

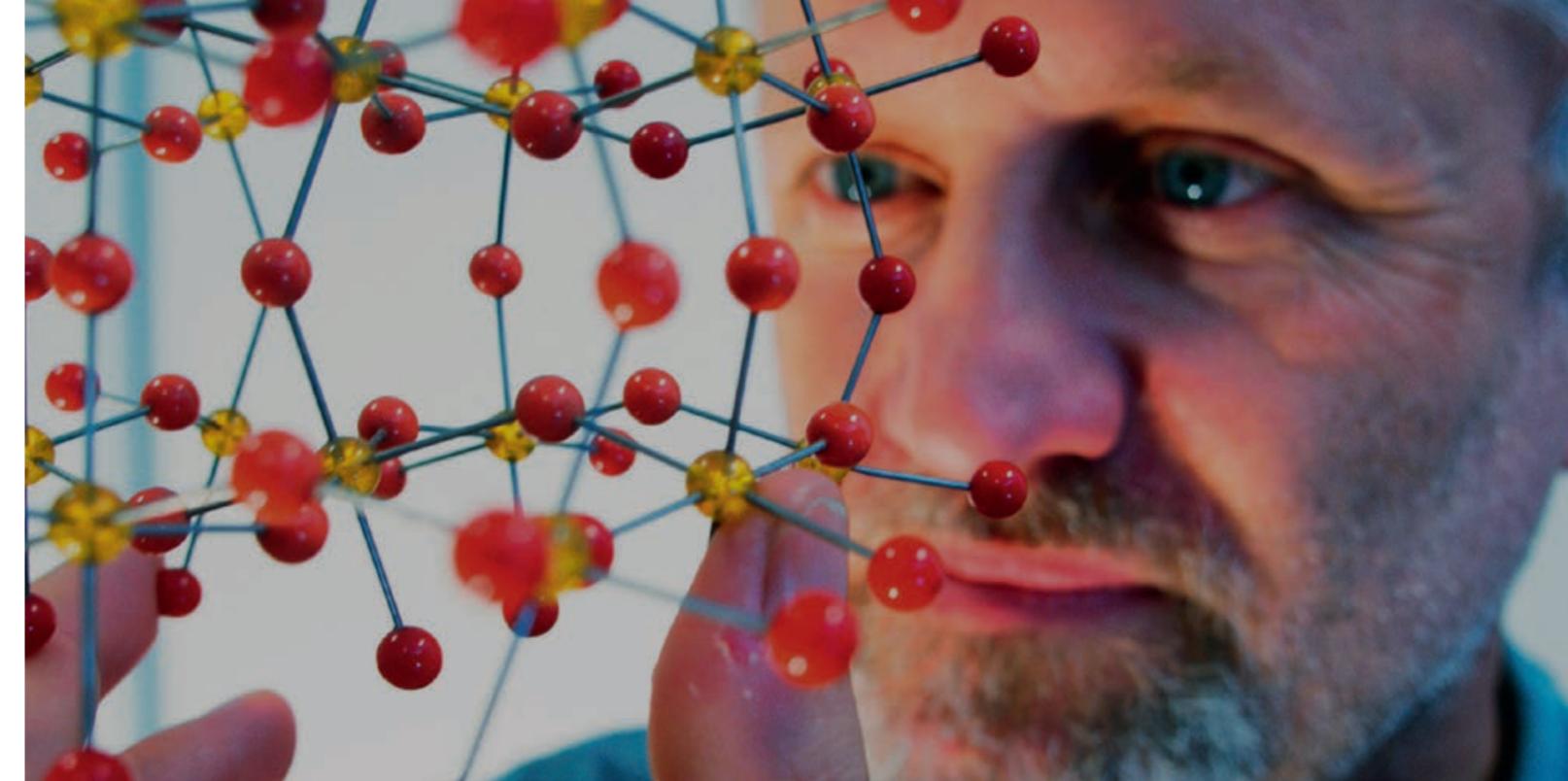
Stratégie nationale de recherche

RAPPORT DE PROPOSITIONS
ET AVIS DU CONSEIL STRATÉGIQUE
DE LA RECHERCHE



www.enseignementsup-recherche.gouv.fr





Inscrite dans la loi pour l'enseignement supérieur et la recherche du 23 juillet 2013, la stratégie nationale de recherche (SNR) a la double ambition de maintenir la place de notre pays parmi les premières puissances de recherche mondiale et de permettre à la recherche française de répondre aux défis scientifiques, technologiques, environnementaux et sociétaux du XXI^e siècle.

