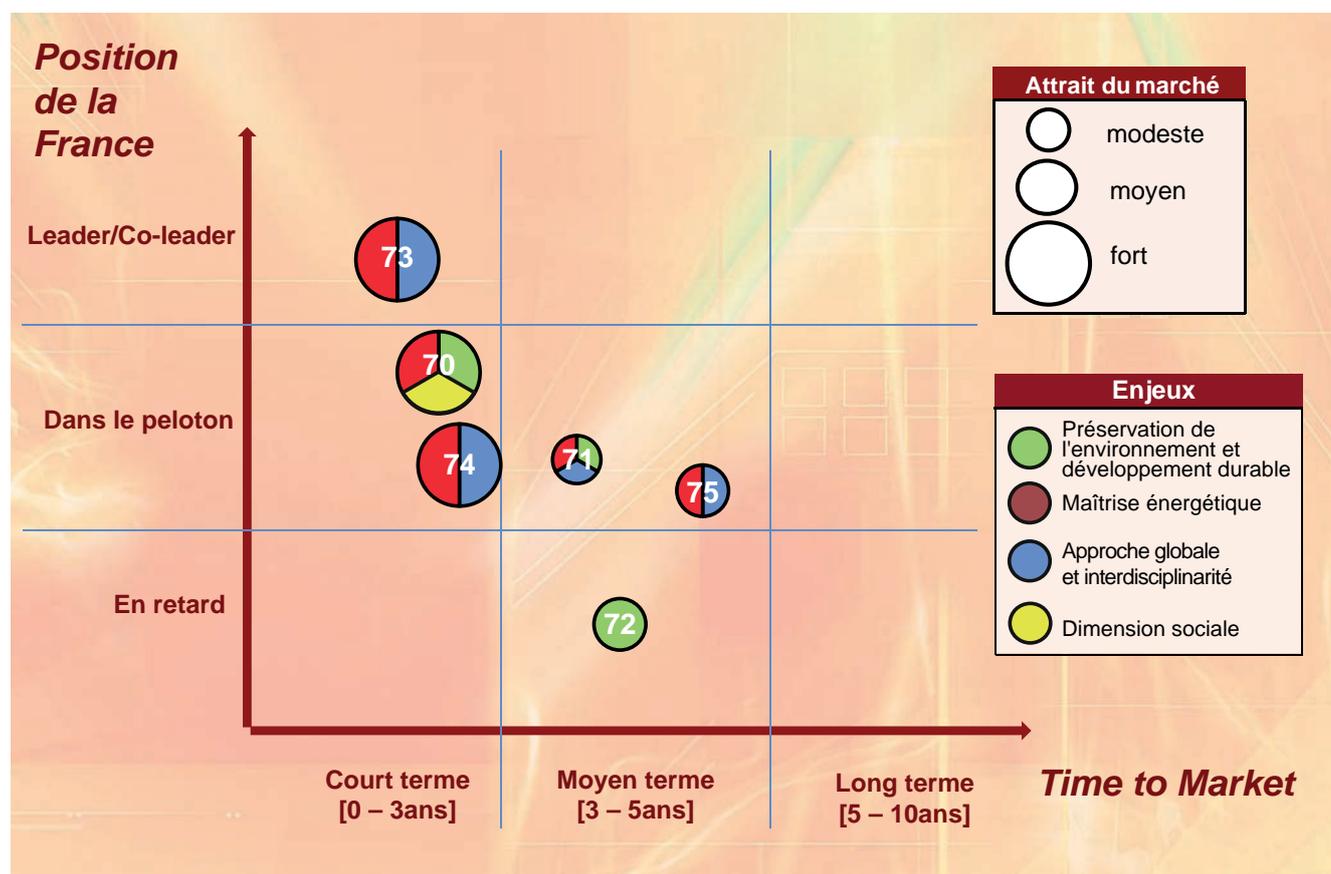


Batiment



Bâtiment

- 70. Systèmes d'enveloppe du bâtiment
- 71. Systèmes constructifs
- 72. Matériaux biosourcés, composites et recyclés
- 73. Maquette numérique
- 74. Comptage intelligent
- 75. Technologies d'intégration et de mutualisation des ENR dans le bâtiment



Contexte et enjeux

Le secteur économique du bâtiment

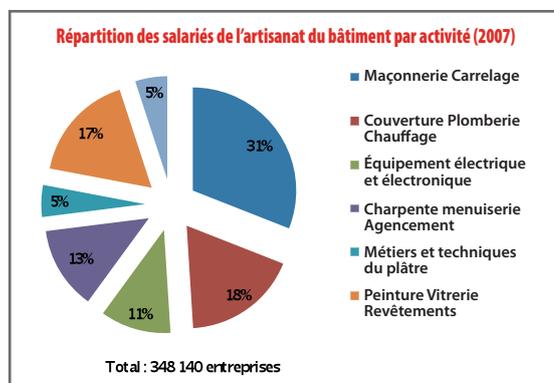
Le secteur français du bâtiment est un secteur économique de première importance : il emploie 1,5 million de salariés [1] au sein de 371 200 entreprises, dont 98 % d'entreprises de moins de 21 salariés (362 193 entreprises), ces dernières employant 67 % des effectifs du bâtiment [2].

Le marché s'est contracté depuis 2008 du fait de la crise économique, passant de 136,1 Md€ constants en 2008 à 127,1 Md€ (soit - 7 %). Néanmoins, et en dépit d'une année 2009 particulièrement difficile, l'emploi s'est considérablement développé depuis le début des années 2000, avec la création nette de 115 000 emplois pour les entreprises de moins de 20 salariés. Autre élément d'importance : d'après la Capéb, 60 000 embauches annuelles seront nécessaires pour faire face aux départs en retraite.

Le secteur est atomisé et les entreprises de moins de 20 salariés réalisent une part importante du chiffre d'affaires du bâtiment : 78,5 Md€, soit 62 % en 2009 [3], comme indiqué dans le tableau suivant.

Tranches d'effectifs	Chiffre d'affaires 2009 (en Mds€ constants 2007)	Répartition
Entreprises de 0 à 10 salariés	61,0	48%
Entreprises de 11 à 20 salariés	17,5	14%
Entreprises de moins de 21 salariés	78,5	62%
Entreprises de 21 salariés et plus	48,6	38%
TOTAL Bâtiment	127,1	100%

Le bâtiment représente une large palette de secteurs d'activités hétérogènes : le gros œuvre (93 539 entreprises), le second œuvre (147 991 entreprises) et les équipements techniques et électriques (106 610 entreprises). Pour étayer ce propos, le schéma suivant indique la répartition des salariés de l'artisanat du bâtiment par activité [4].



Le marché du bâtiment est composé de la construction neuve et de la rénovation (également appelé entretien – amélioration).
 • Le marché de la construction neuve a particulièrement souffert du contexte de crise : il représente 326 089 logements et 30 155

constructions en non résidentiel (chiffres déclarés commencés en septembre 2009), soit respectivement - 21 % et - 20 % que sur la même période un an auparavant. La France n'est pas seule concernée par le recul du marché de la construction immobilière, en particulier la construction de logements, qui a conduit à une baisse du volume européen de la construction de plus de 8 %.
 • Le marché de la rénovation représente près de la moitié du chiffre d'affaires global du secteur (48 % de l'ensemble de la production bâtiment) pour un volume de plus de 60 Md€ en 2007¹, les entreprises de moins de 20 salariés réalisant pour leur part 55 % de leur chiffre d'affaires dans l'entretien – amélioration [5].

Les fournisseurs de la construction

Les fournisseurs de la construction ne doivent pas être occultés puisque les contraintes environnementales et les économies d'énergie constituent des incitations à l'innovation les conduisant à améliorer les produits et procédés de fabrication correspondants. Du sol à la toiture, en passant par les vitrages, les matériaux évoluent en effet pour répondre à une attente des consommateurs et pour se mettre en conformité avec les nouvelles réglementations.

Ils rassemblent en France environ 11 000 entreprises du gros œuvre et du second œuvre, dont 80 % d'entreprises de moins de 20 salariés, et emploient plus de 300 000 salariés pour un chiffre d'affaires global de 54 Md€ (données 2005). La répartition d'entreprises entre gros œuvre et second œuvre est équilibrée, mais le second œuvre rassemble près de deux tiers des emplois [6].

		Nombre	Effectif employé	Chiffre d'affaires HT (M€)
Entreprises de plus de 20 salariés	Gros œuvre	1 167	83 893	17 873
	Second œuvre	1 046	172 208	30 071
	Total	2 213	256 101	47 944
Entreprises de moins de 20 salariés	Gros œuvre	4 266	24 270	3 332
	Second œuvre	4 638	26 320	3 233
	Total	8 904	50 590	6 566
TOTAL		11 117	306 691	54 510

L'offre des fournisseurs français est très variée et comprend des matériaux et produits de nature et de fabrication très différentes : du béton aux ascenseurs, en passant par tous les types de menuiseries. En 2005, les produits destinés au gros œuvre représentaient 40 % des facturations dont près de 70 % consacrés à la filière béton. Dans le cadre du second œuvre, les travaux d'installation absorbent près du tiers des facturations correspondantes, avec une part importante pour les matériels électriques. Le marché dépend très fortement de l'activité de construction, qui, après plusieurs années de tonicité marquée (en termes de facturations, la production des fournisseurs de la construction a progressé de 18 % entre 2000 et 2005), connaît une période difficile.

(1) Hors travaux de bricolage conduits directement par les ménages.

	Nombre (millions de logements)	Surface (millions de m ² habitables ou utiles)	Consommations Électricité (TWh)	Consommation Gaz (TWh)	Consommations autres	Total consommation	%
Maisons individuelles	17,3	1 782	94,7	96,0	95,0	285,7	43,3
Immeubles collectifs	13,4	884	43,5	81,8	26,8	152,1	23,1
Total résidences	30,7	2 666	138,2	177,8	121,8	437,8	66,4
Total bâtiments tertiaires		850	90,0	72,3	58,9	221,2	33,6
TOTAL		3 516	228,2	250,1	180,7	659	100

Le poids du bâtiment dans la consommation énergétique et du point de vue environnemental

Le bâtiment représente près de la moitié de la consommation en énergie finale et près du quart des émissions de CO₂. Malgré une baisse de la consommation unitaire, la consommation d'énergie des bâtiments a augmenté de 30 % au cours des trente dernières années (avant de décroître depuis 2001) du fait de l'accroissement du parc des bâtiments, de la surface moyenne des logements, de l'augmentation du confort et de l'apparition de nouveaux usages contribuant à l'augmentation forte de la consommation d'électricité.

Depuis 1990, le bâtiment et les transports représentent les deux seuls secteurs qui ont vu la part de leurs émissions de CO₂ augmenter de 21 % et 17 % respectivement [7]. Pendant la même période, la part des émissions de CO₂ de l'industrie diminuait de 21 % et celle de l'agriculture de 6 %. Le parc immobilier résidentiel et tertiaire produit un quart des émissions de CO₂, soit la troisième source d'émissions. Il consomme 40 % des consommations énergétiques globales, soit 660 TWh, la consommation moyenne annuelle d'énergie du secteur étant de l'ordre de 240 kWh/m² d'énergie primaire par m² et par an. Deux grands types de bâtiments sont à considérer car il s'agit d'associer à chaque cible une stratégie adaptée dans un souci d'efficacité et de lisibilité. L'énergie est consommée pour les deux tiers dans les logements et pour un tiers dans les bâtiments tertiaires. La part des émissions de CO₂ suit une répartition identique. Les données suivantes précisent les données clés pour chacun des deux secteurs et permettent notamment de comprendre l'importance de la rénovation [8].

- Les bâtiments résidentiels représentent 30,7 millions de logements (dont 4,5 millions de logements sociaux), plus de 2,666 Md€ de m² utiles ou habitables [9] (1,782 Md€ de m² pour les maisons individuelles et 0,884 Md€ de m² pour les immeubles collectifs), 28 % des consommations d'énergie finale et 12 % des émissions de CO₂. Compte tenu du taux de renouvellement du parc, la rénovation des 19 millions de logements construits en France avant la première réglementation thermique (RT) de 1975 est cruciale (57 % du parc et plus de 75 % de la consommation d'énergie du secteur).

- Les bâtiments tertiaires représentent 0,850 Md€ de m² et 25 à 30 % de la consommation finale d'énergie du secteur. Il s'agit d'un secteur complexe et hétérogène aux problématiques multiples liées aux types de bâtiments, à la nature de l'activité, à leur usage, etc. Les branches les plus consommatrices d'énergies sont les bureaux (25 % de la consommation d'énergie totale), les commerces (23 %), les écoles (13 %), les hôpitaux (12 %) et les cafés, hôtels et restaurants (10 %).

Le tableau ci-dessus résume les consommations énergétiques finales par usage [9].

L'évolution du cadre réglementaire et des exigences de performance environnementale

Le Grenelle de l'environnement a consacré le rôle clé au secteur du bâtiment en étoffant considérablement le cadre réglementaire autour des normes bâtiment basse consommation (BBC - 2012) et bâtiment à énergie positive (Bepos - 2020) dans la perspective d'une division par quatre des émissions de gaz à effet de serre.

Le Grenelle 1 a fixé des objectifs très ambitieux pour le bâtiment existant : - 12 %, soit une consommation énergétique moyenne de 210 kWh/m²/an, à horizon 2012, - 38 %, soit une consommation énergétique moyenne de 150 kWh/m²/an, d'ici 2020 et - 70 à - 80 %, soit une consommation énergétique moyenne de 50 à 80 kWh/m²/an, d'ici à 2050.

Cela revient à un objectif de 400 000 logements à rénover par an à compter de 2013, 800 000 logements sociaux d'ici à 2020 et à assurer la rénovation énergétique de l'ensemble des bâtiments de l'État et de ses établissements publics avant fin 2012. Concernant spécifiquement la rénovation du parc existant et dans l'hypothèse où l'objectif de 400 000 logements par an sera atteint, le marché de la rénovation énergétique des logements s'élèverait à 16 Md€ par an à horizon 2020³ et même à 24 Md€ en ajoutant les équipements de chauffage mobilisant les énergies renouvelables installées (chaudières à condensation, pompes à chaleur, chaudières individuelles au bois et solaire thermique). Le développement de la filière bénéficierait aux entreprises du bâtiment (artisans et PME) avec la création anticipée de 90 000 emplois à horizon 2020, ainsi qu'aux entreprises de production

(2) L'énergie primaire représente l'énergie nécessaire pour extraire, distribuer, stocker et produire l'énergie mise à disposition chez le consommateur. Dans le cas de l'énergie électrique, le kWh primaire amené par le réseau est égal à 2,58 fois le kWh final, énergie mesurée au compteur de l'abonné.

(3) En France, le marché de la rénovation des logements avec des solutions performantes s'élève à 7 Md€ par an en 2007 en incluant les ventes de matériels et de services d'installation.

et d'installation d'équipements performants avec la création potentielle de 60 000 emplois. Le marché des services de gestion de la performance énergétique s'élèverait à 6 Md€ en 2020 avec la création de plusieurs milliers d'emplois [8, 10]. L'isolation extérieure, intérieure, la couverture et les finitions seront clés, la suppression totale des ponts thermiques, l'étanchéité à l'air et la maîtrise des techniques de pose étant à atteindre à court terme. La rénovation thermique des bâtiments implique donc de nombreux corps de métiers autour de la notion d'enveloppe du bâtiment. L'isolation des combles, ainsi que l'étanchéité des toitures, constituent également des axes clés de rénovation. Ces objectifs sont d'autant plus ambitieux qu'ils s'inscrivent dans un contexte d'augmentation des prix de l'énergie et des charges induites pour les entreprises et les ménages, l'efficacité énergétique devant pourtant constituer une option économique attractive pour les consommateurs [7]. Il s'agit alors de fournir des équipements à un coût abordable ou maîtrisé au regard de la demande.

Le Grenelle 2 décline, pour sa part, chantier par chantier, secteur par secteur, les objectifs entérinés par le premier volet législatif du Grenelle de l'environnement. Ce texte d'application et de territorialisation du Grenelle permet ainsi de mettre en œuvre d'une part, la rupture technologique dans le neuf et d'autre part, la rénovation thermique accélérée du parc ancien. Concernant le bâtiment, il s'engage à l'amélioration énergétique des bâtiments et à l'harmonisation des outils de planification. Pour cela, il précise qu'il sera nécessaire de favoriser un urbanisme économe en ressources foncières et énergétiques, mieux articulé avec les politiques d'habitat, de développement commercial et de transports tout en améliorant la qualité de vie des habitants, notamment à travers le renforcement du code de l'urbanisme, la généralisation des schémas de cohérence territoriale (SCOT) et la réforme de la réglementation de l'affichage publicitaire.

Les grandes tendances d'évolution du secteur

Grandes tendances et enjeux globaux

L'évolution souhaitée ne se fera qu'à la condition de développer une filière industrielle capable d'évoluer vers l'intégration de l'éco-conception et de l'« énergie grise » tant sous la dimension du KW, que sur celle du CO₂, c'est-à-dire dans le sens d'une approche globale basée sur l'intégration de l'ensemble des corps de métier au moment de la conception, sur l'émergence d'une culture du résultat et non plus uniquement de moyens, sur l'incitation à l'utilisation de technologies et de services de gestion active des équipements et sur l'industrialisation de la filière des installateurs-diagnostiqueurs. Selon la définition de l'Ademe, « l'éco-conception consiste à intégrer l'environnement dès la phase de conception des produits, qu'il s'agisse de biens, de services ». Elle nécessitera que la production des déchets soit prise en compte dès la conception des produits, comme les méthodes de construction pour en favoriser de manière effec-

tive le recyclage. Le bâtiment n'est actuellement pas un acteur majeur de la valorisation des déchets, un effort important au niveau des techniques de recyclage restant encore à effectuer en amont de leur diffusion. Il s'agit donc également d'un enjeu transversal aux technologies clés puisque l'ensemble des produits du bâtiment est concerné. De plus, il est nécessaire que l'utilisation de matériaux de réemploi, contenant des éléments recyclés ou renouvelables soit favorisée. Dans cette optique, il s'agit de mettre en place une vraie politique de gestion des ressources au niveau local.

Dans ce contexte à forts enjeux, les contrats de performance énergétique (CPE) et la mise en place de bouquets de travaux joueront un rôle clé. L'un des premiers enjeux clés du bâtiment est de développer une gamme performante de services autour d'offres globales, fondées sur l'assemblage de techniques et de technologies visant à satisfaire de manière cohérente l'amélioration énergétique et environnementale des bâtiments, ainsi que le respect de leurs spécificités et usages. De tels bouquets de travaux doivent être déclinés en fonction des objectifs attendus et des différentes réglementations à venir. Ils devront être fondés sur un assemblage raisonné de techniques concourant à satisfaire de manière cohérente l'amélioration énergétique et le respect des spécificités du bâtiment, telles que les aspects d'accessibilité, d'usages et de santé-environnement (émission de substances nocives pour la santé, telles que les CMR⁴, les COV⁵, etc.).

De tels bouquets doivent s'appuyer sur une amélioration globale des façons de faire. Cette évolution devra se dérouler dans le sens de l'interopérabilité ou du décloisonnement des corps de métiers permettant de connaître les points de vigilance des autres (approche interdisciplinaire).

Les formations, tant initiales que continues, devront évoluer, leurs référentiels, ainsi que le tissu de formateurs les prodiguant. C'est une condition *sine qua non* de la mobilisation de l'ensemble des professionnels ; 225 000 personnes devront être formées chaque année pendant dix ans pour atteindre les objectifs du Grenelle, notamment ceux portant sur la rénovation. Le défi est donc à la fois quantitatif (augmentation du nombre de professionnels à former et renforcement de la formation continue pour les professionnels déjà en activité) et qualitatif (formation des professionnels sur des techniques, technologies ou équipements innovants ; développement de l'interopérabilité) pour aider l'ensemble des entreprises à renforcer collectivement leur visibilité et capacité à répondre à la nouvelle demande à venir.

(4) Substances chimiques à caractère Cancérogènes, Mutagènes ou toxiques pour la Reproduction.

(5) Composés Organiques Volatiles.

Produits et services qui permettront de répondre aux enjeux 2015-2020

Commercialisation d'offres de bouquets de travaux gérant l'interface bâti-équipements-usages

Les professionnels du secteur doivent encourager la réalisation de bouquets de travaux conduisant statistiquement à une amélioration de la performance énergétique : les bouquets de travaux sont composés des opérations à meilleurs rendements énergétiques et à meilleurs retours sur investissements. Ils combinent de manière raisonnée différentes solutions, par exemple, le remplacement des fenêtres avec l'isolation des parois et de la toiture, l'installation d'équipements d'énergies renouvelables, etc.

En rénovation du tertiaire et du collectif résidentiel, le besoin en isolation doit être systématiquement évalué. Dans le but de parvenir à la suppression des ponts thermiques, les professionnels doivent évoluer vers une parfaite maîtrise. L'isolation thermique intérieure doit donc se baser sur une très bonne connaissance des matériaux et de leurs poses, notamment pour les matériaux d'isolation répartie, tels que les briques à alvéoles (briques monomur), les briques cellulaires, ou encore les matériaux d'origine renouvelable. De même, la mise en œuvre de l'isolation thermique par l'extérieur doit être généralisée à l'ensemble des maçons, menuisiers et plâtriers à court terme.

Services de gestion active de la performance énergétique

Une rupture technologique des solutions de gestion active des équipements et des services existants est souhaitée. Sont concernés les équipements à haut rendement (appareils électroménagers performants, lampes et luminaires à haut rendement, moteurs à haut rendement, câbles à section adaptée pour limiter les déperditions d'énergie, etc.), les équipements de régulation (régulation et pilotage des systèmes de chauffage et de climatisation, système de gestion de l'éclairage (gradation, détection de présence, variateurs de vitesse, etc.) et les services d'optimisation de la consommation énergétique⁶.

Les services d'optimisation de la consommation énergétique reposent sur l'établissement de contrats de performance énergétique, les actions diagnostic de la performance énergétique initiale et celles de mise en place d'actions d'amélioration. Les contrats de performance énergétique sont cruciaux car ils permettent de garantir la réalisation des économies d'énergie affichées en matérialisant les potentiels de gains par la gestion active. L'amélioration de l'efficacité énergétique doit être en effet vérifiable et mesurable (ou estimable). Le prestataire doit fournir une garantie de résultats et mettre en œuvre les moyens lui permettant de s'engager par contrat pour atteindre durablement les objectifs de qualité et d'amélioration annoncés et contrôler et mesurer la performance.

