/2015 : *L'Internet des objets pèsera 1700 milliards de dollars en 2020*

décision au moment opportun et/ou éviter les défaillances (**hypervision urbaine**) ;

■ **La maison intelligente et l'immeuble intelligent / smart home et smart building**: ils sont à eux seuls un des forts potentiels de la *smart city* selon Cisco⁸. L'entreprise mène des expérimentations dans plusieurs villes dans le monde, dont Nice ;

■ **L'industrie du futur / smart manufacturing** : les chaînes de logistique et de distribution de l'industrie ont été parmi les premières à intégrer des puces dans les produits pour des questions d'optimisation et de traçabilité. L'Internet des objets permettra aux industries de rationaliser davantage leurs processus internes, commercialement d'une part (collecte de données sur les motivations d'achat, les déplacements des consommateurs en magasin, etc.) et pour la production d'autre part (gestion des équipements, et suivi des stocks, envoi de commandes automatiques aux fournisseurs, etc.).

À titre d'exemple, le secteur de l'assurance (automobile, santé, etc.) sera également particulièrement impacté par l'augmentation des données générées par les objets connectés: analyse en temps réel du comportement des conducteurs, informations sur l'état de santé des assurés, etc. L'accès aux données fera l'objet de rapprochements entre assureurs, fabricants d'objets connectés et prestataires de services numériques, à l'instar d'Axa et Withings. **Les assurés pourraient ainsi payer une prime d'assurance couvrant un risque individualisé, fonction de leurs comportements**⁹.

Les défis technologiques à relever

L'Internet des objets est un système de systèmes d'une grande complexité. **La capacité à gérer des systèmes et composants différents apparaît comme essentielle.**

Standardisation de la communication entre objets

Les objets de l'Internet des objets se reconnaissent et peuvent communiquer entre eux **grâce à un identifiant numérique**. Un objet connecté se voit ainsi

attribuer un ou plusieurs identifiants. L'identité numérique d'un objet connecté **peut être assignée par différentes technologies** : radio-étiquettes (puces RFID), étiquettes graphiques (QR code), étiquette virtuelle (URL), adresse IP.

La multiplication des objets connectés dans de nombreux domaines du quotidien fait apparaître **la nécessité de plateformes leur permettant d'interagir en utilisant un langage commun**. Ces interactions sont sources d'analyses enrichies en surpassant l'approche cloisonnée qui prévaut à l'heure actuelle. En effet, l'Internet des objets fait appel à une hétérogénéité de technologies et de protocoles de communication qui rendent difficiles l'interopérabilité des objets et la garantie d'une expérience globale pour l'utilisateur.

Des géants industriels ont monté des alliances telles que le **consortium AllSeen Alliance ou l'Open Interconnect Consortium**, et des **programmes open source comme Eclipse IoT** afin de travailler ensemble sur la question des standards de communication entre objets connectés. De nombreuses autres alliances ou consortiums *ad'hoc* se sont créés, parfois par grands secteurs d'application, à l'instar de Confluents pour le *smarthome*, et des initiatives sont engagées par des organismes de normalisation, telles que Smart M2M à l'ETSI ou encore oneM2M, un groupement d'organisations à plus haut niveau.

Défi de convergence : interopérabilité des objets pour des services intelligents

Les approches en matière d'interopérabilité sont soit technologiques (et à plusieurs niveaux : connectivité, réseaux, *middleware*, applications) soit thématiques par secteur.

Des plateformes se sont lancées dans cette agrégation de données issues d'objets connectés très différents **afin de générer des services intelligents de façon sécurisée**. Ces plateformes interprètent et analysent les données afin de **pouvoir dispenser des services de plus en plus adaptés à l'utilisateur, particulier ou entreprise**, en centralisant des données sur des habitudes, appétences ou encore relations. Elles représentent une opportunité de mieux connaître et comprendre les comportements de l'utilisateur.

L'ambition est également de **pouvoir automatiser certaines tâches de la vie quotidienne** en programmant ces interactions, particulièrement propices dans

8 –Cisco, 2013 ; *Internet of Everything*

9 –France Stratégie, 2015 : *Demain l'Internet des objets*

les domaines de la maison intelligente et l'immeuble intelligent, de l'industrie, de la santé ou encore dans les transports.

Réseaux à (très) bas débit dédiés à l'Internet des objets

Deux technologies sont actuellement disponibles pour permettre les communications entre objets connectés (envoi de messages très courts de quelques octets) sur des **réseaux bas débit** :

■ **La technologie Long Range (LoRa) est reconnue au niveau mondial comme étant la plus aboutie.**

Elle a été développée par le français Cycleo, devenu filiale de l'américain Semtech (qui garde la maîtrise de la technologie), et est expérimentée en France par Bouygues Telecom. Elle bénéficie d'une immunité aux interférences, minimise la consommation, et a d'excellentes facultés de pénétration dans les bâtiments ou en sous-sol (avantage concurrentiel majeur de cette technologie) ;

■ **La technologie Ultra Narrow Band** est une bande très étroite qui permet de couvrir des zones très larges avec une économie d'infrastructures (1 500 antennes pour couvrir la France, contre 5 000 à 15 000 pour Bouygues Telecom avec la technologie LoRa), mais au détriment de la taille des messages (ne peut dépasser 12 octets, contre 242 octets avec LoRa) et de la pénétration dans les bâtiments. La start-up française Sigfox est reconnue comme la pépite française actuelle positionnée sur cette technologie. Par ailleurs, Qowisio a levé 10 millions d'euros en 2015 pour développer son réseau basé sur la technologie Ultra Narrow Band¹⁰.

L'enjeu de ces deux technologies concurrentes est de permettre aux objets de communiquer entre eux, en consommant le moins d'énergie possible, à un coût réduit pour l'usager. Certains acteurs reconnaissent qu'il y a aujourd'hui de la place sur le marché pour les deux technologies compte tenu de leurs spécificités respectives (couverture du territoire, messages plus ou moins volumineux, etc.).

Sécurité et stockage dans un contexte d'ouverture et de volumes croissants

La croissance du volume de données qui transite sur les réseaux et l'ouverture des systèmes

d'information des entreprises par-delà leurs frontières augmentent d'autant plus les enjeux relatifs à la sécurité pour prévenir les risques de piratage, d'intrusion et de vol d'informations confidentielles (secrets industriels notamment). Les usages domestiques sont également concernés par des problématiques de sécurité. En l'absence de système de sécurité fiable, ils peuvent être facilement détournés et piratés à distance (exemple du piratage possible d'un pacemaker).

Cette question de la sécurité concerne tant les objets connectés que les données collectées par ces objets, domaines différents qui nécessitent chacun des réponses adaptées. Tous les acteurs de l'écosystème se retrouvent alors impliqués à des échelles différentes : producteurs de composants, fabricants d'objets connectés, fournisseurs de réseau, hébergeurs de données, etc.

Se pose également pour les entreprises la question du stockage de données de plus en plus massives dont la croissance est exponentielle. L'augmentation du volume des centres de données ne pourra en effet pas suivre la courbe exponentielle de croissance du volume de données générées dans le monde.

Problématiques du passage à l'échelle

Un défi technologique important pour le développement de l'Internet des objets concerne la capacité des réseaux à absorber plus de routeurs pour orienter les flux dans un contexte où la croissance des données est toujours plus importante. Les infrastructures ne sont pas aujourd'hui toutes en mesure d'absorber le déluge de données lié à la multiplication des objets connectés.

Les défis commerciaux et d'usage à relever

Partage de la valeur entre acteurs économiques traditionnels et nouveaux entrants dans le secteur numérique

L'exploitation des données produites par les objets connectés **est au cœur du modèle économique.**

Le développement de l'Internet des objets entraîne une **restructuration par l'usage** où les acteurs du numérique captent une part de plus en plus importante de la valeur ajoutée du produit ou du service au détriment des opérateurs télécom. L'étude « Économie des Télécoms 2014 » indique ainsi que **les constructeurs de terminaux ont capté +35 % de valeur entre**

10 –L'Usine Digitale, 08/06/2015 : Qowisio défie Sigfox et LoRa dans les réseaux pour objets connectés

2007 et 2013, et cette évolution monte à +80 % pour les acteurs Internet, contre - 49 % pour les opérateurs télécom¹¹.



Sur ce marché en pleine croissance, se pose donc la question du partage des bénéfices entre acteurs traditionnels et fournisseurs de services numériques dans le cadre de développement d'offres hybrides produits/services. Parallèlement, une tendance à la désintermédiation se développe, permettant aux nouveaux entrants de prendre la place des acteurs traditionnels, à l'instar par exemple des services numériques.



Adoption et connaissance des objets connectés dans la sphère privée

Alors que le marché de l'Internet des objets s'avère particulièrement porteur pour l'industrie (*smart manufacturing*, offres hybrides produits/services, etc.) et les administrations ou collectivités (économies liées à une nouvelle gestion des ressources, comme par exemple dans le cas de la ville intelligente), les acteurs de l'Internet des objets **devront relever le défi de surpasser les freins relatifs** à l'immersion de l'Internet des objets dans **la sphère privée en légitimant leur valeur ajoutée pour différents usages, en les rendant simples d'accès et sécurisés.**

11 –Arthur D. Little / FFT, 2014 : *Étude Économie des Télécoms*

L'enjeu sera également d'améliorer dans les années à venir la connaissance des objets connectés au sein de la population française. Une étude réalisée par l'Observatoire des objets connectés en novembre 2014¹² indique que si 92 % des Français ont déjà entendu parler des objets connectés et 23 % déclarent en posséder un, **seuls 41 % d'entre eux savent réellement de quoi il s'agit.** La dynamique d'apprentissage est en revanche très rapide et l'état de la connaissance devrait rapidement évoluer.

L'étude révèle également des points de tension et d'ambiguïté chez les consommateurs. Si 84 % des personnes interrogées considèrent que les objets connectés constituent un vrai progrès, elles sont 88 % à penser également que ces derniers les rendent plus dépendantes aux machines.

Les principaux freins à l'achat d'objets connectés sont ainsi **le coût** (pour 59 % des personnes interrogées), la **non-perception de leur utilité** (45 %) ou **la peur de la dépendance et de l'utilisation des données personnelles** (28 %).

Les enjeux réglementaires

Confidentialité et respect de la vie privée

Le défi majeur du développement de l'Internet des objets est **d'innover sans que ce processus se fasse au détriment de l'utilisateur**, qui n'a pas le contrôle ni la connaissance de certaines utilisations de ses données personnelles (mise à disposition auprès de tiers, publicités ciblées, etc.).

La multiplication d'objets capables de collecter des données personnelles (en santé/bien-être notamment) pose des questions en termes de respect de la vie privée et de sécurité. **L'enjeu majeur est donc de protéger les citoyens comme les acteurs socio-économiques afin de garantir leur liberté individuelle et la confidentialité de leurs données, tout en exploitant ces dernières en tant que potentiel d'innovation.**

En France, la loi Informatique et Libertés (6 janvier 1978) énonce les principes relatifs à la protection des données personnelles, mais **il n'existe pour l'instant pas de cadre juridique qui soit adapté aux bouleversements**

12 –Observatoire des objets connectés, enquête auprès d'un échantillon de 2000 internautes représentatif de la population française (réalisée en septembre-octobre 2014)

engendrés par l'essor du numérique et l'échange de données massives. Si la Commission Européenne estime qu'il n'y a pas besoin d'établir de législation spécifique à l'Internet des objets pour faire face à ces enjeux, elle est en cours d'aménagement de la directive 95/46/CE relative à la protection des données à caractère personnel. Des clarifications devraient donc émerger du droit.

Clarification du cadre juridique

L'Internet des objets n'échappera pas au droit européen. Dans cette optique, les autorités européennes de protection des données ont adopté les 16 et 17 septembre 2014 un avis sur l'Internet des objets¹³. Le respect de la vie privée et la protection des données personnelles sont au cœur des préoccupations de l'Union Européenne.

Analyse AFOM

ATOUS

Emergence de plusieurs entreprises de référence sur le marché des objets connectés, que ce soit dans l'offre d'objets, d'applications, de plateformes logicielles ou encore de réseaux dédiés

Culture du design et de l'innovation par les usages, couplée à une maîtrise des technologies

R&D dynamique sur les questions relatives à l'Internet des objets (entreprises, centres de recherche, tissu académique)

Structuration d'une Cité des objets connectés au sein d'Angers Technopole, en tant qu'outil de soutien et de développement de l'innovation et du savoir-faire français

Dynamisme de l'action publique : positionnement de cette technologie dans les priorités de la politique industrielle de la France, à travers trois des neuf Solutions industrielles : « objets intelligents », « confiance numérique » et « économie des données »

FAIBLESSES

Absence de système d'exploitation français (OS : *operating system*)

Retard sur les procédés et capacités de fabrication dans un environnement où la production se fait massivement dans les pays à bas coût (Chine par exemple).

Méconnaissance et freins au développement des objets connectés dans la sphère privée

OPPORTUNITÉS

Marché mondial en forte croissance, estimé à plus de 1 500 milliards d'euros en 2020

Des opportunités à la fois pour les filières industrielles « traditionnelles », pour les entreprises de services numériques et les collectivités/administrations

MENACES

Forte concurrence internationale

Risque de rejet de ces technologies jugées trop intrusives et/ou non sécurisées

Réglementation toujours en cours d'élaboration (mais qui pourrait également être source d'opportunités)

13 –CNIL, 2014 : Communiqué G29, Avis sur l'Internet des objets

La Commission Européenne prône notamment depuis 2009 sous forme de recommandation un « droit au silence des puces » qui aurait pour but de rendre à l'utilisateur la maîtrise du partage de ses informations. Cette désactivation, possible mais non obligatoire pour les technologies d'Identification par Radio Fréquence (RFID), devant se faire sans frais. Cette éventualité devra donc être prévue par les fabricants lors de la conception de leur objet.

Aussi, se posent en France plusieurs questions¹⁴, parmi lesquelles :

■ **La contractualisation** : les objets connectés ne sont à ce jour dotés d'aucun statut juridique. À ce titre, ils ne peuvent contractualiser directement avec un tiers dans le cadre de passage de commandes automatiques (ex : réfrigérateur connecté). Ils ne pourront pas non plus être considérés comme mandataires. C'est la réglementation de la vente en ligne qui s'applique, l'objet connecté n'étant considéré que comme un moyen de communication ;

■ **La défaillance de l'objet connecté** : afin de la corriger, une activation manuelle des fonctions de l'objet doit être prévue, ou bien l'objet doit être en mesure de détecter sa propre défaillance et de réagir en fonction

(ex : voitures sans conducteur). Les transports connectés impliquent spécifiquement de réfléchir à la responsabilité du fait des choses ;

■ **La clarification dispositifs médicaux / objets connectés** : une clarification est nécessaire entre dispositifs médicaux et objets connectés de bien-être/santé. Les dispositifs médicaux sont soumis à une réglementation renforcée de protection des données de santé (loi Informatique et Libertés et Code de la santé publique), alors que les objets connectés de santé/bien-être sont dans un espace plus flou et en dehors du champ couvert par la réglementation actuelle.

Sécurité

L'article 34 de la loi Informatique et Libertés impose au responsable du traitement des données « *de prendre toutes les précautions utiles (...) pour préserver la sécurité des données et, notamment, empêcher qu'elles soient déformées, endommagées, ou que des tiers non autorisés y aient accès* » (sous peine d'emprisonnement et d'amendes).

D'un point de vue réglementaire, les enjeux majeurs sont donc de garantir la sécurité des utilisateurs et de leurs données et de déterminer l'acteur responsable en cas de défaillance.

Facteurs clés de succès et recommandations

Plusieurs **facteurs clés de succès** apparaissent ainsi pour le développement de l'Internet des objets en France ;

■ **Effort vers la standardisation des technologies et des protocoles de communication** pour faciliter l'interopérabilité des objets ;

■ **Développement de plateformes** de gestion des données personnelles et de communication entre objets **source d'avantage compétitif** face à la multiplication des objets connectés dans la société ;

■ Développement d'un avantage compétitif sur la **sécurisation et la protection des données** pour rassurer l'utilisateur ;

■ **Facilitation de l'introduction et de la démocratisation des objets connectés** dans la sphère privée ;

■ Poursuite des **efforts de positionnement à l'international** ;

■ **Développement des capacités d'investissement** pour accélérer les entreprises existantes (dans la logique des accélérateurs de la French Tech notamment) ;

■ **Renforcement des partenariats grands groupes – start-up/PME** pour développer des offres intégrées et aller « en cordée » à l'international ;

■ **Garantie de la maîtrise des composants stratégiques et du maintien de briques essentielles** de la chaîne de valeur, en particulier sur le volet industriel.

14 – La semaine juridique, 2014 : *Les enjeux juridiques de l'Internet des objets*

Acteurs clés

Organisme de recherche et de formation

Parmi les principaux acteurs français de la recherche, on compte notamment : CEA-LETI, IRT B-Com, Inria, IEMN, IRCICA.

Plusieurs acteurs académiques proposent des formations dédiées à l'Internet des objets. Il s'agit notamment de l'École Polytechnique et de l'Université de Nantes (Polytech Nantes et l'IEMN-IAE) en association avec Télécom Bretagne...

Grands groupes

Les principaux groupes français dans le champ de l'Internet des objets sont Orange, Bouygues Telecom, Valeo, Airbus, Atos, Bouygues, Thales, Ineo, Veolia, Dassault, Eiffage, Seb, Archos, Alcatel-Lucent, PSA Peugeot Citroën, Renault, Gemalto, Le groupe la Poste, Cisco France, Intel France, Axa, EDF

R&D, Danone, Engie, Areva, ST Microelectronics et Legrand.

Entreprises de taille intermédiaire (ETI)

Plusieurs ETI françaises sont présentes dans l'Internet des objets, à l'instar de Parrot ou Delta Dore.

PME et start-up

La France possède un écosystème de start-up et de PME actives dans les domaines de l'Internet des objets : Cityzen Sciences, Withings, Sigfox, Netatmo, Giroptic, MyFox, Sevenhugs, Airboxlab, Actility, SYS, Sen.se, Medissimo, Laster Technologies, Optinvent, Artefacto, Qowisio.

Organismes de soutien et d'interface

Ces entreprises sont soutenues et accompagnées par des structures de l'écosystème de l'innovation, à l'image des pôles de compétitivité Cap Digital, Images & Réseaux, Systematic et Minalogic.

Position des acteurs français

Position des entreprises françaises dans la compétition mondiale	
En position de leadership	●
Dans la moyenne	
En retard	

Position des acteurs académiques français dans la compétition mondiale	
En position de leadership	
Dans la moyenne	●
En retard	

6

Infrastructures de 5^{ème} génération

LOISIRS
& CULTURE

ÉNERGIE,
MOBILITÉ,
NUMÉRIQUE

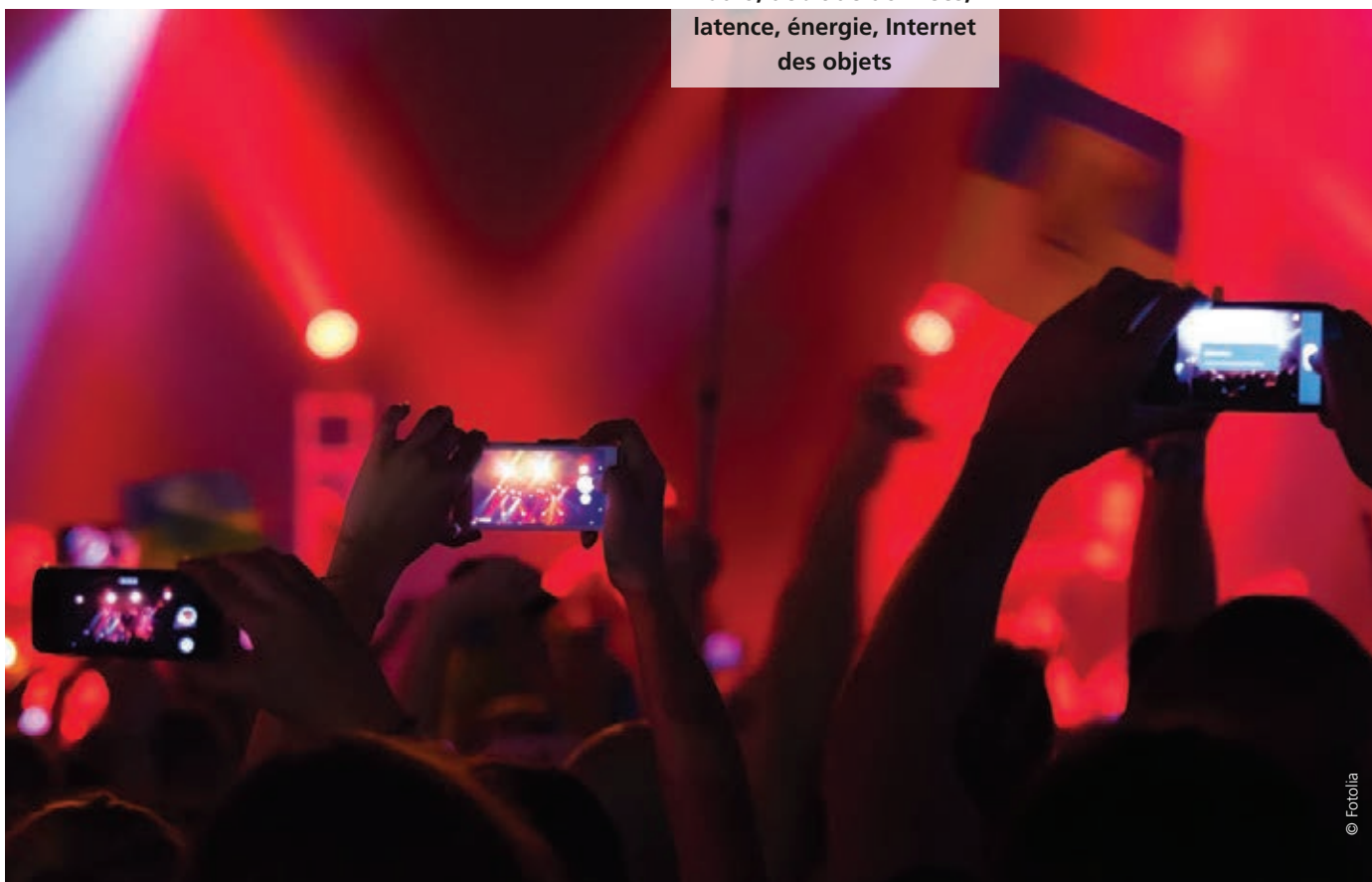
ENVIRONNEMENT, HABITAT,
SANTÉ ET BIEN-ÊTRE, SÉCURITÉ

ALIMENTATION

► Correspond à
une technologie clé 2015

MOTS CLÉS

Infrastructure, réseau
mobile, fréquences
radio, débit de données,
latence, énergie, Internet
des objets



© Fotolia

Définition et périmètre

Les infrastructures de 5^{ème} génération désignent la **prochaine génération de réseaux mobiles 5G, qui succédera à la 4G vers 2020.**

La technologie 4G est efficace, mais ne pourra répondre seule à l'arrivée de nouveaux usages clients : l'Internet des objets, le M2M (*machine to machine*), l'implémentation « temps réel » d'applications innovantes, des services respectueux de l'environnement, une convergence fluide fixe-mobile partout, etc. Il s'agit principalement **d'assurer une couverture plus large et homogène du réseau**, de répondre au **défi de l'efficacité énergétique et d'assurer la connectivité avec les données massives de l'Internet des objets**. De tels usages requièrent une infrastructure très flexible, capable de déployer puis d'opérer très rapidement et facilement de nouveaux services. La 5G devrait aussi permettre d'assurer **la continuité et la qualité de l'expérience de l'utilisateur**, dans toutes les situations, quelle que soit sa localisation - au centre d'une grande agglomération, dans un village isolé ou encore à bord d'un train à grande vitesse.