Son élaboration repose sur une large consultation de la communauté scientifique et universitaire, des partenaires sociaux et économiques, des pôles de compétitivité, des représentants du monde associatif, des administrations, agences publiques et collectivités territoriales concernées, et de la société civile par le biais d'une consultation publique.

L'ensemble des travaux conduits en ce sens a été présenté, étape par étape, au Conseil stratégique de la recherche (CSR) entre les mois de février et novembre 2014. Celui-ci a émis des recommandations et des demandes concernant la proposition de stratégie nationale de recherche issue de la concertation, présentée dans le premier volume ci-après, et formulé un avis qui figure dans le second volume de ce document.

Sommaire

PARTIE 1 - PROPOSITION DE STRATÉGIE NATIONALE DE RECHERCHE	5
CHAPITRE I - OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE	9
CHAPITRE II - GRANDES ORIENTATIONS STRATÉGIQUES DE LA SNR	33
CHAPITRE III - PROGRAMMES D'ACTIONS PRIORITAIRES	75
CHAPITRE IV - ÉVALUATION ET SUIVI DE LA SNR	113
ANNEXES	117
PARTIE 2 - AVIS DU CONSEIL STRATÉGIQUE DE RECHERCHE	137
CHAPITRE I - LES RÔLES DÉTERMINANTS DES DIFFÉRENTES DÉCLINAISONS DE LA RECHERCHE	142
CHAPITRE II - AVIS DU CONSEIL SUPÉRIEUR DE LA RECHERCHE SUR LES ORIENTATIONS PRIORITAIRES	154
CHAPITRE III- LE PROCESSUS D'ÉVALUATION DES IMPACTS DE LA STRATÉGIE NATIONALE DE RECHERCHE	163
ANNEXES	169

Partie 1

Proposition
de Stratégie
Nationale
de Recherche

Table des matières

CHAPITRE I - OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE

Objectifs de la stratégie nationale de recherche	9
Répondre aux enjeux majeurs du xxie siècle	10
Assurer la cohérence des stratégies nationales et territoriales de recherche et d'innovation	13
Ancrer la France dans l'Espace européen de la recherche	14
Élaboration de la stratégie nationale de recherche	15
Une mobilisation de tous les acteurs dans toutes les disciplines	15
Une consultation publique pour un travail collectif	16
Une concertation interministérielle	17
Une proposition de programmes d'actions prioritaires	18
Des critères de sélection, de suivi et d'évaluation des priorités de la SNR	19
Avis du Conseil stratégique de la recherche	19
Analyse comparée des stratégies de recherche chez nos partenaires européens et internationaux	20
Les exemples allemand, britannique et japonais	21
L'analyse comparée des stratégies de recherche allemande, britannique et japonaise	25
Les spécificités de la SNR française	26
Grands fondements de la stratégie nationale de recherche	27
La recherche fondamentale et l'avancement des connaissances	27
Le transfert technologique et l'innovation	28
La recherche finalisée au service des politiques publiques	29
La transversalité des sciences humaines et sociales	30
La transmission des savoirs et la formation de toutes les générations	31

CHAPITRE II - GRANDES ORIENTATIONS STRATÉGIQUES DE LA SNR

Défi 1 / Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique	33
Défi 2 / Une énergie propre, sûre et efficace	34
Défi 3 / Stimuler le renouveau industriel	39
Défi 4 / Santé et bien-être	43
Défi 5 / Sécurité alimentaire et défi démographique	47
Défi 6 / Transports et systèmes urbains durables	51
Défi 7 / Société de l'information et de la communication	55
Défi 8 / Sociétés innovantes, intégratives et adaptatives	59
Défi 9 / Une ambition spatiale pour l'Europe	63
Défi 10 / Liberté et sécurité de l'Europe, de ses citoyens et de ses résidents	67
	71