Opérations de diagnostic et de suivi (commissionnement) du bâti existant

Le diagnostic, le suivi et l'évaluation sont des fonctions clés à

renforcer, du fait de leur rôle central dans l'amélioration des pratiques de la filière. Le prestataire du contrat de performance doit être l'interlocuteur unique et engagé sur des résultats contractualisés et quantifiables. Son principe est le suivant : il contractualise l'obligation de résultats autour d'une garantie de gain énergétique, définit les actions d'amélioration énergétique et assure l'exploitation dans la durée du bâtiment afin de pérenniser les gains, rentabiliser les actions d'amélioration énergétique et vérifier les performances selon une méthode de mesure et de calcul définie.

L'opérateur, par sa connaissance des bâtiments et sa présence régulière sur le terrain, est ainsi en mesure de diagnostiquer les actions d'amélioration, de contrôler la réalisation des travaux et de faire jouer les garanties dans les premiers mois suivants les travaux, de décider d'investissements complémentaires au regard des contraintes économiques et de maximiser l'impact des actions d'amélioration énergétique par sa bonne gestion. L'ensemble de la filière est à mobiliser, à commencer par les maîtres d'ouvrage dont le rôle est déterminant, notamment pour les marchés publics. Leur sensibilisation pour la formalisation des cahiers des charges respectant les critères environnementaux et faisant la demande explicite d'une approche globale est nécessaire.

Le suivi (ou « commissionnement ») consiste à définir les procédures, assurer la réalisation des essais, vérifier et contrôler les équipements individuels et les systèmes, vérifier les performances, former les personnels d'exploitation et de maintenance. Cette fonction est d'autant plus importante que de nouveaux systèmes-concepts constructifs intégrant de nouveaux équipements et matériaux verront le jour.

Matériaux biosourcés, composites et recyclés

• Les matériaux biosourcés

Les matériaux biosourcés sont issus de ressources végétales renouvelables qu'il s'agisse d'agro-ressources (chanvre, lin, bois, etc.), ou de matériaux issus du recyclage (ouate de cellulose, fibres de bois, etc.). Ils sont l'une des voies de valorisation de la biomasse et permettent de limiter l'appauvrissement des ressources fossiles. Leur incorporation, pour tout ou partie, à la place des matériaux d'origine pétrochimique ou minérale permet d'envisager une réduction des rejets de gaz à effet de serre. En plus d'adresser l'enjeu de renouvelabilité, ils permettent également d'adresser celui de la recyclabilité dans le cas de la réutilisation du matériau après récupération et traitement. Ils présentent un bon bilan écologique, une bonne stabilité et présentent l'avantage de s'inscrire dans un schéma de développement local ou régional.

L'utilisation de bois (en élément de bardage, de structure, ou d'aménagements intérieurs) et d'autres plantes annuelles, telles que le chanvre, le lin (en isolants) permet d'économiser les ressources si toutefois le renouvellement effectif des matériaux est assuré. Dans le cas du bois, les labels FSC (*Forest Stewardship Council*) et PEFC (*Pan European Forest Certification*) offrent une garantie sur la gestion durable des forêts. La provenance du matériau doit également faire l'objet d'une attention particulière. Ils peuvent être utilisés tant en construction neuve, en parti-

(6) Définition des services d'efficacité énergétique d'après le Club des services d'efficacité énergétique (CS2E).

culier pour le bois, qu'en rénovation. Le béton représente, dans un bâtiment classique, 50 à 75 % de la masse totale de tous les matériaux qui le composent alors qu'il ne représente qu'environ 10 % de la masse dans un bâtiment à ossature bois. La mission « Mise en valeur de la forêt française et développement de la filière bois » confiée à Jean Puech, ancien ministre, et remise au président de la République en avril 2009, insiste particulièrement sur l'utilisation du bois au regard de la sous-exploitation et de l'expansion de la forêt française : elle s'accroît de 25 000 hectares par an et le volume moyen à l'hectare de bois sur pied a triplé. L'utilisation du bois dans le bâtiment serait de plus une source importante de création d'emplois. Si la filière bois emploie actuellement 231 000 salariés en zone rurale et près de 450 000 avec toute la filière bois, le fait de mobiliser 12 millions de m³, espérés d'ici à 2010, créerait environ 40 000 emplois supplémentaires dans les territoires ruraux (emplois non délocalisables) dont 14 000 pour l'exploitation forestière amont. La poursuite de cette mobilisation à 21 millions de m³ d'ici à 2020 devrait doubler ce chiffre [10].

• Les matériaux recyclés

Certaines matières premières non renouvelables et parfois même rares (comme certaines essences de bois) sont utilisées de manière trop systématique dans la construction alors qu'il existe des solutions de remplacement. Il peut s'agir des déchets de construction et de démolition du bâtiment et du génie civil, mais aussi des déchets et des sous-produits issus d'autres secteurs industriels. L'objectif est de proposer des matériaux nouveaux, et non simplement des matériaux de récupération.

Intégration des énergies renouvelables (ENR) dans le bâti existant et dans la construction

L'essor des ENR est l'un des objectifs majeurs du Grenelle, le solaire thermique, les pompes à chaleur, la biomasse et le photovoltaïque étant les principales sources d'ENR afin d'atteindre ces objectifs. Il s'agit d'utiliser des outils, des méthodes ou des systèmes permettant d'intégrer des « composants ENR » pour la production d'électricité, pour le chauffage et la climatisation, ainsi que pour l'eau chaude sanitaire et d'utiliser les sources d'énergies renouvelables (vent, soleil, sol et biomasse). Les exigences sont multiples et ne concernent pas le seul aspect énergétique : multifonctionnalité, esthétique, facilité de mise en œuvre et de gestion, prise en compte des usages, coût, etc.

Les principales sources d'énergies renouvelables sont pour le bâtiment : le solaire thermique, le solaire photovoltaïque, la géothermie et le bois énergie. Les applications concernent principalement la production d'eau chaude (pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire) et la production d'électricité (pour un usage propre ou la revente sur le réseau). La production de chauffage, d'eau chaude ou d'électricité à partir d'énergies renouvelables, va de pair avec une utilisation rationnelle de l'énergie liée d'une part à la performance des enveloppes de bâtiments et d'autre part à la maîtrise de l'ensemble des énergies des bâtiments. Ces ENR peuvent être combinées, tant pour la construction neuve, pour laquelle l'intégration peut être prévue dès le stade de conception, que pour les opérations de rénovation.

Le solaire thermique est en forte croissance et constitue l'un



des principaux enjeux à l'horizon 2020. Les installations de systèmes solaires combinés (SSC) (chauffage et eau chaude sanitaire) étaient en 2007 en augmentation de 37 % par rapport à 2006 avec 5 500 systèmes installés et les chauffe-eau solaires individuels (CESI) en augmentation de 1 % avec 30 000 appareils installés. Avec 18,50 m² de capteurs solaires installés pour 1 000 habitants, et comparé à l'Allemagne qui en compte 104 m²/1 000 habitants, la France dispose d'un fort potentiel de développement. 4 millions de chauffe-eaux solaires devront être installés à l'horizon 2020. Les prix demeurent néanmoins élevés et en augmentation régulière, alors qu'une baisse des prix serait attendue suite au développement de cette filière.

Une rupture sur les équipements de chauffage et sur leur utilisation est nécessaire. L'utilisation de nouvelles solutions de chauffage efficaces (chaudières gaz à condensation, chaudières bois à haut rendement, pompes à chaleur air/eau et eau/eau, micro-génération bois, gaz) est souhaitée pour réduire de manière significative les consommations, ainsi que des solutions d'ap-



point pour l'eau chaude sanitaire : Cesi et SSC. Le marché est en croissance : 150 000 pompes à chaleur vendues en 2008 (deux fois plus qu'en 2007), 1,2 million de logements à équiper d'ici à 2012. Il nécessite néanmoins une montée en compétences des installateurs et devra reposer sur un dimensionnement plus cohérent des équipements.

Le photovoltaïque sera clé à échéance 2020 mais son essor semble encore limité pour les constructions individuelles, notamment en raison de son coût. De même, la géothermie tarde à se développer, les savoir-faire, notamment les techniques de forage profond, étant peu maîtrisés. La faisabilité de cette technologie nécessite une étude préalable des sols et le développement adéquat des compétences. Le micro-éolien peut constituer, dans quelques cas, une évolution intéressante pour la construction, même s'il participera pour une part moindre aux objectifs 2020 du Grenelle (d'après le comité opérationnel 1). Les problèmes de performance, de longévité des matériaux et de leur installation, urbaine notamment, freinent l'essor de cette technologie.

Utilisation des TIC et de maquettes numériques dès la conception en construction neuve

Pour les bâtiments tertiaires ou résidentiels collectifs, la maquette numérique de conception, réalisation et exploitation devra être généralisée. Elle aura une triple fonction : simulation et formation aux nouveaux procédés et aux nouvelles techniques, collaboration en temps réel entre les professionnels lors du chantier, support de gestion technique durable du bâtiment sur l'ensemble de son cycle de vie. Une politique volontariste pourrait favoriser l'émergence d'une offre compétitive par l'industrie française des logiciels graphiques.

L'utilisation des TIC sera fondamentale en aval pour assurer une information et un suivi de l'utilisation dans le but d'en assurer une performance optimale. Le comportement des usagers peut en effet faire varier les consommations de 5 à 25 kWh/m²/an pour des logements passifs consommant 15 kWh/m²/an en théorie. L'affichage des consommations d'électricité, de gaz et d'eau de chaque habitation est un passage obligatoire pour s'assurer de la bonne utilisation des bâtiments et éviter un possible effet de rebond.

Les tendances technologiques et les technologies clés

Les technologies capacitantes clés support sont les suivantes :

- les technologies permettant l'intégration des ENR dans une optique de mutualisation et de gestion active de la performance énergétique et environnementale ;
 - les technologies de comptage intelligent ;
 - la généralisation des outils de modélisation de la performance et des maquettes numériques ;
 - les systèmes d'enveloppe du bâtiment ;
 - l'intégration des matériaux biosourcés, composites et recyclés ;
 - les offres de systèmes constructifs (conception, organisation et gestion de la fabrication des produits utilisés dans le bâtiment).
- Les technologies capacitantes trouveront leur place dans les produits, *process* et services en assurant : un même niveau de certification pour les nouveaux matériaux (résoudre les problèmes de garantie décennale) et une formation continue des professionnels dans le but de proposer les services optimaux en termes de pose et de maintenance, tant sur les produits que services existants et nouveaux. L'objectif est d'autant plus important qu'il sera nécessaire de capitaliser très rapidement sur les premières expériences de démonstration et de réalisation et de ne pas « discréditer » les nouvelles offres pour en assurer une diffusion large et pérenne.



Analyse de la position de la France

Position de la France

Le bâtiment constitue plutôt une zone de force pour la France, notamment sur le plan industriel : la présence de grandes entreprises industrielles, de fournisseurs de solutions d'efficacité sur l'ensemble de la chaîne de valeur de l'efficacité énergétique (Saint-Gobain, Lafarge, Vicat pour les produits de construction, Dalkia et Cofely pour l'exploitation énergétique, Schneider et Legrand pour les équipements, Vinci, Bouygues et Eiffage pour le BTP, SPIE pour l'ingénierie de la mesure et le comptage intelligent), et d'un large tissu de PME (300 000 entreprises). La France dispose également d'une position solide sur le plan scientifique avec de nombreux laboratoires publics et privés et des acteurs tels que le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB). De nombreuses initiatives sont également à relever, dont la maison à énergie positive et celles au sein des pôles Advancity, Derbi (Développement des énergies renouvelables dans le bâtiment et l'industrie), Cap Digital, ou de pôles impliqués dans la valorisation de la biomasse non alimentaires, tels que Alsace Energivie, IAR (Industrie et Agro-Ressources), Pôle Fibres Grand Est, Xylofutur, etc.

Une dynamique forte d'autres initiatives de type clusters-centres de ressources-plateformes de ressources régionales est égale-

ment à citer : cluster éco-habitat en Poitou-Charentes, Ekopolis en Île-de-France, Envirobat Méditerranée en région Paca, Nobatek à Anglet, etc. D'autres régions, comme le Nord-Pas-de-Calais, ont créé une agence régionale de la création et de développement des éco-entreprises (CD2E) qui accompagne notamment les entreprises dans les démarches techniques de validation. Par ailleurs, les Grands ateliers de l'Isle-d'Abeau permettent de favoriser des synergies dans les domaines de l'art, de l'ingénierie et de l'architecture en regroupant des étudiants en architecture, des élèves ingénieurs et des étudiants d'art qui peuvent croiser leurs approches avec celles d'industriels et de professionnels. Néanmoins, et malgré une prise de conscience sur le territoire à travers les actions des collectivités et de regroupements d'artisans, un retard important vis-à-vis de pays plus avancés en matière de bâtiment à moindre impact environnemental, est à signaler. Les pays nordiques, ou encore l'Allemagne, font figure d'exemple. L'Allemagne a ainsi mis en place depuis une dizaine d'années des obligations réglementaires lors de la rénovation des logements pour accélérer la rénovation thermique des bâtiments anciens (réglementation EnEV depuis 2002), des actions de structuration de l'offre par des programmes pilotes (dans le cadre du projet pilote « *Niedrigenergiehaus im Bestand* » de l'Agence allemande de l'énergie) pour industrialiser les opérations et en limiter les coûts et une véritable culture du résultats (subventions octroyées en fonction de l'ambition des projets et des résultats atteints).

La conséquence est que s'il existe bien un secteur du bâtiment en France, la filière « efficacité énergétique du bâtiment » est plus diffuse et les offres en prestation globale (hors les majors du BTP) doivent être accrues. De même la notion de coût global par les maîtres d'ouvrages qui privilégient encore le moins-disant devrait être plus utilisée.

Dispositif d'accompagnement

Le dispositif d'accompagnement est en place avec les réglementations thermiques (RT 2010 et RT 2020) fixant les objectifs à atteindre et définissant les actions :

- généralisation des logements neufs BBC dès 2012 (50 kWh (primaire)/m²/an) et transition vers les bâtiments passifs (Bepas) caractérisés par des besoins de chauffage inférieurs à 15 kWh/m²/an, ces derniers pouvant devenir à énergie positive (Bepos) en utilisant les énergies renouvelables d'ici à 2020 ;
- réalisation, d'ici à cinq ans, d'environ un tiers des bâtiments neufs BBC et, sur la période 2008-2012, d'au moins 25 % de logements BBC et 10 % de Bepas ou Bepos ;
- adoption en 2010 d'une nouvelle réglementation thermique (RT très haute performante énergétique THPE) et en 2015 de la RT bâtiment basse consommation (BBC) ;
- réduction de 12 % en 2012 de la consommation du parc ancien et de 38 % en 2020 ; passer d'une consommation de 240 kWh/m²/an à 210 kWh/m²/an en 2012 et 150 kWh/m²/an en 2020. Pour le tertiaire l'objectif est de 80 kWh/m²/an ;
- création des labels BBC rénovation et BBC compatible ;
- lancement d'un grand programme de formation profession-

nelle et d'un programme de recherche spécifique afin de réduire les coûts, appuyé par les fédérations professionnelles ;

- etc.

De nombreuses autres mesures ont été mises en œuvre pour soutenir les politiques définies en matière de développement des énergies renouvelables et d'amélioration de l'efficacité énergétique. Parmi elles : les labels de qualité dans les énergies renouvelables, les étiquettes énergie sur les équipements du foyer, le système du bonus malus écologique, la mise en place de financements spécifiques (tels que le livret développement durable), etc.

La combinaison des objectifs réglementaires issus du Grenelle de l'environnement et des aides accordées pour la rénovation énergétique des bâtiments devrait fortement dynamiser le marché. Le potentiel de croissance est important en cas de mise en œuvre massive de ces solutions à horizon 2020 (marché de 20 Md€ par an, 110 000 emplois nets et 82 TWh économisés annuellement).

Freins à la diffusion des technologies capacitanes

L'inertie du tissu de formation et le manque de lieux de démonstration et/ou de formation sur sites

Les professionnels du bâtiment doivent être les acteurs et vecteurs de conviction et les prescripteurs des consommateurs. Or, le niveau de compétences évolue trop lentement, d'où des cloisonnements encore importants entre corps de métiers, par exemple entre le monde des TIC et celui du bâtiment. Ces éléments sont des freins à l'usage de procédés innovants (intégration des ENR et de systèmes hybrides, intégration de produits d'origine renouvelable, etc.) et à la diffusion de la culture du résultat. Pour accélérer les mutations, il sera nécessaire de rapprocher la formation des professionnels des lieux de réalisation et de démonstration en capitalisant sur les formations existantes, en particulier celles du Feebat et Crepa.

Les métiers doivent intégrer une dimension de conseil, de prescription et de service d'optimisation de la consommation : évolution du métier de fournisseur vers celui garantissant un service ; pour l'énergie, évolution d'un métier de pose vers celui d'énergéticien. Il est nécessaire de développer une filière de thermiciens conseils avec des compétences multi-produits. Ils contribueront ainsi directement à l'adoption de matériaux et d'équipements performants en les mettant en « première ligne commerciale », en adaptant leur offre et leur discours et en pratiquant des prix attractifs.

Les interactions entre acteurs, métiers et compétences doivent être modifiées autour de plusieurs groupes de métiers : la conception-programmation (architectes et bureaux d'études), l'enveloppe (maçons, couvreurs, charpentiers, menuisiers, plaquistes, peintres), les équipements (chauffagistes, plombiers, électriciens, génie climatique) et les fournisseurs de matériaux et d'énergie (fournisseurs, fabricants industriels, fabricants artisanaux). Cette évolution passera par des plateformes de démonstration au sein de lieux communs d'apprentissage sur des techniques

clés (caméras thermiques, filtrométrie, équipements d'ENR) ainsi que des visites de chantiers démonstratifs mettant l'accent sur l'absence de ponts thermiques, l'étanchéité à l'air, le rationnel du choix des équipements et de leur dimensionnement, la pose optimale des freine-vapeurs et isolants en couche mince. De tels dispositifs permettront de passer du modèle traditionnel de responsabilisation par lot (ne permettant pas d'assurer une cohérence globale) à un modèle intégré où la conception et la réalisation sont organisées autour d'un objectif commun à l'ensemble des acteurs partageant les responsabilités. La formation de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre (bureaux d'études et architectes) ne devra pas être oubliée, chaque tissu régional devant adapter ses compétences en parallèle de l'augmentation de la demande de bâtiments performants.

Le foisonnement d'informations non qualifiées pour les professionnels, majoritairement composé d'artisans

Le foisonnement d'informations non qualifiées rend difficile sa lisibilité et son accès. Cela est d'autant plus le cas au regard de la composition du secteur majoritairement composé d'artisans ne disposant pas des moyens de grands groupes. Cela entraîne une réelle difficulté du tissu de TPE-PME à modifier ses offres et à intégrer les nouveaux services et produits. La mise en place de mesures larges d'accompagnement garantissant l'impulsion d'une dynamique efficace et pérenne, doit permettre de mettre à disposition une information soutenue en privilégiant la lisibilité de la performance énergétique des bâtiments au plus près des particularités socio-économiques du terrain et des types de logements.

La non-diffusion de bouquets de travaux et la non-diffusion d'opérations de diagnostic de qualité

Le développement d'une offre globale autour de bouquets de travaux proposés et portés par des groupes d'éco-artisans permettra à terme la professionnalisation et l'industrialisation des opérations d'amélioration. La diffusion d'opérations de diagnostic menées par des diagnostiqueurs est essentielle pour que les objectifs de rénovation soient atteints et pour que les réalisations les plus performantes soient identifiées. Ces opérations de diagnostic constituent le socle des offres globales pour éviter la succession d'actes d'amélioration désordonnés et inefficaces en privilégiant une planification et un étalement dans le temps et en appréhendant l'ensemble des composantes techniques en fonction de l'opportunité des investissements consentis, compte tenu d'un ratio économique / gains attendus. Lutter contre la précarité énergétique des logements est également un élément clé à prendre en compte.

Des structures de contrôle de la mise en œuvre de la réglementation thermique devront également émerger, notamment au sein des administrations publiques, pour un suivi et un bilan des performances énergétiques et environnementales et pour une résolution des problèmes rencontrés, tels que des défaillances de mise en œuvre, d'intégrabilité des solutions appliquées, etc.

Des procédures administratives encore complexes de qualification et d'assurance des matériaux ou solutions innovantes

Les procédures administratives d'agrément technique freinent encore l'adoption de nouveaux produits et matériaux innovants, ainsi que les problèmes d'assurance engendrant en particulier des difficultés de garantie décennale.

Une intégration du bois-construction inférieure aux objectifs nationaux, du fait d'une difficulté à structurer la filière de récolte de gestion de la forêt française

Il est important de souligner l'intégration inférieure aux objectifs nationaux du bois-construction dans le bâtiment, comme indiqué dans la mission « Mise en valeur de la forêt française et développement de la filière bois » confiée à Jean Puech. Malgré l'accord cadre signé par l'État et la profession du bâtiment en mars 2001 (charte bois construction environnement), la part du bois dans la construction stagne à 10 % pour un objectif de 12,5 % en 2010. Il convient de développer progressivement dans la profession le recours au bois dans toutes les constructions, individuelles et collectives, privées ou publiques.

Si le morcellement de la forêt française, ainsi que son statut, freinent l'utilisation du bois comme matériau, il en est de même pour l'inadaptation des normes, d'origine majoritairement scandinave, et l'absence d'essais (essais feu, essais thermiques et acoustiques, travaux de normalisation sur les produits de construction en bois, développement des bâtiments bois à étages multiples, systèmes préconstruits à ossature bois, etc.).

Technologies capacitantes, mais non retenues comme clés

La gestion de l'air dans le bâtiment concerne les systèmes de ventilation et le traitement de l'air (filtration, humidification, rafraîchissement, etc.). Deux objectifs sont recherchés dans l'amélioration de ces équipements : la réduction des consommations énergétiques, le renouvellement de l'air étant à l'origine de déperditions de chaleur et la maîtrise de la qualité de l'air, et l'amélioration du confort des occupants et de leur santé (évacuation des polluants et des germes pathogènes). La gestion de l'air doit préserver les occupants des émissions internes liées à l'utilisation de produits et matériaux et des pollutions externes, grâce à des dispositifs de traitement adaptés en fonction du type de pollutions locales observées.

La gestion de l'air repose sur des technologies existantes et éprouvées. Il s'agit donc d'un enjeu transversal à prendre en compte, tant dans les opérations de réhabilitation que dans le cas des constructions neuves. Le Plan national de santé environnement 2 (PNSE 2) en fixe les éléments essentiels en insistant sur l'insalubrité de certains logements existants.