Pour être un succès, la 5G doit aujourd'hui relever plusieurs défis afin de répondre aux attentes des citoyens et des entreprises :

- **Garantir la flexibilité nécessaire** pour que des innovations réseau soient déployées rapidement, à travers la généralisation d'approches logicielles (virtualisation des fonctions du réseau). Cette approche doit permettre de réduire le temps moyen de création d'un nouveau service de 90 heures à 90 minutes ;

- **Contribuer à réduire les coûts liés au réseau**, en particulier les coûts d'exploitation, en passant par des logiciels permettant des processus très automatisés ;

- **Accroître significativement l'efficacité énergétique** de l'économie numérique pour économiser jusqu'à 90 % d'énergie pour les différents services proposés ;

- **Accroître la capacité à acheminer efficacement le trafic de l'internet des objets, avec une vitesse de connexion pouvant dépasser 1 Gigabit par seconde.**

- **Créer un Internet sûr et fiable** qui accompagne toute la dynamique de la société numérique et permet un contrôle avancé de la sécurité pour les utilisateurs¹.

La 5G est toujours en cours de définition et de précision par les acteurs². Un certain nombre d'éléments restent en effet à déterminer, comme par exemple l'identification et l'alignement de bandes de fréquence radio appropriées.

Si l'écosystème des acteurs du mobile ne s'est pas encore complètement accordé sur ce que sera la 5G, un consensus a été trouvé sur le fait qu'elle ne doit pas seulement être une technologie de réseau d'accès mais que le cœur de réseau devra également évoluer. Aujourd'hui, **deux visions coexistent**³, dont l'association récurrente forme les prémices d'une définition de la 5G :

- **La vision hyper-connectée** : la 5G est ici considérée comme la combinaison de technologies existantes hétérogènes (Wifi, Bluetooth, interfaces radio...), dont l'association permet d'augmenter la qualité du service et de l'expérience pour l'utilisateur (vitesse, couverture, disponibilité, densité et connectivité améliorées) ;

- **La technologie d'accès radioélectrique de nouvelle génération** : cette perspective fixe des objectifs quantifiés en priorité sur l'efficacité énergétique mais également sur le débit de données et la latence que de nouvelles interfaces radio doivent atteindre.

Ainsi, la 5G s'inscrira-t-elle **dans la continuité technologique de la 3G et de la 4G en cherchant à tirer le meilleur parti** de l'agrégation de plusieurs bandes de fréquences radio disjointes. Elle n'a pas vocation à remplacer la norme LTE-Advanced (norme de la 4G LTE-A) qui constitue au contraire un tremplin pour la 5G.

La 5G devra ainsi concilier une évolution des normes actuelles avec la mise au point de nouvelles technologies complémentaires. La 6G serait, elle, attendue pour 2030.

Une des ruptures de la 5G sera une utilisation du spectre au-delà des 5 GHz si elle est confirmée.

1 –Brigitte Cardinaël (Orange), 2015

2 –GSM, 2014 ; *Understanding 5G: Perspectives on Future Technological Advancements in Mobile*

3 –GSM, 2014 ; *Understanding 5G: Perspectives on Future Technological Advancements in Mobile*

Pourquoi cette technologie est-elle clé ?

Caractère stratégique

L'enjeu de la standardisation des normes de télécommunication mobile à l'échelle mondiale est hautement stratégique et les équipementiers télécoms s'y préparent. L'acteur qui contrôlera l'accès aux technologies (et obtiendra le plus de *royalties*) sera aussi celui qui bénéficiera du meilleur espace d'innovation pour le marché de produits et services numériques associés. On observe néanmoins le développement de l'*Open Source* dans les technologies liées au réseau avec l'arrivée de la 5G, ce qui est susceptible de bouleverser la concurrence.

La 5G fait ainsi l'objet d'une compétition mondiale entre équipementiers télécoms⁴. La Commission Européenne a mis en place le consortium **5G Infrastructure Public Private Partnership (5GPPP)**⁵ qui a pour objectif d'assurer le *leadership* européen, de soutenir le développement de standards de 5G, de développer et d'exploiter au moins 20 % des brevets SEP⁶, et de renforcer l'industrie européenne pour réussir la transition vers la 5G (**investissements de 1,4 milliards d'euros**⁷ dont 700 millions apportés par l'UE). Parmi les membres du consortium, on retrouve notamment les industriels français Alcatel-Lucent, Atos, Orange Labs et Thales Alenia Space, ainsi que le centre de recherche CEA-LETI, et des PME, telles que Sequans Communications.

L'Union Européenne finance ou cofinance par ailleurs des programmes, tels que 5G now, IJoin, Tropic et METIS (*Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society*). Elle s'est associée avec plusieurs pays moteurs du très haut débit mobile, comme le Japon et la Corée du Sud, à travers la signature d'**accords permettant d'unifier les efforts en matière de recherche et développement, de standards globaux et d'interopérabilité des systèmes utilisés**. Un partenariat avec la Chine est également prévu.

4 – Les Echos, 24/12/2013 : *Équipementiers: la bataille de la 5G a déjà commencé*

5 – Commission Européenne, 2015 ; *5G Vision : The 5G infrastructure public private partnership : the next generation of communication network and services*

6 – Données de 5GPPP

7 – Silicon, Ulrich Dropmann, NSN, 04/02/2014 : *L'Europe profitera de la 5G pour combler son retard*

Le chinois **Huawei** a pour sa part annoncé un investissement en France de **600 millions de dollars** (530 millions d'euros) dans le développement de la 5G. En janvier 2014, le gouvernement de la Corée du Sud a indiqué **investir 1,5 milliard de dollars** (1,3 milliard d'euros) pour soutenir le déploiement de services 5G.

Les activités mondiales de recherche et d'expérimentation sur la 5G sont au global estimées à près de **4,5 milliards d'euros**, avec un taux de croissance annuel de 40 % dans les cinq prochaines années⁸. **Ces investissements et manœuvres stratégiques illustrent la « bataille »** en cours autour de la maîtrise des infrastructures, des technologies, et donc du potentiel marché lié à la 5G.

Atouts de la France

Les acteurs français sont mobilisés, notamment *via* le 5G PPP.

Les grands groupes industriels des télécommunications sont engagés dans la course à la 5G. Alcatel-Lucent réalise plus de **2,2 milliards d'euros d'investissements annuels dans la recherche et le développement, parmi lesquels la 5G**.

Les équipes d'Orange sont elles aussi engagées dans la recherche et la définition de la norme 5G aux côtés d'autres opérateurs, équipementiers télécoms et centres de recherche⁹, *via* sa division R&D **Orange Labs, dotée d'un budget global annuel de 820 millions d'euros**. Orange a également fondé, avec un groupement de PME, l'Inria, l'Insa de Rennes, Supélec, Télécom Bretagne, l'université de Rennes-I et le pôle de compétitivité Images&Réseaux, l'**IRT B-Com**, qui se consacre notamment aux réseaux mobiles très haut débit et dispose d'un **budget de 250 millions d'euros sur 10 ans**.

La France bénéficie également du dynamisme des activités de R&D d'autres groupes industriels, mais aussi de PME, start-up, centres de recherche et établissements académiques.

Certaines start-up et PME pourront jouer un rôle partenarial important auprès des opérateurs et équipementiers dans la définition de la norme 5G et le déploiement

8 – Radiant Insights, 2015 : *The 5G Wireless Ecosystem: 2015 - 2025 - Technologies, Applications, Verticals, Strategies & Forecasts*

9 – Site d'Orange : *La 5G: vers l'Internet mobile du futur*

des infrastructures. En 2015, **Eblink a réussi à lever 30 millions d'euros** pour développer et commercialiser sa technologie *wireless fronthaul* (technologie de réseau sans fil pour les architectures de réseaux mobiles), **dont 3 millions auprès d'Alcatel-Lucent.**

Liens avec d'autres technologies clés

■ **Internet des objets** : la 5G présente un lien fort et direct avec l'Internet des objets, puisqu'elle y trouve une de ses justifications. La 5G est en effet pensée pour l'Internet des objets et permettra ainsi de connecter entre eux d'innombrables objets. Elle contribuera à supporter les données de milliards d'objets connectés en réseau dont le nombre croîtra significativement dans les cinq prochaines années¹⁰ ;

■ **Capteurs** : en lien avec le développement de l'Internet des objets, la 5G devra relever le défi de supporter des milliards de connexions à bas débit entre capteurs connectés ;

■ **Valorisation et intelligence des données (Big Data)** : le développement de la 5G permettra de soutenir les solutions de collecte et de traitement Big Data grâce à la possibilité offerte par ces nouvelles infrastructures de traiter un volume de données très important en un temps restreint ;

■ **Réseaux électriques intelligents (Smart grids)** : ces réseaux électriques, qui fonctionnent grâce à des technologies informatiques, permettent notamment d'offrir un service optimal à des régions rurales éloignées. La 5G permettra d'augmenter davantage leur qualité de service et leur surveillance.

Les marchés

La 5G sera un des **facilitateurs clés du monde numérique de demain**. Elle accompagnera **l'évolution des processus** et **l'augmentation de la demande**, liés au développement de l'Internet des objets en particulier. On estime qu'il y aura en 2020 trente fois plus de trafic Internet mobile qu'en 2010¹¹.

Cette multiplication des objets connectés dans un nombre croissant de champs d'application (en santé,

domotique, textile, transport, agroalimentaire, etc.) et les apports de la 5G en termes d'accélération de la vitesse de traitement des données (débit plus important, délai de latence réduit) **laissent entrevoir des opportunités de nouveaux débouchés en termes de services dans tous les secteurs économiques.**

La Commission européenne a plus particulièrement identifié **certaines des applications que la 5G devrait faciliter et améliorer** grâce à ses capacités et sa fiabilité¹² :

■ **E-santé** : télé-chirurgie ;

■ **Maisons connectées (domotique)** : pilotage des équipements à distance ;

■ **Transport sécurisé** : sécurité routière et anticipation des dangers, voitures connectées et autopilotées, systèmes de freinage automatiques ;

■ **Smart grids**, ou réseaux d'énergie intelligents ;

■ **Divertissement** : amélioration du service dans un stade de 50 000 personnes (à titre d'exemple).

En attendant l'arrivée de la 5G, les **revenus des services LTE** sont estimés à **150 milliards d'euros**, et devraient **croître de 30 % par an** dans les cinq prochaines années¹³.

Le marché de la LTE pourrait représenter **plus de 20 % des connexions mobiles d'ici 2020**¹⁴.

Les défis technologiques à relever

Alors que la 4G a été conçue pour favoriser l'Internet mobile, la 5G devra traiter et supporter les données de milliards d'objets connectés qui feront partie de notre quotidien dans les années à venir. Les infrastructures réseaux devront donc être en mesure de subvenir aux besoins et à la demande d'une digitalisation mondiale toujours croissante. **Le challenge global est donc de fournir la capacité suffisante à des milliards de dispositifs, à un coût abordable, dans une optique durable, afin d'assurer une qualité de service et une couverture optimale.**

10 – 15 milliards d'objets connectés en 2014, 50 à 80 milliards en 2020 selon les estimations (IDATE)

11 – Commission Européenne, 24/02/2014: *What 5G can do for you*

12 – Ibid

13 – ReportsnReports, 2015 ; *LTE, LTE-Advanced & 5G Ecosystem: 2015 – 2020 – Infrastructure, Devices, Operator Services, Verticals, Strategies & Forecasts*

14 – Gartner, 2013 : *4G and 5G, a market update*

Les solutions optiques, cellulaires et satellitaires de la 5G s'appuieront principalement sur des technologies émergentes déjà commercialisées¹⁵, telles que :

- Network Functions Virtualization (NFV) ;
- Software Defined Networking (SDN) ;
- Heterogeneous networks (HetNets) ;
- Mobile Edge Computing (MEC) ;
- Fog Computing (FC) ;

En particulier, **les technologies NFV et SDN devraient jouer un rôle clé** pour répondre aux exigences de la 5G en termes de capacité et de réactivité. Ces technologies facilitent la gestion du réseau pour les administrateurs (automatisation) et promettent de nouveaux services pour les opérateurs¹⁶. Elles permettent en outre de réaliser des économies substantielles en termes d'investissements et en coûts de maintenance.

Élargissement de la capacité du réseau, passage à une nouvelle échelle

Les données sont transmises par des ondes radio, divisées en bandes de différentes fréquences. **Des connexions fonctionnant sur différentes fréquences radio seront établies afin de répondre à la demande croissante. Cette réallocation des fréquences radio est un des éléments clés de la 5G.** Afin d'ouvrir la voie à la 5G, l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) repense actuellement l'allocation du réseau radio utilisé pour transmettre les données, tout en permettant aux réseaux existants (3G et 4G) de continuer à fonctionner.

Cyber sécurité

Par ailleurs, la virtualisation et l'utilisation de normes hétérogènes (Wifi, Bluetooth, protocoles à bas débit, etc.) dans la future 5G **renforceront le besoin d'assurer la sécurité du réseau et donc de ses infrastructures.** La cyber sécurité devra être prise en compte de bout en bout avec des **processus adaptables aux exigences de sécurité de chaque appareil connecté**, en fonction du risque corrélé (accru avec les voitures connectées, par exemple).

15 –Commission Européenne, 2015 ; *5G Vision ; The 5G infrastructure public private partnership ; the next generation of communication network and services* (+ site Internet du cluster Systematic)

16 –Silicon, 02/09/2014 : *SK Telecom et Ericsson-LG préparent la 5G à coup de SDN*

Intégration des satellites, ballons stratosphériques et drones au déploiement de la 5G

Les satellites pourraient jouer un rôle majeur en s'intégrant aux autres réseaux pour assurer le déploiement de la 5G dans toutes les régions du monde, en permanence, et à un coût compétitif. **Ils contribueraient ainsi à augmenter la capacité de service de la 5G** (gestion du trafic de données, couverture, communication M2M...) tout en permettant aux utilisateurs finaux de bénéficier de la 5G à un coût abordable.

Les ballons stratosphériques et drones figurent également parmi les solutions envisagées pour offrir une couverture réseau à toutes les régions du globe, même les plus reculées, **et renforcer l'efficacité des réseaux existants.** Google a ainsi expérimenté, en partenariat avec le CNES, la mise en place d'un réseau de ballons, Loon, à vingt kilomètres au-dessus de la Terre. La phase de test a commencé en 2013. Les drones pourraient également jouer le rôle d'antennes relais, notamment ceux de la marque Titan, rachetée par Google.

Femtocell

La technologie Femtocell (antenne résidentielle reliée à l'Internet fixe) **s'avère également opportune** pour les réseaux entreprises ou domestiques. Elle permet de créer un mini-réseau sur son lieu de travail ou chez soi et ainsi d'offrir un service plus efficient à ceux qui rencontrent des difficultés de connexion dans des zones moins bien couvertes. Cette technologie pourra servir de transition dans des zones peu couvertes en attendant un déploiement plus exhaustif de la 5G.

5G verte et moindre consommation d'énergie

La 5G devra relever le défi de gérer l'augmentation du nombre d'objets connectés, du trafic de données, et des hétérogènes **sans augmenter de façon majeure la consommation d'énergie**¹⁷. **La mise en œuvre d'un réseau optimisé économe en énergie constitue donc un vrai challenge**, en travaillant sur l'architecture et le déploiement du réseau, les transmissions radio, et les solutions d'accès. L'intégration d'antennes massives (drones, satellites, ballons stratosphériques) pourrait construire un réseau à la fois plus efficient et économe en énergie.

17 –Commission Européenne, 2015 ; *5G Vision : The 5G infrastructure public private partnership : the next generation of communication network and services*

L'enjeu de ces économies d'énergie **est également de moins solliciter les batteries des Smartphones et objets connectés, et d'augmenter leur autonomie jusqu'à plusieurs jours voire plusieurs années pour certains objets connectés**. Les usagers seront sensibles à la prise en compte du développement durable dans le domaine du numérique.

Exigences techniques et fiabilité

La 5G devra comprendre un plus fort déploiement de la fibre optique, qui permet un plus grand volume de bande passante afin d'éviter les pertes et saturations que l'on constate encore à l'heure actuelle sur les réseaux mobiles.

Les principaux enjeux technologiques à relever pour la 5G sont ainsi **d'assurer l'homogénéité de la couverture du réseau** et de concevoir des architectures de réseau en mesure de traiter des volumes de données de plus en plus élevés et des débits importants en s'assurant de délais de latence (transit) réduits. La latence de la 5G sera imperceptible pour l'humain et environ 50 fois plus rapide qu'avec la 4G.

Les défis commerciaux et d'usage à relever

Implémentation commerciale de la 5G

Alors que le très haut débit et la latence réduite de la 5G laissent présager de **nouvelles opportunités de services optimisés, sûrs et efficaces** dans de nombreux domaines d'application, avec une **expérience usager globale et inédite**, il n'en reste pas moins à apporter la preuve de son utilité et de sa légitimité. En effet, la 4G et la 4G+ offrent encore aux acteurs de l'écosystème des télécoms et du numérique des opportunités significatives de développement.

La 4G ne représente qu'environ 5 % des connexions mobiles mondiales à l'heure actuelle, et seulement 2 % dans les pays en développement¹⁸. La 4G+ comptait, fin 2014, 100 millions d'utilisateurs dans le monde, avec un potentiel estimé de 1 milliard dans les trois prochaines années¹⁹.

18 –GSMA, 2014 ; *Understanding 5G, Perspectives on Future Technological Advancements in Mobile*

19 –Econom, 03/03/2015 : *Au #MWC15, on parle aussi d'antennes-relais stratosphérique*

Tant que cette phase de développement n'a pas commencé, le coût de la 5G est difficile à évaluer pour les industriels des technologies de l'information et de la communication. En Corée du Sud, Samsung espère lancer un réseau d'essai 5G temporaire pour les Jeux Olympiques d'Hiver de 2018, et Huawei pour la Coupe du Monde de Football en Russie la même année, ainsi qu'un *smartphone* compatible.

Gestion de la croissance de la demande (clients, usages) : quality of service (QoS), quality of experience (QoE)

Le réseau devra faire face à une **importante augmentation de la demande en communications et relever le défi de l'Internet des objets** en permettant de connecter un nombre exponentiel d'objets.

Dans le cas des voitures connectées par exemple, la 5G devra permettre d'élaborer de véritables systèmes de prévention des accidents, avec une transmission des données suffisamment rapide et un temps de réponse suffisamment faible pour que le véhicule prenne les bonnes décisions. **Les réseaux actuels ne sont pas encore assez fiables ni solides**.

La 5G devra être suffisamment ouverte et simple d'utilisation pour permettre de créer facilement de nouveaux produits ou services compatibles.

Les enjeux réglementaires

Ambition européenne

La création d'un **marché unique du numérique** figure parmi les priorités européennes.



L'Union Européenne devrait ainsi poser les bases d'un cadre réglementaire assoupli pour sécuriser son leadership sur la 5G face aux géants asia-

tiques et américains. Les objectifs seront de favoriser l'accélération de la R&D et l'attractivité pour les investisseurs, de garantir la standardisation des normes et la refonte des règles de la concurrence pour voir émerger de grands groupes au niveau européen puis mondial.

Neutralité du web

Après des années de débat aux États-Unis, **la neutralité des réseaux a été adoptée en 2015 par une décision de la Federal Communications Commission (FCC) américaine**²⁰, et ce malgré un important lobby des opérateurs de télécommunication contre cette évolution.

Analyse AFOM

ATOUS

Innovation technologique des grandes entreprises

Développement de plusieurs PME et start-up françaises

Excellence des filières académiques

FAIBLESSES

Retard de l'UE dans le déploiement de la 4G

OPPORTUNITÉS

Développement soutenu de l'Internet des objets

Ambition de l'Union Européenne sur la 5G et création d'un marché unique du numérique

Accord entre l'Union Européenne et la Corée du Sud, le Japon et la Chine pour des partenariats industriels

Enjeux sur la 5G verte et la réduction des consommations d'énergie / *green mobile networks*

MENACES

De grands industriels internationaux positionnés sur le marché de la 5G tels que Samsung (Corée du Sud) et Huawei (Chine)

4G sous-utilisée aujourd'hui en Europe (10 % des européens) et active jusqu'en 2030 (pouvant ainsi retarder le démarrage commercial de la 5G)

Incertitude sur les coûts de développement et de déploiement de la 5G

Ce principe **vise à garantir l'égalité de traitement de tous les flux de données Internet sur le territoire américain**, considérant ainsi Internet comme un « bien public ». Ce principe exclut toute discrimination à l'égard de la source, de la destination ou du contenu de l'information transmise sur le réseau.

Le gouvernement français a également annoncé en juin 2015 vouloir faire de la neutralité du web un axe majeur de son projet de loi sur le numérique, annoncé pour la fin 2015 et soumis au débat public²¹.

20 –Le Monde, 26/02/2015 : États-Unis : victoire cruciale pour la neutralité du Net

21 –La Croix, 18/06/2015 : Manuel Valls dévoile la stratégie numérique du gouvernement

Facteurs clés de succès et recommandations

Plusieurs **facteurs clés de succès** apparaissent ainsi pour saisir au plus tôt les opportunités qu'offre la 5G et se positionner en tant que leader dans sa définition, notamment aux côtés d'autres acteurs européens :

- Intégration dans des projets de recherche conjointe avec d'autres acteurs européens (grands groupes, PME, centres de recherche...) afin de peser sur la scène mondiale et se placer aux avant-postes de la mise en place des standards 5G ;

- Prise en compte des principes du développement durable et recherche d'économies d'énergie ;

- Proposition de solutions de cyber sécurité flexibles et adaptables selon les situations, dans un contexte de virtualisation des réseaux ;

- Développement de produits, services et applications qui respectent les deux exigences techniques fondamentales de la 5G (débit supérieur à 1 giga-bit/seconde et latence inférieure à 1 milliseconde) ;

- Poursuite des investissements des grands opérateurs télécoms dans le développement des infrastructures.

Acteurs clés

Organismes de recherche et de formation

Parmi les principaux acteurs français de la recherche, on compte notamment : IRT SystemX, IRT B-Com, Inria, LINCS, NOVEA, Institut Mines-Télécom, IRISA, CEA-LIST, le CNES

Dans le champ académique, il s'agit notamment de Supélec, Eurecom, Telecom ParisTech, Université Pierre et Marie Curie, Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes Insa de Rennes.

Grands groupes

Orange, Free, Bouygues Telecom, Alcatel-Lucent, Numéricâble-SFR, Sagem, Hub One, TDF, Thales, Airbus, Alten, Atos, Bull et Sequans Communications comptent parmi les principaux groupes français dans le domaine des infrastructures 5G.

Start-up et PME

Plusieurs start-up et PME françaises sont présentes dans ce domaine, en particulier Sigfox, Siradel, Amari-soft, Eblink et Simpulse.