CHAPITRE III - PROGRAMMES D'ACTIONS PRIORITAIRES

Introduction	75
Propositions de programmes d'action prioritaires	76
Données massives (Big Data)	77
Données massives et ingénierie de la connaissance	78
Fiabilité des systèmes complexes	80
Mécanismes de décision	82
Sécurité et cybersécurité des infrastructures	85
Système Terre : connaissance, surveillance, prévision	89
Bioéconomie au service des transitions énergétique et écologique	92
Matériaux stratégiques dans une économie durable	95
Transition énergétique pour les territoires	97
Vie et santé	99
Biologie des systèmes	99
Recherche translationnelle :	101
du laboratoire au patient	104
Homme et société	104
Espaces urbains rénovés et durables	104
Transports durables	107
Interactions homme-machine	109
Sciences humaines et sociales globales et connectées	111

CHAPITRE IV - ÉVALUATION ET SUIVI DE LA SNR

Proposition de matrice d'analyse	113
ANNEXES	117
Composition et méthode de travail des ateliers	118
Composition des ateliers	118
Questionnaire soumis aux ateliers	119
Résultats de la consultation publique	120
Méthodologie	121
Résultats	122
Commentaires	125
Composition du conseil stratégique de la recherche	127
Glossaire des sigles	132

OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE



Objectifs de la stratégie nationale de recherche

Répondre aux enjeux majeurs du XXI^e siècle

Partout dans le monde, la recherche est considérée comme un facteur de progrès : progrès de la connaissance, qui est une valeur en soi, mais aussi progrès économique, car l'innovation est un facteur clé de compétitivité.

La France investit dans la recherche : avec 45,6 Mds € en 2012, notre pays est au 5^e rang des États membres de l'OCDE en termes de dépense intérieure pour la recherche et développement¹. Cette dépense représentait **2,29 % de notre PIB**, pour une moyenne européenne de 1,97 %. Notre **investissement public**, en particulier, est important : à **0,8 % du PIB**², il se situe devant celui du Royaume-Uni, de l'Italie ou encore du Japon (respectivement 0,5%, 0,53% et 0,56%), à un niveau proche de l'effort public des États-Unis ou de l'Allemagne (0,86%). Malgré une progression continue soutenue par le crédit impôt recherche, l'effort de recherche et développement des entreprises reste en décalage avec celui observé dans la plupart des grandes économies, une faiblesse notamment liée à la réduction du périmètre de notre industrie depuis une vingtaine d'années.

Forte d'une longue tradition et d'un dynamisme constant, la recherche publique française joue un rôle clé au sein de la recherche mondiale. Nous nous situons au 6^e rang mondial pour les publications scientifiques, au 3^e rang pour la qualité des publications en mathématiques, et dans les tout premiers rangs pour certaines disciplines comme la biologie fondamentale, la biologie appliquée-écologie ou encore la physique ou les sciences de l'atmosphère³. La France est également internationalement reconnue dans les sciences reposant sur les grands instruments scientifiques internationaux⁴. Elle se situe au **3^e rang** pour l'accueil des lauréats de l'*European Research Council*, et, sur les dix dernières années, ses scientifiques ont notamment obtenu un prix Turing, quatre prix Breakthrough, trois prix Lasker, quatre médailles Fields et huit prix Nobel. D'une manière générale, les résultats de la France en matière de publications et de récompenses internationales ont progressé et sont le pendant d'un appui important

à la recherche fondamentale, première bénéficiaire du soutien de l'État à la recherche avec plus de **50 %** des crédits budgétaires de la recherche⁵.

Au regard de cette excellence académique, les retombées économiques de notre recherche sont insuffisantes : plusieurs rapports soulignent les difficultés de la France à transformer l'effort de recherche vers le secteur économique. Si cette difficulté du transfert est rencontrée par de nombreux pays, elle est particulièrement aiguë dans le nôtre. La France produit un nombre de brevets et licences significatif (4^e rang en termes de nombre de brevets européens) mais elle en développe peu sur son territoire : notre balance commerciale « technologique » était ainsi bénéficiaire de 4,5 Mds € en 2011. Les dépenses de développement expérimental, qui mesurent l'effort de recherche tourné vers les applications du marché, sont par ailleurs faibles en France comparativement à d'autres pays comme les États-Unis ou le Japon : ces pays y consacrent plus de 60 % de leurs dépenses de recherche et développement, contre 35 % en France.