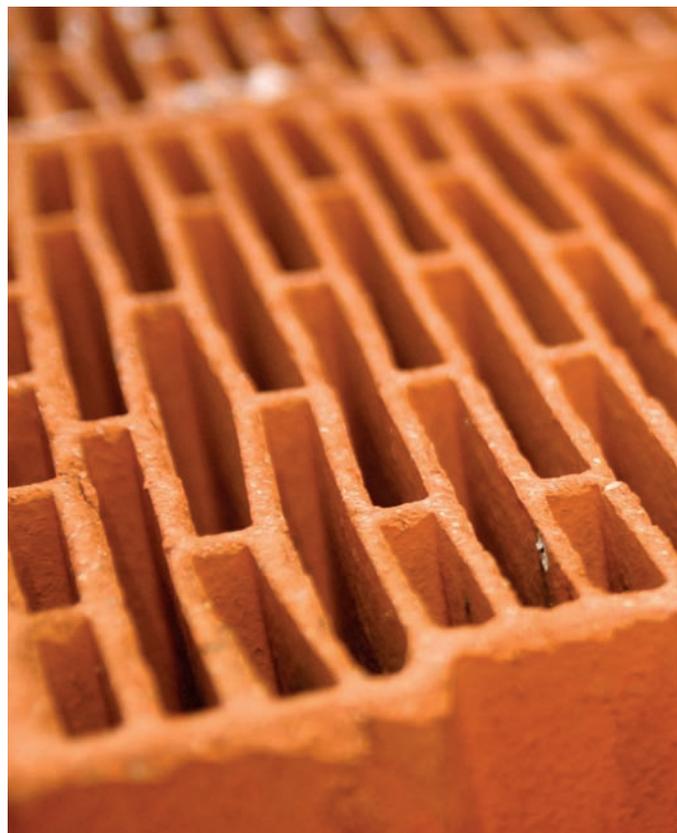
La formation des professionnels est également un enjeu transversal du développement de la filière.

Recommandations

Le bâtiment « à faible impact environnemental » est une filière majeure du Grenelle de l'environnement. Le Plan Bâtiment Grenelle affiche des objectifs ambitieux de réduction de la consommation d'énergie ainsi que des émissions de CO₂. Le MEEDDM l'a par ailleurs considéré dans son étude *Les filières industrielles stratégiques de l'économie verte*, publiée par le CGDD en mars 2010, comme l'une des sept filières prioritaires en termes de politique industrielle, compte tenu du rôle que la France pourrait y jouer et de l'intérêt qu'elle en retirerait en termes de développement économique.

Or, pour s'inscrire dans le long terme, il faut certes s'assurer de la qualité des nouveaux bâtiments, mais également travailler sur l'ensemble du parc existant. Pour y parvenir, les technologies clés liées aux matériaux biosourcés, composites et recyclés, aux TIC et aux ENR doivent être mises à disposition de l'ensemble des acteurs de la filière, par le biais de mécanismes financiers et juridiques. Réorienter les aides publiques vers les solutions les plus performantes énergétiquement, conditionner les aides publiques à l'atteinte des performances énergétiques (par exemple, proposer des subventions supplémentaires pour l'atteinte de performances spécifiques), mettre en place des incitations fiscales pour les rénovations dans le tertiaire, etc. sont autant de propositions qui permettraient d'atteindre ces objectifs.

Les appels à projets dédiés et plateformes de démonstration sont également propices pour soutenir l'essor et l'intégration de



ces technologies, les investissements d'avenir constituant sur ce point une opportunité. Des réflexions doivent également être menées pour soutenir l'intégration de ces technologies dans une logique bâtiment. Cet enjeu d'intégration doit en effet tenir compte des volets ENR, des nouveaux matériaux et systèmes constructifs dans une approche globale du bâtiment construit ou à construire. Ces appels à projet pourraient ainsi permettre de lever des verrous encore existants, d'une part techniques, tels que des verrous de conception, de maîtrise des assemblages, d'optimisation des traitements, de processus de mise en œuvre, etc., mais également réglementaires, notamment pour les normes DTU, le passage à des bâtiments bois allant au-delà du R+1, la mise en place de standards de rénovation, etc. L'intégration des technologies devra être recherchée en privilégiant les problématiques de confort, de santé, de sécurité et de conception architecturale.

La performance énergétique et thermique des bâtiments passe par une première phase de diagnostic, de suivi et d'évaluation. Elle permet d'établir un bilan et un suivi des performances énergétiques et environnementales du bâti dans le but d'améliorer les bâtis existants et de réaliser les bâtis les plus performants. Le développement d'offres globales autour de la réalisation de bouquets de travaux performants est pour cela de première importance car il permettrait de tirer pleinement partie des technologies clés et des services de gestion active des équipements.

La lutte contre le réchauffement climatique et l'indépendance

énergétique passent par une transformation de la filière du bâtiment. Les pratiques professionnelles s'en trouvent profondément modifiées. Afin d'aider les acteurs à mieux se positionner, la mise en place de réseaux ou de groupements locaux doit être incitée. Cela passe notamment par la création de centres d'excellence consacrés aux technologies clés et à leur intégration. Au-delà des aspects technologiques, ces mutations doivent également s'appuyer sur des dispositifs de formation et des supports pédagogiques adaptés, tels que des plateformes technologiques en lien avec les industriels et les professionnels de la filière. Comme précédemment indiqué, il est nécessaire de rapprocher la formation des lieux de réalisation (par exemple, visites de chantiers mettant l'accent sur les technologies et équipements clés) et de démonstration. La filière des installateurs-diagnostiqueurs doit également faire l'objet d'une attention particulière, par exemple en certifiant les solutions de rénovation thermique les plus performantes et/ou les entreprises elles-mêmes pour leur capacité à déployer des technologies clés, tant dans la construction que dans l'existant. De plus, un plan de formation spécifique doit être lancé afin de couvrir les besoins pour les jeunes qui intègrent la filière sans bagage spécifique. Les formations continues doivent être proposées en plus grand nombre, l'extension du dispositif Feebat étant l'une des options possibles. Notons que ces évolutions ne pourront se faire qu'à la condition de créer le vivier de futurs enseignants. Enfin, les TIC doivent être intégrées aux besoins de formation, en développant des outils de *e-learning* et des centres de ressources en ligne.





70. Systèmes d'enveloppe du bâtiment



Description

L'enveloppe du bâtiment constitue l'interface avec l'extérieur. Elle englobe les murs, les planchers, les ouvrants, ainsi que la toiture et joue un rôle majeur dans la performance énergétique du bâtiment. À travers des paramètres tels que l'isolation, l'étanchéité à l'eau et à l'air, la gestion des apports solaires ou encore l'inertie, les systèmes d'enveloppe du bâtiment permettent une meilleure efficacité énergétique.

À titre d'exemples, les façades actives, les murs solaires, le vitrage sous vide, les toitures rafraîchissantes, etc. permettent une réduction des besoins énergétiques. L'isolation thermique par l'extérieur (ITE) apporte également une économie d'énergie en créant une enveloppe globale protectrice autour de la construction permettant de traiter les déperditions de chaleur au niveau des façades et des ponts thermiques.

Aux aspects énergétiques s'ajoutent les fonctionnalités nouvelles qu'ils peuvent intégrer. Les façades peuvent devenir intelligentes en s'adaptant à l'environnement extérieur, afin d'offrir davantage de confort à leurs occupants (isolation, confort d'été ou acoustique par exemple). Ainsi, les façades autonettoyantes ou les vitrages électrochromes sont autant d'exemples de développements possibles conduisant à une réduction des pertes énergétiques.

Applications

Les systèmes d'enveloppe concernent de manière prioritaire l'ensemble des nouveaux bâtiments du secteur résidentiel (individuel ou collectif) et du secteur tertiaire dans un contexte où le Plan Bâtiment Grenelle prévoit que tous les nouveaux bâtiments soient à « basse consommation » (BBC) d'ici à 2012 et à « énergie positive » (Bepos) d'ici à 2020 [11].

Ils concernent également la réhabilitation des bâtiments anciens, le parc existant représentant 29,7 millions de logements [11].

Enjeux et impacts

L'évolution réglementaire du Grenelle de l'environnement et les défis énergétiques actuels poussent au développement de nouveaux systèmes d'enveloppe. C'est en effet grâce à la rénovation des bâtis existants que la France réussira à atteindre ses objectifs et cette réhabilitation passe par les systèmes d'enveloppes.

Le principal impact attendu est de nature environnementale. Les nouveaux systèmes d'enveloppe doivent permettre de réduire la consommation énergétique de 38 % et les émissions de gaz à effet de serre de 50 % d'ici à 2020 [11]. Ces objectifs varient selon la zone climatique ou le type de locaux concernés (logement, école, bureaux, etc.).

L'impact économique espéré est également non négligeable : le coût de la facture énergétique devrait ainsi s'en trouver réduit.

La mise en place de systèmes d'enveloppe performants nécessite cependant une formation spécifique des professionnels, notamment pour l'intégration de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies. L'Ademe œuvre ainsi avec les centres de formation et de conseil à adapter le tissu actuel de formation.

Si l'optimisation du bâtiment et de son enveloppe doit prendre en compte plusieurs critères, le prix des nouvelles constructions est également à considérer car il constitue potentiellement un frein en termes d'acceptabilité : le surcoût d'un bâtiment BBC est estimé à 10 % par rapport à celui d'une construction traditionnelle.

Degré de diffusion dans l'absolu

● Faible diffusion

● Diffusion croissante

● Généralisation

Degré de diffusion en France

● Faible diffusion

● Diffusion croissante

● Généralisation

Acteurs

Principaux acteurs français

- **Structures relais** : Advancity, Cerib, Cerma, CSTB, Derbi, FCBA, Fédération Française du Bâtiment, Pôle Fibres Grand Est, Xylofutur
- **Intégrateurs** : Arcelor, Bouygues Construction, Imerys, Lafarge, Materis, Roofing, Saint-Gobain, Vinci Construction
- Concerne aussi bien les fabricants d'isolants que les fabricants d'éléments de construction (briques, éléments de parois, etc.) et de menuiserie

Principaux acteurs étrangers

- Nippon Steel, Posco (Corée), JFE (Japon), Boosteel (Chine), Nucor, Riva, Tata-Corus, Thyssen Krupp, US Steel

Position de la France

La France est très bien positionnée avec la présence d'acteurs internationaux, notamment dans la fabrication de vitrages ou de produits pour la façade et la toiture. De nombreuses opportunités existent donc pour créer des filières sur des technologies innovantes (certains citent l'isolation en couche mince).

Analyse AFOM

Atouts

Fortes compétences d'acteurs français à dimension internationale.

Faiblesses

Fragmentation du tissu d'entreprises ; manque de formation spécifique sur les systèmes d'enveloppe ; manque d'offres en prestation globale.

Opportunités

Position de leader à prendre, notamment sur les systèmes d'isolation en couche mince ; opportunité de créer un « intégrateur » de taille internationale.

Menaces

Surcoût engendré par les constructions BBC.

Recommandations

Afin de répondre aux objectifs du Grenelle de l'environnement pour l'existant, des technologies doivent être développées de sorte à être intégrées au bâti. Or, l'installation d'équipements n'est pertinente que dans la mesure où

l'isolation est performante, les installateurs devant s'assurer en premier lieu de ce prérequis. Il est donc crucial de développer une offre adaptée et de structurer un réseau d'entreprises capable de proposer une offre globale, par exemple par le biais d'appels à projets régionaux, chaque artisan devant avoir conscience de l'importance de l'isolation par l'extérieur et des systèmes d'enveloppe adaptés.

Des leviers économiques et financiers doivent être mis en place pour assurer la pérennité économique de la rénovation. Concentrer les dispositifs incitatifs (TVA réduite, subventions, etc.) sur les systèmes d'enveloppe les plus performants peut être un levier, en particulier pour le tertiaire où la pénétration peut être plus facile.

De plus, même si les systèmes d'enveloppe sont diffusants, de nouveaux matériaux minces et plus performants restent encore à développer. Il faut donc encourager les investissements dans la filière et renforcer l'accessibilité aux dispositifs d'appui à l'innovation. Le renfort des solutions de transferts vers le tissu de TPE-PME est clé. Concernant la formation, l'enjeu prioritaire est d'adapter les cycles existants aux besoins des professionnels. Dans un deuxième temps, de nouveaux cycles de formations peuvent être développés, tels que des formations sur le montage des nouveaux isolants par exemple.

Avec la présence de leaders mondiaux du secteur du bâtiment, la France est très bien positionnée pour faire émerger un grand acteur des systèmes d'enveloppe et des matériaux innovants. Une riche stratégie de coopération et de partenariat entre les entreprises et les pôles de compétitivité notamment doit être encouragée : engager un grand programme commun et encourager la création de plateformes démonstratrices, capables d'assurer la passerelle entre le monde de l'innovation et le tissu d'entreprises.

Par ailleurs, les systèmes d'enveloppe doivent être envisagés sous l'angle du couple équipements – systèmes passifs. Aujourd'hui, peu d'acteurs sont positionnés sur de tels équipements, alors qu'il existe un potentiel fort de développement. Cette filière doit donc être soutenue par le biais d'appels à projets spécifiques, permettant de soutenir une démarche partenariale forte, ou encore par le biais de la promotion de labels pour les systèmes d'enveloppe à haute efficacité.

Enfin, la mise en place d'une réglementation précise sur les systèmes d'enveloppe performants permettrait de favoriser le développement de nouvelles technologies, ainsi que leur intégration aux autres technologies clés : orientation des crédits d'impôts aux systèmes d'enveloppe les plus performants, subvention supplémentaire pour l'atteinte de performances spécifiques, etc.

Liens avec d'autres technologies clés

7

11

40

72

74

75

Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



71. Systèmes constructifs

Description

L'éco-construction a pour but la construction de bâtiments dans le respect du développement durable, c'est-à-dire en consommant le moins d'énergie possible et en minimisant l'impact environnemental.

Le bâtiment préconstruit est généralement conçu à partir d'un plan en trois dimensions permettant de composer des modules fabriqués en usine et directement montés à l'emplacement final du bâtiment. Ces modules peuvent être par exemple des pré-planchers ou des pré-murs. Le bâtiment préconstruit fait actuellement majoritairement appel au béton et au matériau bois. Le bois fait également partie des modes constructifs associés à l'éco-construction.

Applications

Les systèmes constructifs s'intéressent à l'ensemble des éléments de la conception du bâtiment : conception architecturale, orientation, positionnement des ouvertures, traitement de l'isolation, du chauffage, matériaux utilisés, etc. Ils constituent ainsi une voie de développement essentielle dans la recherche de la performance énergétique du bâtiment.

Le système constructif doit s'envisager dans la globalité du bâtiment afin d'adresser l'ensemble de ses problématiques. Il doit ainsi faire le lien avec l'ensemble des éléments constitutifs du bâti : les matériaux utilisés (notamment les matériaux biosourcés, composites et recyclés), les systèmes d'enveloppes ou encore l'interaction entre les fluides et le bâti. L'utilisation de la maquette numérique permettrait par ailleurs de prendre en compte ces éléments dans le but de déterminer le système constructif approprié.

Jeux et impacts

Les enjeux des systèmes constructifs sont majeurs car leur choix a un impact direct sur la consommation énergétique. Bien orienter le bâtiment, intégrer les matériaux innovants, renforcer l'isolation de l'enveloppe ou utiliser un type de chauffage à énergie renouvelable sont autant d'actions possibles afin de maximiser la performance thermique. Construire les modules en usine avant de les assembler sur l'emplacement final permet de plus de réaliser des chantiers secs (sans eau), de limiter les transports d'engins de chantier, mais également de diminuer les déchets de construction ou encore de permettre la valorisation des coproduits (par exemple en optimisant les chutes de bois récupérées en atelier).

Il subsiste néanmoins des freins au développement des systèmes constructifs. Le préconstruit est un domaine qui n'a pas encore pris son essor en France et attire peu

les investissements. En termes d'acceptabilité, il ne bénéficie pas d'une bonne image de qualité auprès des consommateurs.

Par ailleurs, le choix du système constructif repose sur l'ensemble des corps de métier du bâtiment et nécessite donc une réelle interdisciplinarité. Enfin, le préconstruit s'adresse davantage aux projets de large envergure, tels que la construction de zones pavillonnaires.

Dans le cas des systèmes constructifs bois, d'autres verrous spécifiques sont à adresser : l'expression architecturale doit être adaptée à ce matériau et les caractéristiques spécifiques du bois (assemblage, acoustique, feu, etc.) doivent être intégrées dès la conception.

Acteurs

Principaux acteurs français

- **Structures relais** : Advancity, Cerma, CSTB, Derbi, FCBA, FFB, Pôle Fibres Grand Est, Prebat, Xylofutur
- **Intégrateurs** : BCM, Bodard Construction, Bouygues Construction, CHRYSO, Lafarge, Parexlanko, Saint-Gobain Weber, Solfab, Vinci construction, Yves Cougnaud

Principaux acteurs étrangers

- Beijing DCTH Steel Structure Science and Technology (Chine), Topsider Building Systems, Method Homes (États-Unis)

Position de la France

La position de la France est moyenne même s'il existe un bon savoir-faire dans l'ossature métallique et la maîtrise du béton.

Plusieurs PME innovantes, à l'image de Bodard Construction, cherchent à améliorer les modes constructifs, notamment dans le domaine du préconstruit. Bodard construction a ainsi été l'une des premières entreprises françaises à réaliser des maisons modulaires en 2008.

Toutefois, la France est très en retard par rapport à certains pays d'Europe occidentale (et notamment l'Italie), aux pays scandinaves (Danemark en particulier) ou aux États-Unis. Ceux-ci s'intéressent de près aux systèmes constructifs car ils sont confrontés à l'obligation d'améliorer les performances thermiques de leurs constructions neuves.

Degré de diffusion dans l'absolu

● Faible diffusion
● Diffusion croissante
● Généralisation

Degré de diffusion en France

● Faible diffusion
● Diffusion croissante
● Généralisation



Liens avec d'autres technologies clés

11

40

70

72

73

Analyse AFOM

Atouts

Bon savoir-faire dans l'ossature métallique et la maîtrise du béton ; initiatives de PME innovantes ; ressource bois disponible et croissante en France.

Faiblesses

Peu d'acteurs industriels et académiques ; manque de coordination entre les corps de métier impliqués ; faible valorisation du bois : un potentiel « dormant » ; taux de pénétration du bois encore faible ; absence de structuration et d'industrialisation de la filière bois ; manque d'outils d'ACV pour le bois.

Opportunités

Valorisation du bois par la mise au point de systèmes constructifs dédiés ; création de valeur et d'emplois locaux.

Menaces

Forte concurrence, notamment de pays d'Europe occidentale et des États-Unis ; forte concurrence de pays d'Europe du Nord sur l'exploitation du bois à visée habitat et systèmes constructifs.

Recommandations

Si le béton possède des avantages certains, tels que sa flexibilité, son étanchéité et son coût, et s'il n'est pas question de le remplacer, la filière des systèmes pré-construits peut trouver une place, en particulier s'agissant du bois.

De plus, l'innovation ouvre la porte à de nouvelles opportunités en proposant des produits et matériaux à plus forte valeur ajoutée (finitions sans solvants, structures

plus résistantes, isolants thermiques réversibles, etc.) et offre la possibilité de se tourner vers de nouveaux marchés pour la substitution de produits issus de la pétrochimie et l'intégration des ENR dans le bâtiment existant et neuf. Le développement de la filière construction bois est par ailleurs fortement lié au préconstruit, ce dernier pouvant ainsi apporter une réelle valeur ajoutée à l'usage du bois.

Ainsi, une structuration de la filière des systèmes constructifs impliquant à la fois bois, acier et béton est nécessaire. Pour cela, des leviers économiques et financiers doivent être engagés, notamment par le biais d'appels à projets spécifiques, de plateformes de démonstration dédiées, voire de création d'un cluster spécifiquement dédié à la valorisation du bois à destination des systèmes constructifs, etc.

Une mise à niveau réglementaire pour les systèmes constructifs à base de bois est nécessaire, en soutenant leur adaptation aux normes de construction, principalement sur les futures réglementations (notamment, les RT 2012 et RT 2020), ainsi que les normes DTU. Le passage à des bâtiments au-delà de R+1 devra également être visé. Un lien fort avec les organismes intervenant dans la normalisation est nécessaire. Un fonds de soutien aux petites entreprises pourrait être créé pour assurer les qualifications et leur permettre de lever les verrous réglementaires.

Enfin, des campagnes d'information permettraient de mettre en valeur la filière du préconstruit et de l'éco-construction en sensibilisant l'ensemble des consommateurs (entreprises et grand public) et en lançant une dynamique. De telles campagnes devraient également cibler le bois, afin de permettre son essor en France sur la maison individuelle.

Maturité (échelle TRL)

<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input checked="" type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

Position de la France

<input type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input checked="" type="radio"/>	Dans le peloton
<input type="radio"/>	En retard

Potentiel d'acteurs en France

<input type="radio"/>	Faible
<input checked="" type="radio"/>	Moyen
<input type="radio"/>	Fort



72. Matériaux biosourcés, composites et recyclés

Définitions

Les matériaux biosourcés sont issus de ressources renouvelables obtenues à partir de biomasse (chanvre, lin, bois, etc.), ou de matériaux issus du recyclage (ouate de cellulose, fibres de bois, etc.). Ils peuvent être incorporés, pour tout ou partie au sein de matériaux composites et se substituer en partie à leur composante d'origine pétrochimique. Un matériau composite est défini par l'assemblage d'au moins deux matériaux n'ayant pas les mêmes fonctions, ni les mêmes natures. Les applications des matériaux composites sont nombreuses et d'utilisation courante, en particulier dans les transports (aérien, maritime et ferroviaire) et la construction (respectivement 28 % et 27 % du marché total des composites [12]).

Description

Les matériaux biosourcés présentent l'opportunité de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de stocker du carbone. Les matériaux recyclés valorisent quant à eux des déchets non valorisés, tels que les déchets issus de la déconstruction. Toutefois, ce type de valorisation est embryonnaire sur le plan économique, le nombre de bâtiments déconstruits étant, par exemple, encore bien moins élevé que le nombre de bâtiments construits et la part des matériaux recyclés provenant de la déconstruction, encore anecdotique. Du fait des initiatives locales, l'utilisation des matériaux biosourcés ou recyclés connaît actuellement un engouement certain. Le bois et ses coproduits, utilisés dans les systèmes constructifs sous différentes formes (panneaux de fibres de bois, bois construction ou bois composite), sont l'illustration de cette tendance et représentent un potentiel non négligeable de création de valeur et de développement de filières courtes.