Organismes de soutien et d'interface

Ces entreprises sont soutenues et accompagnées par des structures de l'écosystème de l'innovation : Systematic, Images&Réseaux, Cap Digital, Elopsys, Minalogic, Smart-Grids France, Aten et Solutions Communicantes Sécurisées

Position des acteurs français

Position des entreprises françaises dans la compétition mondiale

En position de leadership	
Dans la moyenne	●
En retard	

Position des acteurs académiques français dans la compétition mondiale

En position de leadership	●
Dans la moyenne	
En retard	

7 Systèmes embarqués et distribués, sécurisés et sûrs

Loisirs & culture
ÉNERGIE, MOBILITÉ, NUMÉRIQUE
ENVIRONNEMENT, HABITAT, SANTÉ ET BIEN-ÊTRE, SÉCURITÉ
Alimentation

► Correspond à une technologie clé 2015

MOTS CLÉS

Sécurité, systèmes embarqués, fiabilité, robustesse, sûreté de fonctionnement, architecture distribuée, parallélisme, système de systèmes



© THALES B. Rousseau

Définition et périmètre

Les systèmes embarqués sont définis comme des ensembles matériels / logiciels intégrés dans le but d'effectuer des tâches fonctionnelles précises. Les systèmes et logiciels embarqués jouent un rôle majeur dans la quasi-intégralité des secteurs industriels et sont très présents au sein d'industries historiques : les transports terrestres et l'aéronautique, le nucléaire, la défense et l'espace, les télécommunications (téléphones portables, assistants personnels, applications internes chez les opérateurs).

Ils jouent et joueront un rôle de plus en plus important dans de nombreux autres secteurs comme :

- la production, la distribution et la gestion de l'utilisation de l'énergie,
- la production industrielle (automatique, systèmes discrets et continus),
- l'instrumentation médicale,
- le bâtiment (domotique),
- l'électronique grand public (terminaux mobiles, multimédia, jeux et loisirs numériques),
- la logistique (commerce et distribution),
- les infrastructures urbaines (eau, trafic, captation de la qualité de l'air),
- la sécurité (vidéosurveillance, moyens d'identification)
- les transactions bancaires et commerciales (terminaux de paiement, cartes à puce).

Les prochaines générations de systèmes embarqués regrouperont deux natures d'innovation :

- **Dans les systèmes embarqués** : adoption de processeurs à très haute performance programmables, connectivité à Internet, haut niveau de systèmes d'exploitation et autres intergiciels
- **Dans le réseau global digital** : adaptation à l'émission / réception de données et de services issus d'Internet

■ Santé

La sécurité constitue un enjeu fort, de la protection des données à la manipulation à distance des objets connectés. La majorité des équipements (IRM, scanners et autres) n'ont pas été conçus en faisant de la sécurité une priorité. La connectivité des composants des systèmes embarqués avec des couches supérieures

ou d'autres systèmes (configuration « Systèmes de systèmes ») implique de sécuriser ces différentes couches. Pour exemple, il a été démontré en 2011 que les pompes à insuline pouvaient faire l'objet d'attaques à distance et délivrer une dose létale d'insuline au patient via la modification de ses paramètres d'injection.

■ Sécurité

Dans le domaine de la sécurité, la criticité de certaines applications demande un haut niveau de sécurité et de sûreté de fonctionnement tels que dans l'aéronautique (pilotage automatique), le nucléaire (contrôle-commande), l'aérospatiale et autres applications militaires (communications)... La connectivité à Internet, de plus en plus présente, demande de revoir les techniques de sécurité pour se prémunir de prises de contrôle à distance. Des failles ont été montrées quant aux communications échangées entre les stations de contrôle et des aéronefs. En 2015, le FBI enquête sur une éventuelle introduction d'un hacker sur un avion de ligne commerciale. Bien que faiblement probable à l'heure actuelle, l'interconnexion grandissante des systèmes informatiques à bord des avions de ligne augmente ce risque de scénario. À l'image du *Smart Specialization Platform (S3P)* « android industriel », des groupes de travail étudient les architectures permettant de maximiser la sécurité du logiciel de contrôle de vol, comme notamment les hyperviseurs de sûreté et de sécurité.

■ Énergie

De la production à la distribution, les technologies de l'embarqué sont présentes sur l'ensemble de la filière énergie (Contrôle-commande des centrales nucléaires, conversion d'énergie dans les éoliennes, supervision des réseaux de transport d'électricité). L'émergence des Smart Grids (réseaux intelligents) demandera de déployer de nombreux instruments déportés capables d'interagir avec des systèmes de supervision amont pour maîtriser la production et la fourniture d'énergie.

■ Mobilité

Les systèmes embarqués sont déjà présents dans les véhicules au travers de l'assistance au freinage (système ABS), des régulateurs de vitesse et autres fonctionnalités (Électronique de contrôle dans les systèmes de châssis, dans l'électronique des chaînes de traction, dans le corps électronique et de sécurité des systèmes).

Les nouvelles générations de véhicules en émergence, et déjà en développement chez Google, GM et

Nissan par exemple, sont de plus en plus connectés et communicants avec leur environnement (technologie V2I : *Vehicle to Infrastructure*) favorisant ainsi le développement de nouvelles applications ITS (*Intelligent Transport System*) pour l'amélioration de la gestion du trafic, de la sécurité routière et des services de mobilité et de confort. Cette révolution automobile engendre de nouveaux défis technologiques et économiques ; la conception de véhicules coopératifs interopérables, un système de management de la sécurité pour les communications, ainsi que la préparation de systèmes fiables et sécurisés pour les futurs véhicules autonomes connectés. Ces systèmes communicants V2V/V2I auront donc besoin de sécurité et confiance numérique ainsi qu'une définition fiable et robuste du partage des données qui seront générées.

Trains, tramways, métros et bus constituent aussi un autre terrain de prédilection pour les technologies de l'embarqué. Le système Traintracer d'Alstom, par exemple, permet de récupérer à distance les données

de fonctionnement des rames pour optimiser leur maintenance. L'aviation civile et militaire embarque également un grand nombre de systèmes embarqués (pilotage automatique, connectivité internet, infotainment...).

■ Télécommunications

Les systèmes embarqués sont présents sur l'ensemble des infrastructures de communication et appareils terminaux (box Internet ou stations de base de réseaux mobiles). La sécurité des communications est un enjeu fort. Pour plus de détails, se référer à la fiche n°7 « Communications sécurisées ».

■ Loisirs & culture

Les systèmes embarqués se retrouvent dans un grand nombre d'articles électroniques (décodeurs), terminaux finaux d'accès à internet (tablette, *smartphone*), électroménager, matériel audio – vidéo. Bien que moins critiques, la sécurisation de ces éléments n'en demeure pas moins importante.

Liens avec d'autres technologies clés

Les technologies clés qui influencent les Systèmes embarqués distribués sécurisés et sûrs sont :

2	Capteurs
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique
5	Internet des objets
6	Infrastructures de 5 ^{ème} génération
13	Communications sécurisées
20	Nouvelles intégrations matériel-logiciel
34	Authentification forte

Les technologies influencées par les systèmes embarqués distribués sécurisés et sûrs sont :

2	Capteurs
5	Internet des objets
10	Cobotique et humain augmenté
12	Robotique autonome
13	Communications sécurisées
22	Réseaux électriques intelligents
31	Dispositifs bio-embarqués
40	Systèmes énergétiques intégrés à l'échelle du bâtiment

Les marchés

Selon le cabinet International Data Corporation, le marché des systèmes embarqués intelligents (tout équipement architecturé autour d'un microprocesseur, d'une interface de connectivité et d'un système d'exploitation et/ou d'une interface utilisateur de haut niveau, à l'exception des PC, des *smartphones*, des serveurs et des tablettes) dépassera les 1 000 milliards

de dollars en 2019¹ pour 8,5 milliards d'unités vendues (plus d'un quart du volume total adressable par les systèmes embarqués).

Les segments de marché à forte croissance attendue sont :

■ l'assistance à la conduite et la gestion de consommation d'énergie dans le domaine des transports,

1 – <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS25204914>

- les dispositifs portés sur soi et les systèmes d'éclairage intelligents dans le domaine de l'électronique grand public,
- les systèmes de pathologie numérique et de métrologie virtuelle dans le secteur de la santé,
- les passerelles dédiées dans le secteur industriel.

En France, en 2013, les systèmes embarqués représentaient un marché de 73,3 milliards d'euros (3,7 % du PIB)² avec une croissance annuelle prévisionnelle de 3,3 % jusqu'en 2017 (soit 83,6 milliards d'euros) selon une étude de l'OPIIEC (Observatoire Paritaire des métiers de l'Informatique, de l'Ingénierie, des Études et du Conseil).

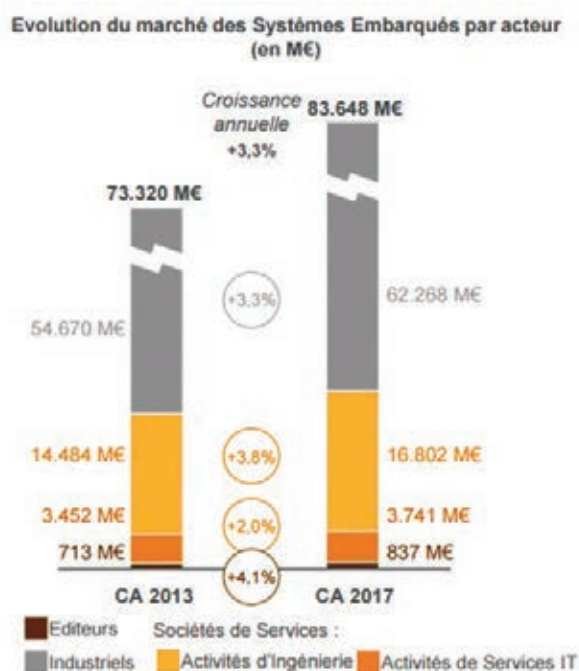


Figure 1: Rapport complet sur le développement des systèmes embarqués - OPIIEC 2014

Pourquoi cette technologie est-elle clé ?

Le caractère fortement diffusant de la solution, s'étendant à la quasi-intégralité des autres technologies, fait des systèmes embarqués une technologie clé. L'internet des objets accentue la place des systèmes et logiciels embarqués dans le quotidien et accroît plus que jamais

2 – http://www.fafiec.fr/images/contenu/menuhaut/observatoire/etudes/2013/systemes-embarques-%C3%A9s/SE-Developpement_economique_des_SE_-_20140606.pdf

la maîtrise des technologies de ces systèmes pour en faire un élément clé de la compétitivité industrielle.

Les défis technologiques à relever

Le caractère communicant des systèmes embarqués remet en cause les techniques actuelles de conception et de validation et conduit à de nouveaux défis, sur la sécurité en particulier³.

Les principaux défis à relever sont:

- **La sécurité et sûreté:** elles sont aujourd'hui traitées dans un environnement d'ingénierie des exigences, de modélisation des propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles et d'approches formelles (ingénierie d'analyses statiques, preuves formelles, vérification, génération automatique de codes, de tests, analyse pour diagnostic). Les prochains défis seront de réussir à considérer l'incertitude de comportements, à réaliser des simulations hybrides mixant événements discrets et continus et à disposer de preuves de bons fonctionnements. L'évolution des règles et des pratiques de certification seront donc deux challenges à relever. La modélisation et le développement d'outils permettant de traiter conjointement la sécurité et la sûreté de fonctionnement deviennent nécessaires. Les nouveaux domaines d'application (informatique embarquée, intelligence ambiante, Internet des objets) et les nouvelles architectures (informatique dans les nuages, *Software as a Service* ou système de systèmes) font émerger de nouvelles propriétés ou contraintes (architectures reconfigurables, dynamique de l'environnement, évolution des usages), en plus des propriétés classiques. Un défi majeur consiste alors à revoir les méthodes de Validation et de Vérification (V&V) pour prendre en compte ces nouvelles architectures et les nouvelles propriétés associées, notamment par la simulation des systèmes cyberphysiques (Hardware in the Loop, Software in the Loop et Processor in the Loop – cf. Nouvelles intégrations matériel-logiciel). Dans ce cadre, la sécurisation des communications et l'authentification sont deux axes prioritaires. Il convient de développer les

3 – <http://www.systematic-paris-region.org/sites/default/files/ROAD-MAP-%20OCDS-%20F%C3%A9vrier%202015.pdf>
<https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/embedded-systems>
<https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/cyberphysical-systems-0>
<https://artemis-ia.eu/embedded-cyber-physical-systems.html>
<http://www.ecsel-ju.eu/web/index.php>
<http://www.smart-systems-integration.org/public/documents/presentations/presentations-at-the-ssi-2015-in-copenhagen-11-12-march-2015>

algorithmes, outils ou méthodes permettant de les garantir, au niveau de ces infrastructures ;

- La détection des attaques, la mise en place de modes résilients, autoréparables,

- La gestion de l'hétérogénéité et de l'interopérabilité sécuritaire intra et inter-réseaux.

- **L'Open source** représente une poche de productivité. Elle se développe depuis près de 25 ans mais reste en général minoritaire, toutefois pas en nombre d'utilisateurs, dans l'informatique et encore plus dans les systèmes et logiciels critiques embarqués à l'image d'OpenModelica, OpenCompute, OpenStack ou encore Android. L'ouverture peut être un facteur important de fiabilité et de sécurité : une utilisation à plus grande échelle des codes et la diversité des vérifications réalisées par des équipes aux techniques différentes contribuent à rendre optimale la détection de failles. Elle permettrait aux développeurs de disposer de bases communes ayant prouvé leur efficacité pour leur nouveaux développements. L'Open Source pourrait ainsi devenir un gage en termes de qualité et de sécurité des systèmes critiques.

- **Le management des architectures distribuées et l'autonomie des systèmes** : La complexité croissante de notre environnement produit de très grands systèmes, le plus souvent concurrents, distribués à grande échelle et parfois composés d'autres systèmes appelés « Système de Systèmes » (résultat de l'intégration de plusieurs systèmes indépendants et interopérables, interconnectés dans le but de faire émerger de nouvelles fonctionnalités). La conception et la simulation de grands systèmes logiciels multi-niveaux et multi-échelles sont deux forts enjeux.



Le traitement en temps réel: la mise à disposition d'outils de développement pour les architectures orientées service et connectées au web permettra

le traitement et la simulation en temps réel. Également présentes dans S3P, des recherches ont déjà été menées dans ce sens par le CNRS pour le compte de Schneider Electric (dont la valorisation des travaux est réalisée par la start-up Krono Safe⁴).

- **Virtualisation, architecture multi-cœurs et algorithmes embarqués** ; la plupart des systèmes embarqués informatiques, des *smartphones* jusqu'aux accélérateurs de calculs (GPU, FPGA, supercalculateurs) sont pourvus de systèmes multi-cœurs. Ces matériels mettent le parallélisme à portée de tous les acteurs bien qu'il reste d'une grande complexité. La mise en place de plateformes de plus en plus hétérogènes accroît cette complexité et le gain en performance se fait en utilisant des processeurs dédiés à des tâches définies. Il devient nécessaire de revisiter les langages (parallèles), mais également les moyens de construire les logiciels, tout en respectant des contraintes liées à l'espace et au temps et à la consommation de l'énergie en vue de diminuer les coûts de développement. Les systèmes embarqués devront également faire face à une demande de tolérance aux pannes de plus en plus exigeante et permettant une adaptabilité et une dégradation contrôlée des systèmes qu'ils régissent. L'évolution des principes de partitionnement, de reconfiguration, de dynamique et d'évolutivité en sont donc les principaux enjeux.

- **Le management de l'énergie** : certains secteurs opèrent dans des contraintes spécifiques dans lesquelles l'accès à l'énergie est limité. La consommation des systèmes embarqués est en grande partie due au mouvement et au stockage des données. Pour s'adapter à cette problématique, les compilateurs doivent prendre en compte la trace mémoire et les mouvements de données qui s'effectuent sur des unités de calcul différentes. La compilation à performances prédictives rend ce problème d'autant plus complexe et nécessite d'être abordé dans le futur.

- **Les algorithmes embarqués** : ce sont des bibliothèques génériques utiles pour le traitement de signal et de l'image, le contrôle et la gestion de l'énergie embarquée. Cet axe prend place dans un contexte

4 – http://www-list.cea.fr/images/stories/decouvrir-le-cea-list/qui-sommes-nous/rapport-dactivite/Rapport-dactivite-CEA-2013_web.pdf
https://www.bitkom.org/files/documents/ES_Symposium_2011_Vortrag_Petrisans_IDC.pdf

d'exécution des algorithmes sur machines cibles. Les algorithmes doivent traiter de manière intensive les données générées dans des contextes variés (architectures homogènes ou hétérogènes, multi-cœurs), dans un contexte de tolérance aux pannes et de résistance au vieillissement. Les principaux défis sont d'obtenir la meilleure adéquation possible des algorithmes et des architectures de calcul et de garantir les propriétés opérationnelles : estimation exacte ou approchée des temps de réponse, gestion de l'énergie, mécanismes d'auto-surveillance et de reconfiguration inspirés des systèmes d'information, exploitation au niveau applicatif des mécanismes de bas niveau, tolérance aux SEU (*Single Event Upset*) et vieillissement avec dégradation contrôlée.

Les défis commerciaux à relever

Pour les secteurs « historiques » (défense, aéronautique, spatial, nucléaire...) : il s'agira d'effectuer la rénovation des solutions existantes. Pour les secteurs « Internet des objets » : l'exploitation de la croissance du secteur permettra d'accroître l'empreinte des acteurs français et européens dans les technologies de base.

La protection des éditeurs de technologies cœur présente ainsi un énorme effet levier sur les emplois indirects : elle permettrait l'éclosion d'usines pour logiciels embarqués sur des milliards de puces électroniques et la relocalisation des productions. En Europe il y a peu d'acteurs de taille moyenne (Kalray par exemple) mais on note la présence de startups avec des ambitions en France faisant de cet axe un enjeu stratégique.

Les mouvements participatifs fleurissent sur Internet et l'Open Source fait partie intégrante de ce nouveau modèle. Ce système économique permet de partager les coûts de développement, offrant ainsi un moyen à l'industrie de réduire ses dépenses en mutualisant les compétences. Cependant, le partage des sources demande de repenser les modèles économiques pour pallier la perte de l'avantage technologique d'un acteur sur son concurrent. Un des challenges est donc de trouver un business model viable pour les éditeurs de logiciels spécialisés dans ce type de développement puisqu'ils seront privés de licences propriétaires et de brevets.

Les enjeux réglementaires

Les architectures logicielles embarquées sont soumises à un processus de certification qui nécessite un développement très rigoureux pour assurer des fonctions critiques soumises à des contraintes très fortes. L'intégration des fonctionnalités de plus en plus complexes dans les logiciels embarqués rend à présent difficile la mise en œuvre des méthodes formelles. Les techniques de vérification souffrent également du problème d'explosion combinatoire du nombre de comportements des modèles, induite par la complexité interne du logiciel qui doit être vérifié. Les méthodes de preuve ou de vérification de programmes devront évoluer vers des certifications garantissant qu'un logiciel fournit les services attendus et définis par les utilisateurs, et pouvant prendre en compte, le cas échéant, la dimension « temps-réel » des systèmes embarqués.

Analyse AFOM

ATOUTS

Grand nombre d'acteurs français expérimentés

Excellence de l'école mathématique française

Pôles de compétitivité de référence

Association Embedded France

Leader mondial dans l'embarqué critique temps réel

FAIBLESSES

Décloisonnement des acteurs en cours

Excellence en langage distribué à renforcer

Passage d'une R&D industrielle à la production

Poids de l'écosystème national pour influencer les standards internationaux

OPPORTUNITÉS

Dialogues entre acteurs au travers de l'association Embedded France

Secteurs émergents (médical, bâtiments intelligents, objets connectés, usine du futur)

Relocalisation des productions

MENACES

Pénurie de talents disponibles

Concurrence des éditeurs américains, GAFA (Google, Apple, Facebook, Amazon)

Gestion de la diversité et de la variabilité à grande échelle

Sécurité des systèmes communicants

Facteurs clés de succès et recommandations

Réduire la pénurie de talents : une étude conjointe du Syntec Numérique et de l'OPIEEC publiée en 2013 indiquait que 40 000 emplois n'étaient pas pourvus dans la filière des systèmes embarqués. L'excellence reconnue de l'école mathématique française peut contribuer à la fuite de cerveaux vers l'étranger accentuant d'autant plus le manque de personnes compétentes. La formation initiale est une recommandation à considérer pour réduire cette pénurie.

Transposer l'excellence entre domaines d'applications: la France est leader mondial dans l'embarqué temps réel critique mais est moins présente dans l'embarqué non critique. Il est nécessaire de développer la recherche sur les langages pour la programmation distribuée et étendre le leadership sur le temps réel critique à des applications plus distribuées et vers des domaines plus variés.

Intégration des technologies liées à la sécurité : il s'agit en particulier d'aller vers des progri-

ciel de gestion intégré (PGI) – *entreprise resource planning* (ERP) - de sécurité complets, assurant convergence de la sécurité dite « Physique » et « Logique » et la virtualisation de l'ensemble des composants de l'architecture, y compris capteurs et opérateurs.

Sécuriser le Cloud : n'étant applicables que sur des systèmes plutôt stables, statiques et fermés, les solutions techniques existantes ne sont plus du tout adaptées à ces nouvelles applications et nécessitent d'être repensées.

Renforcer l'ingénierie de « systèmes de systèmes » : la recherche de méthodes formelles pour la résilience des systèmes à logiciels prépondérants est un enjeu majeur de la prochaine décennie. À l'image de TrustinSoft, il s'agit de faire émerger des approches scientifiques mettant en œuvre des méthodes formelles et permettant de garantir sur ces logiciels le nombre grandissant de leurs propriétés de sécurité critiques.

Acteurs clés

Entreprises	Actia, Airbus, AKKA, Alstom Transport, Alten, Altran, Assystem, CapGemini, Dassault Aviation, Orange, Renault Technocentre, STMicroelectronics, Thales Research and Technology, Thales Communications & Security, Schneider Electric - Electropôle, Valéo...
IRT, ITE, IHU	B-COM, SystemX, IRT NanoElec, Railenium, IRT Saint-Exupéry...
Instituts Carnot	CEA LETI, CEA LIST, ESP, IRSTEA, INRIA, Logiciel et Systèmes Intelligents, M.I.N.E.S., LAAS CNRS, ONERA, TSN...
Autres centres de recherches	ENSTA, IFPEN, INSA, ISIR, LORIA, Mines ParisTech, UTC...
Pôles de compétitivité	Aerospace Valley, Images et Réseaux, Minalogic, Systematic, TES...
Autres (clusters, associations, fédération professionnelles, réseaux d'entreprises)	Cap'Tronic, CITC EuraRFID, Embedded France...