Inscrite dans la loi pour l'enseignement supérieur et la recherche du 23 juillet 2013, la stratégie nationale de recherche (SNR) a la double ambition de maintenir la place de notre pays parmi les premières puissances de recherche mondiale et de permettre à la recherche française de répondre aux défis scientifiques, technologiques, environnementaux et sociétaux du XXI^e siècle. Dans le cadre d'une démarche globale qui a largement associé la communauté scientifique, elle identifie les verrous scientifiques, les ruptures, et crée les conditions favorables au développement de nouveaux concepts, pour y répondre en promouvant une approche inter et pluridisciplinaire et en tenant compte des spécificités de la recherche fondamentale dont les résultats et les applications ne sont pas programmables.

En associant toujours plus étroitement recherche fondamentale, recherche technologique et recherche finalisée, la SNR doit assurer le renouvellement du socle de connaissances permettant aux politiques publiques de redressement économique et industriel de la France, tels les *34 plans de la nouvelle France industrielle*⁶ lancés le 12 septembre 2013 par le président de la République ou le *Concours mondial de l'innovation* basé sur le rapport « *Un principe et 7 ambitions pour 2030* »⁷, de jouer pleinement leur rôle. Les innovations de rupture, les plus différenciantes, naissent en grande partie de la

8 prix Nobel

ces 10 dernières années

4 médailles Fields

4 prix Breakthrough

3 prix Lasker

1 prix Turing

¹ <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>

² Main Science and Technology Indicators OCDE, effort public 2012.

³ http://www.obs-ost.fr/fr/indicateur/analyses_et_indicateurs_de_reference - mise à jour mars 2014.

⁴ <http://www.academie-sciences.fr/activite/rapport/rads0912.htm>

⁵ Crédits de la Mission interministérielle Recherche et Enseignement supérieur.

⁶ www.economie.gouv.fr/files/la-nouvelle-france-industrielle.pdf

⁷ innovation-2030.entreprises.gouv.fr/pdf/Rapport_Innovation_BDV4.pdf

recherche. Le ressourcement en amont par la recherche, essentiel à la réussite de ces politiques publiques, nécessite donc que l'on fluidifie davantage encore le passage de l'invention de laboratoire à l'innovation appropriée par les entreprises.

La SNR s'appuie sur une analyse détaillée des atouts de notre recherche et de son impact potentiel en matière de développement économique et social pour notre pays afin de définir un nombre limité de programmes d'actions prioritaires et mobilisateurs, destinés à accroître les connaissances et stimuler l'écosystème d'innovation, contribuant ainsi à optimiser la programmation pluriannuelle des moyens consacrés à la recherche et à l'innovation.

Le renforcement de la capacité d'expertise des chercheurs en appui aux politiques publiques, aux associations et fondations, le développement de l'innovation et du transfert de savoirs et de technologies, font également partie des enjeux couverts, tout comme l'amélioration de la position et de la visibilité de la recherche française au sein des programmes de coopération européens et internationaux.

Dix principaux défis ont été retenus dans le cadre de l'élaboration de la SNR :

- ▶ gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique ;
- ▶ énergie propre, sûre et efficace ;
- ▶ renouveau industriel ;
- ▶ santé et bien-être ;
- ▶ sécurité alimentaire et défi démographique ;
- ▶ mobilité et systèmes urbains durables ;
- ▶ société de l'information et de la communication ;
- ▶ sociétés innovantes, intégratives et adaptatives ;
- ▶ une ambition spatiale pour l'Europe ;
- ▶ liberté et sécurité de l'Europe, de ses citoyens et de ses résidents.

Ces défis recoupent largement les enjeux auxquels nos principaux partenaires scientifiques de l'OCDE s'efforcent de répondre à un moment où la crise nous conduit à repenser les fondements de notre compétitivité, et où les exigences environnementales et la dépendance aux matières premières nous amènent à reconstruire nos façons de produire, de consommer, d'habiter, de se déplacer, de se former, de travailler.



Dépense intérieure
pour la recherche
et le développement

Assurer la cohérence des stratégies nationales et territoriales de recherche et d'innovation

L'élaboration de la SNR et sa révision tous les cinq ans s'appuient sur les réflexions prospectives menées au sein de la communauté scientifique, notamment par les cinq alliances nationales de recherche (Aviesan, Ancre, Allistene, AllEnvi, Athena⁸), le CNRS dont les activités sont pluridisciplinaires et transversales, ainsi que le CNES dans le domaine spatial. Elles intègrent les conclusions des rapports de prospective remis régulièrement au gouvernement et les nombreux plans d'action ministériels ayant un impact sur les grandes orientations de la recherche scientifique, notamment les stratégies nationales de santé et de développement durable, la stratégie spatiale française ou la stratégie pour le développement de la culture scientifique, technique et industrielle. En matière de recherche sur l'énergie, elle s'articule avec la stratégie nationale de recherche énergétique (SNRE) inscrite, elle aussi, au niveau législatif.