Applications

Si les matériaux biosourcés trouvent de nombreuses applications dans le bâtiment, notamment pour l'isolation, la plupart ne représente aujourd'hui que des marchés de niche : les isolants biosourcés ne représentent ainsi que 2 % du marché des isolants [12]. Les développements dans le secteur sont pourtant en pleine effervescence : produits tels que le béton de chanvre de plus en plus utilisés en éco-construction ; plusieurs isolants biosourcés sous avis technique (AT) et/ou certification Acermi (Association pour la certification des matériaux isolants), etc.

Le bois construction continue sa progression même si la part du bois dans la construction reste inférieure à l'objectif fixé pour 2010 (10 % contre 12,5 % fixés) [13]. Le Grenelle de l'environnement adresse spécifiquement ce sujet en proposant d'adapter les normes de construction au bois, d'augmenter le taux minimum d'incorporation de bois dans la construction et de favoriser la mise en place d'un label.

Jeux et impacts

Les enjeux des matériaux composites à base de matériaux biosourcés sont environnementaux dans la mesure où ces matériaux sont renouvelables, contribuent à la réduction de l'effet de serre et représentent une opportunité de substitution aux produits d'origine pétrochimique. Les enjeux sont ensuite économiques. En effet, l'utilisation de ressources locales présente l'opportunité de créer des filières courtes, favorisant la création d'emplois locaux et répondant ainsi à une forte demande du grand public.

S'agissant de l'utilisation des matériaux biosourcés dans la construction, la DGALN a lancé un groupe de travail afin d'identifier les freins et les actions pour les surmonter. Celui-ci réunit les organisations professionnelles représentatives de la filière et doit rendre ses conclusions fin 2010.

Le secteur du bois construction nécessite de plus la mise en place de normes, l'institut FCBA et l'Afnor y travaillant. Les conflits d'usage (alimentation, agrocarburants...), la formation des professionnels, ainsi que le coût engendré par l'utilisation de matériaux biosourcés dans l'éco-construction sont par ailleurs de réelles préoccupations.

En outre, des verrous technologiques restent à adresser : résistance au feu, à l'humidité, aux attaques des insectes et moisissures, etc.

Acteurs

Principaux acteurs français

- **R&D** : CNRS, Critt Bois, CSTB, FCBA, FNB, Inra
- **Structures relais** : Afcobois, Alsace Energivie, Capeb, CNDB, CRITT Bois, FFB, Pôle Fibres Grand Est, Iar, Maud, U-TEX, UNSFA, Untec, Xylofutur
- **Intégrateurs/Utilisateurs** : AFT Plasturgie, Bouygues Construction, Charpentes Houot, Dorean, Ecologgia, Gico Constructeur, Gross Charpentes, nrGaïa, Saint-Gobain, Weiss France

Principaux acteurs étrangers

- Nexwood (Canada), Timbertech, Trex (États-Unis)

Position de la France

Ce secteur étant hétérogène, il n'est pas aisé d'en décrire une position française. De nombreuses initiatives locales tentent actuellement de valoriser la biomasse au sein du bâtiment. Celles-ci présentent l'intérêt de créer de l'emploi local et sont également poussées au niveau national par l'Ademe qui soutient fortement le développement de matériaux performants, d'un point de vue technique et de coût. Concernant les matériaux recyclés, ils ne pourront se développer sans que la France ne crée de manière générale des filières locales de recyclage, sources d'emplois locaux, un important retard de structuration devant être soulevé vis-à-vis d'autres pays.

Si de nombreuses initiatives existent en France (création de PME innovantes, telles qu'nrGaïa, développements importants d'AFT Plasturgie pour la valorisation, etc.), elle reste en retard par rapport aux pays les plus avancés, notamment scandinaves, en termes d'intégration.

Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

Degré de diffusion en France

<input checked="" type="radio"/>	Faible diffusion
<input type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation



Pour la valorisation du bois et de ses co-produits, elle reste fortement en retrait, alors qu'elle possède la troisième forêt européenne [13].

Analyse AFOM

Atouts

Ressources agricoles et forestières du territoire ; multiples initiatives de valorisation de la ressource agricole ; PME innovantes ; présence d'acteurs académiques de dimension européenne et de structures de transfert dédiées.

Faiblesses

Cadre réglementaire non adapté ; absence de bases de données partagées qui rend difficile la comparaison des analyses de cycle de vie ; verrous techniques encore à lever ; qualification de la performance coûteuse ; problème d'assurabilité (garantie décennale) ; manque de structuration de la filière.

Opportunités

Évolution de la PAC à l'horizon 2013 ; création d'une filière de la déconstruction française ; création d'emplois locaux.

Menaces

Forte concurrence, notamment des pays scandinaves ; dépendance vis-à-vis de savoir-faire et de portefeuilles de propriété intellectuelle étrangers ; manque de diversification des activités agricoles sur des applications à valeur ajoutée.

Recommandations

L'utilisation des matériaux biosourcés, composites et recyclés est aujourd'hui favorisée par des politiques régionales misant sur le développement des filières courtes. Plusieurs leviers sont clés pour son développement : formation, qualification, recherche applicative et industrialisation.

Des formations adaptées, spécifiques et accessibles localement doivent être créées pour soutenir le développement de ces matériaux. La simplification des processus d'évaluation de la performance des matériaux biosourcés est également requise, leur variabilité ne devant pas être considérée comme un frein.

Il est par ailleurs nécessaire d'encourager la création et le développement de PME spécialisées, ainsi que d'accompagner celles désirant se réorienter vers le développement de matériaux biosourcés. Les plateformes techniques et projets démonstrateurs doivent être soutenus.

De plus, il existe un enjeu sociétal non négligeable : la PAC (Politique agricole commune) évoluera à l'horizon 2013 et il sera alors nécessaire de prendre en compte la reconversion de certains emplois ruraux (dans une optique de valorisation des agro-ressources, hors bois) et leur diversification. L'industrialisation de l'amont agricole est donc clé, ainsi que le financement de plateformes de démonstration dans un but de sensibilisation.

La mise à niveau réglementaire est clé, notamment pour résoudre les problèmes de garantie décennale. Un fonds de soutien aux petites entreprises pourrait être créé pour assurer les qualifications de performance et de sécurité de leurs matériaux et leur permettre de lever les verrous réglementaires. Un lien fort avec les organismes intervenant dans les normalisations est nécessaire.

Concernant les matériaux recyclés, une réflexion doit être engagée par les pouvoirs publics afin de lancer des appels d'offre sur la déconstruction, comme cela peut se faire dans d'autres pays, notamment en Suisse.

Liens avec d'autres technologies clés

7

11

37

40

Maturité (échelle TRL)

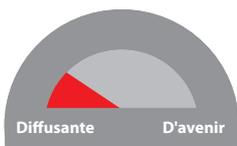
<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input checked="" type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

Position de la France

<input type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input type="radio"/>	Dans le peloton
<input checked="" type="radio"/>	En retard

Potentiel d'acteurs en France

<input type="radio"/>	Faible
<input type="radio"/>	Moyen
<input checked="" type="radio"/>	Fort



73. Maquette numérique

Définitions

eXpert

En réponse à l'appel à projets TIC PME 2010 de la DGCLIS, les organisations professionnelles de la filière du bâtiment se sont unies pour lancer le projet eXpert. Les partenaires à l'origine du projet regroupent les principaux représentants de la filière du bâtiment : Afnor, AIMCC, BuildingSmart, Capeb, CICF, CSTB, CTAI, IT-FFB, Mediaconstruct, OGE, Unapoc, UNSFA, Untec. L'objectif du projet eXpert est de « soutenir et accompagner les progrès liés aux nouvelles pratiques, grâce au partage, à l'échange, à la normalisation et à la sécurisation des informations techniques sur les projets et les produits industriels, auprès de l'ensemble de la filière et tout particulièrement de sa multitude de PME » [14]. Il s'agit, à terme, de mettre à disposition de l'ensemble des acteurs de la filière des outils mutualisés et appropriés tels que la maquette numérique.

Description

La maquette numérique est la représentation géométrique d'un bâtiment en trois dimensions. Elle permet une gestion rationnelle et cohérente de l'ensemble des informations du bâti (composants, caractéristiques techniques et économiques) et ce, tout au long du cycle de vie (conception, étude, géolocalisation, construction et exploitation). Également appelée *Building Information Modeling* (BIM), la maquette numérique constitue un axe fondamental du bâtiment.

La maquette numérique respecte une norme mondiale : *Industry Foundation Classes* (IFC). Ce format informatique standardisé a été mis en place afin de permettre l'interopérabilité des logiciels. Grâce à ce langage commun, les échanges entre les différents acteurs du bâtiment (maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage, etc.) s'en trouvent facilités et toute modification apportée peut automatiquement être répercutée sur l'ensemble du projet.

De plus, la modélisation et la simulation constituent des outils centraux pour anticiper la performance des bâtiments, lors de leur conception et de leur suivi. La maquette numérique jouera donc un rôle essentiel pour la généralisation des bâtiments BBC à l'horizon 2012 et Bepos d'ici à 2020.

Applications

Si la maquette numérique peut être utilisée pour tous types de bâtiments, elle concerne en priorité la conception de nouveaux bâtiments.

Elle intervient sur l'ensemble des étapes du projet : relève de l'existant, modélisation générale, architecture, calcul des structures, analyse et simulation des phénomènes environnementaux et analyse économique.

L'ensemble des acteurs du bâtiment est concerné par son intégration : de la maîtrise d'œuvre (architectes, bureaux d'étude, etc.) jusqu'aux métiers du foncier et de la géolocalisation. C'est néanmoins la maîtrise d'œuvre qui sera la plus impactée. Elle devra faire face à des contraintes supplémentaires liées à la structuration de données communes : plans d'architecte, éléments topographiques, etc.

Jeux et impacts

Le secteur du bâtiment étant fragmenté, chaque corps de métier possède ses propres règles et outils : moyens informatiques et de communication, méthodes de codification et obligations contractuelles sont notamment différents. C'est dans l'optique de remédier à ce manque de standards et à cette hétérogénéité des pratiques et outils que le projet eXpert a par exemple été lancé [14] (voir encadré). Celui-ci a pour but d'harmoniser et de déve-

opper l'usage des TIC, par l'adoption de la maquette numérique et de la norme IFC.

Les impacts de la mise en place d'une maquette numérique standardisée se trouvent d'abord au niveau de la performance : grâce à des systèmes interopérables et favorisant le travail collaboratif, le gain de temps se traduit en gain d'efficacité, de productivité et financier. Par ailleurs, la qualité de l'ouvrage final est grandement améliorée puisque la coordination des différents corps de métiers est assurée de façon pérenne.

De plus, l'aspect énergétique peut être intégré au projet dès sa conception. Les simulations permettent ainsi d'estimer la consommation énergétique ou l'impact environnemental et donc de répondre aux attentes et exigences d'une construction durable.

La maquette numérique ne devra cependant pas se cantonner à l'aspect énergétique, mais bien englober l'ensemble des fonctions d'usages d'un bâtiment sur l'ensemble de sa durée de vie.

Néanmoins, plusieurs freins subsistent. Bien qu'attrayante, la conception en trois dimensions reste difficile à mettre en œuvre au sein des entreprises. Elle requiert en effet un investissement financier, un investissement en personnel et en temps importants et elle pose de plus la question du partage de la responsabilité.

Acteurs

Principaux acteurs français

- **R&D** : Centre de Recherche en Gestion (CNRS), CSTB, Irex, LCPC, Université de Marne-la-Vallée
- **Structures relais** : Ademe, Advancity, Afnor, AIMCC, BuildingSmart, Cap Digital, Capeb, CICF, CTAI, Derbi, Edibatec, IT-FFB, Mediaconstruct, Ordre des géomètres-experts, Puca, Unapoc, UNSFA, Untec
- **Intégrateurs** : Abvent, All Systems, Attic+, Autodesk, BBS Slama, Bentley, Gehry Technologies, Graitec, Groupe Archimen, Nemetschek, RasterTech, Tekla, Vizelia
- **Utilisateurs** : Bouygues Construction, Eiffage, Vinci Construction, bureaux d'études, cabinets d'architectes, artisans

Degré de diffusion dans l'absolu

● Faible diffusion

● Diffusion croissante

● Généralisation

Degré de diffusion en France

● Faible diffusion

● Diffusion croissante

● Généralisation

Position de la France

La France est bien positionnée du fait de ses fortes compétences de recherche. Plusieurs organismes, tels que la FFB ou la branche française de BuildingSmart, encouragent de plus l'adoption de standards. Par ailleurs, plusieurs éditeurs tels qu'Abvent, Autodesk ou RasterTech ont rapidement adopté la norme IFC.

La France est donc dans le groupe de tête au niveau européen, les pays scandinaves manifestant également un intérêt croissant pour cet outil.

Analyse AFOM

Atouts

Compétences fortes en modélisation ; initiatives d'acteurs, plusieurs éditeurs ayant par exemple adopté la norme IFC ; implication des industriels ; structures favorisant l'adoption de standards : FFB, branche française de BuildingSmart.

Faiblesses

Faibles investissements des acteurs français ; difficultés pour le tissu de TPE-PME d'acquisition de ce types d'outils sur le plan financier ; manque de formations adaptées.

Opportunités

Atout en termes de performances économiques comme énergétiques ; intégration de la traçabilité et des enjeux de recyclage dès les premières étapes de conception.

Menaces

Forts développements dans les pays avancés en matière de bâtiment à moindre impact environnemental pour développer de nouveaux outils ; manque d'outils pertinents pour les systèmes constructifs, notamment à base de bois, limitant de fait son essor.

Recommandations

Si les industriels ont déjà intégré la logique de la maquette numérique, l'impulsion à l'essor de cette filière doit en premier lieu provenir de la maîtrise d'ouvrage. En effet, certains outils existent d'ores et déjà, mais restent peu utilisés par les cabinets d'architectes, du fait de la lourdeur d'investissement en personnels compétents et en logiciels 3D.

Les pouvoirs publics doivent s'interroger plus largement sur les conditions d'adoption de ce type d'outils, au regard de la fragmentation du tissu et de l'absence d'acteurs supportant son utilisation et la diffusant. Des aides financières spécifiques pourraient être envisagées pour résoudre ce point clé.

Par ailleurs, bien que l'ANR soutienne les initiatives lancées dans ce secteur, les investissements soutenant le développement de logiciels restent insuffisants. Il est donc nécessaire de favoriser la création et le soutien de projets portant sur la maquette numérique, par exemple par l'insertion de lignes dédiées dans les appels à projets. Ces appels à projets devront également être déclinés pour les systèmes constructifs bois, afin de soutenir l'essor de cette filière par des systèmes de modélisation et de conception adaptés.

De plus, et afin de simplifier les échanges entre les multiples acteurs impliqués, des plateformes collaboratives de test « open source » doivent être financées pour favoriser une utilisation interdisciplinaire.

Afin de répondre à la diversité des compétences requises, des formations adaptées doivent être proposées au sein des écoles d'ingénieurs et des écoles d'architecture. Enfin, il semble pertinent de poursuivre le soutien de l'action de BuildingSmart en France, ainsi que les plans d'actions favorisant l'utilisation des TIC dans le bâtiment.

Liens avec d'autres technologies clés

20

28

29

71

Maturité (échelle TRL)

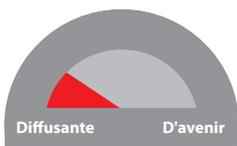
<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input checked="" type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

Position de la France

<input checked="" type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input type="radio"/>	Dans le peloton
<input type="radio"/>	En retard

Potentiel d'acteurs en France

<input type="radio"/>	Faible
<input type="radio"/>	Moyen
<input checked="" type="radio"/>	Fort



74. Comptage intelligent

Définitions

Le comptage intelligent consiste en la mise en réseau de fonctions clés liées au bâti (ventilation, chauffage, fluides, etc.), par la mise en place de capteurs, actionneurs et logiciels. Il consiste en une approche globale tenant compte de l'ensemble des flux gérés dans le bâtiment : électricité, gaz, eau, air, etc. Il s'agit de compteurs communicants, capables de recevoir et d'envoyer des données sans intervention humaine, pour la mesure et la gestion des flux. De tels compteurs permettent de suivre en temps réel la consommation énergétique d'un bâtiment, foyer ou entreprise.

Description

Les avantages majeurs du comptage intelligent résident dans la maîtrise de la dépense énergétique et l'établissement de la facture client sur la base de sa consommation réelle et non de sa consommation estimée. De nouvelles offres et de nouveaux services peuvent de plus être proposés par les grands énergéticiens, permettant par exemple d'échelonner la consommation. Le comptage intelligent peut ainsi être un outil de contrôle permettant une meilleure maîtrise des flux et de ce fait limitant par exemple les pertes et les pannes de réseau. L'enjeu majeur reste la diminution de la quantité de capteurs présents dans le bâtiment tout en les optimisant. Pour cela, les capteurs doivent être robustes, étalonnés et fiables.

Applications

Si le comptage intelligent renvoie le plus souvent aux compteurs d'électricité, il peut également concerner les compteurs d'eau et de gaz.

En France, 35 millions de compteurs électriques sont actuellement en fonctionnement. L'Union européenne ayant demandé aux pays membres d'expérimenter le dispositif, ErDF, principal distributeur français, a lancé en 2007 le projet Linky, qui sera déployé en une dizaine d'années. ErDF a ainsi prévu l'installation de 250 000 compteurs en Indre-et-Loire et dans l'agglomération lyonnaise en 2010. Si l'expérience se révèle concluante, les compteurs intelligents se déploieront sur le territoire entre 2012 et 2017 [15].

Le moteur de l'industrie du comptage intelligent réside dans l'électrique et il n'est, à l'heure actuelle, pas prévu d'expérimentation au niveau national pour l'eau et le gaz, même si plusieurs industriels indépendants proposent leurs services pour le suivi de ces consommations. Notons également que la mise en place de compteurs intelligents, quelque soit le fluide considéré, nécessite des technologies avancées. Ceci implique de remplacer les compteurs actuels, rallongeant ainsi les temps de déploiement et augmentant les coûts associés au comptage intelligent.

Notons également qu'il existe enfin une opportunité de coupler l'infrastructure énergétique du bâtiment aux véhicules électriques. Dans une telle configuration qu'il conviendra de définir, les nouveaux bâtis pourraient ainsi intégrer des prises nécessaires à la recharge de ces véhicules.

Enjeux et impacts

L'enjeu majeur du comptage intelligent réside dans les économies potentielles engendrées, de l'ordre de 5 % à



15 % [15]. La réduction de la facture pour le particulier ou l'entreprise devrait ainsi être supérieure à l'investissement requis pour l'installation (entre 12 et 24 euros par an pendant dix ans [15]).

En termes d'acceptabilité, le problème de l'atteinte à la vie privée est soulevé par plusieurs associations de consommateurs. La question de la rétention des données doit donc être traitée de manière attentive.

Enfin, les dispositifs existants ne permettent pas encore un accès direct à la consommation, ni par l'utilisateur, ni par l'agent de relève. Un intermédiaire (outils complémentaires ou agents de relève) doit donc intervenir afin de transmettre les informations relatives à la consommation.

À ces problématiques de transmission de données, s'ajoutent des problématiques techniques qu'il reste à résoudre afin d'atteindre une fiabilité maximale et éviter les dysfonctionnements.

Acteurs

Principaux acteurs français

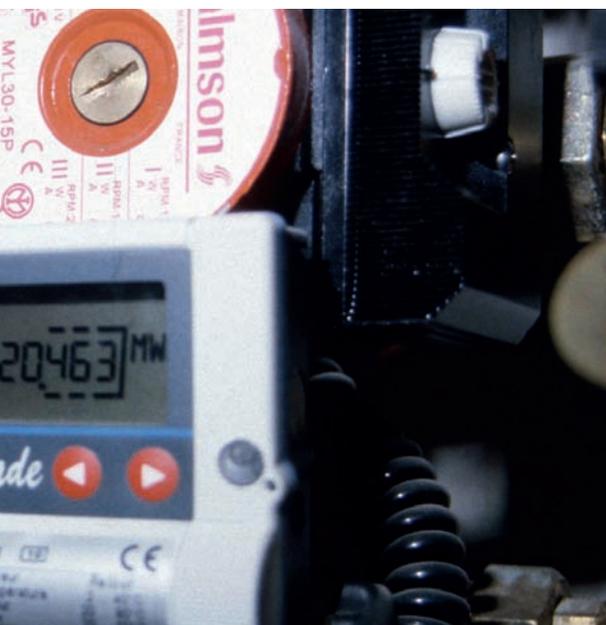
- **R&D** : CEA, CSTB
- **Structures relais** : S2E2
- **Intégrateurs / Utilisateurs** : Aergy, Atos Origin, Domtis, Edelia, Effineo, Enerdis, ErDF, Gaz de France, Google Power Meter, HomeRider Systems, Ijenko, Ista, Legrand, Poweo, Sinovia, Sierra Wireless, Schneider Electric, ST Microelectronics, Vizelia, Voltalis, Wirecom Technologies

Degré de diffusion dans l'absolu

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

Degré de diffusion en France

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation



Position de la France

Le comptage intelligent s'applique aujourd'hui essentiellement aux compteurs électriques. Si la France est bien positionnée dans ce domaine avec l'expérimentation actuellement menée, d'autres pays l'ont néanmoins précédée. Ainsi, l'Italie a été pionnière en étant le premier pays intégralement équipé de compteurs électriques intelligents. Le déploiement a débuté en 2000 et s'est achevé en 2005. Les dépenses énergétiques ont depuis diminué de 5 % par an [16].

De nombreux pays ont ensuite emboîté le pas à l'Italie, notamment la Suède, la Norvège, la Finlande, l'Espagne, l'Allemagne, l'Irlande, les Pays-Bas, le Royaume-Uni, l'Australie, le Canada, les États-Unis et la Turquie. Par ailleurs, l'UE a demandé en 2009 d'expérimenter ce type de dispositifs. L'objectif est de parvenir à équiper 96,3 millions de foyers d'ici à 2014 et près de 80 % de foyers d'ici à 2020 [16].

Analyse AFOM

Atouts

Expertise académique et industrielle reconnue dans l'élaboration de réseaux ; initiatives d'acteurs industriels, tels que le projet Linky d'ErDF.