Position des acteurs français

Position des entreprises françaises dans la compétition mondiale	
En position de leadership	
Dans la moyenne	●
En retard	

Position des acteurs académiques français dans la compétition mondiale	
En position de leadership	●
Dans la moyenne	
En retard	

8

Procédés relatifs à la chimie verte

Loisirs
& culture

**ÉNERGIE,
MOBILITÉ,**
Numérique

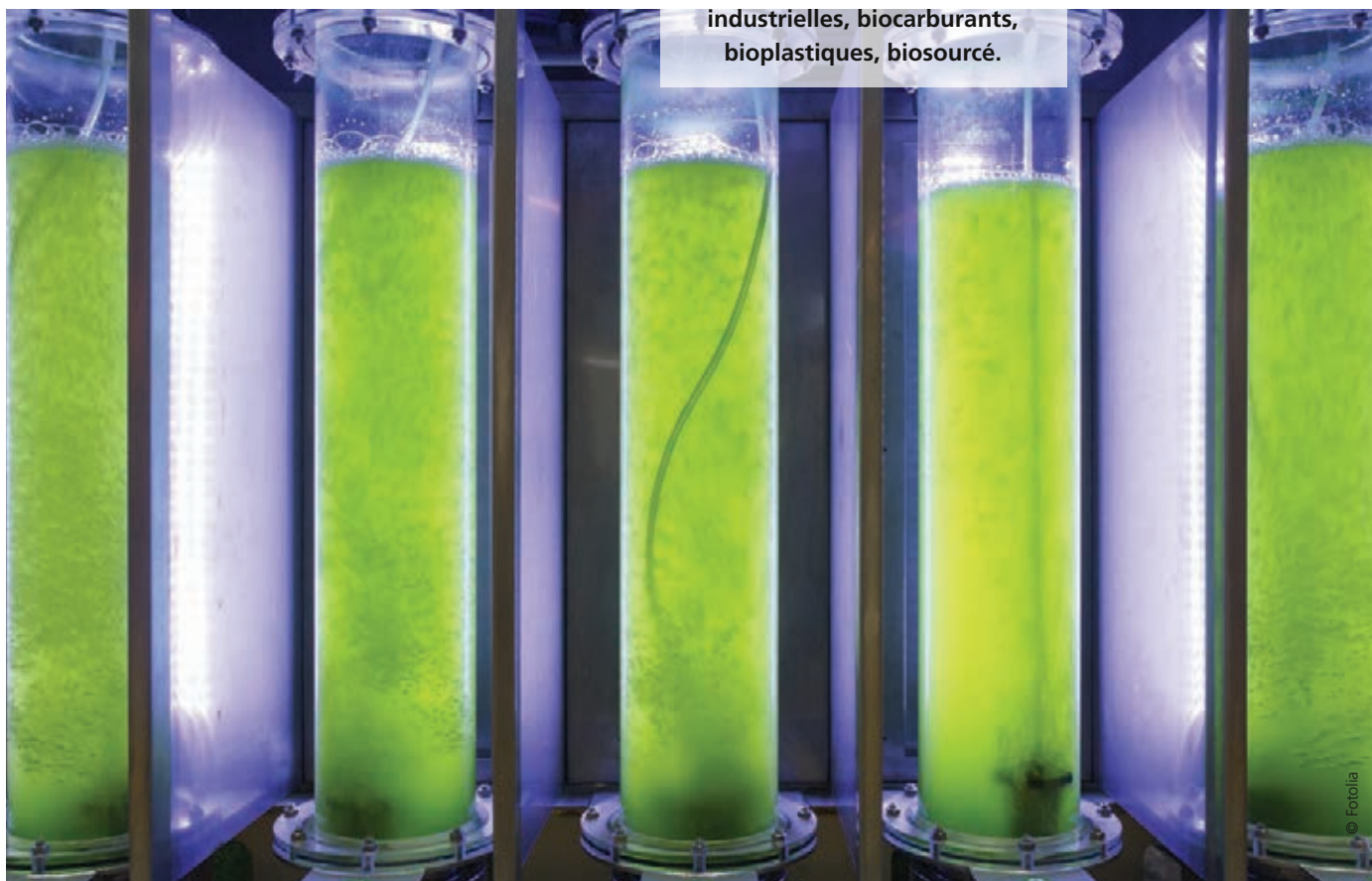
**ENVIRONNEMENT, HABITAT,
SANTÉ ET BIEN-ÊTRE,** Sécurité

ALIMENTATION

➤ **Correspond à
une technologie clé 2015**

MOTS CLÉS

Chimie verte, chimie du végétal,
recyclage, procédés de fabrication
économiques, fermentation,
biocatalyse, agromatériaux,
biosolvants, biotechnologies
industrielles, biocarburants,
bioplastiques, biosourcé.



Définition et périmètre

Définition et objectifs

La chimie verte (ou chimie durable) est une approche qui vise à **diminuer, voire éliminer les impacts sanitaires et environnementaux des pratiques chimiques** et qui contribue également à **réduire ceux des autres industries ou secteurs applicatifs**¹. Cette approche a été théorisée par deux chimistes américains en 1998 sous la forme de douze « principes fondateurs »².

Dans ce cadre, les procédés de la chimie verte visent à « *limiter l'empreinte environnementale de l'industrie chimique elle-même*³ ». Bien que l'industrie chimique française ait diminué de 50 % ses émissions de CO₂ depuis 1990, l'enjeu reste important, puisqu'elle représentait encore près de 25 % des consommations en énergie de l'industrie en France⁴.

Technologies et applications

Si les standards de la chimie verte amènent parfois à revoir un procédé chimique dans sa totalité, dans le cas par exemple de la fermentation⁵, de la biocatalyse⁶ ou des réactions sans solvant, l'innovation au sein de la chimie verte reste principalement **incrémentale**⁷.

Les procédés de la chimie verte couvrent aussi bien des technologies dans le domaine de la chimie des procédés⁸ (nouvelles catalyses, nouveaux schémas de synthèse, etc.), du génie des procédés⁹ (microréacteurs, réacteurs tubulaires, intensification des pro-

cedés, etc.) que de la métrologie et des méthodes (modélisation, contrôle, etc.). Parmi ces technologies, deux offrent le potentiel de progression le plus significatif : la **catalyse**, avec notamment l'optimisation des biotechnologies blanches¹⁰, et **l'intensification des procédés**¹¹.

Chimie biosourcée

Au sein du large périmètre de la chimie verte, la **chimie des produits biosourcés**¹² amène les bouleversements les plus profonds par rapport à la chimie traditionnelle, reposant essentiellement sur le pétrole. Plus précisément, cinq types de produits issus de la chimie du biosourcé se développent : les agromatériaux, les biocarburants, les produits simples biosourcés (solvants, tensioactifs, résines, etc.), les produits formulés biosourcés (peintures, cosmétiques, lubrifiants, etc.) et les matières premières « vertes » de la chimie utilisées comme intermédiaires. La fabrication de ces produits s'appuie sur des biotechnologies industrielles¹³, les plus utilisées d'entre elles étant la biocatalyse et la fermentation¹⁴.

Pourquoi cette technologie est-elle clé ?

La **préservation de la santé et de l'environnement** apparaît comme une préoccupation de plus en plus centrale pour les consommateurs et fabricants de biens de consommation. Les chimistes sont donc tenus d'adapter leurs pratiques à ces **nouvelles exigences**, d'autant plus dans un contexte de tension sur les ressources fossiles.

L'Union Européenne investit en outre dans des projets de chimie verte, à travers notamment les financements octroyés par le programme-cadre de l'Union européenne pour la compétitivité et l'innovation (CIP). Ainsi par exemple en 2014, elle a

1 – La chimie verte étend ses applications dans les cinq principaux champs de la chimie (chimie minérale, chimie organique, parachimie, pharmacie, produits chimiques de consommation), et par extension dans toutes les industries qui y ont recours. En santé, elle consistera par exemple à utiliser des bactéries pour produire sans effluents certaines molécules comme l'insuline

2 – Paul T. Anastas, John C. Warner, Oxford University Press, New York, 1998 ; *Green Chemistry: Theory and Practice*.

3 – PIPAME, 2010 : *Mutations économiques dans le domaine de la chimie*

4 – UIC, 2013 : *Contribution des industries chimiques au débat national sur la transition énergétique*

5 – Utilisation de micro-organismes comme moyen de fabrication

6 – Production au moyen d'un catalyseur naturel (vitamine, enzyme, hormone, oligo-élément)

7 – Entretien de Pascal Juery, directeur général adjoint du groupe Rhodia, publié dans ParisTech Review en décembre 2011

8 – La chimie des procédés couvre les travaux relatifs aux modalités réactionnelles

9 – Le génie des procédés cherche à améliorer / optimiser l'efficacité énergétique et la consommation de ressources de l'industrie chimique

10 – Utilisation de bactéries pour la fabrication, transformation ou dégradation de molécules

11 – PIPAME, 2010 : *Mutations économiques dans le domaine de la chimie*

12 – Elle consiste à utiliser des molécules issues de ressources renouvelables pour mettre au point des produits aux propriétés similaires à ceux issus de ressources fossiles. Les produits biosourcés peuvent également proposer de nouvelles fonctionnalités. Leur périmètre est encadré par la norme NF EN 16575 Produits biosourcés – Vocabulaire.

13 – Elles permettent d'extraire les molécules de produits issus de source végétale ou animale en utilisant les éléments du vivant

14 – UIC, IAR, Apec, 2014 : *Chimie du végétal et biotechnologies industrielles ; quels métiers stratégiques ?*

contribué à hauteur de 15 millions d'euros au programme *Emertec 5* dont l'objectif est de prendre des participations dans des projets des domaines de l'énergie, de la chimie verte et de l'environnement.

Cinquième industrie chimique mondiale et seconde au niveau européen, la France dispose d'**atouts considérables** pour devenir un pays leader¹⁵ de la chimie verte : des structures de recherche d'excellence dans les biotechnologies, des chimistes « historiques » de réputation mondiale, des grands groupes dans l'agro-industrie leader pour la valorisation des matières premières agricoles et un vivier de PME / start-up innovantes.

Liens avec d'autres technologies clés

Les **produits** issus de la chimie verte ont une influence sur les technologies clés suivantes :

■ **Dans le domaine de l'énergie** (influence faible) : **batteries électrochimiques de nouvelle génération, solaire photovoltaïque, technologies de l'hydrogène**. Les produits de la chimie verte peuvent être utilisés pour ces différentes technologies ;

■ **Matériaux avancés et actifs** (influence faible) ; une composante clé de la chimie verte est le développement de matériaux biosourcés.

Les technologies clés suivantes ont une influence sur les **procédés** de la chimie verte :

■ **Microfluidique** (influence faible) : la microfluidique ouvre des perspectives prometteuses pour l'intensification des procédés ;

■ **Matériaux avancés et actifs** (influence faible) : ces matériaux interviennent dans le génie des procédés ;

■ **Ingénierie génomique et métabolique** (influence faible) ; en améliorant la connaissance sur les ressources de la biomasse, ces 2 sciences contribuent à renforcer l'efficacité des procédés de la chimie biosourcée ;

■ **Recyclage des métaux critiques et des terres rares/Technologies de récupération de chaleur à basse température** (influence faible) : ces deux technologies peuvent contribuer à réduire l'impact environnemental des procédés de la chimie.

15 – Les entreprises leaders du secteur sont américaines (Cargill, DuPont, MetaboliX, Genencor...) ou issues d'autres pays européens (Novozymes - Danemark, BASF - Allemagne, DSM – Pays-Bas...)

Les marchés

Pour répondre aux besoins de l'accroissement démographique sur la période 2012-2020, le Programme des Nations-Unies pour l'Environnement (PNUJ) a estimé la croissance de l'industrie chimique à 25 % en Amérique du Nord/Europe occidentale, à 35 % dans les économies européennes émergentes et à 45 % pour l'Asie et le Pacifique. Représentant 5 à 10 % de l'industrie chimique¹⁶, la chimie verte devrait connaître la **même dynamique positive**. Sur la même période, le marché des produits biosourcés pourrait même connaître plus qu'un doublement de son chiffre d'affaires, passant de 135 milliards à 340 milliards d'euros¹⁷.

Les biotechnologies industrielles connaissent **l'un des plus rapides développements**¹⁸. Selon le Ministère de l'Éducation et de la Recherche allemand, ces technologies pourraient passer d'un chiffre d'affaires mondial de 50 milliards d'euros en 2012 à 300 milliards d'euros en 2022.

Au niveau des produits issus de la chimie verte, les **bioplastiques** ont connu une progression plus rapide que le marché de la chimie dans son ensemble. La dynamique inverse peut être constatée pour les emballages biodégradables, les solvants aqueux ou encore le blanchiment du papier sans chlore. À moyen terme, le marché mondial devrait notamment être tiré par les **intermédiaires chimiques** et la **production de biopolymères**¹⁹. Le chiffre d'affaires de ce dernier segment pourrait passer de 2,2 milliards en 2013 à 4,3 milliards d'euros en 2018.

En France, la croissance annuelle du marché de la chimie verte pourrait s'élever à **8 % en 2016 et 2017**²⁰. Par ailleurs, l'Union des Industries Chimiques, qui regroupe 2 600 entreprises françaises de la chimie et 230 000 employés, s'est engagée à porter la proportion de matières biosourcées²¹ dans la fabrication

16 – Le Figaro, 24/05/2013 : « Le spectaculaire essor de la chimie verte »

17 – Estimations de Joël Barrault et François Jérôme, chercheurs à l'Institut de chimie de Poitiers, cités dans l'article suivant : « Le spectaculaire essor de la chimie verte », Le Figaro, 24/05/2013

18 – OCDE, 2012 : *Environment Directorate*

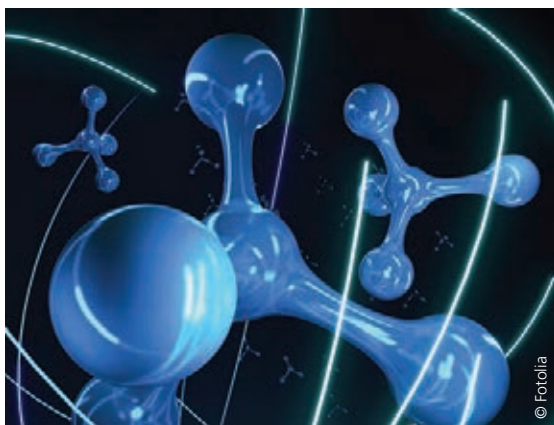
19 – Ibid

20 – Xerfi, 2015 : *La chimie verte en France - Perspectives du marché de la chimie du végétal à l'horizon 2017 et analyse du jeu concurrentiel*

21 – Ces matériaux incluent par exemple les amidons, le glucose, les huiles végétales ou la biomasse lignocellulosique.

de produits chimiques²² à 15 % en 2017 et à 20 % en 2020. La filière des produits biosourcés pourrait ainsi représenter 13 000 nouveaux emplois directs et 32 000 emplois indirects à l'horizon 2020²³.

Les défis technologiques à relever



Comme le soulignait le Commissariat Général au Développement durable en 2013²⁴, les capacités d'investissement des industriels français de la chimie demeurent incertaines, alors même que l'innovation technologique est clé pour le développement de la chimie verte.

Faire progresser les procédés catalytiques

Les **procédés catalytiques** sont au cœur de la chimie verte²⁵. Leur amélioration ouvre de nombreux chantiers, par exemple :

- L'usage de solvants « verts » comme l'eau ou le CO₂ supercritique ;
- L'optimisation des quantités de catalyseurs utilisés ;
- Le développement de la catalyse hétérogène²⁶, dans l'optique notamment de récupérer les catalyseurs métalliques ;
- L'exploration de nouvelles voies de synthèse avec l'utilisation d'enzymes (biocatalyse).

22 – Celle-ci s'élevait à 14 % en 2014

23 – ADEME, 2012 : *Emplois actuels et futurs pour la filière chimie du végétal*

24 – CGDD, 2013 : *Les filières industrielles stratégiques de l'économie verte*

25 – L'utilisation de catalyseurs figure parmi les 12 principes de la chimie verte

26 – Utilisation de métaux catalyseurs pouvant être extraits aisément du milieu réactionnel

Répondre aux enjeux techniques posés par la chimie biosourcée

La chimie biosourcée en particulier génère des enjeux sur le plan technologique²⁷. Les procédés chimiques classiques sont encore en **phase d'adaptation** pour réaliser des produits à base de nouvelles matières renouvelables (production du butadiène à partir de bioéthanol, biocarburants à base de déchets, etc.). En particulier, le traitement des atomes d'oxygène présents dans les molécules extraites de ces bioressources représente un véritable enjeu.

Le besoin d'adaptation est également sensible au niveau de **l'outillage de la chimie**. Par exemple, les outils de compoundage²⁸ sont rarement adaptés aux produits intermédiaires d'origine végétale, les produits biosourcés étant souvent peu connus des plasturgistes et transformateurs.

Surmonter ces enjeux apparaît essentiel pour améliorer la qualité des produits biosourcés et leur valeur ajoutée par rapport aux produits existants, dont dépend leur développement. À titre d'exemple, dans le champ des agromatériaux, la performance des bioplastiques est souvent perçue comme plus faible (au niveau de la longévité, la résistance, l'élasticité par exemple) que celle des plastiques issus de la pétrochimie, même s'il est possible de s'affranchir de ces difficultés, réelles ou perçues, grâce à l'apport de fonctionnalités supplémentaires ou plus pointues (biodégradabilité, meilleure résistance, amélioration de la recyclabilité, etc.).

Les défis commerciaux et d'usage à relever

Synonyme d'économies d'échelle, la mise en œuvre de procédés de chimie verte à une échelle industrielle est essentielle pour garantir la compétitivité de l'industrie française face aux procédés chimiques conventionnels et à la concurrence internationale. Elle nécessite en particulier de relever deux défis à l'horizon 2020 : la montée en compétences et la structuration de la filière.

Renforcer les expertises au sein des entreprises

La **montée en compétences de l'industrie chimique** représente un premier enjeu. Pour la chimie biosourcée,

27 – ADEME, 2011 : *Feuille de route R&D de la filière Chimie du végétal*

28 – Mélange par fusion de matières plastiques et d'additifs

pas moins de 32 métiers ont été identifiés comme stratégiques à l'horizon 2018-2020 au sein d'une étude publiée par l'Apec en 2014²⁹. Les équipes de R&D doivent se doter de compétences spécialisées dans l'analyse du cycle de vie d'un produit et au croisement de la biologie et de la chimie³⁰.

Par ailleurs, le **management de l'innovation** occupera un rôle de plus en plus central au sein des entreprises de la chimie verte, en particulier pour passer le cap de l'industrialisation, souvent compliqué. Malgré une offre innovante, de nombreuses PME et start-up doivent céder leur licence faute de n'avoir pu mobiliser des compétences en valorisation de l'innovation pour déployer leur produit à une échelle industrielle (levée de fonds, sécurisation par un brevet, etc.)³¹.

Un manque de fluidité au sein de la filière

Le développement des procédés de la chimie verte est également complexifié par **l'absence d'une chaîne de valeur structurée** en France :

■ L'approche d'économie circulaire inhérente à la chimie verte appelle des **coopérations renforcées entre les chimistes et les acteurs de la collecte des déchets**. Ces derniers deviennent essentiels pour récupérer les produits en fin de vie qui seront exploités en tant que matière première dans le cadre de procédés chimiques. Toutefois, un enjeu de rentabilité subsiste à ce niveau³². Si les filières de recyclage se mettent progressivement en place, elles restent encore complexes et peu optimisées. En conséquence, la valorisation chimique des déchets souffre encore d'un déficit de compétitivité vis-à-vis d'autres matières premières ;

■ Pour la chimie biosourcée, les **circuits d'approvisionnement en biomasse** sont peu structurés pour la mobilisation de ressources émergentes, en particulier la biomasse lignocellulosique (exploitation forestière, coproduits exploitation du bois, etc.)³³. Améliorer la

structuration de la filière apparaît également comme un levier fort pour diminuer le coût des produits biosourcés, généralement peu compétitifs par rapport aux produits issus de ressources fossiles.

L'enjeu consiste également à renforcer les liens entre les **maillons de la recherche et ceux du développement industriel**. La plupart des procédés de la chimie verte développés en France sont ensuite industrialisés dans des usines implantées à l'étranger.

■ Les enjeux réglementaires

Une réglementation aux effets contraires

En France, la réglementation a un **impact contrasté** sur le développement des procédés de la chimie verte. La réglementation française applicable aux plateformes chimiques³⁴ en constitue une bonne illustration. Fixant des standards environnementaux et sanitaires plus stricts que dans d'autres pays européens comme l'Allemagne³⁵, elle a pour effet de tirer les pratiques de l'industrie vers le haut. Toutefois, elle est également considérée comme un frein majeur³⁶ pour sa compétitivité. L'Union des Industries Chimiques a estimé entre 1,3 et 3,9 milliards d'euros le surcoût qu'elle représentera pour les industriels d'ici 2020 par rapport à des pays faiblement réglementés³⁷.

En réponse à cette situation, plusieurs mesures sont avancées par les industriels français pour l'assouplir : gestion de la sécurité au niveau des plateformes chimiques, plafonnement des taxes relatives à la réglementation sismique selon le niveau de valeur ajoutée des entreprises, etc.³⁸ La **circulaire du**

bien structuré autour de plateformes huile, sucre et amidon. La structuration de circuits d'approvisionnement apparaît un enjeu d'autant plus crucial qu'elle permet de faire face à la volatilité des prix des matières premières. La mobilisation de ressources agricoles à des fins chimiques est toutefois sujette à débat. Elle pourrait en effet générer des tensions sur d'autres usages, comme l'alimentation qui consomme actuellement plus de 60 % des ressources agricoles

34 – La réglementation inclut par exemple la réalisation d'études sismiques, des obligations d'audits de performance énergétique et des Plans de prévention des risques technologiques (PPRT)

35 – Les standards de ces pays sont indexés également sur la réglementation européenne, réputée déjà comme l'une des plus contraignantes au monde. Le règlement REACH en particulier, entré en vigueur en 2007, oblige les industriels à déclarer les substances chimiques qu'ils fabriquent et utilisent, de manière à écarter du marché celles jugées dangereuses pour la santé et l'environnement. L'objectif est de recenser plus de 30 000 substances d'ici 2018

36 – PIPAME / DGE / UIC, 2014 : *Benchmark européen sur les plateformes chimiques, quels sont les leviers pour améliorer la compétitivité des plateformes françaises ?*

37 – Ibid

38 – Ibid

29 – UIC, IAR, Apec, 2014 : *Chimie du végétal et biotechnologies industrielles : quels métiers stratégiques ?*

30 – Actu-environnement, 25/03/2015 : « Chimie du végétal ; des métiers stratégiques en mutation »

31 – Xerfi, 2015 : *La chimie verte en France - Perspectives du marché de la chimie du végétal à l'horizon 2017 et analyse du jeu concurrentiel*

32 – CGDD, 2013 : *Les filières industrielles stratégiques de l'économie verte*

33 – L'approvisionnement des industries françaises agroalimentaires est toutefois

25 juin 2013 relative au traitement des plateformes économiques dans le cadre des Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT)

va dans ce sens, puisqu'elle permet d'adapter les règles d'élaboration des PPRT au cas par cas pour une vingtaine de plateformes sur le territoire, sous supervision des préfets. Elle préconise par ailleurs la mise en place de systèmes de gouvernance collective entre les entreprises présentes sur les plateformes, avec pour objectif une meilleure coordination et mutualisation des moyens sur les questions de sécurité.

Le fonctionnement de la propriété industrielle, frein à l'innovation

Le **système actuel de propriété industrielle (PI)** représente un autre verrou important. En plus d'un déficit de connaissance des chercheurs et industriels, il est actuellement possible de breveter des procédés dès la conception du projet, ce qui empêche toute nouvelle initiative jusqu'à l'obtention hypothétique de résultats finaux. Au sein de la feuille de route pour la R&D de la chimie biosourcée publiée en 2011, l'ADEME appelait à faire évoluer la réglementation pour ne pouvoir breveter les procédés qu'à la réalisation du projet.