La stratégie nationale de recherche et la stratégie nationale de l'enseignement supérieur (StraNES), toutes deux prévues dans la loi du 22 juillet 2013, sont présentées conjointement au Parlement tous les cinq ans sous forme d'un *Livre blanc de l'enseignement supérieur et de la recherche*. Une réflexion menée conjointement sur les sujets d'interface doit permettre d'amplifier le lien fondamental entre enseignement supérieur et recherche dans leur dialogue itératif entre production et diffusion des connaissances nouvelles, ainsi que dans le développement de nouvelles compétences, à l'interface de disciplines existantes (bioinformatique, par exemple).

Au niveau territorial, la SNR définit la position de l'État dans le dialogue avec les régions, en cohérence avec la réforme territoriale en cours. Sa déclinaison passe par une mise en œuvre concertée prenant en compte les schémas régionaux de recherche et d'innovation définis par la loi pour l'enseignement supérieur et la recherche du 22 juillet 2013. Elle s'appuie également sur la stratégie de spécialisation intelligente (*smart specialization*) définie dans le cadre de la politique européenne de cohésion pour la période 2014-2020 et du transfert aux régions de l'autorité de gestion du Fonds européen de développement régional (FEDER). Enfin, elle s'illustre plus ponctuellement dans la définition des contrats de plan État-région (CPER).

⁸ Aviesan : Alliance nationale pour les sciences de la vie et de la santé.
Ancre : Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie.
Allistene : Alliance des sciences et technologies du numérique.
AllEnvi : Alliance dans le domaine de la recherche environnementale.
Athena : Alliance nationale des humanités, sciences humaines et sciences sociales.

Ancrer la France dans l'Espace européen de la recherche

Le nouveau programme de l'Union européenne pour la recherche et l'innovation « Horizon 2020 », entré en vigueur le 1^{er} janvier 2014, affiche 3 priorités :

- ▶ développer et promouvoir l'excellence scientifique;
- ▶ promouvoir la primauté industrielle et l'innovation;
- ▶ répondre aux grands défis sociétaux⁹.

L'élaboration de la SNR répond également à la nécessité de renforcer la cohérence entre les politiques de recherche menées au niveau national et la politique menée au niveau européen, étape indispensable pour la visibilité internationale, financée à hauteur de 79 milliards d'euros dans le grand programme Horizon 2020. L'objectif est de renforcer l'impact scientifique, économique et sociétal de ces politiques et d'ancre résolument la France dans la construction de l'Espace européen de la recherche. Dans cette optique, les 10 défis sociétaux de la SNR ont été définis en adéquation avec les priorités du programme cadre Horizon 2020.

Les priorités de la SNR, régulièrement révisées au travers d'un dialogue renforcé entre l'ensemble des acteurs au niveau national, permettront de clarifier et de renforcer la stratégie française de coopération européenne et internationale en matière de recherche et d'innovation.

Élaboration de la stratégie nationale de recherche

L'élaboration de la SNR repose sur une large consultation de la communauté scientifique et universitaire, des partenaires sociaux et économiques, des pôles de compétitivité, des représentants du monde associatif, des administrations, agences publiques et collectivités territoriales concernées ainsi que de la société civile.

L'ensemble de ces acteurs a contribué à faire émerger, au cours d'un processus itératif, les grandes orientations stratégiques de recherche proposées au gouvernement et susceptibles d'être déclinées en programmes d'actions prioritaires.

Une mobilisation de tous les acteurs dans toutes les disciplines

Au cours du premier semestre 2013, les cinq alliances nationales de recherche et le CNRS ont été invités à préparer, via une large consultation de leurs membres et des parties prenantes, un premier document de synthèse permettant d'identifier les tendances importantes et les évolutions de chaque grand domaine scientifique.