Faiblesses

Filière peu structurée avec une définition floue du comptage intelligent ; technologies telles que la production décentralisée, non matures ; investissements lourds requis par les potentiels utilisateurs ; manque d'informations vis-à-vis des utilisateurs et d'interface ergonomique adap-

tée pour leur sensibilisation ; pour des raisons culturelles, acceptabilité pour les maisons individuelles.

Opportunités

Volonté forte au niveau européen pour développer le comptage intelligent ; marché potentiel important avec de larges possibilités à l'export ; potentiel de création d'emplois et de création de valeur.

Menaces

Concurrence notamment provenant des États-Unis avec des acteurs d'autres métiers, tels que Google, Cisco, IBM ou Intel, se positionnant déjà avec des projets de large envergure à Miami ou Orlando, etc.

Recommandations

Le comptage intelligent est une composante clé d'une approche globale de l'ensemble des composantes énergétiques du bâtiment. Il s'agit en effet d'une technologie centrale et structurante pour la filière, en particulier du fait de la richesse de services en résultant.

Il est ainsi nécessaire de poursuivre son déploiement et son utilisation. La sectorialisation de son déploiement est pour cela indispensable, en se donnant notamment des objectifs très ambitieux sur le tertiaire pour lequel la pénétration potentielle à court terme peut être plus forte. L'essor de ces technologies pour les maisons individuelles risque d'être plus long, en raison de difficultés sociétales liées à des craintes d'atteinte à la liberté.

Il n'existe pas d'obligation réglementaire incitant le consommateur à mieux gérer sa consommation énergétique. Pour qu'il devienne acteur, il est donc nécessaire d'encourager son éducation et sa sensibilisation par l'organisation de campagnes d'information, la mise en place de dispositifs, tels que les certificats d'énergie, etc.

La solidité, la fiabilité et la pérennité des capteurs sera un enjeu clé pour rassurer le consommateur et ne pas nuire économiquement à l'essor de la filière par le biais de frais d'intervention sur site pour leur remplacement, réparation, etc.

L'interface homme-machine jouera également un rôle clé pour permettre à l'utilisateur un suivi régulier de ses consommations. Des progrès significatifs sont à faire dans ce domaine et sont une condition *sine qua non* à la bonne sensibilisation de l'utilisateur.

Enfin, la mise en place d'une base de données fiable sur la rénovation et la construction neuve de bâtiments aurait à terme pour effet d'améliorer et de piloter de manière pérenne les performances énergétiques d'un bâtiment.

Liens avec d'autres technologies clés

8

16

18

28

31

52

70

Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



75. Technologies d'intégration et de mutualisation des ENR dans le bâtiment

Définitions

Les principales sources d'énergie renouvelable sont le soleil (solaire thermique, photovoltaïque), l'air (éolien), le sol (géothermie), l'eau (hydroélectricité) et les forêts (bois énergie).

Le solaire, bénéficiant d'un encouragement de l'État, reste l'ENR la plus utilisée dans le bâtiment.

Sa lumière permet de produire de l'électricité (photovoltaïque) alors que son rayonnement est transformé en chaleur (thermique) afin de chauffer l'eau domestique.

Le bois énergie est quant à lui couramment utilisé pour le chauffage urbain, mais des verrous technologiques liés aux émissions de particules et à la postcombustion, ainsi qu'à l'entretien restent à lever. Les bâtiments n'étant pas tous éligibles, la géothermie sert de source d'énergie d'appoint. De même, du fait de problèmes sociétaux et de questions liées à la maintenance, l'énergie éolienne n'est principalement utilisée que sur des lieux isolés. Les pompes à chaleur regagnent quant à elles de l'intérêt, même si les performances réalisées ne sont pas encore à la hauteur des attentes.

Description

Le bâtiment est en France le secteur le plus consommateur d'énergie et contribue donc de manière importante à l'émission de CO₂ (70 Mtep par an soit 43 % de l'énergie finale totale) [11]. L'utilisation des énergies renouvelables (ENR) dans le bâtiment représente une voie possible pour limiter cette consommation. Ces sources d'énergie peuvent être intégrées physiquement au bâtiment pour permettre la production, voire le stockage de l'énergie. Ainsi, le bâtiment couvrirait ses propres besoins et serait en mesure de distribuer l'énergie non consommée. Par ailleurs, la production pourrait être mutualisée à l'échelle d'un quartier afin de limiter les pics de consommation.

Applications

Les ENR trouvent leurs applications aussi bien dans le tertiaire que dans le résidentiel. Elles concernent principalement la production d'eau chaude (chauffage et eau chaude sanitaire) et d'électricité (pour couvrir ses propres besoins ou pour la revente).

Alors que la production nationale d'énergie primaire s'élève à 137 Mtep, la production d'énergie primaire renouvelable atteint, en 2008, 19 Mtep, en hausse de 12,7 % par rapport à 2007 [11].

Le solaire photovoltaïque connaît une forte croissance mondiale. L'Association européenne de l'industrie photovoltaïque (EPIA) estime que le parc cumulé se monte à 21 000 MWc en 2009. En 2014, ce chiffre atteindrait les 71,7 à 122,7 GWc. En Europe, le marché cumulé est estimé à 14 GWc en 2009 et entre 46,7 et 66,1 GWc d'ici à 2014. La France se situe en cinquième position mondiale avec un parc cumulé de 430 MWc en 2009. Le marché du photovoltaïque dans le bâtiment atteindrait, en France, 13,4 GWc cumulés fin 2020 [17]. Une concertation est en cours avec la puissance publique sur les coûts de ce déploiement.

Le marché du solaire thermique est également en croissance. Le parc solaire thermique installé fin 2008 en Europe atteint 19 982,7 MWth, avec des marchés leaders tels que l'Allemagne [18]. En France, le Plan Soleil de l'Ademe en 1999 a permis d'encourager son utilisation. Le parc cumulé français fin 2008 totalisait ainsi près de 1,9 million de m² installés, soit un équivalent de 1 314 MWth. Il est estimé à plus de 21 millions de m² en 2020 [18].

Les ENR concernent tant le secteur de la rénovation que celui de la construction neuve. Le stock de bâtiment actuel représente plus de 814 millions de m² de bâtiments tertiaires chauffés [11], auxquels s'ajoutent chaque année 14 millions de m² : autant d'opportunités d'intégrer et de mutualiser les ENR au sein du bâtiment [11].

Enjeux et impacts

L'intégration et la mutualisation des ENR dans le bâtiment participent de manière active à la réduction de la consommation énergétique. Les pays industrialisés sont tenus de diviser leurs émissions par quatre ou cinq en moins de cinquante ans, soit une consommation moyenne d'énergie primaire de l'ordre d'une centaine de kWh/m² en 2050 pour l'ensemble des bâtiments en service [11].

De plus, le secteur des énergies renouvelables a de fortes retombées économiques. Ainsi, considérant le fort potentiel de développement du solaire photovoltaïque et thermique en France, près de 120 000 emplois seraient mobilisés d'ici à 2020 [11].

Par ailleurs, la mise en place de standards pour l'intégration des ENR aboutirait à une intégration physique rapide, efficace et sûre.

Certains freins, tels que la disponibilité de la ressource, dans le cas de la biomasse notamment, peuvent néanmoins ralentir leur progression. La formation des professionnels reste également un frein au développement. Par ailleurs, les problèmes de sécurité (notamment pour le photovoltaïque), et d'étanchéité ne sont pas encore résolus. La question de la responsabilité financière est également importante entre les corps de métier. De plus, en termes d'acceptabilité, les coûts d'installation élevés peuvent freiner l'adhésion des consommateurs.

Afin de pallier tout ou partie de ces verrous et ainsi améliorer la rentabilité économique de ces innovations, une rupture technologique est donc nécessaire.

Acteurs

Principaux acteurs français

- **R&D** : CEA, Cenerg, Certisolis, Cethyl, Cetiat, Costic, CSTB, GRETh, Ines, Itebe, LNE, Promes
- **Structures relais** : Advancity, Ademe, Afineole, Afpac, Alsace Energivie, Avenia, Capenergies, Cler, CRE, Derbi, Dream, Enerplan, Estif, Fondation pour le Développement des Energies Renouvelables, Observ'ER, S2E2, Technosolar, Tenerrdis
- **Industriels** : Apex BP Solar, CIAT, Clipsol, EDF, Enalsa, Erset, France Géothermie, Photowatt, Poweo, Saint-Gobain, Technibel

Position de la France

La France se situe dans la moyenne des pays européens quant à la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie primaire (7,5 % en 2008 [19]), mais elle reste loin derrière les pays les plus avancés, tels que la Suède, la Lettonie, l'Autriche ou la Finlande. La Suède

Degré de diffusion dans l'absolu

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

Degré de diffusion en France

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation



Liens avec d'autres technologies clés

40

42

48

50

57

70

s'est par exemple fixé comme objectif d'atteindre 49 % de production d'ENR d'ici à 2020, ce taux se montant aujourd'hui à 40 % [16].

Les aides fiscales ont permis de développer la maîtrise des différents usages des ENR dans le bâtiment, particulièrement dans le solaire. L'Ademe a par ailleurs lancé plusieurs programmes, dont le programme « bois énergie 2000-2006 » et le Plan Soleil (lancé en 1999). La France possède par ailleurs le deuxième potentiel éolien européen, ainsi qu'un très bon potentiel solaire. Cependant, ces aides sont focalisées sur les technologies disponibles et non sur les technologies d'avenir.

Analyse AFOM

Atouts

Soutien de la demande par les politiques publiques (Grenelle de l'environnement, aides fiscales, etc.) ; compétences technologiques présentes ; potentiel environnemental favorable, par exemple avec un ensoleillement de 1 200 kWh/m²/an.

Faiblesses

Peu d'acteurs reconnus ; cadre réglementaire rigide et complexe ; manque de main d'œuvre qualifiée.

Opportunités

Marché potentiel important et possibilité à l'export ; création d'emplois ; place pour des acteurs français à l'international (marché mondial encore très fragmenté).

Menaces

Forte concurrence et retard par rapport aux pays européens leaders.

Recommandations

De forts investissements sont nécessaires pour lever les verrous technologiques et espérer un gain de compétitivité. Il sera pour cela nécessaire d'adapter les dispositifs de soutien à l'innovation, notamment par des appels à projets spécifiques. De tels outils permettront également de développer le tissu d'industriels.

Par ailleurs, il existe un réel besoin de mesure et de garantie de la performance. Ces enjeux peuvent être adressés par la mise en place de méthodes de calcul des performances, de standards et de labels français.

L'élaboration de solutions clés en main est également un point déterminant. Le fait de favoriser l'interdisciplinarité avec la création de plateformes mutualisées innovantes et de soutenir les plateformes existantes le permettrait. Enfin, l'enjeu réside dans l'utilisation simultanée de différentes ENR, selon le type de bâtiment considéré, son usage, ainsi que sa localisation géographique : encourager la recherche sur l'intégration simultanée de différentes ENR par le biais d'appels à projets spécifiques et de démonstrateurs dédiés, équipés de capteurs, intégrant les TIC et conçus dans une optique évolutive, permettrait d'y répondre. De tels démonstrateurs permettraient également de prendre en compte les aspects d'usages, de multifonctionnalité, d'esthétisme et de confort, de facilité de mise en œuvre et de gestion, de santé-environnement, ainsi que les notions de coût, etc.

Maturité (échelle TRL)

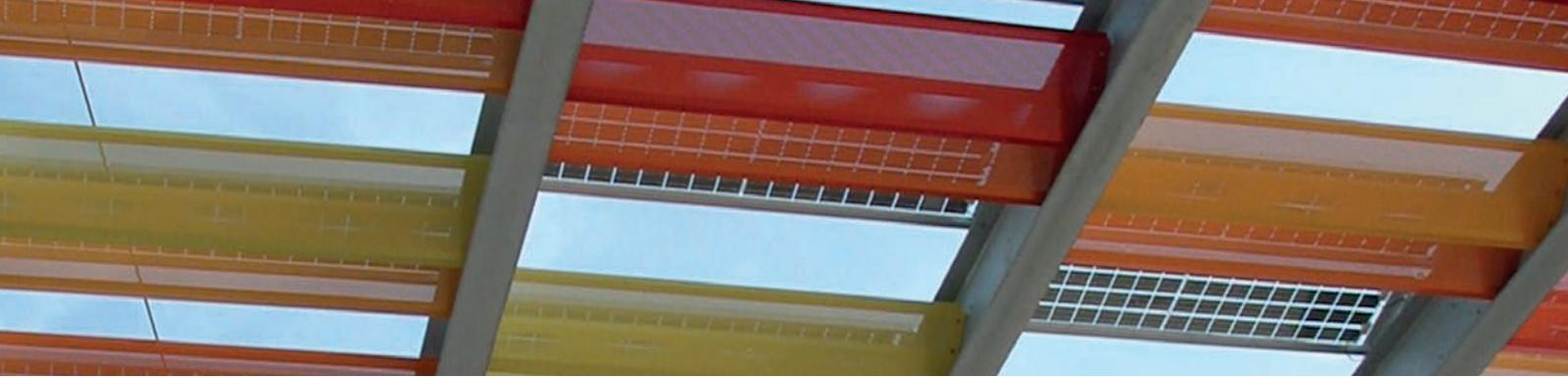
●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

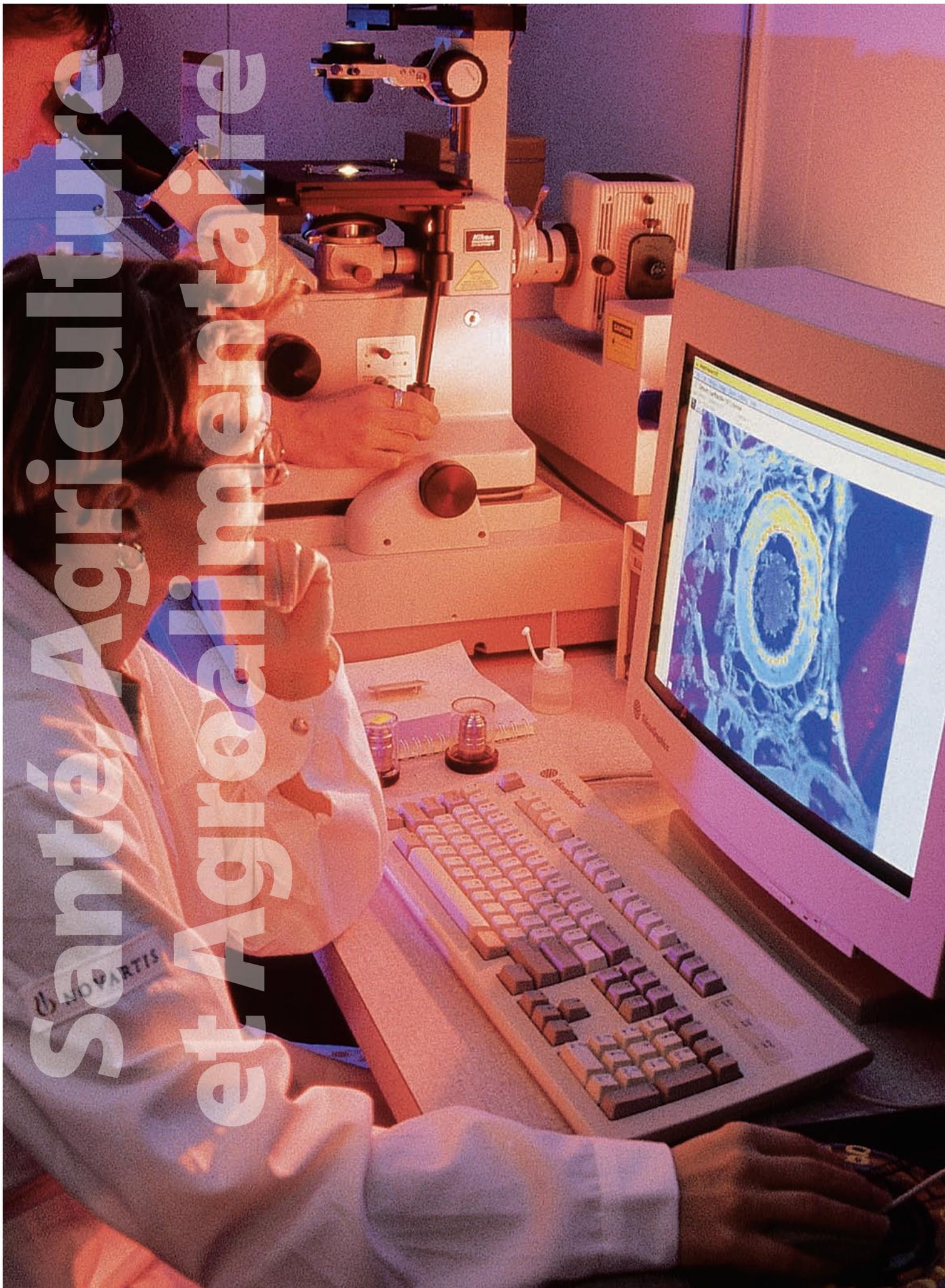
Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



BIBLIOGRAPHIE

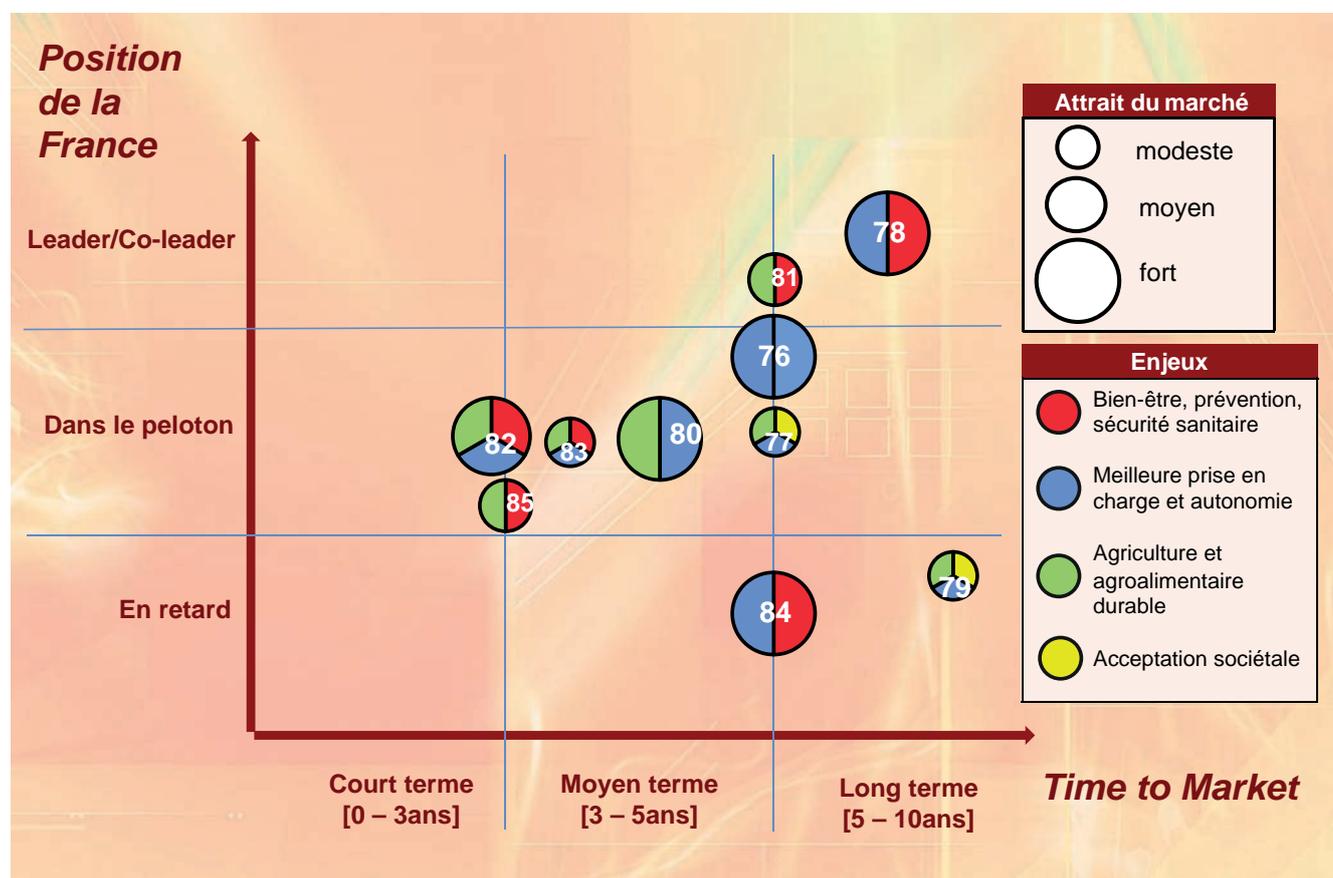
- [1] Capeb d'après Unedic – EAE
- [2] Capeb d'après Sirene au premier janvier 2008
- [3] Estimation Capeb à partir des données 2007 du BAESP
- [4] Artisanat du bâtiment, Capeb, Chiffres clés 2009
- [5] Capeb d'après EAE 2007
- [6] Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Emploi, Sessi, *Les fournisseurs de la construction en chiffres*, édition 2007
- [7] Pelletier, P., Rapport du comité opérationnel *Rénovation des bâtiments existants*, 2008
- [8] MEEDDM, www.developpement-durable.gouv.fr
- [9] Ceren, www.ceren.fr
- [10] The Boston Consulting Group, *Développer les éco-industries en France*, décembre 2008
- [11] Ademe, www.ademe.fr
- [12] JEC Composites, www.jeccomposites.com
- [13] Puech J., *Mise en valeur de la forêt française et développement de la filière bois*, 2009
- [14] eXpert, www.projet-expert.com
- [15] Usine nouvelle, www.usinenouvelle.com, d'après Énergie 2007 et le ministère de l'Énergie, 2010
- [16] Euractiv, www.euractiv.com
- [17] Epia, www.epia.org
- [18] Enerplan, www.enerplan.asso.fr
- [19] Insee, www.insee.fr
- IT FFB, *Maquette numérique bâtiment – BIM-IFC*, mai 2009
- MEEDDM, *Etude « filières vertes » : les filières industrielles stratégiques de la croissance verte*, octobre 2009
- Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Emploi, *Les fournisseurs de la construction en chiffres*, édition 2007
- Nth Power & Fraunhofer, *Innovating for better buildings – An opportunity disguised as a meltdown*, octobre 2009
- Pelletier, P., Rapport du comité de filière « métiers du bâtiment », décembre 2009
- Prebat, Ademe, CSTB & Puca, *Comparaison internationale bâtiment et énergie*, décembre 2007
- World Business Council for Sustainable Development, *Energy efficiency in buildings – Transforming the market*, avril 2009
- Xerfi, *Marchés de la rénovation thermique des bâtiments à l'horizon 2012*, janvier 2010



Santé, Agriculture et Agroalimentaire

Santé, Agriculture et Agroalimentaire

- 76. Ingénierie cellulaire et tissulaire
- 77. Ingénierie génomique
- 78. Ingénierie du système immunitaire
- 79. Technologies pour la biologie de synthèse*
- 80. Systèmes bio-embarqués
- 81. Technologies pour la maîtrise des écosystèmes microbiens
- 82. Capteurs pour le suivi en temps réel
- 83. Technologies de diagnostic rapide
- 84. Technologies pour l'imagerie du vivant
- 85. Technologies douces d'assainissement



(*) TC 79 : il s'agit de prévision à cinq ans ; les prévisions sont plus importantes à 10-15 ans.