Analyse AFOM

ATOUTS

Une industrie chimique puissante au niveau mondial et européen

Un tissu industriel important, y compris dans les secteurs « connexes » de la chimie comme l'agroalimentaire

Des structures et partenariats de R&D de qualité

Des ressources naturelles importantes pour le développement des produits biosourcés

FAIBLESSES

Des procédés développés en France mais généralement transposés à une échelle industrielle au sein d'usines d'autres pays

Des déficits de compétences pour la valorisation de l'innovation (levée de fonds, dépôt de brevet, industrialisation, etc.), en particulier pour les PME et les start-up

Une filière des produits biosourcés peu structurée, notamment sur le plan de l'approvisionnement

OPPORTUNITÉS

Des préoccupations croissantes en matière de développement durable des usagers comme des fabricants de biens de consommation

Des standards réglementaires au niveau français et européen toujours plus exigeants

MENACES

Une concurrence forte des pays leaders de la chimie verte (États-Unis, Allemagne, etc.)

Pour la chimie biosourcée, des conflits potentiels pour la mobilisation des ressources agricoles avec les usages alimentaire et énergétique

Un cours du pétrole bas

Facteurs clés de succès et recommandations

Aux pouvoirs publics :

- Soutenir le changement d'échelle des PME et des start-up de la chimie verte, tant sur le plan du financement, de la montée en compétences que de l'industrialisation ;
- Engager une réflexion sur la propriété industrielle ;
- Sensibiliser le grand public à la chimie verte. L'industrie chimique souffre d'un déficit d'image, comme le révélait un sondage réalisé en 2010 par l'Union des Industries Chimiques³⁹.

Aux entreprises :

- Renforcer les partenariats PME-Grands groupes-Instituts de recherche pour contribuer à la structuration des filières de la chimie verte ;
- Mettre en place collectivement des circuits garantissant un approvisionnement stable pour la chimie biosourcée.

Aux académiques :

- Consolider les recherches dans le domaine du biosourcé avec l'objectif d'améliorer le rapport qualité-prix des produits par rapport aux produits conventionnels.

Acteurs clés

En France, la chimie verte implique une **grande diversité d'acteurs**. Elle se situe à l'interface entre les industries chimiques, les agro-industries pour la chimie biosourcée, les sociétés de biotechnologies et les acteurs de l'environnement, qui regroupent aussi bien des groupes de dimension internationale que des PME et start-up innovantes :

- Grands groupes de l'industrie chimique et pharmaceutique : Arkema, Solvay, Novacap, Sanofi, Pierre Fabre, Silab, Axens, Novasep, Adionics, etc. ;
- Grands groupes de l'agro-industrie : Roquette, Sofi-proteol, Limagrain, Adisseo, Tereos, etc. ;
- PME / start-up principalement issues des biotechnologies : Fermentalg, Deinove, Metabolic Explorer, LibraGen, Global Bioénergies, Carbios, Polymar, Id-Bio, etc.

La France dispose par ailleurs d'un écosystème de la recherche particulièrement dynamique. L'innovation est aussi bien portée par les équipes des entreprises citées ci-dessus que par des unités mobilisées au sein du CNRS, de l'INRA, du CEA, de l'IFP, des universités et de certains Centres techniques industriels (ITERG

et le CVG notamment). Un vivier de structures fait le lien entre la recherche et le développement, comme les pôles de compétitivité Axelera, IAR et Plastipolis et les Instituts pour la Transition Energétique P.I.V.E.R.T, IDEEL et IFMAS.

La structuration d'une filière de la chimie verte est soutenue par les pouvoirs publics. La chimie verte est ainsi au cœur de la solution « Nouvelles ressources : matériaux biosourcés et recyclés », l'une des neuf Solutions Industrielles. Elle fait l'objet de deux objectifs : un doublement d'ici 2020 du volume de matières premières d'origine végétale dans l'industrie chimique et la création de 5 000 emplois directs.

Position des acteurs français

Position des entreprises françaises dans la compétition mondiale

En position de leadership	●
Dans la moyenne	
En retard	

Position des acteurs académiques français dans la compétition mondiale

En position de leadership	●
Dans la moyenne	
En retard	

39 – UIC, novembre 2010 : *Industries chimiques et produits chimiques ; état de l'opinion, attitudes et comportements*, enquête réalisée auprès d'un échantillon de 2 519 personnes

9

Fabrication additive

LOISIRS
& CULTURE

Énergie,
MOBILITÉ,
Telecommunications

Environnement, **HABITAT**,
SANTÉ ET BIEN-ÊTRE, Sécurité

ALIMENTATION

► Correspond à
une technologie clé 2015

MOTS CLÉS

Fabrication additive,
fabrication rapide, impression 3D,
fabrication directe,
prototypage rapide,
production de pièces,
pièces complexes



Définition et périmètre

La fabrication additive ou impression 3D est un procédé de fabrication de pièces par ajout de matière (en opposition aux techniques historiques par soustraction de matière comme l'usinage). La fabrication est réalisée à partir de fichiers numériques.

La fabrication additive s'applique à un grand nombre de matériaux tels que plastiques, métalliques ou céramiques. Plusieurs procédés peuvent être employés pour mettre en forme les pièces. Le comité international de l'ASTM sur les technologies de fabrication additive les classe comme suit : extrusion de matière, jet de matière, jet de liant, photopolymérisation en phase liquide, fusion sur lit de poudre, dépôt via faisceau d'énergie.

Pourquoi cette technologie est-elle clé ?

Les deux grands avantages de la fabrication additive par rapport à d'autres procédés de production de

pièces sont la réalisation de pièces aux formes complexes (permettant la réduction de la masse des pièces et la réduction du nombre de pièces au sein d'une structure induisant ainsi un gain au niveau de l'assemblage) et la possibilité de réaliser de très petites séries flexibles, favorisant ainsi la personnalisation.

Grâce aux possibilités offertes par la fabrication additive, de nombreuses perspectives industrielles s'ouvrent à l'échelle internationale et le marché croît chaque année de plus de 20 %. Il est clé que la France reste dans la compétition par rapport à cette technologie.

Les secteurs pour lesquels la fabrication additive est d'ores et déjà bien installée sont l'aéronautique et le médical. Cette technologie est clé également pour les secteurs du luxe, de l'automobile, du spatial, du bâtiment.

Liens avec d'autres technologies clés

Les technologies clés qui influencent la fabrication additive sont :

1	Matériaux avancés et actifs
2	Capteurs
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique
5	Internet des objets
8	Procédés relatifs à la chimie verte
10	Cobotique et humain augmenté
12	Robotique autonome
15	Procédés relatifs à la chimie du pétrole
26	Ingénierie génomique
38	Systèmes de rénovation du bâti existant
39	Systèmes constructifs à haute qualité environnementale pour le neuf

Les technologies influencées par la fabrication additive sont :

1	Matériaux avancés et actifs
2	Capteurs
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique
5	Internet des objets
6	Infrastructures de 5 ^{ème} génération
10	Cobotique et humain augmenté
12	Robotique autonome
26	Ingénierie génomique
29	Ingénierie cellulaire et tissulaire
30	Nouvelles modalités d'immunothérapie
31	Dispositifs bio-embarqués
32	Technologies d'imagerie pour la santé
33	Exploitation numérique des données de santé
45	Technologies pour la propulsion

Les marchés

La fabrication additive adresse trois principaux segments de marché : le prototypage, la fabrication de pièces « grand public » et la fabrication de pièces industrielles. Les enjeux actuels de développement concernent essentiellement le troisième volet qui est actuellement moins mature. Un enjeu de développement de marché complémentaire concerne la création de filières dans le domaine de la maintenance afin de pouvoir fabriquer sur mesure des pièces de remplacement.

Les principaux enjeux de développement de la fabrication additive concernent en particulier la santé (prothèses auditives et dentaires, mais aussi de manière plus prospective les organes artificiels) et la mobilité (prototype rapide pour des pièces de véhicules automobiles, production de pièces en aéronautique notamment) et de manière générale les pièces mécaniques comme l'outillage. Le secteur du luxe est pres-

senti comme le prochain secteur fortement influencé par la fabrication additive, appuyée notamment par la personnalisation des pièces produites.

En nutrition, l'impression 3D séduit car elle permet une plus grande flexibilité sur la forme sous laquelle les aliments sont présentés.

Pour l'habitat, la fabrication additive pourra permettre de fabriquer des maisons en kit ou des maisons d'un bloc directement sur site. La faisabilité de ce type de construction a déjà été démontrée au niveau international.

Concernant les applications loisirs & culture, l'impression 3D facilitera la fabrication d'objets publicitaires et marketing, de produits dérivés (figurines...). Elle pourra également être utilisée pour la fabrication de pièces pour le modélisme, les collections et les jeux de plateau. Elle pourrait également être exploitée pour réaliser des copies d'œuvres d'art ou de la restauration d'œuvres et de monuments.

La répartition du marché actuel de la fabrication additive en fonction du secteur d'application est présentée à la Figure 2.

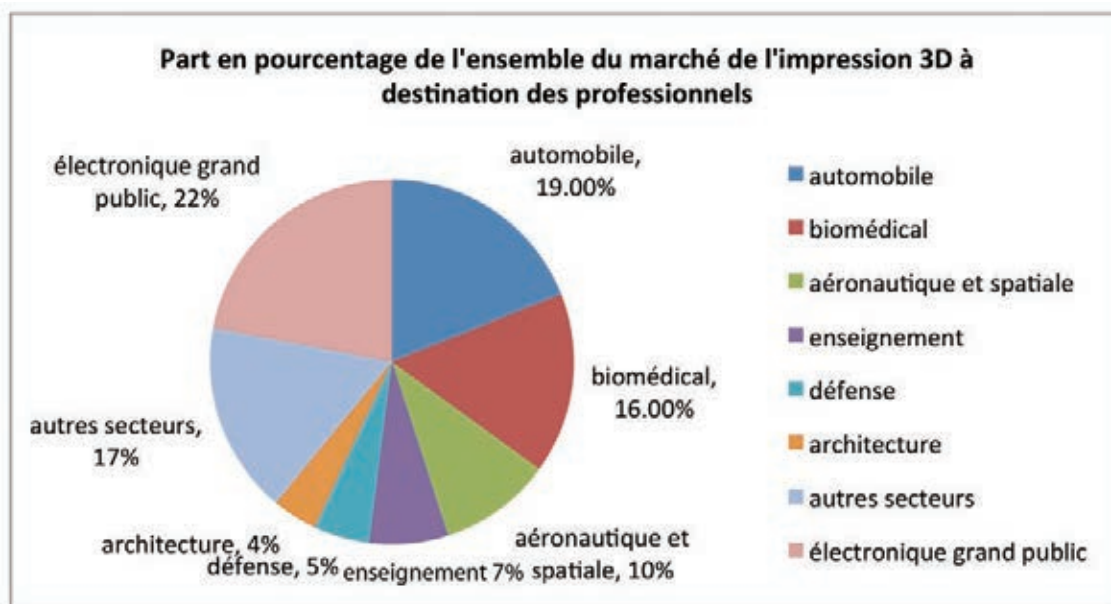


Figure 2 : Répartition du marché mondial de l'impression 3D par débouchés¹

1 – Xerfi, 2014 : *L'impression 3D en France et dans le monde*, repris par Erdyn et Xerfi, Crédit Suisse

Le marché mondial de la fabrication additive en termes de revenus associés à la commercialisation des produits et services représente 3,07 Md \$ en 2013, soit une croissance de 34,9 % par rapport à 2012². Les estimations pour 2020 s'élèvent à 21 Md \$ au niveau mondial³.

À l'échelle mondiale, les produits (machines et consommables) et services avaient une part égale en 2013 d'environ 1,5 Md \$. Les consommables représentaient 0,53 Md \$.

En 2013, 21 % des machines sont produites en Europe⁴. Une grande majorité des machines européennes sont produites en Allemagne par Envisiontec ainsi qu'en Irlande par la société Mcor Technologies et en Italie par la société DWS. En termes d'utilisation, l'Europe regroupe 29 % des machines installées⁵.

Les compétences et le matériel spécifique à la fabrication additive ont aussi amené des sociétés de service à se développer sur la fabrication de pièces en sous-traitance. Cette activité croît régulièrement de plus de 20 % par an depuis 2010, générant un chiffre d'affaires mondial de 967 M \$ en 2013 (chiffre d'affaires des pièces finales, hors conception et modélisation). Les entreprises peuvent être des sous-traitants de la mécanique qui ont fait évoluer leur parc de machine, ou des entreprises spécialisées dans la fabrication additive uniquement, nouveaux entrants dans le secteur. Dans cette dernière catégorie, les leaders sont Shapeways (USA), i. materialise (Belgique), Sculpteo (France), Prodways (France). On notera que Prodways dispose du plus grand parc de production européen en 2014. Contrairement aux trois autres, la société travaille essentiellement pour l'industrie. Il faut aussi citer les très nombreuses initiatives de fablab, qui comptent généralement un équipement d'impression 3D, au milieu d'autres équipements de production. Début 2015, l'international Fablab association compte 355 fablab adhérent à leur charte, sachant que d'autres organismes proches non adhérents existent, dont 230 en Europe et 86 en France.

2 – Caffrey T., Wöhlers T., 2014 : 3D printing and additive manufacturing state of the industry, Fort Collins, Wöhlers Associates

3 – Idem

4 – Idem

5 – DIRECCTE Centre, 2014 : *L'impression 3D : état des lieux et perspectives*

En 2014, la France représente moins de 2 % de part du marché mondial. La figure 3 illustre la répartition mondiale de l'ensemble du marché de l'impression 3D. Le marché français devrait suivre la même évolution que le marché mondial d'ici 2020 soit une multiplication par un facteur 7 entre 2013 et 2020.

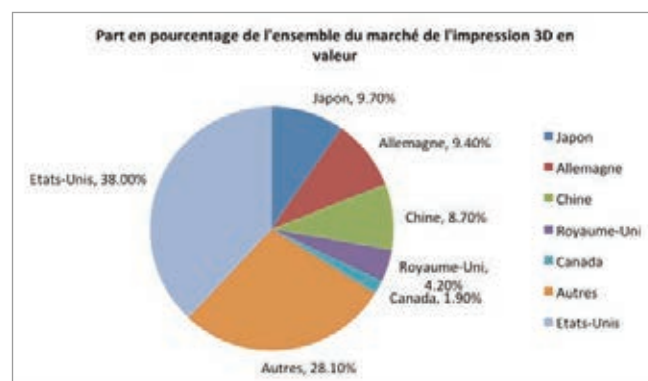


Figure 3 : Répartition mondiale de l'impression 3D par zone géographique⁶

Au niveau mondial, la vente de matériaux pour la fabrication additive représentait 529 M\$ en 2013, en croissance de plus de 20 % par an depuis 2010. La même croissance est attendue d'ici à 2020. Les matériaux sont le plus souvent vendus par les fabricants de machines qui peuvent fabriquer eux-mêmes ou sous-traiter. Il existe aussi des fabricants « indépendants », toutefois l'accès au marché est difficile car encadré par les fournisseurs de machines (cf. défis commerciaux).

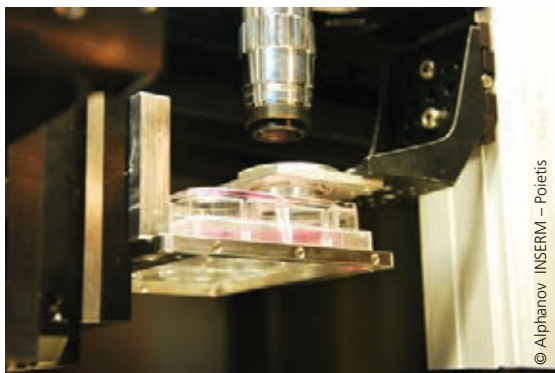
Les défis technologiques à relever

La fabrication additive, jusque là réservée à des applications de prototypage rapide, tend à se développer vers la fabrication de pièces fonctionnelles ce qui augmente le niveau d'exigence sur plusieurs points.

Des développements doivent être réalisés afin d'augmenter la taille des pièces réalisables par impression 3D et d'adapter le procédé pour la fabrication de pièces multimatériaux. La fiabilité des procédés de fabrication doit être augmentée afin d'assurer des pièces de qualité constante et élevée. Le développement des contrôles non destructifs adaptés aux procédés de fabrication additive permettra de répondre à ces défis. Il est aussi nécessaire de développer des procédés

6 – Xerfi, 2014 : *L'impression 3D en France et dans le monde*

permettant l'amélioration de l'état de surface des pièces afin de s'affranchir au maximum des étapes de post-traitement.



De plus, l'un des grands défis de la technologie est d'adapter le design des machines et les procédés de fabrication à des contraintes de production industrielle de marchés de masse. Il est notamment nécessaire d'augmenter la cadence de production.

L'approvisionnement en matières premières standardisées dans des qualités optimales et à des coûts compétitifs est également un enjeu technologique fort. D'une part, il y a un fort enjeu de caractérisation des matières premières afin d'identifier les propriétés clés permettant d'optimiser les procédés. D'autre part, les matières premières employées sont spécifiquement adaptées à un procédé et jusqu'ici leurs spécifications sont la propriété gardée des fabricants de machines. Ainsi, une phase de standardisation sera nécessaire afin de permettre à plusieurs entreprises de commercialiser les matières premières et ainsi de réduire les prix de vente des matières premières.

Les logiciels de CAO et d'ingénierie devront eux aussi être adaptés à ces nouveaux procédés de fabrication, en y intégrant les contraintes mécaniques spécifiques à chaque procédé de fabrication additive et à chaque matériau choisi.

Les défis commerciaux et d'usage à relever

L'une des difficultés commerciales majeures pour le développement de la fabrication additive en production est la nécessité de réaliser des investissements conséquents pour mettre en place une solution de production en fabrication additive. Le retour sur investissement est long car les coûts fixes sont élevés et il faut atteindre une taille critique pour les amortir.

Le paysage industriel est dominé par deux gros acteurs internationaux (Stratasys {USA et Israël} et 3D Systems {USA}) qui mettent en œuvre une politique active de rachat, empêchant de nombreux acteurs nationaux d'atteindre une taille critique. Par exemple, Phenix Systems a été racheté par 3D Systems, à hauteur de 80 % du capital de l'entreprise. Ainsi, on voit peu de nouveaux entrants émerger au niveau de la fabrication de machines de fabrication additive. Prodways Group, fort d'une croissance très importante et d'une levée de fonds réussie en juin 2015, affiche néanmoins l'ambition de se positionner à l'échelle mondiale comme concurrent européen de Stratasys et 3D Systems par une stratégie de croissance interne et externe.

Les acteurs qui contrôlent la distribution de matières premières se ménagent une position dominante⁷. Notamment, les fabricants de machines cherchent à monopoliser l'approvisionnement en matières premières en inscrivant par exemple dans leurs contrats de maintenance des clauses obligeant à utiliser certaines matières premières dont ils sont souvent les seuls distributeurs. Ainsi les utilisateurs des matières premières pour la fabrication additive sont soumis à des prix artificiellement hauts et doivent assumer des risques liés à la garantie d'approvisionnement.

Aujourd'hui, ces contraintes sont susceptibles de se relâcher du fait de la croissance du secteur qui attire de nouveaux acteurs pour la fourniture de matières premières. Notamment, les fournisseurs de matières premières historiques (chimistes, métallurgistes, producteurs de céramiques) pourront entrer sur ce marché.

Une autre problématique forte est celle des ressources humaines et des compétences. En effet, les personnes possédant déjà une expérience en fabrication additive sont peu nombreuses et recherchées. Pourtant, des compétences spécifiques doivent être développées, en conception, méthodes, production, maintenance, hygiène et sécurité des poudres, etc. pour tous les types de postes. En particulier, la fabrication additive nécessite de prendre en compte les règles spécifiques de conception dans les outils de CAO et de simulation. Ainsi, il y a un vrai enjeu à pouvoir recruter des personnes compétentes et à pouvoir former ses équipes

7 – Fornea D., Van Laere, D., Comité économique et social européen, 2015 : *Vivre demain. L'impression 3D, un outil pour renforcer l'économie européenne*

au fur et à mesure des avancées technologiques de la fabrication additive.

Les enjeux réglementaires

La construction d'un cadre de normalisation est en cours. La normalisation et la certification des procédés et matériaux utilisés accélérera la diffusion de la fabrication additive pour des applications industrielles⁸. En effet, les principaux secteurs d'application ciblés aujourd'hui sont l'aéronautique et la médecine, des domaines dans lesquels le cadre normatif est très développé et nécessaire à la commercialisation.

Au niveau international, le comité ASTM F 42 en charge des technologies de fabrication additive gère le processus de normalisation. Il est crucial que les industriels

utilisateurs et fabricants de machines ou de matières premières soient intégrés aux discussions de normalisation afin de maximiser l'efficacité du cadre normatif.

En termes de propriété intellectuelle, la fabrication additive pose question. La diffusion des fichiers numériques pour l'impression 3D augmente le risque de contrefaçon. Il s'agit d'un phénomène similaire à celui observé pour la musique et l'industrie cinématographique, même s'il devrait toucher un public moins large. La sécurité des échanges et la protection des fichiers numériques et des objets créés représenteront un enjeu fondamental pour l'industrie de la fabrication additive de sorte que l'innovation ne soit pas freinée mais que la protection de la propriété industrielle soit bien réelle⁹.

Analyse AFOM

ATOUTS

Une filière aéronautique forte qui peut être moteur de l'industrialisation de la fabrication additive et du développement d'entreprises.

La filière du luxe fortement présente en France est aussi un relais pressenti pour la fabrication additive. De bonnes compétences académiques

Des leaders de la sous-traitance de fabrication additive sont présents en France et en Europe.

FAIBLESSES

Peu de fabricants de machines en France.

Les compétences sur la fourniture de matières premières existent mais ont du mal à s'imposer commercialement.

OPPORTUNITÉS

Nombre d'applications important laissant de la place à un grand nombre d'acteurs

Forte tendance à la personnalisation et au « Do It Yourself »

MENACES

Acteurs étrangers fabricants de machines s'implantant sur le territoire français et menant une politique de rachat agressive

Risque accru de contrefaçons de données et de modèles

8 – Fornea D., Van Laere, D., Comité économique et social européen, 2015 : *Vivre demain. L'impression 3D, un outil pour renforcer l'économie européenne*

9 – Fornea D., Van Laere, D., Comité économique et social européen, 2015 : *Vivre demain. L'impression 3D, un outil pour renforcer l'économie européenne*

Facteurs clés de succès et recommandations

Le soutien au développement de nouvelles technologies (notamment : machines à cadence de production élevée, fiabilisation des machines, matières premières de très haute qualité, élargissement de la gamme des matériaux concernés et développement de procédés multimatériaux) au stade recherche et industrialisation est clé pour assurer à la France une position forte au sein du paysage de la fabrication additive. Plusieurs projets de recherche sont en cours, il faudra veiller à transformer ces projets en valeur industrielle et commerciale ainsi qu'à renouveler les sujets de recherche pour viser une position de pointe.

Dans la continuité des travaux de recherche, le soutien des acteurs industriels français est clé. Leur développement pourra notamment s'appuyer sur

les filières fortes telles que l'aéronautique pour se déployer en France puis à l'international.

La poursuite de la normalisation et la participation des acteurs français à cette démarche sont également essentielles afin d'éviter que les acteurs français ne soient exclus en raison de choix normatifs qui leur seraient défavorables.

Enfin, la fabrication additive apporte de nouveaux métiers pour lesquels il faudra assurer un personnel qualifié. Ainsi, des formations aussi bien continues qu'initiales doivent être mises en place pour répondre aux besoins des industriels sur tous les nouveaux postes de la fabrication additive (conception, méthodes, production, maintenance, etc.) et accompagner leur développement.