Contexte et enjeux

Dans le cadre de l'étude, le secteur des sciences du vivant comprend les technologies de la santé, de la cosmétique, de l'agriculture et de l'agroalimentaire, couvrant les besoins des individus de se nourrir et de se soigner. Tous ces domaines sont de forts contributeurs dans la balance commerciale française.

Santé

Les secteurs de la santé peuvent être classés en trois grands groupes :

- les services de santé : l'ensemble des services de santé et de soin fournis à la population ;
- les produits de santé : l'ensemble des produits visant à maintenir la bonne santé de la population ou à traiter des personnes souffrantes. Ces produits sont issus des industries de santé ;
- les services de support à la santé : l'ensemble des services n'ayant pas directement trait au système de soin mais visant à supporter les services et les produits de santé.

Parmi ces secteurs, les produits et services générateurs de développement économique pour les entreprises figurent ci-dessous.

Services de santé et de bien-être	Services sociaux pour la santé	• Soins à domicile
	Dispositifs médicaux	• Industrie des dispositifs médicaux
Produits de santé et de bien-être	Produits pharmaceutiques	• Industrie pharmaceutique • Synthèse d'ingrédients pharmaceutiques actifs • Homéopathie
	Alimentation santé	• Industrie des compléments alimentaires • Industrie des aliments fonctionnels
	Cosmétique	• Parfums • Produits de toilette
Services de support	Services à l'industrie pharmaceutique	• Grossistes répartiteurs • Contrat Research / Manufacturing Organizations (CRO/CMO) • Autres (sociétés de conseil par exemple)
	Prise en charge	• Assurance publique • Assurances privées • Fonds d'investissement • Fonds de pension
	E-Santé	• Industrie de la e-santé

Les industries de santé se partagent en deux domaines : d'une part, celles qui développent et commercialisent des produits pharmaceutiques de base et des médicaments, d'autre part, celles qui élaborent et commercialisent des dispositifs médicaux. Elles réalisaient en 2008 un chiffre d'affaires mondial de 716 Md€ [1, 2]. En Europe, la balance commerciale des industries de santé est fortement positive avec 34,8 Md€, dont 29 Md€ pour l'industrie pharmaceutique et 5,8 Md€ pour l'industrie des dispositifs médicaux [3].

Produits de santé : produits pharmaceutiques

Chiffres clés des industries de la pharmacie

	Chiffre d'affaires HT (Md€)	Salariés (milliers)	Entreprises de 20 salariés et plus
Fabrication de produits pharmaceutiques de base	1,90	7,7	23
Fabrication de médicaments	42,3	89,4	191
Fabrication d'autres produits pharmaceutiques	2,2	11	36
Total pour les industries de la santé	46,4	108,1	250

Le marché mondial du médicament atteint 550 Md€ en 2008 [5] et connaît un taux de croissance entre 5 et 7 % sur la période 2006-2008, notamment du fait de l'augmentation rapide du niveau de vie dans les pays émergents et de l'exigence croissante de la population quant à la qualité de sa prise en charge. Le marché européen représente 32 % de ce marché. La France a quant à elle généré un chiffre d'affaires de 50 Md€ (prix fabricants HT) en 2009, soit une progression de 7,7 % en deux ans [1, 4]. La France est ainsi le premier pays producteur de médicaments dans l'UE25. L'industrie pharmaceutique européenne emploie 635 000 salariés dont 117 000 en recherche et développement (R&D).

L'industrie pharmaceutique a un poids croissant dans l'économie française. En effet, la croissance de la valeur ajoutée en volume de l'industrie pharmaceutique a été de 8 % par an, alors que celle de l'économie au global n'a été que de 2,1 % [6]. Par ailleurs, il s'agit du deuxième secteur industriel pour le niveau d'investissement en recherche, avec près de 5 Md€ investis en 2008 [6] ; au niveau européen l'industrie pharmaceutique se place en première position pour son effort de R&D (avec 27 Md€ investis en 2008 [5]). Enfin, les échanges commerciaux de médicaments représentent le quatrième excédent commercial de la France, avec 6,8 Md€ en 2009 [1]. La France est ainsi le cinquième exportateur pharmaceutique mondial, mais ses parts de marché à l'exportation de médicaments ont toutefois reculé depuis la fin des années 1990.

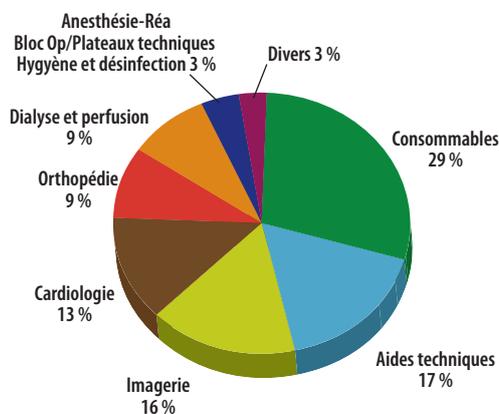
La France constitue le deuxième marché de santé animale au monde, et le premier marché européen, avec une industrie du médicament vétérinaire réalisant un chiffre d'affaires de 835 M€ en France et 1,4 Md€ à l'exportation [6].

L'industrie pharmaceutique a longtemps été un secteur important en termes de création nette d'emplois industriels ; toutefois, la conjoncture actuelle menace d'un important recul de l'emploi à l'horizon 2015 [1].

Produits de santé : dispositifs médicaux

Le marché mondial du dispositif médical hors diagnostic *in vitro* est estimé à environ 166,6 Md€ en 2008, dont 53,6 Md€ pour le marché européen [7], et connaît une progression de 5-6 % par an [2]. L'Allemagne est clairement le leader du marché européen, avec 27,8 % du marché européen. En France, le marché était de 6,2 Md€ en 2008 pour les dispositifs médicaux hors diagnostic *in vitro* [2].

Répartition du marché des dispositifs médicaux (hors diagnostic *in vitro*) en 2008 en France [2] (100% = 6,2 Md€)



En 2008, le marché mondial du diagnostic *in vitro* est de 27 Md€, dont 9,98 Md€ pour le marché européen [8, 9]. La France représente, quant à elle, 16,6 % de ce marché, se plaçant en seconde place en Europe (derrière l'Allemagne).

Il y a environ 11 000 entreprises de technologies médicales en Europe, sachant que les petites et moyennes entreprises (PME) représentent plus de 80 % de ce tissu [7]. L'industrie technologique médicale européenne emploie 435 000 salariés et l'effort de R&D représente 8 % du chiffre d'affaires en 2008 [2, 6]. En France, on dénombre plus de 5 300 entreprises et environ 40 000 salariés [6].

L'enjeu pour les entreprises françaises est d'exister dans les dispositifs médicaux à forte valeur ajoutée, pour conquérir des parts de marché, en particulier sur les marchés publics hospitaliers, qui pèsent en France plus de 15 Md€ par an [10], et à l'étranger.

Aliments santé et produits de cosmétique

Certains aliments santé ou alicaments revendiquent un effet sur la santé, reconnu ou non par les autorités de santé, sans avoir le statut de médicament. Le marché des alicaments représente un chiffre d'affaires de 80 Md€ en Europe, Amérique du Nord et Japon [6] (chiffre incluant les compléments alimentaires). En 2007, le marché mondial des aliments fonctionnels (hors compléments alimentaires) atteint 46,7 Md€ et les projections ciblent un rythme de croissance de 5,7 % de croissance par an [11] après avoir connu une croissance de 13 à 14 % par an les cinq années précédentes [12]. Plusieurs raisons viennent expliquer cette croissance : le vieillissement de la population, l'augmentation des dépenses de santé, l'intérêt croissant des consommateurs pour la nutrition et le bien-être, ainsi que les avancées scientifiques et cliniques reliant la nutrition à la prévention des maladies.

En France, le marché des alicaments a connu une croissance de 10 % en 2007 et un volume de ventes de 8 Md€ [13]. L'industrie évolue du fait de cet essor, avec un intérêt marqué des industries pharmaceutiques elles-mêmes (acquisition par Sanofi-Aventis de Symbion) et l'orientation massive des acteurs de l'agroalimentaire vers ce marché (acquisition de Numico par Danone par exemple).

Chiffres clés des industries de fabrication de parfums et de produits pour la toilette 2007, pour les entreprises de 20 salariés ou plus

	PMI	250 ou plus	Taille hors tranche	Ensemble (20 ou plus)
Nombre d'entreprises	138,0	32	25	195
Effectif employé (milliers)	10,8	28,2	5,7	44,7
Chiffre d'affaires HT (Md€)	2,5	9,5	5,0	17,0
Exportations	0,9	4,0	3,3	8,2

L'industrie de la cosmétique continue à peser un poids non négligeable dans l'industrie française, avec 17 Md€ de chiffre d'affaires en 2007, dont quasiment la moitié réalisée à l'export [1, 4].

Services

Parmi les services dits de support à la santé, on comprend essentiellement les *Contract Research Organizations* (CRO) et les *Contract Manufacturing Organizations* (CMO), les assurances privées et les entreprises d'e-santé, qui présentent les plus forts potentiels de croissance en termes de valeur économique.

Le marché des CMO devrait croître de 22,2 Md€ en 2009 à 33,7 Md€ en 2014 [18], les industries pharmaceutiques cherchant à réduire les coûts fixes associés aux équipements de production, particulièrement élevés dans le cas des biomolécules. Selon les sources, le marché mondial des CRO est de 15 à 19 Md€ en 2010 [13, 19, 20], dont 12 Md€ pour la recherche clinique, et devrait connaître une croissance de plus de 8 % par an. En France, 80 sociétés se partagent le marché des CRO cliniques d'environ 600 M€, dont 56 % réalisés par les filiales des groupes étrangers [13]. Des services sont par ailleurs développés autour de nouveaux modèles *in vivo* et *ex vivo*.

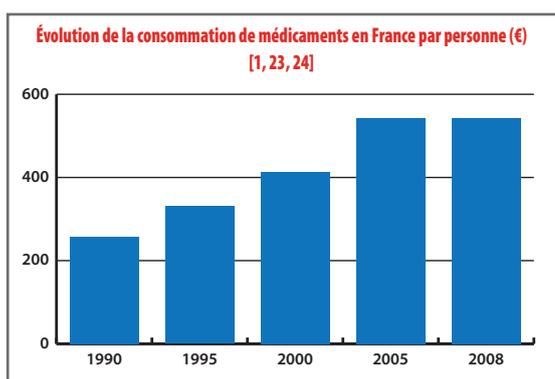
Le marché de la e-santé représente actuellement 15 à 20 Md€ en Europe et repose sur un tissu particulièrement fragmenté, avec 20 leaders industriels et pas moins de 5 000 PME opérant sur ce marché [14]. Il compte ainsi pour 2 % des dépenses de santé en Europe, alors que l'objectif qui était affiché par l'UE pour 2010 était de 5 %. En France les TIC ne représentent encore qu'1,5 % des dépenses de santé [15, 16]. Toutefois, le marché de la e-santé est amené à croître fortement parce qu'il fait l'objet d'actions dédiées de la part des autorités publiques. En effet, la e-santé est porteuse d'une forte création de valeur, en termes de développement de l'offre industrielle et de services innovants ainsi que de potentiel d'exportation. Elle permet également de diminuer les dépenses de santé, grâce au développement de l'hospitalisation à domicile en alternative aux coûts d'hospitalisation classique (56 % du budget de l'assurance maladie [17]) ou grâce à l'économie réalisée sur les transferts des patients grâce aux dispositifs de téléconsultation ou téléradiologie. Enfin, la e-santé permet véritablement l'amélioration de la qualité des soins délivrés à la population.

Les services à la personne représentent quant à eux un chiffre d'affaires en France de 15,6 Md€ en 2008 [21] contre 11 Md€ en 2005 [22].

Enjeux globaux dans le domaine de la santé

Le secteur de la santé, aussi bien d'un point de vue industriel que de service, est en mutation profonde. En effet, les tendan-

ces démographiques et épidémiologiques font émerger de nouveaux enjeux majeurs en termes de santé publique (cancer, maladies cardiovasculaires, maladies neurodégénératives, pathologies émergentes, autonomie à domicile, etc.). Les attentes sociétales sont également de plus en plus fortes : la croissance des dépenses de santé étant supérieure à celle du PIB, il est nécessaire de gérer cette augmentation tout en maintenant la qualité et l'égalité d'accès aux soins.



Les affections longues durées (ALD) pèsent de plus en plus lourd sur les dépenses de santé. Le nombre de personnes en ALD en 2015 est estimé à 12 millions d'assurés, dont 11 millions pour le seul régime général [25], soit une hausse totale entre 2006 et 2015 de 42 %. Cette progression est principalement liée à l'augmentation de la prévalence des ALD à structure d'âge identique (pour les trois quarts), et dans une moindre mesure au vieillissement de la population (pour un quart). La projection montre que 70 % des remboursements seraient concentrés sur les ALD en 2015. En outre, la croissance des dépenses liées aux personnes en ALD compte pour plus de 80 % dans la hausse tendancielle des dépenses. Dans ce cadre, les dépenses de l'assurance maladie passeraient de 140 Md€ en 2006 à un montant de 210 Md€ environ en 2015 (données tous régimes). La gestion dans le temps du dispositif, la modification des conditions d'entrée, l'extension de la prise en compte de certains facteurs de risque, font qu'un nombre important de personnes en ALD ne sont en réalité pas exposées à des maladies « longues et coûteuses » comme le voudrait la réglementation. La Haute Autorité de santé (HAS) travaille sur les différentes évolutions possibles dans les critères d'entrée en ALD.

Devant la complexité de notre environnement, améliorer la prévention, l'observance des patients et assurer une prise en charge globale des malades devient une nécessité.

Les conséquences sont donc nombreuses sur les entreprises de santé. En ce qui concerne les médicaments, on observe un ralentissement du marché du médicament (notamment en termes de nombre de lancements de nouvelles molécules) et la part grandissante des génériques. Dans ce cadre, les entreprises françaises, et plus largement européennes, doivent faire face à un renforcement de la compétition internationale, notamment asiatique. Ainsi, tandis que l'industrie pharmaceutique a ouvert 14 sites de recherche en Asie entre 2001 et 2006, 18 ont

été fermés en Europe [3]. Les biomédicaments prennent également une part croissante : en 2012, ils représenteront 15 % des médicaments disponibles contre 10 % actuellement [6]. Qu'il s'agisse de génériques ou de biomédicaments, les industriels font face à des défis, en termes de maîtrise et de capacité de production (en direct ou par façonnage).

On observe également une accélération des évolutions technologiques, avec le développement de nouveaux outils et concepts au service de la santé, tels que le séquençage du génome humain, la pharmacogénomique, l'imagerie fonctionnelle, etc. Les processus de R&D s'en trouvent donc impactés, en étant plus transversaux, à la fois en termes d'acteurs impliqués (recherche publique, jeunes pousses, industries pharmaceutiques) que d'outils à disposition. D'autres facteurs impliquent une nécessaire évolution des processus de R&D. L'émergence de la médecine personnalisée et de la télésanté y participent également, puisqu'elles impliquent une prise en charge de plus en plus multidisciplinaire et globale des pathologies, alliant produits et services autour du patient. Les entreprises sont donc confrontées à l'évolution d'un modèle de production prévisionnelle vers celui d'une distribution à la demande, ainsi qu'à la complexification des modèles économiques, comme en témoigne la migration de certaines industries pharmaceutiques vers le diagnostic, voire vers le développement de services, ou encore vers la nutrition santé.

Agriculture et Agroalimentaire

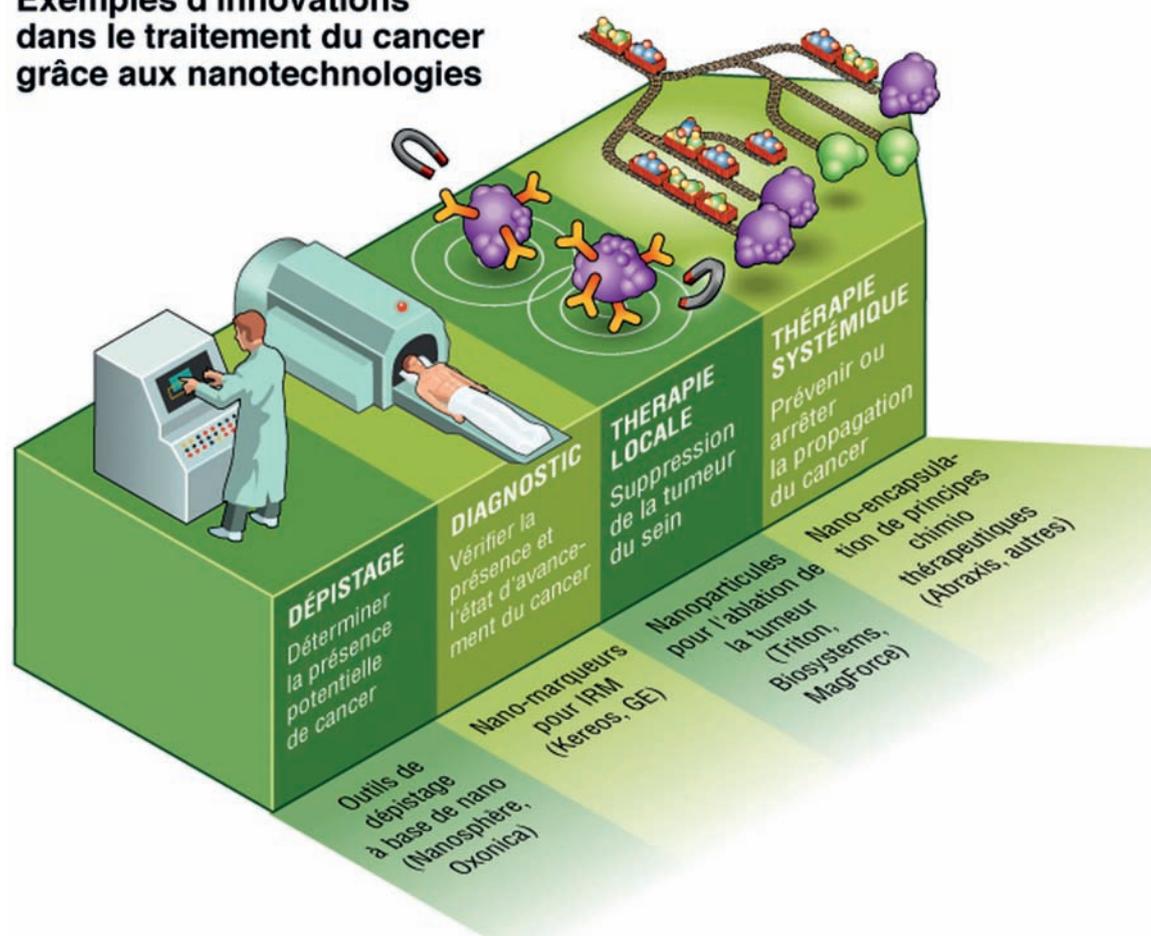
Industrie agroalimentaire

Chiffres clés de l'industrie agroalimentaire pour les entreprises de 20 salariés ou plus, 2007

	Chiffre d'affaires HT (Md€)	Salariés (milliers)	Entreprises de 20 salariés et plus
Industrie des viandes	26,9	105,2	982
Industrie du poisson	2,4	10,1	121
Industrie des fruits et légumes	6,7	23,9	195
Industrie des corps gras	2,3	2,2	42
Industrie laitière	22,2	49,3	537
Travail des grains, fabrication de produits amylacés	4,6	11,0	119
Fabrication de produits de boulangerie-pâtisserie et de pâtes	7,8	40,4	390
Autres industries alimentaires	20,9	63,6	616
Fabrication d'aliments pour animaux	8,3	16,1	219
Fabrication de boissons	18,1	34,1	462
Total Industrie Agroalimentaire	120,2	355,9	3 683,0

En France, en 2007, le chiffre d'affaires du secteur atteint 163 Md€ HT [26] dont 120,2 Md€ réalisés par des entreprises de 20 salariés ou plus (voir tableau ci-dessus). L'industrie agroalimentaire occupe ainsi une place importante dans l'économie nationale : il s'agit de la première industrie française en chiffre d'affaires ; elle emploie 412 500 salariés et présente une balance commerciale excédentaire de 6,6 Md€ [26]. En revanche, le chiffre d'affaires de l'industrie agroalimentaire est en baisse, de même que l'emploi

Exemples d'innovations dans le traitement du cancer grâce aux nanotechnologies



et le solde commercial. En effet, en 2004, les entreprises de plus de 20 salariés représentaient un chiffre d'affaires de 125,5 Md€ contre 120,2 en 2007, et employaient 386 000 salariés contre 356 000 en 2007. D'après des chiffres publiés par le ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche, le chiffre d'affaires 2009 serait de 150 Md€. En 2004, le solde commercial était positif à 7,5 Md€, et d'ores et déjà en baisse de 7,4 % par rapport à 2003 [27]. Les entreprises positionnées à l'export connaissent une concurrence accrue des pays émergents. Dans l'UE27, le marché de l'alimentation animale (hors animaux domestiques) est de 145 millions de tonnes, sur lesquelles la France détient 15 % de parts de marché [28]. Pourtant, la balance commerciale de la France sur l'alimentation animale est déficitaire. L'industrie agroalimentaire demeure toutefois un pilier de l'économie française, et participe avec l'agriculture à l'aménagement du territoire et à l'image de marque de la France. L'industrie agroalimentaire reste très dispersée, avec pas de moins de 10 500 entreprises dont 97 % de PME et 70 % de TPE (très petites entreprises) [29]. Ainsi, beaucoup d'entreprises n'ont pas une taille critique suffisante pour investir et aborder le marché international. Pourtant, de nombreux défis doivent être relevés. L'amont agricole est en pleine mutation, l'aval de la filière est particulièrement concentré et les industries agro-

alimentaires sont confrontées à des marges faibles du fait des rapports de force avec les distributeurs mais aussi de la volatilité des prix des matières premières. Cette situation nuit également à l'image du milieu aux yeux des consommateurs, qui ont déjà tendance à réduire la part de leur budget dédié à l'agroalimentaire. D'autre part, les exigences réglementaires sont croissantes, sont souvent plus fortes en France que dans d'autres pays, et demandent des moyens humains et financiers pour y répondre. Les entreprises doivent également lutter contre les risques de fraude et de contrefaçon.