Acteurs clés

Fabricants de machines ; Prodways (groupe Gorgé), BeAM (spin off de l'Irepa), Phenix System (détenue à 80 % par l'américain 3D systems), CADVision

Sociétés de services autour de la fabrication additive (sous-traitance de production, aide à l'industrialisation...) : Spartacus3D, Sculpteo, Cirtes, 3A, Exceltec, GM Prod

Fournisseur de matières premières : Arkema, Rhodia, Air Liquide, Erasteel (groupe Eramet), Poudmet

Fournisseurs de logiciels CAO : AutoDesk, SpaceClaim, Cadlink, SolidThinking, Dassault Systems

Industriels utilisateurs : Thalès, Snecma, Dassault Aviation, MediCréa, One Ortho, Gemmyo

Acteurs de la recherche et centres techniques : École Centrale de Nantes, IRCCyN (Institut de Recherche en Communication et Cybernétique de Nantes), CNAM (Conservatoire National des Arts et Métiers), PEP (Centre technique de la plasturgie et des composites), CTC (Centre de Transfert de Technologies Céramiques), Labex CEMAM (Centre d'Excellence sur les Matériaux Architecturés Multifonctionnels), Inserm (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale), Irepa Laser, UTBM (Université Technique de Belfort Montbéliard)

Institut Carnot : ICEEL, MICA, M.I.N.E.S., ARTS, CEALIST ; MICA, CIRIMAT, Énergies du Futur, CETIM (CEntre Technique des Industries Mécaniques)

Pôles de compétitivité : Materalia, Viaméca, EMC2, Aerospace Valley

Clusters : i-Care

IRT : M2P, Jules Verne

Associations : AFPR (Association Française du Prototypage Rapide)

Position des acteurs français

Position des entreprises françaises dans la compétition mondiale

En position de leadership

Dans la moyenne

En retard



Position des acteurs académiques français dans la compétition mondiale

En position de leadership

Dans la moyenne

En retard



LOISIRS
& CULTURE

Énergie,
MOBILITÉ,
NUMÉRIQUE

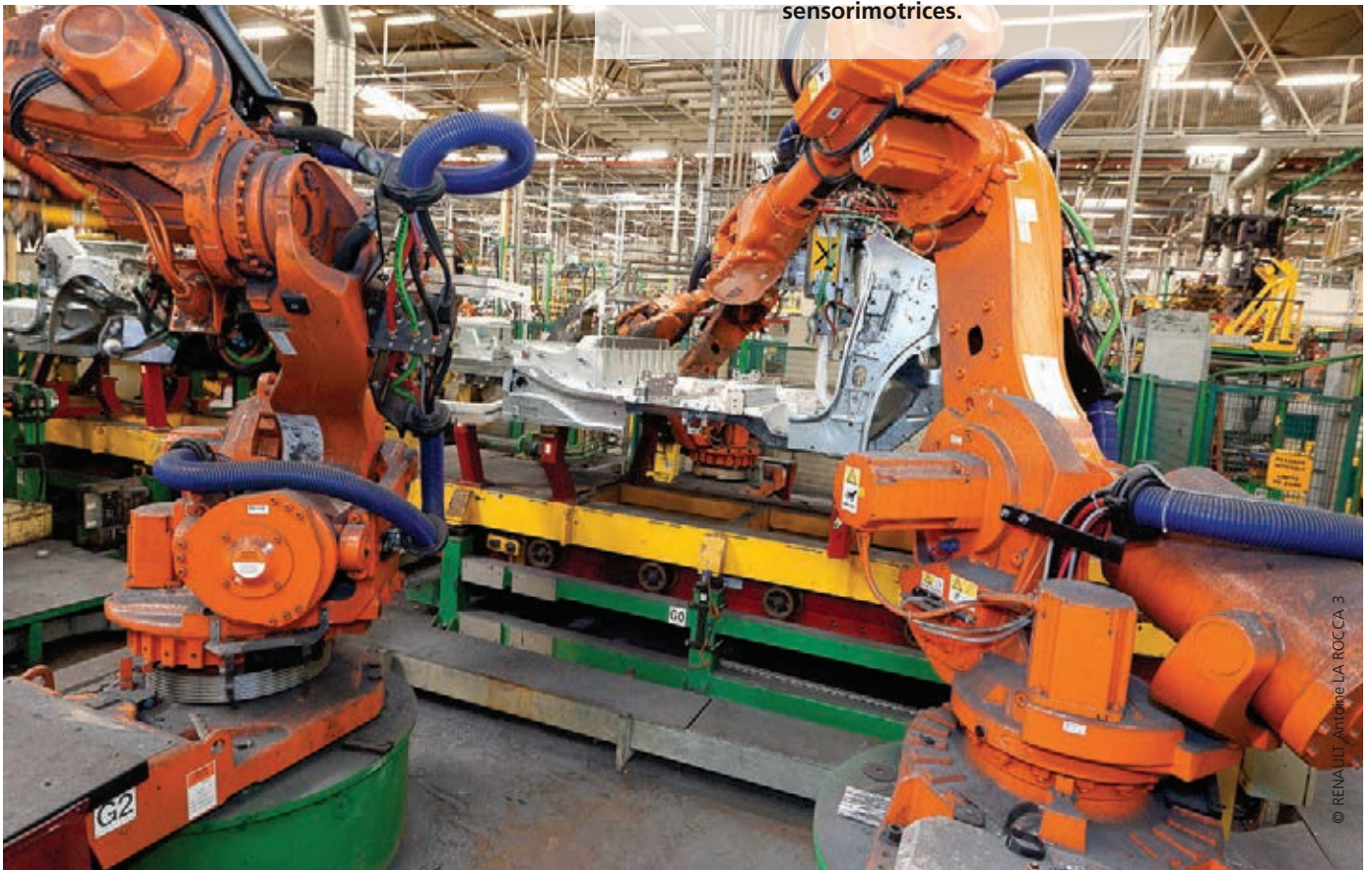
Environnement, Habitat,
SANTÉ ET BIEN-ÊTRE, SÉCURITÉ

Alimentation

► **Correspond à
une technologie clé 2015**

MOTS CLÉS

Cobot, humain augmenté, prothèses,
orthèses, réalité augmentée, préhension,
manipulation, robotique industrielle,
robotique collaborative, capacités
sensorimotrices.



Définition et périmètre

Le terme cobotique fait référence aux dispositifs dits de robotique collaborative ou encore de robotique interactive, dans l'industrie ou dans le monde professionnel. Le principe du « cobot » consiste à faire interagir le système robotique avec les humains pour obtenir un comportement synergique afin d'assister l'homme dans une tâche ou sur une mission par des apports de :

- Puissance : soulever des charges, compenser l'effort, etc., tout en laissant à l'humain l'exécution du geste ;
- Précision : apporter à l'opérateur de la précision et de la sûreté dans le geste ;
- Perception : augmenter la perception de l'humain par des apports tactiles, visuels, auditifs, etc. (cf. technologie clé « Technologies immersives ») ;
- Cognition : guider la tâche de l'humain dans une tâche complexe...

Au-delà de cette définition, la notion d'humain augmenté fait référence à l'extension des capacités de l'humain par des technologies intégrées à son anatomie sous forme de prothèses ou d'orthèses pour pallier un handicap (comme par exemple les articulations ou membres robotisés pour personnes amputées¹) ou encore des interfaces de perception intégrant des moyens de détection ou de pilotage neuronal.

■ Santé et bien-être

Les dispositifs robotiques comme le Locomat ou le MIT-Manus font aujourd'hui partie des outils utilisés pour la rééducation fonctionnelle. Des orthèses, ou encore des exosquelettes robotisés, sont envisagés pour assister ou suppléer les fonctions motrices. Les prothèses médicales, qu'il s'agisse d'organes artificiels tels que le cœur artificiel Carmat ou les rétines artificielles, ou de lunettes intégrant des caméras, permettent déjà de recouvrer des fonctions biologiques élémentaires défaillantes. La robotique offre des voies pour reconstruire et commander sous une forme artificielle des membres entiers (bras, jambe, main). Hugh Herr, ingénieur américain, professeur au MIT et lui-même amputé des deux jambes a mis au point la prothèse BiOM T2 System, alliant bionique et biomimétique. La cheville bionique est adaptée sur-mesure à chaque patient à l'aide

1 – Cf. cheville robotisée de BiOM.

d'un logiciel qui programme les paramètres déployés à toutes les étapes de la marche lors des premiers essais – le *Personal Bionic Tuning*.

Les robots de chirurgie minimalement invasive comme ceux d'Endocontrol constituent des évolutions sous des formes cobotiques de robots télé-opérés comme le Da Vinci de la société américaine Intuitive Surgical.

■ Mobilité

Les techniques et les technologies de la robotique interactive peuvent contribuer à l'autonomie des personnes handicapées notamment pour constituer des aides à la mobilité à travers des commandes avancées de déambulateurs ou des fauteuils roulants énergisés. Les orthèses énergisées sont des moyens envisagés pour l'augmentation des capacités humaines notamment pour le transport de charges. La fonction de déplacement de biens ou d'équipements aux côtés des humains dans des environnements contraints fait l'objet de nombreux développements. La maîtrise de ces interactions physiques ou non physiques ouvrira des perspectives importantes à l'assistance à la manipulation mobile, la téléprésence et la télémédecine mais aussi plus largement à la robotique d'assistance aux personnes.

■ Industrie

Le secteur de l'industrie restera incontestablement le plus fort débouché de la cobotique à moyen terme. Les ambitions d'*Industrie du futur* constituent un effet de levier considérable pour le développement des robots collaboratifs, et ouvrent la voie à de nombreuses nouvelles applications. Les cobots permettent avant tout d'apporter une aide dans des activités professionnelles pour des besoins relatifs à la dextérité (précision, amplitude), la puissance, la perception humaine (complémentaire à la perception visuelle, tactile, sonore, etc.). De nombreux produits voient le jour en ce moment, venus de fournisseurs étrangers de robots industriels comme Kuka, Yaskawa ou ABB mais aussi de nouveaux acteurs comme Rethink Technologies ou Kawada.

En France, le fabricant auxerrois de robots collaboratifs et d'exosquelettes RB3D a déjà installé ses cobots dans plusieurs entreprises industrielles françaises. D'une manière générale, la France industrielle est plus que jamais impliquée sur l'Usine du Futur comme en témoignent les industriels aéronautiques Figeac, qui investit plus de 35 M€ en 2015 pour construire une usine entièrement robotisée, ou encore Airbus, qui s'affiche comme

véritable pilote industriel sur plusieurs projets robotiques : Omnirob (projet Valeri) qui vise à intégrer davantage de robots sur les lignes d'assemblages aéronautiques, et le robot Asimov qui contribue à déployer davantage de machines collaboratives et intelligentes dans les usines Airbus de Nantes, Saint-Nazaire et Hambourg d'ici 2016, notamment pour l'assemblage de l'A380 et de l'A350 et la réalisation de tâches pénibles : peinture, soudage, portage de pièces lourdes.

Pourquoi cette technologie est-elle clé ?

■ Elle est un facteur de compétitivité pour l'industrie manufacturière

Les robots collaboratifs sont incontestablement un levier de compétitivité pour les industriels et les usines de production. Fortement liés à la robotique autonome, leur capacité d'adaptation et d'interaction avec l'homme et leur environnement leur offre beaucoup plus de flexibilité et leur permettra de réaliser des tâches à faible valeur ajoutée en assistance à un opérateur humain sans nuire à sa sécurité.

Bien que faiblement automatisée (par rapport à l'industrie automobile), l'industrie aéronautique présente un grand potentiel pour les applications des robots

collaboratifs, en raison de séries plus restreintes et d'un usage moins ancré de la robotisation « traditionnelle ». Il en est de même pour l'industrie agro-alimentaire ou la logistique où les besoins en termes de manipulation et de mobilité sont importants avec une très grande diversité de tâches et des environnements « humains ».

Par ailleurs, le cobot est vu favorablement comme un outil permettant de diminuer la pénibilité du travail et les troubles musculosquelettiques. Reportant sur la machine la partie pénible de la tâche (le poids, les vibrations, etc.) et laissant un rôle de contrôle à l'opérateur, le cobot est par ailleurs mieux perçu en entreprise que le robot autonome car moins « menaçant » pour l'emploi.

La robotique collaborative est un marché en devenir qui présente un potentiel très important, comme nous venons de l'évoquer dans bon nombre de secteurs industriels et artisanaux mais aussi dans le domaine médical et de l'assistance à la personne. La France peut prendre une part importante dans ce marché compte tenu de son potentiel d'innovation tant sur les aspects matériels que logiciels de cette nouvelle forme de robotique et s'appuyer sur son réseau d'intégrateurs pour multiplier les expérimentations de déploiement.

Liens avec d'autres technologies clés

Les technologies clés qui influencent la technologie Cobotique et humain augmenté sont :

1	Matériaux avancés et actifs
2	Capteurs
3	Valorisation et intelligence des données massives
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique
5	Internet des objets
6	Infrastructures de 5 ^{ème} génération
7	Systèmes embarqués et distribués, sécurisés et sûrs
9	Fabrication additive
11	Intelligence artificielle
12	Robotique autonome
13	Communications sécurisées

Les technologies influencées par la technologie Cobotique et humain augmenté sont :

1	Matériaux avancés et actifs
2	Capteurs
3	Valorisation et intelligence des données massives
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique
5	Internet des objets
9	Fabrication additive
11	Intelligence artificielle
12	Robotique autonome
13	Communications sécurisées
14	Technologies immersives
19	Analyse comportementale

Les technologies clés qui influencent la technologie Cobotique et humain augmenté sont :

14	Technologies immersives
19	Analyse comportementale
20	Nouvelles intégrations matériel-logiciel
32	Technologies d'imagerie pour la santé
34	Authentification forte
46	Nanoélectronique
47	Technologies de conception de contenus et d'expériences

Les technologies influencées par la technologie Cobotique et humain augmenté sont :

20	Nouvelles intégrations matériel-logiciel
33	Exploitation numérique des données de santé
46	Nanoélectronique

Les marchés

Les premières applications des cobots ont été envisagées au niveau industriel comme robots de production. Toutefois, au-delà des industriels, les professionnels misent également sur la force du collectif humain-robot, voire robot-robot.

■ Robots industriels : un marché de plus en plus tiré par l'Asie

Les ventes mondiales de robots de production ont progressé de 12 % en 2013 et atteignent leur plus haut niveau jamais enregistré pour une année à 178 132 unités². Les ventes se sont élevées à 225 000 unités en 2014, soit +27 % par rapport à 2013 (contre +15 % initialement prévu). La Chine et la Corée du Sud sont les plus gros acquéreurs de robots industriels en 2014 avec respectivement 56 000 robots (24,8 %) et 40 000 robots (17 %). Le taux de croissance annuel moyen estimé entre 2015 et 2017 est de +12 % au niveau mondial.

Au sein de ce marché, la part naissante de la cobotique est difficile à évaluer à 5 ans, mais il est raisonnable de penser qu'elle sera significative, tirée par la nécessité de lutter contre la pénibilité et les troubles musculo-squelettiques dans les entreprises industrielles et de maintenance (en partage avec la robotique autonome) : BTP, logistique, industrie mécanique et industries d'assemblage, artisanat à plus long terme. Le moteur essentiel sera le gain de compétitivité des entreprises.

² – Chiffres de l'International Robotics Federation, *World Robotics 2014*

■ Robots collaboratifs médicaux : vers plus de précision et d'assistance

Les ventes de robots médicaux ont quant à elles chuté de 2 % et atteignent 1 300 unités dont 1 000 robots d'assistance au chirurgien. Les ventes ont cependant augmenté en valeur et atteignent 1,45 Md\$ en 2013. Les 300 robots restants sont essentiellement des petites tables médicalisées mobiles et autonomes et quelques exosquelettes.

■ Prothèses - Dispositifs Médicaux d'Implantation (DMI)

- Prothèses orthopédiques
- Prothèses cardio-vasculaires
- Prothèses neurologiques
- Autres segments

■ Orthèses

Les défis technologiques à relever

Fortement lié à la fiche technologies clés « robotique autonome », les défis technologiques à relever sont essentiellement axés sur la capacité des robots à interagir de manière sûre avec l'homme et réaliser des fonctions variées souvent à faible cadence dans des environnements relativement dynamiques. Il leur est nécessaire pour cela d'intégrer des composants leur permettant de comprendre les activités humaines et les anticiper. Le robot doit aussi avoir un comportement déterministe et prédictible par l'homme.

Dans ces objectifs, la perception de l'environnement y compris humain, les lois de commande assurant des

mouvements sûrs ainsi que l'adaptation du comportement et les capacités d'apprentissage sont des dimensions essentielles.

■ La perception

Un des enjeux forts autour de la perception est l'utilisation de capteurs bas coûts pour rendre possible le déploiement des robots dans un modèle économique contraint (entreprise, système de santé...). Ces capteurs doivent au-delà fournir une information robuste (par fusion de données notamment) dès lors qu'elle engage des questions de sûreté de fonctionnement.

Les informations nécessaires à la mise en œuvre de robots collaboratifs sont relatives à la localisation des personnes situées dans l'environnement du robot et à leur mouvement. La perception des efforts d'interaction physiques par des capteurs répartis dans la structure ou localisés aux interfaces de manipulation doit permettre de commander les mouvements du robot en réponse à une interaction physique.

■ L'intelligence

On attend de ces robots qu'ils puissent être programmés de manière plus intuitive et plus interactive. À ce titre l'apprentissage par démonstration et les autres techniques d'apprentissage constituent des voies de développement de cette adaptation continue du comportement du cobot ou de la prothèse à son contexte d'emploi, mettant en œuvre des technologies relevant de l'intelligence artificielle (autre technologie clé).

■ La planification et la commande

La commande de tels robots doit permettre de réaliser des trajectoires spécifiées directement au niveau de l'objectif de la tâche. La construction des enchaînements des mouvements élémentaires doit bénéficier de moyens permettant la prise en compte des incertitudes et des aléas. En outre, les lois de commande doivent pouvoir prendre en compte des contraintes ainsi que des objectifs de manière dynamique et surtout robuste. Pouvoir produire des mouvements s'adaptant à des environnements dynamiques et sûrs pour les personnes est une propriété essentielle au déploiement de ces systèmes.

■ Préhension

Le caractère « orienté industrie » des cobots implique la capacité à manipuler des pièces ou objets de différentes tailles, rigides et souples et plus ou moins

fragiles. La fonction de préhension est dans ce contexte absolument critique. Disposer de préhenseurs dextres pouvant saisir une grande variété d'objets placés dans des configurations variables constitue un enjeu majeur. Aujourd'hui les systèmes de préhension offrent des capacités d'adaptation trop limitées. Les préhenseurs articulés disponibles sur le marché sont beaucoup trop complexes et fragiles. Il est essentiel de pouvoir doter les systèmes de robotique collaborative de préhenseurs articulés et instrumentés de capteurs d'effort et de vision qui soient à la fois légers et robustes à l'usage.

■ Interface cerveau-machine : vers le pilotage par la pensée

Du fauteuil roulant robotisé aux prothèses et orthèses de membres, le secteur de la santé affiche de nombreux progrès technologiques. Le contrôle de ces systèmes par des interfaces neuronales afférentes est aujourd'hui envisagé via des technologies de capteurs invasifs et non invasifs en exploitant les signaux corticaux. Après classification, les signaux cérébraux sont traduits en consignes pour produire des actions ou moduler des paramètres de commande. Il ne s'agit à ce jour que d'un domaine de recherche dans lequel de nombreux laboratoires de l'INSERM, de l'INRIA et du CNRS sont particulièrement actifs. Les perspectives offertes par ces technologies dépassent le domaine du handicap et peuvent concerner d'autres domaines dans lesquels elles constitueront des systèmes de pilotage alternatifs ou complémentaires à ceux engageant des modalités physiques.



Les défis commerciaux et d'usages à relever

Les défis commerciaux sont fortement liés à ceux de la technologie clé robotique autonome, mais se complètent de certains verrous propres aux secteurs d'application.

■ Industrie et PME

Permettre aux industriels de s'équiper d'un robot collaboratif, capable d'effectuer de nombreuses tâches et de s'adapter plus rapidement aux aléas et aux changements de missions s'avèrerait être un levier considérable pour la compétitivité des entreprises. De nombreux soutiens à la robotisation ont été mis en place en France depuis 2012 (Robot StartPME, etc.) à destination des entreprises, principalement des PME.

Néanmoins, l'adoption de cobots dans les processus de l'entreprise repose sur une remise en question d'une partie de ces processus d'une part, de la place de l'opérateur d'autre part. Les impacts sont donc d'ordre organisationnel et social, que seuls les grands groupes industriels et ETI savent aujourd'hui appréhender.

■ Secteur médical

Si, comme pour les robots autonomes, l'arrivée de solutions intelligentes pousse à changer les habitudes et à revoir les modèles économiques, la cobotique pour la santé s'inscrit dans un cadre de financement et de qualification complexe ; les acteurs intervenant alors dans les modèles économiques sont nombreux : assurance maladie, mutuelles, établissements de santé, collectivités, familles...

Le principal défi commercial pour tous les dispositifs liés à la santé sera donc dans le modèle économique et dans l'homologation des systèmes qui seront considérés comme relevant du dispositif médical. Dans ce dernier cas, l'absence d'homologation globale au niveau européen constitue un facteur de risque pour les entreprises françaises face à leurs concurrentes des États Unis disposant d'un marché intérieur suffisant pour leur développement initial.

Les enjeux réglementaires

Au-delà des homologations pour les dispositifs médicaux citées ci-dessus, le premier enjeu adressé par la normalisation (plus que par la réglementation), concerne la sécurité des personnes évoluant dans l'environnement du cobot ou en collaboration avec lui. Le groupe de travail ISO/TC 184/SC 2 travaille sur ces questions autour des normes publiées ou en cours d'élaboration : ISO 10-218 pour les robots industriels, ISO 13482 pour les robots d'assistance personnelle, IEC/NP 80601 pour les robots médicaux.... Les cobots sont par ailleurs soumis à la directive Machine 2006/42/CE, notamment pour les questions de sécurité et de responsabilité du fabricant pour mener une évaluation du risque.

Autre enjeu, réglementaire celui-ci, les risques faisant peser sur la vie privée les interfaces de vision augmentée (lunettes) utilisées sur l'espace public : des recours ont déjà été déposés à l'encontre des Google Glass. Ces recours n'ont cependant pas d'incidence sur les systèmes pour milieu professionnel (cf. fiche Technologies Immersives).

Analyse AFOM

ATOUTS

Une excellence de la recherche autour des compétences de la robotique, notamment sur l'intelligence artificielle, la perception et le traitement de l'information.

Le système français d'amorçage facilitant la création de startups (mais pas toujours leur développement)

FAIBLESSES

La robotisation des industries françaises est très en retard, et elle souffre toujours d'un déficit chronique d'investissements.

OPPORTUNITÉS

Le développement de fonds d'investissement spécialisés dans la robotique et le fort intérêt des fonds corporate.

Les évolutions attendues des systèmes de production (industrie 4.0)

MENACES

Les États-Unis, l'Allemagne et l'Asie sont très en avance et continuent leur forte croissance de même que certains pays comme l'Italie ou la Suisse.

Le mouvement amorcé de consolidation des acteurs de robotique qui poussent les grands acteurs internationaux (GAFA) à racheter les pépites.