Le degré d'innovation est plus faible comparativement à d'autres secteurs industriels. Dans l'agroalimentaire, 7 % du chiffre d'affaires est consacré à l'innovation en moyenne [29]. Moins de 1 % du chiffre d'affaires est dédié à la recherche en tant que telle. Toutefois, le secteur est propice à d'autres formes d'innovations, qui seront capitales à l'avenir : marketing, circuits de distribution, emballages, recettes, design, qualité, développement durable, services associés, etc. Des experts soulignent par exemple l'importance des stratégies mutualisées, notamment en termes de logistique et d'exportation.

Les industriels doivent également anticiper les attentes des consommateurs, elles aussi croissantes et changeantes : alimentation au service du bien-être et de la santé, produits

d'origine biologique, traçabilité et sécurité alimentaire, transparence dans la chaîne alimentaire et logistique, prise en compte de la problématique environnementale à la fois dans les procédés et dans la logistique. Au-delà des attentes des consommateurs, comprendre leurs processus de choix est également un enjeu majeur de l'agroalimentaire, d'où le recours à des outils existants, ou à venir, de type observatoire.

Agriculture

En France, le secteur emploie, en 2009, 900 000 personnes [30], à temps plein ou partiel. Ce nombre continue de décroître, de 7 % depuis 2005 et de plus de la moitié depuis 1988, de même que le nombre d'exploitations agricoles. Les indicateurs de la santé du secteur sont tous à la baisse, et ce, depuis plusieurs années, notamment du fait de la forte baisse des prix agricoles.

Indicateurs des comptes agricoles provisoires 2009
(source : Agreste)

	2009	Évolution 2008-2009	Évolution 2007-2008
Production agricole hors subvention (Md€)	60,6	-8,5	
Production agricole au prix de base (Md€)	63,1	-8,3	
Valeur ajoutée brute	22,2	-16,8 %	-6,8 %
Résultat agricole net		-19,6 %	-11,6 %

La France contribue pourtant toujours largement à la production européenne (à hauteur de 18 % hors subventions [21]). Au-delà de cet enjeu de résistance à la volatilité des prix, l'agriculture fait toujours face à l'enjeu d'identifier et de mettre en place les bonnes pratiques en termes d'occupation et de valorisation des territoires, de respect des ressources naturelles et de l'environnement. L'agriculture et la forêt doivent à la fois produire plus pour répondre aux besoins de la population et aux besoins croissants liés à la valorisation non alimentaire des cultures, et produire mieux pour préserver les ressources naturelles et la biodiversité. Le ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche a ainsi défini un plan pour un nouveau modèle agricole : Objectif Terres 2020. Ce plan définit les axes de travail prioritaires : réduire l'usage et l'impact des produits phytosanitaires (notamment via le plan Écophyto, qui vise à réduire de 50 % l'usage des produits phytosanitaires en agriculture à horizon 2018), engager les entreprises agricoles dans le développement durable (notamment en améliorant la performance énergétique des exploitations), développer les potentialités de l'agriculture biologique, remettre l'agronomie au centre de l'agriculture et repenser des pratiques adaptées aux territoires. Les efforts doivent donc être poursuivis pour le développement d'une ingénierie de l'agriculture durable, par la mise en place de techniques alternatives de culture, de nouvelles variétés, etc., mais aussi porter sur la structuration des filières, par exemple dans le cas de l'agriculture biologique, sur la formation, sur la certification environnementale, etc. Enfin, le soutien public de l'agriculture reste coûteux ; des débats sur le futur de la politique agricole commune (post 2013) sont notamment en cours.

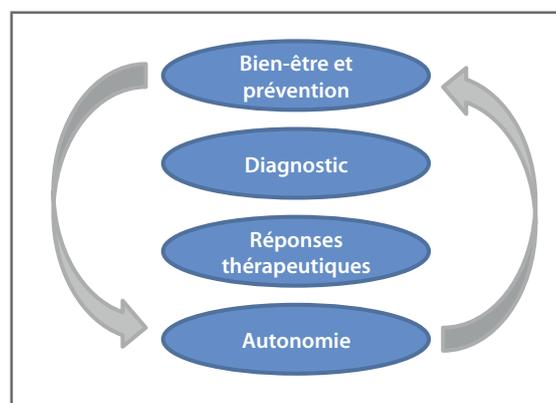
Services

De nombreux services existent également pour l'agriculture et l'agroalimentaire : services de R&D, bureaux d'études, services de conditionnement, sociétés de distribution (nouveaux types de canaux comme ceux des paniers biologiques), services de conseil notamment en innovation.

Les grandes tendances d'évolution du secteur

Santé

Les enjeux dans le domaine de la santé sont repris et illustrés ci-dessous :



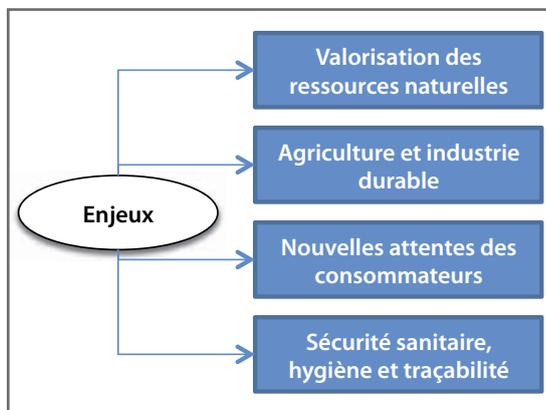
Pour répondre aux enjeux de bien-être, de prévention et d'autonomie, de nombreux produits et services vont rencontrer une demande croissante (au-delà des loisirs et de la culture). Les produits cosmétiques sont ainsi toujours recherchés par les consommateurs, et les industries développent des formulations plus innovantes, de nouveaux ingrédients apportant des fonctionnalités nouvelles, tout en étant abordables pour les consommateurs. Les produits alliant nutrition et santé (compléments alimentaires, aliments fonctionnels) ont vu leur marché se développer fortement et cette tendance devrait se poursuivre. À l'image de la cosmétique, mais aussi de la pharmacie, l'innovation passe également par l'identification et la caractérisation de nouveaux ingrédients, dont des ingrédients d'origine naturelle (ressources végétales, animales, marines), leur formulation, puis par le design des produits, leur stratégie marketing et leurs circuits de distribution. De nombreuses sociétés de service gravitent autour de ces activités, proposant leurs compétences en extraction, synthèse et caractérisation de composés, en formulation, en production à façon, en stratégie et en marketing. L'autonomie des personnes est un enjeu majeur de notre société, aussi bien pour les personnes âgées, souffrantes ou non, que pour les patients atteints de maladies chroniques ou en retour d'hospitalisation. Elle répond autant à un besoin de bien-être des personnes qu'à la nécessité de réduire les coûts de santé. Ainsi, les années à venir verront se multiplier les thérapies utili-

sables à domicile (de par leurs voies d'administration) ; des dispositifs médicaux, implantables ou non, permettant d'ajuster la délivrance de médicaments, suivre l'activité des personnes ou des paramètres biologiques et physiologiques ; des systèmes de communication entre les personnes à domicile et le personnel médical. On retrouve ainsi un large pan de la télésanté, avec notamment la télémédecine, tant en termes de produits que de services associés. De nombreuses initiatives sont en cours pour pallier les verrous actuels de la télémédecine, laissant présager d'un réel développement de l'offre dans les prochaines années. Plus largement, l'ensemble des services à la personne continuera à se développer et constituera une importante source de création d'emplois. Des dispositifs médicaux continueront à pallier les déficiences sensorielles, motrices et les handicaps de manière générale, de même que des aides techniques et des biens de consommation au design et à l'ergonomie adaptés aux populations concernées.

Le secteur du diagnostic connaît lui aussi des évolutions majeures. Les besoins sont nombreux : améliorer le diagnostic des pathologies, établir un diagnostic plus rapidement, en termes de précocité dans le processus de développement de la pathologie et de rapidité d'analyse. Les efforts des industriels portent ainsi sur l'identification de biomarqueurs spécifiques sur lesquels reposeront de futurs tests de diagnostic. De nouveaux équipements et dispositifs d'analyse seront également nécessaires, soit pour être adaptés aux biomarqueurs qui seront retenus, soit pour permettre la réalisation de multiplexages ou de diagnostics rapides dits « point-of-care ». Les avancées en imagerie, tant en termes techniques que d'interprétation, viendront également compléter l'évolution du domaine du diagnostic. Quel que soit l'outil de diagnostic, des sociétés pourront également se développer grâce à l'élaboration d'outils logiciels d'aide à la décision.

Enfin, le développement de nouvelles approches thérapeutiques se poursuit, et les années à venir verront s'établir ou se développer de nouvelles thérapies innovantes et efficaces : des thérapies ciblées (pour les cancers par exemple), des thérapies cellulaires voire géniques, des organes artificiels et des prothèses présentant une plus grande longévité et résistance, des procédures et équipements de chirurgie mini-invasive, etc. Tous ces développements permettront, d'une part, de proposer des solutions qui font défaut aujourd'hui, d'autre part, de permettre le choix parmi une palette d'outils plus adaptés à la situation de chacun, grâce aux outils de diagnostic et de thérapeutique. De nombreuses activités de service accompagnent le développement de ces outils thérapeutiques et jouent un rôle croissant dans la stratégie des industries pharmaceutiques elles-mêmes. On peut ainsi citer des services d'identification, de synthèse et de caractérisation de composés, d'essais d'efficacité et de toxicité de molécules thérapeutiques, de formulation et de production à façon, et des services en stratégie, marketing et organisation, etc. Avec le séquençage du génome, des acteurs français pourraient prendre une place de choix sur le marché de service de séquençage.

Agriculture et Agroalimentaire



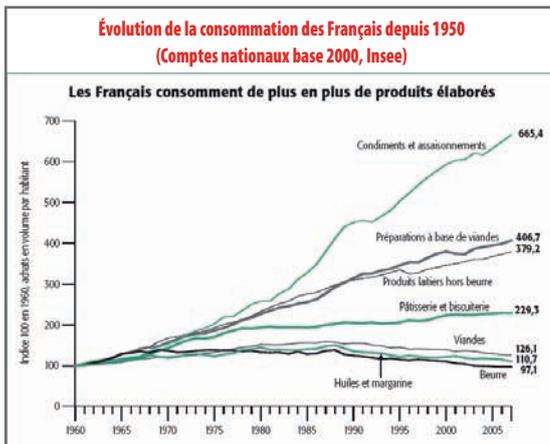
Le ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche a publié une réflexion stratégique sur les dix priorités agro-industrielles de recherche et développement. De nombreux enjeux tournent autour de l'agriculture et de l'alimentaire durable.

Un premier enjeu de l'agriculture et de l'agro-industrie est d'optimiser l'usage des ressources naturelles en les valorisant, cette valorisation pouvant être à usage alimentaire ou non. S'il est entendu que certaines ressources font déjà l'objet de conflits entre usage alimentaire ou non, d'autres ressources peuvent être mieux ou davantage valorisées. La chimie du végétal permet, par exemple, d'avoir accès à de nouvelles molécules fonctionnelles. Les produits qui en sont issus servent de nombreux domaines (plasturgie, habillement, biomédical, etc.). La croissance mondiale des produits de la chimie du végétal est actuellement de 50 % par an. La chimie du végétal est davantage développée dans la section Chimie-Matériaux-Procédés. La valorisation des produits de la mer constitue également une priorité, dans le but d'optimiser les prélèvements des réserves halieutiques et d'accroître la rentabilité des acteurs de la filière. En effet, actuellement, 50 % des poissons et coquillages prélevés ne sont pas valorisés [26] et pourraient être transformés en préparations intégrées dans des produits de consommation, en produits « nouveaux » (plats préparés), recyclés dans l'élaboration d'aliments pour animaux ou valorisés pour des usages non alimentaires (déchets, peaux, etc.).

L'agriculture et l'agroalimentaire doivent également répondre à leurs propres enjeux de durabilité et de respect de l'environnement. De nombreux produits peuvent œuvrer en ce sens et font l'objet de développements. De nouvelles variétés végétales seront sélectionnées pour adapter l'agriculture au changement climatique, aux attentes de forts rendements et de faible consommation en intrants, tout en assurant une haute valeur nutritionnelle et organoleptique (il faut noter que la sélection de nouvelles variétés s'applique également aux plantes d'ornement et d'espace vert). Des produits et outils de sélection des reproducteurs existent également et se développeront encore dans diverses filières animales, soit pour préserver des races, augmenter le rendement des productions animales ou faciliter les conditions d'élevage.

Le développement d'engrais naturels et de produits de phytopharmacie se poursuivra. Des engrais naturels enrichis en micro-organismes sont ainsi prometteurs, de même que des molécules stimulant les défenses naturelles des plantes. Il est également critique de mettre au point de nouveaux aliments pour les animaux d'élevage, pour assurer la substitution des protéines animales.

Au-delà des produits qui caractériseront l'évolution du secteur de l'agroalimentaire, il faut également noter que de nouveaux procédés viendront transformer l'industrie, toujours dans une optique de durabilité : des procédés de maîtrise de l'énergie et de réduction des émissions de CO₂, d'optimisation de la consommation en eau, de prévention et de traitement des rejets et déchets. Les habitudes et choix de consommation alimentaire sont extraordinairement variables, comme le montre le graphique ci-dessous, et doivent être anticipés.



Certains produits se sont démarqués dernièrement et occupent une place de choix sur le marché, offrant ainsi des possibilités de diversification des débouchés pour les entreprises. Les *smoothies*, mélanges de fruits et de légumes mixés, soupes fraîches « micro-ondables », constituent un exemple de marché émergent. Les consommateurs recherchent également des vins plus légers, des produits de charcuterie de la mer et des produits crus (de type sushis). Les aliments fonctionnels et les compléments alimentaires resteront des produits phares, avec de nouvelles fonctionnalités recherchées, bien que la réglementation sur les allégations se durcisse. Les consommateurs sont également en demande de produits prêts à consommer. Cette demande impacte le produit lui-même, le procédé de production et le conditionnement.

Enfin, un enjeu de taille est celui de la sécurité sanitaire, de l'hygiène et de la traçabilité. Ceci impacte, entre autres, le secteur de l'emballage, avec par exemple de futurs emballages actifs capables d'interagir de façon intelligente avec un contenu agroalimentaire ou encore de contenir toutes les informations sur le produit, des films plastiques comestibles, etc. Le respect de cet enjeu passera également par de nouveaux procédés de production et d'assemblage.

Santé, Agriculture et Agroalimentaire

Deux enjeux communs à la santé, à l'agriculture et à l'agroalimentaire doivent être soulignés : la bioproduction et le développement de biomarqueurs.

Tout d'abord, la bioproduction constitue un réel enjeu pour les industriels. L'étude « Bioproduction en 2008 : état des lieux et recommandations pour l'attractivité française » conduite conjointement par le LEEM et le Génopôle, souligne que la part des biomédicaments dans l'industrie pharmaceutique passera de 10 % à plus de 15 % entre 2007 et 2012. Actuellement, les capacités mondiales de bioproduction sont estimées entre 3 et 3,5 ML, dont 30 % en Europe. La France est très en retard, avec à titre d'exemple seulement 1 % de la capacité de bioproduction en cellules mammifères en Europe (contre 55 % en Allemagne) [20, 31, 32]. Au-delà des biothérapies, la bioproduction constitue également un enjeu clé pour les industries agroalimentaires, pour la production de nouveaux ingrédients par exemple. Le développement de la bioproduction dépend de nombreuses technologies. Le choix a été fait de ne pas retenir les technologies pour la bioproduction comme clés en tant que telles. Toutefois, certaines technologies retenues ont pour application la bioproduction et tiennent ainsi en compte cet enjeu particulièrement crucial.

Les biomarqueurs ouvrent de nouvelles perspectives en biologie. Ils peuvent être utilisés pour mieux comprendre les mécanismes associés à une pathologie, découvrir de nouveaux médicaments, tester l'efficacité et la toxicité de nouveaux traitements, stratifier les patients, mettre au point de nouvelles stratégies de diagnostic, etc. Dans l'agroalimentaire, les biomarqueurs permettent non seulement de soutenir et démontrer des allégations nutritionnelles et de santé mais ils peuvent également être utilisés pour la sélection végétale. Plus largement, ils accompagnent une meilleure compréhension des phénomènes biologiques et de toutes les applications qui en découlent. L'identification et le développement de biomarqueurs font appel à un faisceau multiple de technologies et disciplines : génomique, protéomique, métabolomique, technologies d'analyse etc. Dans cette étude, les biomarqueurs ont été considérés comme des applications de technologies retenues comme clés, compte tenu de la diversité des outils au service des biomarqueurs.

Les tendances technologiques et les technologies clés

De très nombreuses technologies et outils sont nécessaires pour le développement des produits et services servant les enjeux à venir. On distingue tout d'abord des technologies servant des thèmes centraux à toutes les disciplines du vivant et pour lesquelles des avancées scientifiques et techniques considérables ont permis d'apporter de nouveaux outils et concepts : la génomique, la transcriptomique, les microRNA, la protéomique et

la métabolomique. Leur utilisation sera un prérequis pour de nombreuses recherches : meilleure compréhension des mécanismes moléculaires et cellulaires, des liens entre une molécule ou un aliment et des fonctions biologiques, identification de nouvelles cibles moléculaires et de biomarqueurs, etc. La plupart de ces technologies n'ont pas été retenues comme clés pour plusieurs raisons : d'une part, il s'agit pour la plupart d'approches méthodologiques arrivant à maturité, d'autre part, l'enjeu réside surtout dans la traduction des connaissances sur le génome et des données « -omiques » en résultats cliniques. Par ailleurs, les technologies utilisées sont aujourd'hui essentiellement américaines (Affimetrix, Agilent, Illumina). Les acteurs français ont en revanche une carte à jouer en termes d'utilisation de ces outils (structuration de plateformes, savoir-faire) et de services de génotypage.

Ce sont davantage les données générées par les approches haut débit et « -omiques » qui sont sous-exploitées. Ceci s'explique en grande partie par le manque de moyens dans les domaines de l'informatique et de la bio-informatique, celle-ci étant définie comme l'ensemble des approches algorithmiques, statistiques et mathématiques permettant d'une part de traiter les données et d'autre part de modéliser la dynamique des réseaux biologiques complexes et des structures moléculaires. Par ailleurs, les approches in silico pour assurer le criblage virtuel et prédire l'ADME (Absorption, Distribution, Métabolisme et Elimination) et la toxicité des molécules sont également un relié. Les technologies pour le calcul intensif ont ainsi été retenues comme clés et traitées dans la section TIC. La simulation moléculaire a également été retenue comme clé et est traitée dans la section Chimie-Matériaux-Procédés.

Parmi les technologies dites transversales figurent également les nanotechnologies appliquées à la biologie. Elles permettent d'apporter une dimension nouvelle pour l'étude de molécules biologiques et de leurs modes d'actions, de nouveaux vecteurs et formes galéniques. Les nanopuces, nanoréacteurs et autres outils miniaturisés permettent de caractériser des propriétés et interactions de molécules sans avoir à les produire à grande échelle, d'étudier des molécules uniques, de développer des systèmes automatisables voire autonomes. Les nanotechnologies constituent ainsi une technologie clé, qui est traitée dans les sections Chimie-Matériaux-Procédés et TIC de ce document.

L'ensemble des enjeux des secteurs de la santé, de l'agriculture et de l'agroalimentaire, peuvent être synthétisés en quatre grands enjeux :

- le bien-être des personnes, la prévention et la sécurité sanitaire ;
- la bioproduction ;
- la meilleure prise en charge des patients ;
- l'agriculture et l'alimentaire durable.

Le schéma ci-contre explicite les technologies clés retenues en fonction de leurs réponses aux enjeux ci-dessus.

Ingénierie cellulaire et tissulaire	<ul style="list-style-type: none"> • Bioproduction • Meilleure prise en charge des patients
Ingénierie génomique	<ul style="list-style-type: none"> • Bioproduction • Meilleure prise en charge des patients • Agriculture et alimentaire durables
Ingénierie du système immunitaire	<ul style="list-style-type: none"> • Bien-être des personnes, prévention et sécurité sanitaire • Meilleure prise en charge des patients
Technologies pour la biologie de synthèse	<ul style="list-style-type: none"> • Bioproduction • Meilleure prise en charge des patients • Agriculture et alimentaire durables
Systèmes bio-embarqués	<ul style="list-style-type: none"> • Meilleure prise en charge des patients • Agriculture et alimentaire durables
Technologies pour la maîtrise des écosystèmes microbiens	<ul style="list-style-type: none"> • Bien-être des personnes, prévention et sécurité sanitaire • Agriculture et agroalimentaire durables
Capteurs pour le suivi en temps réel	<ul style="list-style-type: none"> • Bien-être des personnes, prévention et sécurité sanitaire • Meilleure prise en charge des patients • Agriculture et agroalimentaire durables
Technologies de diagnostic rapide	<ul style="list-style-type: none"> • Bien-être des personnes, prévention et sécurité sanitaire • Meilleure prise en charge des patients • Agriculture et agroalimentaire durables
Technologies pour l'imagerie du vivant	<ul style="list-style-type: none"> • Bien-être des personnes, prévention et sécurité sanitaire • Meilleure prise en charge des patients
Technologies douces d'assainissement	<ul style="list-style-type: none"> • Bien-être des personnes, prévention et sécurité sanitaire • Agriculture et agroalimentaire durables

Par ailleurs, d'autres technologies s'ajoutent aux technologies ci-dessus pour développer ou proposer des produits ou services complets.

Au-delà des technologies de calcul intensif, de simulation moléculaire et des nanotechnologies, d'autres technologies relevant des TIC (et figurant dans la section correspondante) sont clés et desservent les secteurs de la santé, de l'agriculture et de l'agroalimentaire :

- logiciel embarqué et processeurs associés ;
- nanoélectronique ;
- optoélectronique ;
- interfaces homme-machine ;
- technologies 3D ;
- sécurité holistique (notamment des données et de leur transfert) ;
- objets communicants ;
- technologies réseaux sans fil ;
- portail, collaborations et communications unifiées ;
- robotique.