Facteurs clés de succès et recommandations

La cobotique et l'humain augmenté, s'ils partagent des verrous et solutions technologiques, présentent des caractéristiques de marchés différentes :

- Dans les deux cas, le seul marché français est insuffisant pour porter le développement d'une offre commerciale. Pour une startup, il est donc essentiel de s'intéresser très rapidement à l'export en fonction de son ambition.
- La cobotique suppose également, en général, des changements dans les habitudes de travail qu'il convient de prendre en compte dans les démarches commerciales et de déploiement (conduite du changement).
- Les systèmes d'assistance font face à des enjeux importants de modèle économique, comme décrit précédemment. La prise en compte de ce modèle est en l'occurrence d'une importance égale à la

levée des verrous techniques pour le développement de l'activité des entreprises.

La cobotique est un domaine dans lequel la France doit être présente et a la capacité d'offrir des produits qui combinent matériels et logiciels. La cobotique constitue aussi une opportunité pour la France de se positionner sur certains nouveaux créneaux de la robotique industrielle, en s'appuyant sur le haut niveau académique de sa recherche, sur un tissu dense de startups et l'implication de grands prescripteurs dans les actions liées à l'Industrie 4.0. Un but du programme Industrie du futur de la Nouvelle France Industrielle est de constituer une offre française de robotique interactive et de veiller à l'appropriation de ces nouvelles technologies par les intégrateurs.

Le premier concours français sur la collaboration homme/robot et la cobotique en milieu

professionnel a eu lieu en février 2015. Ce concours a permis de récompenser 3 consortiums autour de projets de micro assemblage compact, d'assistants et instruments cobotiques de chirurgie, et d'assistance et de désherbage mécanique pour les agriculteurs. Ce concours a suscité beaucoup d'intérêt et a permis

de stimuler techniquement les différents acteurs de la robotique collaborative pour le développement de nouvelles applications. Renouveler et développer ce type de concours constitueraient un moyen efficace pour rapprocher les fabricants et les utilisateurs, stimuler l'innovation et attirer les financeurs.

Acteurs clés

Entreprises	Aldebaran Robotics, Akeo+, Balyo, Naio Technologies, Neoditech, RB3D, Wandercraft...
IRT, ITE, IHU	IRT Saint-Exupéry, SystemX...
Instituts Carnot	CEA LIST, CEA LETI, INRIA, IRSTEA, I@L, LAAS CNRS, ONERA, TSN...
Autres centres de recherches	CRISTAL, CAOR/Mines ParisTech, ENSC, IRCCyN, ISIR, UTC...
Pôles de compétitivité	Aerospace Valley, CapDigital, EMC2, IDforCAR, I-Trans, LUTB, Mov'eo, Novalog, Picom, Systematic, Véhicule du futur, Viaméca...
Autres (clusters, associations, fédération professionnelles, réseaux d'entreprises)	CITC EuraRFID, FPDC, GdR Robotique, SYMOP, SYROBO...

Position des acteurs français

Position des entreprises françaises dans la compétition mondiale	
En position de leadership	
Dans la moyenne	●
En retard	

Position des entreprises françaises dans la compétition mondiale	
En position de leadership	●
Dans la moyenne	
En retard	

LOISIRS
& CULTURE

Énergie,
MOBILITÉ,
NUMÉRIQUE

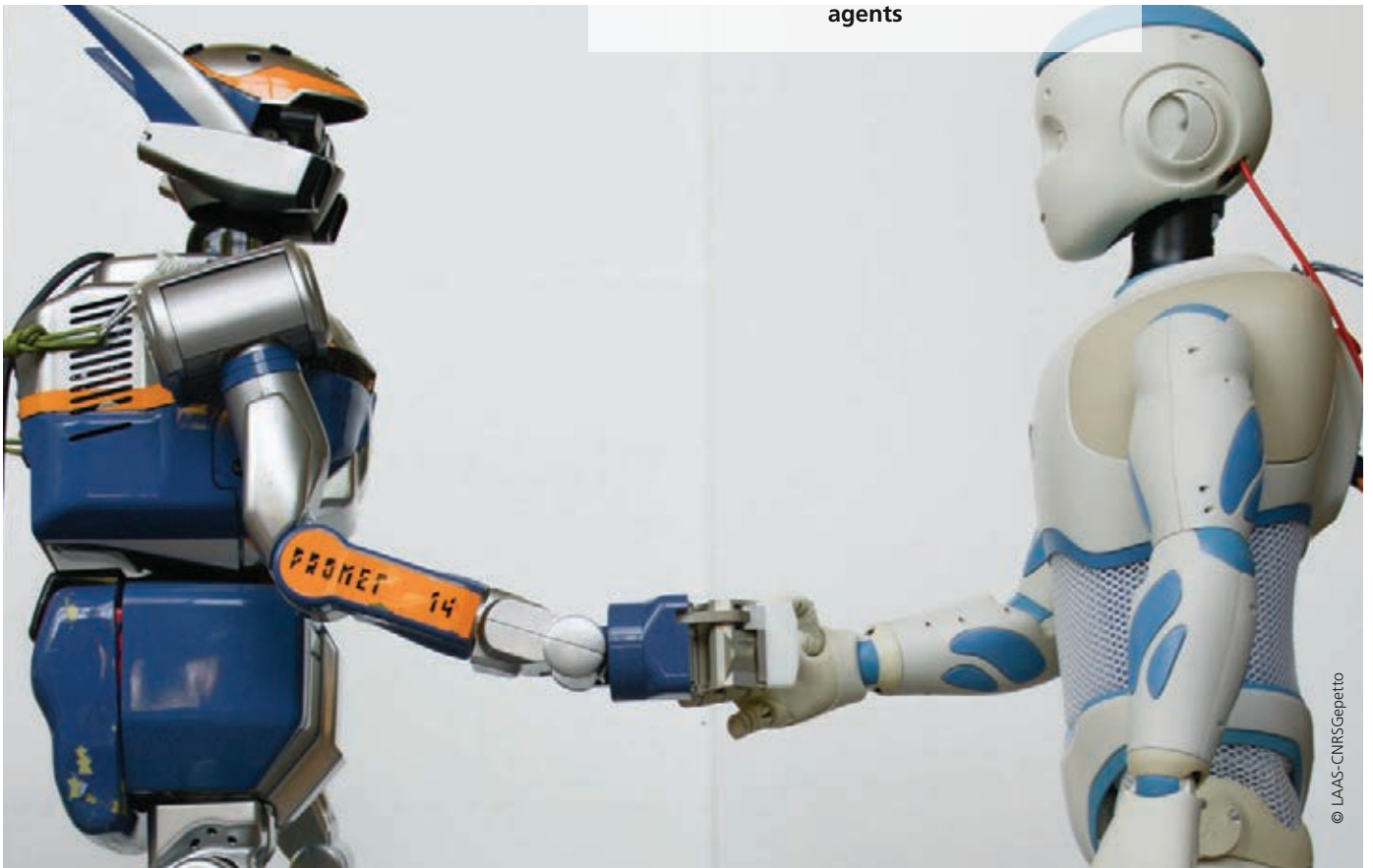
Environnement, Habitat,
SANTÉ ET BIEN-ÊTRE, SÉCURITÉ

Alimentation

➤ **Correspond à
une technologie clé 2015**

MOTS CLÉS

Apprentissage automatique;
Reconnaissance vocale et gestuelle;
Robotique de service; Aide à la prise de
décision ; Perception, Systèmes multi-
agents



Définition et périmètre

Définition

L'intelligence artificielle (IA) a pour objectif la construction d'entités « douées » d'intelligence. L'intelligence peut être décomposée en briques élémentaires pouvant être reproduites par une machine : l'IA tente donc de recréer ou « imiter » certaines aptitudes de l'intelligence humaine, comme la mémoire, le raisonnement, la prise de décision et la résolution de problèmes ou la perception. L'approche peut être empirique, en se basant sur le domaine interdisciplinaire des sciences cognitives, ou rationnelle, en combinant des outils mathématiques et informatiques pour modéliser le processus de la pensée et du comportement humain¹.

Sous-domaines de l'IA

Face à la diversité des facultés de l'intelligence humaine que l'IA est amenée à reproduire, il existe plusieurs sous-domaines :

- **Représentation des connaissances et raisonnement automatique.** Il s'agit de représenter des données qui peuvent être incomplètes, incertaines, ou incohérentes et de mettre en œuvre un raisonnement.
- **Résolution de problèmes généraux.** L'objectif est de créer des algorithmes généraux (recherche

heuristique) pour résoudre des problèmes concrets comme la résolution d'un jeu d'échecs par exemple. Ce sous-domaine fait notamment appel à la théorie des jeux, à la théorie des graphes, etc.

- **Traitement du langage naturel.** Ce sous-domaine vise à la compréhension, la traduction, ou la production du langage (écrit ou parlé).

- **Vision artificielle.** Le but est de créer des systèmes capables de comprendre les images et les vidéos pour reconnaître des objets, des véhicules, des personnes, des visages ou des chiffres par exemple.

- **Apprentissage automatique.** Cette branche de l'IA s'attache à concevoir des programmes capables de s'auto-modifier en fonction de leur expérience.

- **Les systèmes multi-agents.** Il s'agit de systèmes dans lesquels des agents artificiels opèrent collectivement et de façon décentralisée pour accomplir une tâche.

Il existe des liens très forts entre ces disciplines mais aussi avec la psychologie, les neurosciences, les sciences cognitives, la linguistique et l'économie. L'IA repose sur de très nombreux principes : la logique floue, la logique booléenne, le test de Turing, les algorithmes, les réseaux neuronaux, le pathfinding,

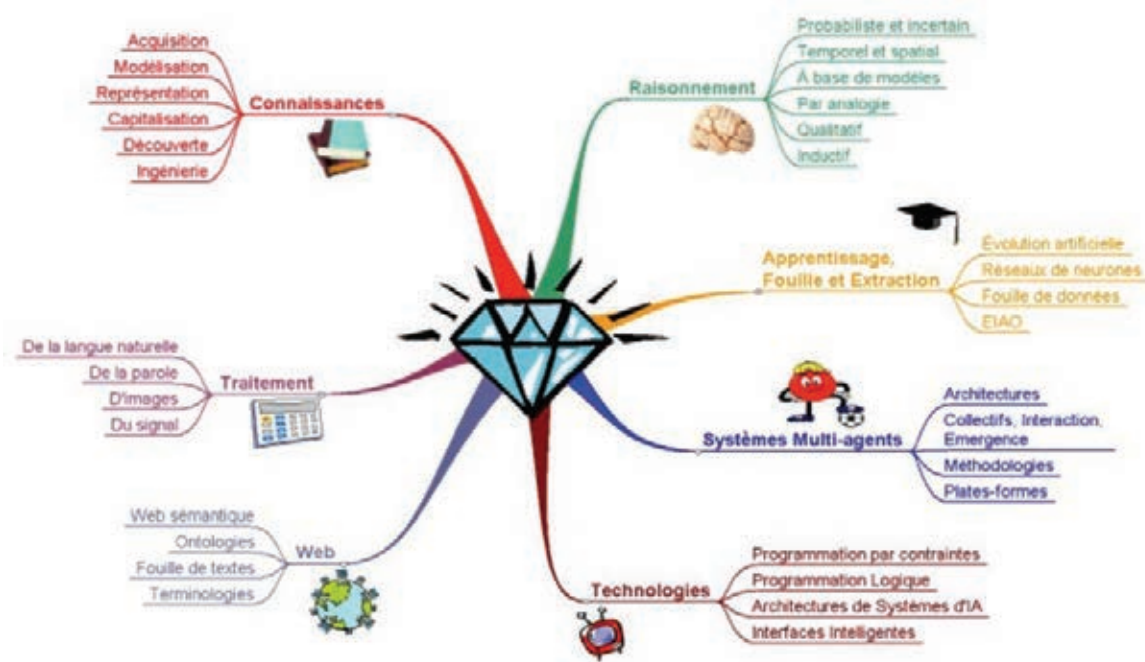


Figure 1 : Ramifications de l'IA selon l'AFIA IA et aide à la prise de décision

IA et aide à la prise de décision

Les IA actuelles fonctionnent en trois étapes : perception de l'environnement, décision qui fait appel au raisonnement et à l'apprentissage, action tournée vers l'environnement. Elles procurent souvent des éléments clés d'aide à la décision dans le diagnostic médical² ou la prise de décision comme sur les marchés financiers où les algorithmes du trading à haute fréquence (THF) génèrent seuls, sans intervention humaine, une bonne partie (40 %) des transactions sur les marchés boursiers. Cette aide à la prise de décision se retrouve dans le secteur de la robotique de service avec Nao et Pepper de la compagnie Aldebaran ou la famille de robots de l'entreprise française HAAPIE qui regroupe une série de compagnons domestiques polyvalents et interactifs, sociaux et cognitifs, capables d'apprendre et de comprendre les préférences des utilisateurs afin d'agir en fonction de leurs habitudes. Ils sont également utilisés dans le monde professionnel, afin de faciliter la recherche d'information et fournir une aide à la décision grâce à leur capacité à ingérer des grandes quantités de données. À titre d'exemple, l'algorithme VITAL est membre du conseil d'administration de DEEP KNOWLEDGE VENTURES et participe aux décisions d'investissement en analysant les bilans comptables des entreprises potentiellement intéressantes, la propriété intellectuelle...

Pourquoi cette technologie est-elle clé ?

Il y a un réel renouveau des recherches sur l'IA dû à la démocratisation de moyens de calculs puissants, à l'accès à des données massives (*Big Data*) et aux progrès enregistrés dans la conception et la fabrication de puces électroniques qui imitent le fonctionnement du cerveau³... On assiste également à une prise de conscience du besoin de confronter les systèmes IA au monde physique avec le domaine de la robotique⁴.

1 – TSCHIRHART F., 2009 ; *Réseaux de neurones formels appliqués à l'IA et au jeu, Mémoire de recherche, Paris, École Supérieure de Génie Informatique*, 90 p.

2 – Paristech review. Systèmes experts: jusqu'où peut-on automatiser l'intelligence? [en ligne]. <<http://www.paristechreview.com/2014/04/29/systemes-experts/>> [12 juin 2015].

3 – USINE DIGITALE. Deep learning, big data, réseaux de neurones... pourquoi l'IA revient-elle maintenant. [en ligne]. <<http://www.usine-digitale.fr/editorial/deep-learning-big-data-reseaux-de-neurones-pourquoi-l-intelligence-artificielle-revient-elle-maintenant.N327758>> [12 juin 2015].

4 – Industries & Technologies. Homme-robot ; les outils d'une relation réussie [en ligne]. <<http://www.industrie-techno.com/homme-robot-les-outils-d-une-relation-reussie.33087>> [12 juin 2015].

L'ANR estime que son aide sur le sujet s'élève, depuis sa création en 2005, à plus de 100 M€, ce qui correspond à un volume de recherche de l'ordre de 250 M€⁵.



Le déploiement de l'analyse prédictive grâce au Big Data et à l'IA

L'apparition de nouvelles technologies d'apprentissage automatique (machine learning) rend possible l'analyse et la corrélation de données massives par les machines capables d'en tirer des conclusions. Le «Deep Learning» a été classé parmi les dix technologies d'avenir en 2013 par le MIT (Massachusetts Institute of Technology)⁶. L'IA, associée au Big Data, amorce le déploiement de l'analyse prédictive, qui consiste à anticiper les phénomènes politiques, économiques et sociaux et répond à des enjeux de sécurité forts. Skynet, l'algorithme « intelligent » de surveillance de la NSA, utilise les données mobiles pour identifier de potentiels terroristes. Au-delà de cette application controversée, la recherche applique l'IA à la prédiction et l'amélioration de la gestion de catastrophes humaines, naturelles et technologiques comme les séismes⁷, les feux de forêts⁸, les déraillements de train, ... La National Science Foundation, la Japan Science et la Technology Agency financent d'ailleurs un programme

5 – ANR. [en ligne]. Les cahiers de l'ANR n°4. IA et robotique «Confluences de l'Homme et des STIC». <http://pages.isir.upmc.fr/~gas/pam/img_auth.php/4/4c/1340774899_Cahier-ANR-4-Intelligence-Artificielle.pdf> [12 juin 2015].

6 – La revue européenne des médias et du numérique. IA et machine learning [en ligne]. <<http://la-rem.eu/2014/09/02/intelligence-artificielle-et-machine-learning/>> [12 juin 2015].

7 – Azam, F., Sharif, M., Yasmin, M., Mohsin, S. (2014). *Artificial intelligence based techniques for earthquake prediction: a review*. Science International Lahore, vol. 4, 1495-1502.

8 – Castelli, M., Vanneschi, L., & Popovic, A. (2015). *Predicting burned areas of forestry fires: an artificial intelligence approach*. Fire Ecology, vol 11(1), 106-118.

de recherche dédié à l'amélioration de l'analyse du Big Data pour le management des catastrophes. Le Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme (CEPMMT) a d'ailleurs fait appel à IBM pour construire un réseau de supercalculateurs et de stockage consacré à la prévision météorologique. Les météorologues pourront ainsi offrir de nouvelles prévisions plus précises. Les techniques du marketing et de la publicité ciblée sont également visées puisque l'IA permettra d'anticiper avec une précision sans précédent les comportements des acheteurs potentiels.

Un intérêt européen fort vis-à-vis de l'IA

Le projet Human Brain Project, porté par l'EPFL (École Polytechnique Fédérale de Lausanne) témoigne de l'intérêt fort de l'Union Européenne (UE) pour l'IA. Human Brain Project⁹ (HBP) est un projet scientifique lancé fin 2013 qui vise à réaliser une simulation numérique complète du fonctionnement d'un cerveau humain grâce à des superordinateurs. Ce projet, doté de 1,2 milliard d'euros sur dix ans, est l'un des deux FET Flagships («programmes phares de recherche») de l'UE et couvre à la fois des problématiques relatives aux neurosciences, à la médecine (thérapies pour les

maladies neurodégénératives) et aux technologies de l'information (conception d'ordinateurs fonctionnant sur le modèle des connexions neuronales). Le projet HBP trouve ses origines dans le projet suisse Blue Brain¹⁰ qui a débuté en 2005 avec pour objectif la construction d'un cerveau virtuel à l'aide d'un supercalculateur afin de générer des modèles qui serviront de « briques » pour la construction d'un cerveau virtuel complet. Porté par l'EPFL, le projet s'appuie sur BlueGene, un supercalculateur fourni par IBM pour construire ce cerveau virtuel. La puissance de calcul nécessaire est colossale: la simulation d'un neurone nécessite l'équivalent d'un ordinateur portable, sachant qu'un cerveau humain contient deux millions de colonnes corticales, avec environ 100 000 neurones chacune.

Des chercheurs français sollicités par des groupes internationaux

Facebook a ouvert en juin 2015 son premier laboratoire hors du territoire américain et a choisi de l'implanter à Paris sous la direction du Français Yann LeCun¹¹. Ce choix s'explique en raison de l'existence d'un « domaine d'excellence en France en matière

Liens avec d'autres technologies clés

Les technologies clés qui influencent l'intelligence artificielle sont :

2	Capteurs
3	Valorisation et intelligence des données massives
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique
5	Internet des objets
6	Infrastructures de 5 ^{ème} génération
7	Systèmes embarqués et distribués, sécurisés et sûrs
10	Cobotique et humain augmenté
12	Robotique autonome

9 – European Commission. Human Brain Project [En ligne] <<https://www.human-brainproject.eu/discover/the-project/overview;jsessionid=qzwwcl7o5hu0v96vu6jv7j5>> [30 juin 2015].

Les technologies influencées par l'intelligence artificielle sont :

2	Capteurs
3	Valorisation et intelligence des données massives
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique
5	Internet des objets
6	Infrastructures de 5 ^{ème} génération
10	Cobotique et humain augmenté
12	Robotique autonome
13	Communications sécurisées

10 – EPFL. L'Institut des Neurosciences & le projet Blue Brain. [En ligne] <<http://sv.epfl.ch/neurosciences>> [30 juin 2015].

11 – Sciences & Avenir. IA ; Facebook ouvre un labo à Paris [en ligne]. <<http://www.sciencesetavenir.fr/high-tech/20150602.OBS0017/a-paris-un-laboratoire-de-facebook-sur-l-intelligence-artificielle.html>> [12 juin 2015].

de vision par ordinateur». De son côté, MICROSOFT RESEARCH a noué un partenariat de recherche avec l'INRIA. Un défi pour l'avenir de cette technologie consistera notamment à limiter la « fuite » des ingénieurs IA. Par ailleurs, la maîtrise de ces technologies est indispensable pour rester un acteur qui compte

Les technologies clés qui influencent l'intelligence artificielle sont :

13 Communications sécurisées

14 Technologies immersives

19 Analyse comportementale

20 Nouvelles intégrations matériel-logiciel

21 Supercalculateurs

33 Exploitation numérique des données de santé

46 Nanoélectronique

sur le secteur des jeux vidéo. 1^{er} marché mondial des industries culturelles, le chiffre d'affaires du secteur des jeux vidéo représente en 2014 environ 66 milliards d'euros au niveau mondial et 2,9 milliards d'euros pour la France¹².

Les technologies influencées par l'intelligence artificielle sont :

14 Technologies immersives

19 Analyse comportementale

20 Nouvelles intégrations matériel-logiciel

21 Supercalculateurs

46 Nanoélectronique

47 Technologies de conception de contenus et d'expériences

Les marchés

Exemples d'applications de l'IA

Plusieurs applications de l'IA sont d'ores et déjà omniprésentes dans la vie quotidienne. En voici quelques exemples :

■ **Les assistants personnels numériques présents dans les smartphones** dotés d'une interface vocale et capables d'anticiper les besoins de l'utilisateur grâce à son intelligence artificielle couplée à un accès direct aux données personnelles de l'utilisateur (messages, emails, carnet d'adresses, calendrier, localisation...)

■ **Les agents conversationnels qui sont de plus en plus présents dans** les domaines du support client et du télémarketing sous la forme de fenêtre de chat sur un site web ou de serveur vocal. Ces « chatterbots » permettent de répondre aux questions les plus simples grâce à l'utilisation du langage naturel et l'accès à de vastes bases de données.

■ **La reconnaissance faciale** issue de la vision artificielle est utilisée dans les appareils photos pour détecter automatiquement les visages ou sur Facebook pour reconnaître les personnes présentes sur les photos.

■ **La recherche par le contenu** (visuel, multimédia...).

■ **Les caméras intelligentes** (smart sensors).

■ **Les moteurs de recherche** qui sont basés sur des systèmes intelligents d'extraction, d'analyse et de classification de données pour produire un résultat pertinent à la requête de l'utilisateur.

■ **Les moteurs de recommandation** sont des technologies prédictives qui s'appuient sur les données issues de la navigation et des achats d'un utilisateur pour lui conseiller des produits similaires.

■ **La traduction automatique** qui repose sur des algorithmes de modélisation statistique du langage naturel en intégrant les règles de construction de chaque langue.

■ **Les véhicules autonomes.** Des briques d'intelligences artificielles sont déjà intégrées dans les voitures capables de se garer toutes seules, de freiner par anticipation, et bientôt de rouler en autonomie dans certaines conditions de circulation¹³. L'IA est aussi

12 – SNJV : Baromètre 2014 du marché du jeu vidéo

13 – Industries & Technologies. Inspiration Truck ; le premier camion autonome autorisé à rouler dans le Nevada [en ligne]. <<http://www.industrie-techno.com/inspiration-truck-le-premier-camion-autonome-autorise-a-rouler-dans-le-nevada.38140>> [12 juin 2015].

présente dans le pilotage automatique des avions et la gestion de trajectoire des véhicules spatiaux. Comme le soulignait Philippe Crist, économiste au Forum International des Transports, lors du sommet 2015 de l'organisation, les données seront le carburant de la mobilité urbaine du 21^{ème} siècle.

■ **Les jeux vidéo** où l'IA concerne entre autres les prises de décision des personnages non joueurs gérés par le jeu qui doivent être capables d'avoir un comportement crédible lorsqu'ils s'adaptent à des situations non prévues. Au-delà du rôle de l'IA dans l'expérience joueur, elle participe à la conception des contenus, elle permet aux *game designers* de tester la pertinence des réglages du système en jouant un nombre astronomique de parties pour mettre en avant des déséquilibres ou des stratégies dominantes.

■ **L'entraînement et la formation.**

■ **La robotique**

Au-delà du secteur loisirs et culture, l'intelligence artificielle est présente dans les secteurs de l'énergie, de la santé, de l'urbanisation...

Quelques chiffres sur le marché de l'IA

Le marché global de l'IA a été chiffré à 900 millions de dollars en 2013 par Research and Markets. Le marché mondial des outils et des applications basés sur l'IA croît rapidement et devrait passer de 700 millions d'euros en 2013 à 27 milliards d'euros en 2015 selon une étude du *Business Innovation Observatory* de la Commission européenne. Les évaluations de l'étude de Tractica prévoient que le marché mondial des systèmes basés sur l'IA dédiés aux applications de l'entreprise, passera de 202,5 millions de dollars en 2015 à 11,1 milliards de dollars en 2024¹⁴. Dans une étude publiée en mai 2014, BCC Research évalue le marché mondial des machines intelligentes à 15,3 milliards de dollars d'ici à 2019¹⁵. Ces chiffres englobent les systèmes experts, les robots autonomes, les systèmes d'assistance numériques, les systèmes embarqués intelligents et les systèmes neuro-naux. Les systèmes experts représentent la plus grosse

14 – Tractica. Artificial Intelligence for Enterprise Applications to Reach \$11.1 Billion in Market Value by 2024. [En ligne]. <<https://www.tractica.com/newsroom/press-releases/artificial-intelligence-for-enterprise-applications-to-reach-11-1-billion-in-market-value-by-2024/>> [30 juin 2015].

15 – BCC RESEARCH. Global Market for Smart Machines Expected to Reach \$15.3 Billion in 2019; Autonomous Robots Moving at 22.8 % CAGR.[En ligne] <[http://www.bccresearch.com/pressroom/ias/global-market-smart-machines-expected-reach-\\$15.3-billion-2019](http://www.bccresearch.com/pressroom/ias/global-market-smart-machines-expected-reach-$15.3-billion-2019)> [30 juin 2015].

part de marché suivis par les robots autonomes qui devraient passer devant d'ici à 2024.

Le marché de l'IA devrait croître notamment grâce à l'apprentissage automatique appliqué à l'industrie pour réduire les coûts de production, grâce aux systèmes d'assistance numériques et aux systèmes experts. Les systèmes dits «experts», capables de reproduire la capacité de prise de décision humaine pour une opération spécifique, sont de plus en plus utilisés dans l'aviation (simulateur de vol), la défense (cyberdéfense, téléguidage d'avions et de missiles) et la finance. Les secteurs les plus porteurs devraient être la finance, le divertissement, la défense, les transports, la santé, l'industrie et l'éducation¹⁶. On assiste à une tendance forte d'acquisition de la part des grandes entreprises pour renforcer leur positionnement sur le secteur de l'IA.

Selon une étude de *Transparency Market Research*, le marché des logiciels d'analyse prédictive représentait 2 milliards de dollars en 2012 mais devrait représenter 6.5 milliards de dollars en 2019. Une étude Gartner prédit qu'au moins 10 % des activités mettant en danger la vie des personnes seront prises en charge par des systèmes intelligents d'ici à 2024. À titre d'exemple, les systèmes avancés d'assistance à la conduite représenteront 16 milliards d'euros en 2019¹⁷, et les systèmes d'assistance à l'autonomie à domicile pour les personnes âgées représentent déjà un marché d'1 milliard de dollars¹⁸.

Les défis technologiques à relever

Les défis et les segments porteurs selon l'ANR¹⁹ concernent :

■ **L'évolution indispensable vers le Web sémantique** soulève des défis de représentation de

16 – TRANSPARENCY MARKET RESEARCH. Artificial Intelligence Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2014 – 2022. [En ligne]. <<http://www.transparencymarketresearch.com/artificial-intelligence-market.html>> [30 juin 2015].

17 – STRATEGY ANALYTICS. Advanced Driver Assistance Systems Euro NCAP gives \$2.8 Billion Boost to Demand. [En ligne].<[https://www.strategyanalytics.com/access-services/automotive/powertrain-body-chassis-and-safety/reports/report-detail/advanced-driver-assistance-systems-euro-ncap-gives-\\$2-8-billion-boost-to-demand?Related#.VZYUuUZ7vNk](https://www.strategyanalytics.com/access-services/automotive/powertrain-body-chassis-and-safety/reports/report-detail/advanced-driver-assistance-systems-euro-ncap-gives-$2-8-billion-boost-to-demand?Related#.VZYUuUZ7vNk)> [30 juin 2015]

18 – SIEMENS. Facts and Forecasts: Boom for Learning Systems. [En ligne]. <<http://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/digitalization-and-software/artificial-intelligence-facts-and-forecasts.html>> [30 juin 2015]

19 – ANR. Les cahiers de l'ANR n°4. IA et robotique «Confluences de l'Homme et des STIC». [En ligne]. <http://pages.isir.upmc.fr/~gas/pam/img_auth.php/4/4c/1340774899_Cahier-ANR-4-Intelligence-Artificielle.pdf> [12 juin 2015].

l'information et des connaissances, de langages pour exprimer ces connaissances et les traitements à effectuer, de manipulation et de visualisation de réseaux liant les concepts sémantiques et de développement des ontologies, modèles partagés de représentation d'un domaine.

■ **La quantité d'information sur Internet** ne cesse d'augmenter. Selon IBM, la production de données numériques en 2014 se mesure en exaoctets, soit 10^{18} octets et on estime que tous les deux ans, il se crée autant de données que depuis le début de l'humanité, ce qui amène les prévisionnistes à parler de 40 zettaoctets (10^{21}) pour 2020²⁰. Ce «data déluge» selon le terme consacré, pose des défis de performance et de passage à l'échelle des outils et méthodes, de prise en compte de structures et formats spécifiques, d'hétérogénéité des contenus et l'absence de référentiel commun, de répartition sur des serveurs distants. **La fouille des données, non structurées et non homogènes, sur les réseaux sociaux constitue un challenge d'intérêt économique** qui nécessite de concevoir des algorithmes adaptés... Au niveau national, EXALEAD/DASSAULT SYSTEMES sont fortement impliqués sur ces sujets à travers des programmes comme QUAERO ou KXEN.

■ La possibilité de concevoir un système capable de faire face à toutes les situations qu'il rencontrera au cours de son existence a été abandonnée tant la diversité des situations est importante et imprévisible. Il est donc devenu essentiel de **concevoir des systèmes capables de s'auto-adapter. Cette faculté d'adaptation peut être obtenue grâce à des techniques d'apprentissage automatique**, soit à partir d'un ensemble de données représentatif des situations possibles que connaîtra le système, soit dynamiquement à partir de données captées lors de son fonctionnement. Cet apprentissage peut être supervisé ou non.

■ **La répartition des fonctions et des connaissances sur un ensemble de systèmes mis en réseau** peut fournir une réponse adaptée aux défis de complexité et de taille des applications. Les défis des systèmes intelligents distribués, multi-agents, sont nombreux: définition du rôle de chaque sous-système et structuration en sous-groupes, répartition

des connaissances, optimisation des communications, définition des vocabulaires et langages utilisés pour la communication, planification et synchronisation des actions communes, prise en compte des plans et intentions des autres agents, etc. L'ingénierie et la mise au point de plates-formes d'exécution de ces systèmes distribués posent également des défis méthodologiques et pratiques importants.

■ **Les systèmes intelligents d'aujourd'hui se doivent d'être capables de raisonner dans le temps et dans l'espace.** Des formalismes de représentation du temps et de l'espace ont été établis par les chercheurs mais il s'agit maintenant de raisonner efficacement sur ces représentations, la problématique du raisonnement étant évidemment bien plus complexe que pour des grandeurs scalaires ou symboliques, en raison du caractère dynamique et distribué spatialement de l'information.

■ Par ailleurs, l'intégration de la physique quantique dans l'informatique révolutionnerait l'IA en permettant la résolution d'algorithmes qui actuellement nécessiteraient plusieurs dizaines d'années mais des verrous technologiques majeurs restent à lever comme celui de l'architecture de l'ordinateur quantique.

Les défis commerciaux et d'usages à relever

Le développement de la robotique personnelle passe par la réponse à un besoin

La recherche ne cesse de développer de nouvelles techniques d'IA et le défi consiste à trouver des applications commerciales répondant à un réel besoin. À titre d'exemple, le robot compagnon Pepper de la société Aldebaran Robotics a ainsi trouvé son application dans l'accueil des clients en boutique. En ce qui concerne le marché de la robotique personnelle et de services, il est nécessaire de travailler sur l'acceptabilité vis-à-vis du robot compagnon qui devrait être facilitée par la proposition d'une nouvelle expérience utilisateur, de nouveaux usages grâce à l'IA. Les premières applications devraient être avant tout ludiques, informatives ou formatrices afin de créer le lien indispensable entre la personne et le robot. Ensuite il sera possible de développer des applications plus réglementées ou complexes dans la mesure où l'utilisateur aura su donner une place au robot domestique. L'adaptabilité réciproque sera primordiale pour l'interaction robot – humain.

20 – IBM. Guide du Big Data. [en ligne]. <http://www.bigdataparis.com/guide/Guide_du_Big_Data_2013_2014.pdf> [12 juin 2015].

Les freins à l'adoption de l'IA par les entreprises

L'adoption massive de l'IA par les entreprises est entravée par le montant des investissements à long terme, la compréhension limitée du potentiel des données générées par l'entreprise et l'hésitation à se tourner vers des technologies potentiellement perturbatrices selon une étude du *Business Innovation Observatory* de la Commission Européenne. Les entreprises qui ont un intérêt pour des technologies d'IA ont tendance à reporter leur projet d'investissement en raison de ROI trop longs et de la nouveauté des technologies qui rend difficile l'analyse coûts/bénéfices. Les avantages de l'IA pour l'analyse de données massives ne sont pas évidents pour les entreprises qui manquent de visibilité sur la quantité de données qu'elles génèrent et l'usage qu'elles peuvent en faire. Par ailleurs, l'introduction de solutions IA dans une entreprise peut être synonyme d'une refonte des structures et des processus, susceptible de décourager les entreprises. Enfin, l'adoption d'une solution IA nécessite la prise en compte d'un risque technologique fort en cas de dysfonctionnement. L'enjeu pour les développeurs de solutions IA est de rendre la « technologie accessible simplement en gardant en toile de fond les impératifs métier et [le] manque de temps pour se former à de nouveaux outils » comme l'explique Jean Rauscher, PDG d'Yseop, une entreprise française qui propose des solutions IA dédiées aux entreprises. C'est également une des voies de valorisation choisies par IBM pour son supercalculateur Watson.

L'intégration de l'IA, une condition *sine qua non* pour perdurer dans l'univers du jeu vidéo

Enfin, appliquer les concepts de l'IA au jeu vidéo est un biais indispensable pour renforcer la crédibilité des personnages virtuels et surtout proposer une expérience nouvelle au joueur. Maîtriser l'intégration des technologies de l'IA dans les jeux vidéo est une condition *sine qua non* pour les acteurs français déjà implantés sur les jeux vidéo pour conserver leur position de « leader ». Il leur appartient donc de parfaitement maîtriser cette technologie de l'IA et ses évolutions pour séduire toujours davantage les joueurs, leur proposer de nouvelles expériences utilisateur dans un univers de plus en plus réel.

Les enjeux réglementaires

Plusieurs problèmes d'ordre éthique sont soulevés par les progrès rapides de l'IA. Parmi ses détracteurs, on

peut citer le fondateur de Microsoft Bill Gates, Elon Musk le dirigeant de Tesla ou encore le physicien Stephen Hawking qui s'inquiète de la capacité des machines à évoluer plus rapidement que « les humains, limités par une lente évolution biologique, [qui] ne pourraient pas rivaliser et seraient dépassés ²¹ ». L'intelligence artificielle est assimilée par certains acteurs à une rupture technologique qui engendrerait une croissance exponentielle de la connaissance jusqu'à un point au-delà duquel il ne serait plus possible de l'appréhender selon le concept de la singularité technologique. L'AAI (Association for the Advancement of Artificial Intelligence) a d'ailleurs réalisé une étude en 2009 sur les impacts sociétaux de l'explosion de l'intelligence artificielle sur le long terme. Au-delà de ces considérations qui contribuent à alimenter la réflexion quant à la nécessité d'un encadrement des recherches sur l'IA, les deux principaux risques sont les bugs et les cyber-attaques qui impliquent une démarche de certification de la qualité de logiciels. Les capacités de l'IA associées à la collecte d'informations et au Big Data posent également des problèmes de confidentialité et d'utilisation des données personnelles d'un point de vue réglementaire. La généralisation d'applications militaires comme les drones, de plus en plus autonomes, souligne la nécessité de poser un certain nombre de limites à ce qu'on accepte qu'une machine fasse, dont la prise de décision comme l'autorisation de tirer sur un être humain. Elon Musk a d'ailleurs fait un don de 10 millions de dollars au *Future of Life Institute*, « pour financer un programme mondial de recherche visant à garder l'IA bénéfique pour l'humanité » en évaluant notamment son impact sur la société. Dans le cadre du Flagship HBP, l'un des douze sous-projets s'intitule « éthique et société ». Ses objectifs sont d'explorer les implications sociales, éthiques et philosophiques du projet, promouvoir l'engagement avec les décideurs et le grand public, favoriser la recherche et l'innovation responsables par la sensibilisation sociale et éthique des participants au projet, et veiller à ce que le projet soit conforme aux normes juridiques et éthiques pertinentes.

Dans le cas de la robotique de loisirs, il existe peu de contraintes réglementaires, facilitant ainsi un accès au marché plus rapide. Les règles qui s'appliquent sont

21 – LE MONDE. Hawking ; « L'IA pourrait mettre fin à l'humanité » [En ligne] <http://www.lemonde.fr/pixels/article/2014/12/03/hawking-l-intelligence-artificielle-pourrait-mettre-fin-a-l-humanite_4533135_4408996.html> [30 juin 2015]

celles autour du contenu et de leur adaptabilité à l'âge de l'utilisateur. Au même titre que pour le jeu vidéo qui dispose d'une réglementation européenne (PEGI) et de pictogrammes sur les boîtes de jeux de consoles, Il sera sûrement utile de définir quelques règles autour des contenus qui seront disponibles pour les robots de loisirs. Bien évidemment, il sera toujours délicat d'être derrière chaque enfant ou adolescent et la solution passera comme toujours par un travail pédagogique des parents autour du contenu et de l'usage de ces nouveaux outils.

En ce qui concerne la mise en service des voitures autonomes, cela dépendra certes des développements technologiques mais surtout des exigences juridiques associées. Pour l'instant, le code de la route international s'appuie sur la Convention de Vienne (1968) qui prévoit que le conducteur est responsable de son véhicule et doit avoir les deux mains sur le volant. Selon François Peyret, directeur de recherche à l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar), « tant qu'on

reste dans la «délégation de conduite» où le conducteur peut reprendre à tout instant la main sur le véhicule », la réglementation actuelle suffit. Mais des vides juridiques vont apparaître avec le développement de véhicules de plus en plus autonomes, notamment en ce qui concerne la responsabilité en cas d'accident : est-ce qu'il faut incriminer le propriétaire du véhicule autonome, l'autre conducteur impliqué, le développeur qui a conçu l'algorithme, le constructeur... L'intégration d'une « boîte noire » dans les véhicules devrait permettre d'apporter des éléments de réponse. La question de la présence d'un conducteur pour reprendre les commandes en cas de défaillance du système nécessitera une révision des réglementations en profondeur. Le Forum International des Transports (organisation internationale liée à l'OCDE) plaide pour une approche commune de l'encadrement réglementaire du véhicule autonome entre pays voisins, comme l'a rappelé son secrétaire général, M. Viegas, lors du sommet annuel 2015 de l'organisation.

Analyse AFOM

ATOUS

Centres de R&D de référence sur le sujet
Foisonnement de start-ups
Plan Robotique efficace, Plans «Logiciel et Systèmes embarqués » ; « Big Data » et « supercalculateur »

FAIBLESSES

Peu de leaders affirmés dans le secteur « Loisirs et Culture » mais des acteurs clés dans les secteurs des environnements supercalculateurs et des logiciels embarqués
Approche des nouveaux usages freinée par l'appréhension des dérives possibles. Le jeu vidéo est moins concerné par ces inquiétudes.

OPPORTUNITÉS

Développement des usages liés à la robotique personnelle et de services
Marché mondial du jeu vidéo en progression
Logique de « gamification » dans beaucoup de secteurs
Marché de la conduite assistée
Croissance du marché de l'analyse prédictive associée à l'augmentation des données massives (finance, sécurité,...)

MENACES

La plupart des grands acteurs sont américains

Facteurs clés de succès et recommandations

Le développement de l'IA va conduire à une augmentation de la demande en main-d'œuvre qualifiée, en particulier pour les informaticiens et les mathématiciens mais aussi en neurosciences. Ce développement en Europe comporte un certain nombre de moteurs parmi lesquels une main-d'œuvre hautement qualifiée, la flexibilité des solutions développées et les programmes publics français et européens de soutien à l'innovation (FUI, PIA, Horizon 2020, COSME,...). Mais ce développement fait face à de nombreux obstacles à savoir la difficulté d'attirer des fonds pour l'entreprise à la fois lors de sa création et lors du désinvestissement financier, la lourdeur des démarches administratives ainsi qu'un environnement fiscal défavorable. L'étude du *Business Innovation Observatory* de la Commission Européenne souligne un manque de soutien de la part des gouvernements européens pour la promotion des entreprises positionnées sur l'IA. Cependant, des avancées significatives récentes ont déjà été constatées, pour améliorer l'accès aux financements et les systèmes fiscaux, pour promouvoir l'innovation, la réglementation de l'emploi, la politique d'immigration et pour encourager l'interaction université-industrie...

L'intégration de l'IA soulève également la question de son impact sur l'économie et l'emploi. Les machines intelligentes devraient s'intégrer massivement dans les entreprises au cours des prochaines décennies et bouleverser certains métiers. On peut citer l'exemple du journalisme où des algorithmes comme celui de Syllabs interviennent de plus en plus en support aux journalistes pour chercher et analyser l'information mais aussi rédiger les articles. Des robots rédacteurs ont ainsi rédigé pour Le Monde des articles locaux sur les résultats des élections départementales de 2015 pour 34 000 communes et 2 000 cantons. Libéré des contraintes de recherche d'informations fastidieuses, le métier de journaliste est voué à muter pour se concentrer sur des articles à plus forte valeur ajoutée avec davantage d'analyse pendant que les robots agrégateurs voire rédacteurs permettent de couvrir davantage d'événements en temps réel. Ces évolutions supposent aussi de la

part des rédactions le recrutement de plus en plus de développeurs pour concevoir les algorithmes, les adapter au style et à la ligne éditoriale du journal... Une réflexion est donc nécessaire comme le souligne une étude Gartner pour sensibiliser les entreprises à ces changements et les accompagner dans la redéfinition des postes concernés.

Pour les entreprises susceptibles de bénéficier de l'IA, il sera indispensable d'avoir une bonne connaissance et une bonne compréhension des données disponibles afin d'accélérer l'acceptation de l'IA. L'IA porte la promesse d'une productivité améliorée de l'entreprise et des individus grâce à des moteurs de recherche plus performants (capitalisation des connaissances, relation client) et aux assistants virtuels personnels (gestion automatisée de l'agenda, réservation de moyens de transports, d'hôtels, de salles de réunion).

L'utilisation de moteurs de recherche plus performants suppose cependant de mieux appréhender la compréhension automatique des contenus c'est-à-dire le passage de la langue naturelle aux représentations logiques pour alimenter divers types de moteurs d'inférences pouvant être appliqués à différents usages (recherche intelligente, diagnostic, simulation, ...). L'ambition des acteurs français dans ce domaine reste limitée alors que les acteurs comme Google, Facebook ou Microsoft en ont fait leur priorité. Le développement de la compréhension automatique des contenus suppose notamment la transcription des contenus audiovisuels en texte en amont. Cela implique de produire (ou favoriser l'émergence d'acteurs et de services à même de produire) des ressources linguistiques (thésaurus, grammaires, frames, taxonomies) et des corpus documentaires annotés en particulier pour le français. Cela implique également de faciliter l'accès par les acteurs technologiques du marché aux contenus de la connaissance (livres, presse, vidéos, TV ou émissions radio à caractère pédagogique) pour exploiter économiquement ces ressources.

Pour les trois marchés principaux concernés que sont la robotique de loisirs et de services, les jeux vidéo et la conduite assistée qui s'appuient sur des

sous-domaines de l'IA sur lesquels la France est bien positionnée, l'IA est perçue comme une aide à la prise de décision. Il s'agit donc de faire l'apprentissage d'un comportement, de comprendre l'activité d'un humain c'est-à-dire son métier. Nous sommes au cœur d'un environnement dynamique dans lequel on perçoit l'environnement.

Les technologies existent souvent et il est primordial de favoriser l'effort d'intégration. Il faut donc accompagner les start-ups dans cette volonté de faire, et d'en forcer l'usage. Au sein des SATT qui sont en proximité des pôles de compétitivité (Cap Digital, Systematic, Aerospace Valley

et Imaginove) et également dans les structures de valorisation des laboratoires, il est impératif de favoriser les transferts de technologies vers le marché, d'aider à la création d'applications marché avec une volonté claire d'associer plus rapidement l'innovation et le business modèle.

L'utilisateur final sera au cœur de cette réflexion avec la nécessaire « discrétion » de la technologie au service de nouveaux usages et de nouveaux contenus à inventer pour alimenter le quotidien en matière d'information ou de divertissement. À ce titre, le plan France Robot Initiative est un appui précieux pour le développement de ces usages.

Acteurs clés

Entreprises	Airbus, Alcatel-Lucent, Dassault Systemes, 3DEXPERIENCE Platform - Dassault système, Dynamixyz, Orange Labs, PSA Peugeot Citroën, Sagem, Schneider Electric, Smart me up, Snips, Spirops, Technicolor, Tellmeplus, Thales Communications & Security, Yseop...
IRT, ITE, IHU	B-COM, SystemX ...
Instituts Carnot	ARTS, CEA LIST, LAAS CNRS, TSN...
Autres centres de recherches	CMLA, CPE Lyon, GREYC, ISIR, LIP6 (UPMC), LITIS - INSA ROUEN, LTCI...
Pôles de compétitivité	CapDigital, Images et Réseaux, Imaginove, Systematic...
Autres (clusters, associations, fédération professionnelles, réseaux d'entreprises)	AFIA CITIA, PARIS ACM SIGGRAPH...

Position des acteurs français

Position des entreprises françaises dans la compétition mondiale	
En position de leadership	
Dans la moyenne	●
En retard	

Position des acteurs académiques français dans la compétition mondiale	
En position de leadership	●
Dans la moyenne	
Dans la moyenne	