À titre d'exemple, de nouvelles technologies chirurgicales et interventionnelles sont attendues. La robotique a ainsi été retenue comme une technologie clé, notamment pour ses applications médicales : nouveaux outils interventionnels miniaturisés pour des gestes et actes chirurgicaux, systèmes de comanipulation et de télémanipulation à distance.

Technologies relevant des sciences économiques, humaines et sociales

En dehors des technologies dites « dures », le domaine des technologies « molles », relevant des SES et SHS (sciences économiques, humaines et sociales) et d'autres formes d'innovation, doit également être souligné puisque participant à part entière aux enjeux à venir.

Tout d'abord, il existe des besoins forts sur des thèmes très globaux tels que la santé publique, la production alimentaire durable et la gestion de la chaîne alimentaire. Ces thèmes de

recherche nécessitent une forte interdisciplinarité : épidémiologie, médecine, démographie, sociologie, psychologie, économie, géographie, anthropologie, neurosciences, etc.

La recherche en santé publique est indispensable à l'élaboration des recommandations pour la pratique médicale, au fonctionnement du système de santé et à l'établissement des politiques publiques dans ce domaine. Plusieurs champs de recherche sont clés et ont ainsi été retenus par l'Institut Santé publique :

- le champ santé-environnement-travail-modes de vie, afin de répondre aux nouveaux défis sanitaires résultant des transformations de l'environnement (physiques, chimiques, biologiques et sociales) et de celles des modes d'organisation socio-économiques ;
- le champ de la recherche sur les handicaps et l'autonomie, dans toutes leurs dimensions (épidémiologie, démographie, conditions de vie, politiques du handicap et leur mise en œuvre, place des usagers, etc.) pour faire face au vieillissement démographique et à l'augmentation de la prévalence des maladies chroniques ;
- le champ de recherche sur les politiques de santé et les enjeux sociaux de la médecine, afin de répondre aux multiples défis issus de la transformation des savoirs et des pratiques dans ces domaines ;
- le champ de la santé reproductive, de la santé des enfants et des adolescents (problématiques de développement, comportementales, environnementales et familiales) ;
- le champ de l'urgence sanitaire : réponses à l'émergence de maladies nouvelles, aux alertes et aux situations de crise, à la mondialisation et au changement climatique ;
- le champ de la prévention (addictions, éducation nutritionnelle), de l'analyse des services de santé et des pratiques de santé (transformations affectant les services de santé, évolutions des pratiques, nouveaux acteurs, intégration des innovations). Des recherches sont également nécessaires sur la production alimentaire durable et la gestion de la chaîne alimentaire, avec des axes de recherche à conduire, tels que :
- le développement de méthodologies décrivant les paramètres essentiels de durabilité du système d'approvisionnement alimentaire ;
- le développement d'outils de modélisation dynamique pour déterminer et démontrer les frontières en termes de durabilité entre les différents modes de production ;
- l'élaboration de modèles décrivant les chaînes des matières premières biologiques et alimentaires en Europe, pour montrer la durabilité des différentes chaînes d'approvisionnement dans le contexte européen global ;
- l'identification des facteurs qui à l'avenir affecteront ou amélioreront la durabilité des différents systèmes de production et des chaînes de valeur et, de là, l'élaboration de scénarios intégrant les changements démographiques, économiques, politiques, environnementaux, etc. ;
- l'identification et l'analyse des pressions environnementales, sociales et économiques s'exerçant sur la production alimentaire primaire et donc impactant la durabilité de la chaîne alimentaire et, de là, l'identification d'options pour gérer ces pressions et améliorer la durabilité ;



- l'analyse et l'optimisation des systèmes de production durables en prenant en compte les dimensions paysagères et de qualité de vie ;
 - l'analyse et le suivi des tendances des modes de vie, telles que l'utilisation d'énergie, d'eau et le recyclage des déchets, ainsi que les modes de consommation alimentaires et d'achat (en particulier l'importance accordée à la durabilité des produits consommés) ;
 - l'étude des opportunités d'innovations et d'améliorations dans les processus organisationnels tout au long de la chaîne de valeur ;
 - l'analyse et l'élaboration de modèles organisationnels alternatifs, combinant efficacité et réactivité, aux demandes changeantes des consommateurs ;
 - la compréhension et la cartographie des besoins de traçabilité et de transparence des entreprises, de la chaîne de valeur dans son ensemble et des consommateurs ;
 - la compréhension fine des besoins d'intégration et des barrières à l'intégration des PME dans la chaîne de valeur ;
 - la modélisation d'approches pour une coopération fonctionnelle au sein des réseaux de PME.
- De plus, les sciences de la vie et leur manipulation soulèvent de nombreuses questions d'éthique et d'acceptabilité par la population, comme il sera détaillé pour chacune des technologies clés.

Il est ainsi crucial que des spécialistes des sciences humaines et sociales développent des recherches spécifiques sur ces questions pour proposer aux acteurs du domaine et aux politiques publiques des clés pour répondre à ces questions et ainsi permettre le développement et la diffusion des technologies.

Analyse de la position de la France

Compétences et positionnement

La France a un historique fort dans le domaine des sciences de la vie. On compte ainsi 30 000 chercheurs et enseignants-chercheurs de la recherche publique en sciences de la vie, soit 30 % des effectifs totaux de la recherche publique.

Globalement, la France dispose d'atouts scientifiques, industriels et médicaux. Le savoir-faire d'excellence de la recherche publique en sciences du vivant est un facteur clé de compétitivité pour les entreprises françaises et d'attractivité du territoire, d'autant plus que ces compétences et savoir-faire peuvent servir les besoins de la demande au niveau mondial. Il faut toutefois souligner une érosion de la position de la France. Par ailleurs, la France a une réelle culture des mathématiques appliquées et a donc de solides compétences en termes d'ingénierie, de bases de données et de télécommunications sécurisées, nécessaires notamment pour les dispositifs médicaux, la modélisation et la e-santé. Néanmoins, il serait nécessaire de rapprocher les formations cliniques, biologiques et en sciences de l'ingénieur au niveau académique, mais aussi et surtout au niveau des entreprises.

Production scientifique

L'analyse des indicateurs établis par l'Observatoire des sciences et techniques (OST) montre que la production scientifique en sciences du vivant est relativement faible quantitativement, mais avec une qualité croissante (croissance de 6 % de l'indice d'impact entre 2001 et 2006 [33]) bien qu'avec un indice d'impact plus faible que celui des principaux pays européens concurrents. Si la part mondiale des publications scientifiques (au global) connaît une érosion depuis 1993, en France, la recherche biomédicale a été particulièrement affectée, passant de 5,6 % en

1999 à 4,4 % en 2005 (soit une baisse plus forte qu'aux États-Unis, en Allemagne et au Royaume-Uni). Entre 2001 et 2006, la part mondiale des publications scientifiques de la France en sciences de la vie a baissé de 17 % (baisse de 15 % en biologie fondamentale, de 17 % en recherche médicale, de 20 % en biologie appliquée-écologie [26]). Cette baisse reflète le développement rapide de la recherche dans de nombreux pays en émergence scientifique.

D'après les analyses menées par le groupe de travail de la stratégie nationale de recherche et d'innovation (SNRI), la situation est très contrastée entre les sous-disciplines des sciences du vivant. Par rapport à l'Europe, la France a un nombre de publications relativement plus élevé en microbiologie – immunologie, biochimie et génétique. En revanche, le nombre de publications françaises est relativement plus faible en bio-ingénierie, neurosciences – sciences comportementales, reproduction – biologie du développement, agro-alimentaire. L'indice d'impact relatif est faible en santé publique, mais bon en écologie et fort en agroalimentaire et agriculture – biologie végétale. L'indice d'impact et l'indice de spécialisation sont faibles pour la bio-ingénierie alors qu'il s'agit d'une composante importante pour relever le défi de la biologie synthétique.

Dans le domaine des technologies pour la santé, la part mondiale des publications françaises oscille entre 5,2 % et 6 %, comme le montre le tableau ci-dessous (selon la méthodologie de l'Institut Technologies pour la santé).

Part mondiale des publications françaises en technologies pour la santé

	2006-2007
Imagerie	6,04 %
Biotechnologies	5,29 %
Médicament	5,23 %
Chirurgie	5,80 %

Analyse des brevets

En 2006, la recherche publique française a déposé 21,6 % [34] des brevets européens dans le domaine pharmacie-biotechnologie, proportion la plus élevée de tous les secteurs.

L'analyse de la part mondiale des brevets européens montre une forte spécialisation dans le domaine pharmacie-cosmétique et une « déspecialisation » en biotechnologie, celle-ci n'étant plus réelle en analysant les brevets pris aux États-Unis.

Indicateurs de l'OST relatifs à la production scientifique pour l'ensemble des sciences du vivant

	Part Monde (%)		Part dans UE (%)		Indice de spécialisation / Monde		Indice d'impact relatif*	
	2007	Évolution**	2007	Évolution**	2007	Évolution**	2007	Évolution**
France	4,1	81	11,7	87	0,95	98	0,98	109
Allemagne	6,1	88	17,7	95	1,04	105	1,07	109
Royaume-Uni	7,2	84	20,8	90	1,19	103	1,12	108

* Part mondiale des citations reçues par les publications françaises en deux ans / part mondiale des publications françaises

** Mesure de l'évolution de la valeur de l'indicateur entre 2001 et 2007 en base 100 pour 2001

Dispositifs d'accompagnement

Les politiques publiques participent au financement de la recherche, avec notamment 3Md€ de la mission interministérielle pour la recherche et l'enseignement supérieur pour les sciences du vivant et 870 M€ apportés à la recherche clinique par le ministère de la Santé [26]. Par ailleurs, le programme investissements d'avenir permettra de lever certains freins. Avant la mise en place de ce programme, la comparaison des investissements publics consacrés aux sciences de la vie et de la santé soulignait un fort déficit en France. Ainsi, le seul budget des National Institutes of Health (NIH) américains représentait un investissement public de plus de 60 € par an par habitant, contre environ 25 € en France pour l'ensemble des organismes de recherche membres d'Aviesan [26].

Si la France dispose d'un dispositif de soutien à l'innovation performant, avec le crédit impôt recherche (CIR), le statut de jeune entreprise innovante (JEI) et Oséo notamment, la difficulté majeure des entreprises (des jeunes pousses aux ETI) dans le domaine des sciences de la vie est celle du financement. Ce problème est exacerbé dans la filière santé puisque les temps de développement sont très longs et le niveau de risque est particulièrement élevé. Cette difficulté reste vraie, malgré la mise en place d'InnoBio, fonds d'investissements pour les industries des biotechnologies, dans lequel le fonds stratégique d'investissement (FSI) a injecté 140 M€.

Au niveau européen, le 7^e programme-cadre de recherche et développement (PCRD) consacre un budget annuel de plus de 1 Md€ aux sciences du vivant.

Au-delà des dispositifs de soutien financier, de nombreux dispositifs accompagnent la recherche et notamment la recherche collaborative : les pôles de compétitivité positionnés sur les axes technologiques d'intérêt pour la santé, l'agriculture, l'agroalimentaire, les instituts fédératifs de recherche, les génopôles, les cancéropôles, les syndicats et associations professionnels (LEEM, Snitem, etc.). L'alliance nationale pour les sciences de la vie et de la santé constitue également désormais un dispositif de référence.

Les politiques de santé, agricoles et industrielles influencent fortement le marché et les industries. Dans le cas des politiques agricoles et industrielles, les subventions et mesures incitatives constituent d'autres formes de dispositifs d'accompagnement. Il existe également en France un dispositif national de soutien à l'export pour les industries agroalimentaires. En revanche, les dispositifs type CIR ne sont pas ou peu applicables ni à l'industrie agroalimentaire ni aux formes d'innovations qui y sont mises en œuvre.



Recommandations

Les sciences de la vie constituent un des trois axes stratégiques de la SNRI. Il est ainsi critique de mettre en œuvre des actions permettant à la France de conquérir une position de leader sur ces secteurs.

Les sciences de la vie ont de fortes spécificités, dont des temps de développement particulièrement longs, des investissements en conséquence et des risques élevés. Les dispositifs actuels ne couvrent que des périodes de cinq ans au maximum. Les phases cliniques ne sont pas éligibles aux financements de la Commission européenne à partir de la phase IIb. L'enjeu est donc d'établir un véritable continuum des aides à l'innovation pour les sciences de la vie, et de couvrir en particulier les dernières étapes, qui sont d'une part, les plus coûteuses et d'autre part, les plus risquées, suscitant des réticences de la part d'investisseurs privés. Il pourrait ainsi être envisagé d'adapter le dispositif InnoBio en prenant en compte des échelles de temps plus longues. Il peut être également utile que l'État ait des actions plus fortes sur les fonds propres des gazelles en sciences de la vie. L'accessibilité à certains dispositifs pourrait être conditionnée à la future mise en bourse des entreprises. L'entrée au capital par l'État (par exemple via le FSI) serait également bénéfique, et aurait un effet de levier sur l'entrée au capital d'investisseurs privés. Par ailleurs, les critères d'éligibilité aux dispositifs de soutien à l'innovation ne permettent pas toujours l'accès des entreprises agroalimentaires à de tels soutiens. Il serait ainsi nécessaire de travailler à nouveau sur les critères d'éligibilité, par exemple au CIR, pour que ces entreprises, et notamment les PME, puissent en bénéficier. Le tissu agricole et agroalimentaire étant très vaste, il est difficile de couvrir l'ensemble du tissu. Des réflexions pourraient être menées sur l'amélioration du transfert des informations vers les entreprises. Les outils de type plateforme (d'in-



novation, de démonstration) sont bien adaptés aux enjeux de l'agriculture et de l'agroalimentaire et peuvent donc être davantage mis au service de ces secteurs.

La création des pôles de compétitivité a permis de mettre au cœur de la recherche la collaboration entre acteurs de diverses natures. De tels encouragements doivent être poursuivis, et pourraient également être élargis à d'autres formes de mutualisation : accès mutualisé à des outils de production, des équipements spécifiques, sans nécessairement être corrélés à des projets collaboratifs. Ceci est particulièrement vrai pour le développement de centres de bioproduction par exemple. Le soutien des politiques publiques est parfaitement adapté pour le développement de tels outils et infrastructures mutualisés. Pour développer l'attractivité de notre territoire (vis-à-vis de l'extérieur mais aussi des composantes nationales), la France doit viser le plus haut niveau technologique : vecteurs de seconde génération, dispositifs médicaux de type implantables, etc. sans viser à rattraper son retard sur les premières générations. Par ailleurs, l'accélération des développements technologiques n'a pas toujours été suivie par la mise en place de formations appropriées. Il serait ainsi nécessaire de développer des formations pluridisciplinaires, en bioproduction par exemple, ou encore sur le champ TIC et santé, pour former les futurs ingénieurs et techniciens aux compétences transverses et franchir le cloisonnement actuel entre les disciplines.

D'autres facteurs participent également à l'attractivité. Les sciences de la vie sont particulièrement concernées par les questions d'éthique et d'acceptabilité par la société. La société française est elle-même particulièrement sensible aux développements à venir et à la manipulation du vivant. Il est donc crucial que les politiques publiques engagent et poursuivent les réflexions sur ces questions, en mettant autour de la table aussi bien des membres de la société que des industriels ou des

chercheurs en sciences de la vie humaines et sociales. Pour être dans le peloton de tête de l'innovation dans ces domaines, la France doit faire en sorte que son marché accueille favorablement les avancées technologiques et leurs acteurs et incite les chercheurs et développeurs à poursuivre leur activité sur son territoire, tout en attirant les meilleures compétences mondiales. En cohérence avec l'éthique et l'acceptabilité, la France doit avoir un rôle de leader sur les questions normatives, juridiques et législatives relatives aux nouvelles technologies en sciences de la vie, et en particulier sur le plus haut niveau technologique pour lequel la France a une carte à jouer. En effet, être le premier à mettre en place des normes et standards élevés permet de conserver une longueur d'avance sur les concurrents, mais aussi de diffuser ce niveau d'exigence dans les autres pays (et ainsi éviter d'avoir des niveaux d'exigence tellement différents que les acteurs français en deviennent pénalisés).

Les politiques publiques doivent également œuvrer au développement de la recherche translationnelle, pour encourager les réflexions métiers et le développement de produits en réponse à de futurs usages. Si les instituts hospitalo-universitaires (IHU) auront de tels objectifs, d'autres types de structures doivent également être encouragées en ce sens, telles que des centres d'investigation translationnelle. À titre d'exemple, plus de 90 % des biomarqueurs sont utilisés en R&D sans jamais être retrouvés en biologie médicale. Les acteurs ne s'engagent pas suffisamment dans une démarche inscrite dans la valeur d'usage. L'enjeu est de réfléchir et de mettre en place de véritables pratiques de *data mining*, *data management*, des processus de validation et d'accès aux marchés.

Plus largement, il faut poursuivre le soutien d'outils de démonstration et de validation. Les plateformes d'innovation, les appels à projets dans le cadre du programme investissements d'avenir, sont autant d'outils propices à cela. Il conviendrait par ailleurs encourager la mise en place de registres de données exhaustifs pour permettre le développement des produits et services répondant aux enjeux mentionnés précédemment. Il faudrait également réfléchir aux modalités d'accès des structures (telles que les hôpitaux) aux prototypes innovants et, dans le cas des hôpitaux, définir des nomenclatures adaptées.

Au global, les politiques publiques ont un rôle clé à jouer dans la structuration des forces de recherche et d'innovation françaises. En effet, celles-ci se caractérisent souvent par un manque de coordination, ou par un manque d'interdisciplinarité. Pour autant, le futur des débouchés des sciences de la vie réside en grande partie dans la convergence d'outils certes biologiques mais également physiques, informatiques etc. Il devient ainsi crucial de favoriser l'interdisciplinarité au service des futurs produits et services. Là encore, le programme des investissements d'avenir est très propice pour cela, de même que la mise en place d'appels à projets dédiés à certains axes.



76. Ingénierie cellulaire et tissulaire

Définitions

L'ingénierie cellulaire couvre l'ensemble des technologies permettant de produire et d'entretenir des modèles cellulaires, d'optimiser les conditions de culture, de réaliser des transfections et des transplantations et de contrôler les lignées cellulaires. L'ingénierie tissulaire applique les principes de l'ingénierie et des sciences de la vie afin de développer des substituts biologiques qui vont restaurer, maintenir ou améliorer la fonction des tissus.

L'ingénierie cellulaire et tissulaire implique des compétences pluridisciplinaires : science des matériaux, biologie cellulaire, chimie, physique et biomécanique. Ingénieries cellulaire et tissulaire sont intrinsèquement liées : l'ingénierie tissulaire passe par exemple par la combinaison de cellules, de matériaux d'ingénierie et / ou de facteurs biochimiques appropriés. Elles desservent toutes deux le développement de la médecine régénératrice, mais aussi la production de molécules d'intérêt.

Description

La recherche dans le domaine de l'ingénierie tissulaire a beaucoup évolué et il est aujourd'hui possible de reconstruire des tissus humains complets tels que la peau, le cartilage et les ligaments. Les recherches récentes portent sur les biomatériaux comme supports de cellules afin de régénérer des tissus là où l'utilisation seule de biomatériaux n'est pas suffisante. Il s'agit alors d'associer une matrice synthétique biomimétique ou naturelle à des cellules capables de produire, au sein de ces structures, leur propre matrice extracellulaire qui pourra se substituer à ces biomatériaux.

Dans ce cas mais aussi dans celui de l'ingénierie cellulaire en général, les cellules peuvent être autologues (provenant de l'organisme receveur lui-même) ou allogéniques (provenant d'un organisme compatible). Il peut également s'agir de cellules différenciées ou de cellules souches. Les recherches s'orientent davantage sur les cellules souches adultes et embryonnaires, du fait de leurs deux propriétés principales : l'autorenouveaulement – elles peuvent se multiplier et donner de nouvelles cellules souches – et la différenciation – elles peuvent produire des cellules spécialisées.

Des verrous technologiques forts subsistent :

- meilleure maîtrise et compréhension des techniques de différenciation cellulaire ;
- développement de dispositifs de transferts des cellules selon les applications ;
- adéquation des propriétés de surface, de dégradabilité, de visco-élasticité, etc. des cellules souches qui se retrouvent dans un environnement tridimensionnel, biochimique et/ou mécanique auquel elles doivent s'adapter ;
- amélioration du taux de survie des cellules implantées, notamment grâce aux nanobiotechnologies et plus largement aux techniques de vectorisation ;
- transformation des cellules en culture en objets industriels dans le but d'une production normée et contrôlée ;
- favorisation de l'approche systématique, notamment par la voie allogénique.

Applications

L'ingénierie cellulaire et tissulaire trouve des applications dans de nombreux secteurs. En santé, la thérapie cellulaire possède un champ d'application vaste : d'intenses développements cliniques existent en immunoncologie, cardiovasculaire, orthopédie, SNC, diabète et peau. Aujourd'hui, une quarantaine de produits est commercialisée dans le monde mais le marché mondial de la thérapie cellulaire et tissulaire est amené à croître et à atteindre 2,7 Md\$ en 2015 [35].

Les cellules souches constituent par ailleurs des outils de recherche permettant d'améliorer la compréhension des facteurs de croissance et de prolifération des cellules. Elles sont également utilisées dans les fécondations *in vitro* vétérinaires.

De plus, l'ingénierie cellulaire et tissulaire permet de développer de nouveaux systèmes de bioproduction, pour tout type de biothérapies mais aussi d'ingrédients utilisables en agroalimentaire ou en cosmétique (à partir de cellules végétales par exemple) et de vecteurs. La maîtrise de l'ingénierie cellulaire et tissulaire est porteuse d'activités de services de bioproduction, de logistique (transport, stockage, conservation) et de galénique.

Enjeux et impacts

De nombreux enjeux subsistent sur les aspects réglementaires et éthiques. Au niveau européen, le règlement « médicaments de thérapie innovante », entré en vigueur en 2008, a pour objectif l'harmonisation des législations d'ici à 2012, mais les réglementations restent strictes et peu claires. Il reste des difficultés d'acceptabilité morale, éthique ou religieuse, même si des progrès ont été accomplis.

Les industriels sont également confrontés à des difficultés de mise en place d'essais (très longs et coûteux), à la complexité du *business model* (pas de vision sur le retour sur investissement, notamment du fait de la complexité logistique), à des problématiques de prix et de remboursement, en particulier face à la concurrence de thérapies « plus simples » (telles que les thérapies ciblées) et à la question de la brevetabilité.

Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