Cette première contribution a servi de base de travail à l'élaboration du présent document, élaboration conduite au travers de dix groupes de travail correspondant aux différents défis, avec la mobilisation de plus de 360 experts scientifiques issus du secteur académique et du secteur économique. Chaque atelier était animé par une personnalité scientifique de haut niveau, avec l'appui des directions scientifiques de la direction générale de la recherche et de l'innovation (DGRI), du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MENESR).

⁹ Les 7 défis sociétaux du programme Horizon 2020 sont les suivants : santé, évolution démographique et bien-être ; sécurité alimentaire, agriculture durable, recherche marine et maritime et bioéconomie ; énergies sûres, propres et efficaces ; transports intelligents, verts et intégrés ; lutte contre le changement climatique, utilisation efficace des ressources et des matières premières ; sociétés inclusives et novatrices ; sociétés sûres, protégeant la liberté et la sécurité de l'Europe et de ses citoyens.

La méthodologie mise en œuvre au sein de ces ateliers, définie avec l'appui de l'Académie des technologies, repose sur une grille d'analyse permettant de structurer la réflexion centrée sur sept thèmes clés :

- ▶ spécificités du défi, et notamment bénéfices économiques et sociaux attendus ;
- ▶ place pour les sciences humaines et sociales ;
- ▶ disciplines concernées (interdisciplinarité) et questions transverses ;
- ▶ interactions avec les autres processus stratégiques nationaux mis en place ;
- ▶ forces et faiblesses françaises : scientifiques, technologiques, sociales, industrielles ;
- ▶ moyens pour la mise en œuvre ;
- ▶ feuille de route : instruments et calendrier .

La liste des pilotes et co-pilotes des dix ateliers ainsi qu'une description plus précise de la grille figurent en annexe (cf. annexe 1).

Une consultation publique pour un travail collectif

Les résultats des travaux des ateliers de la SNR ont été présentés à l'ensemble de la communauté nationale lors d'un colloque de restitution des travaux organisé les 9 et 10 avril 2014, au MENESR. Ils sont rassemblés sur le site du ministère en charge de la recherche (www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/)

Entre le 10 avril et le 23 mai 2014, l'ensemble de ces travaux a été soumis à une large consultation publique sur le site internet du MENESR, qui a donné lieu à près de 200 contributions écrites, transmises aux pilotes des ateliers. Des précisions sur le mode de consultation adopté et une analyse des résultats sont présentées en annexe (cf. annexe 2).

Une concertation interministérielle

Pour valider les orientations prioritaires présentées par les ateliers et les propositions de programmes d'action avant soumission au Conseil stratégique de la recherche (CSR) (cf. encadré 1), la DGRI a mis en place un comité opérationnel « Recherche » (ComOp), comité consultatif interministériel rassemblant l'ensemble des acteurs impliqués (cf. encadré 2). Les réunions du ComOp ont permis de présenter régulièrement les travaux d'élaboration de la SNR et la méthodologie appliquée, ainsi que de partager les éléments d'analyse, de prospective et de comparaison internationale.

Encadré
1

Composition et rôle du Conseil stratégique de la recherche

Le Conseil stratégique de la recherche est le conseil scientifique placé auprès du gouvernement. Il est chargé de proposer les grandes orientations de la stratégie nationale et peut traiter de toute question – soumise par le Premier ministre ou le ministre chargé de la recherche – relevant de son domaine de compétence.

Sa composition et son rôle sont définis par le décret n° 2013-943 du 21 octobre 2013. Présidé par le Premier ministre ou, par délégation, le ministre chargé de la recherche, il est composé de 26 membres, personnalités de haut niveau du monde scientifique et socio-économique parmi lesquelles est désigné un vice-président (cf. annexe 3). La DGRI en assure le secrétariat permanent.

Encadré
2

Qui est représenté au ComOp « Recherche » ?

- ▶ Les 9 départements ministériels ainsi que les principales structures interministérielles (Commissariat général à l'investissement, Commissariat général à la stratégie et à la prospective, Délégation interministérielle à l'intelligence économique) ayant compétence en matière de recherche.
- ▶ La communauté scientifique : CNRS, CEA, CNES, les 5 alliances nationales de recherche (Aviesan, Ancre, Allistene, AllEnvi, Athena) et les conférences représentant les établissements d'enseignement supérieur et de recherche (CPU, CDEFI et l'Association des instituts Carnot).
- ▶ La recherche privée : grands groupes, PME et pôles de compétitivité.
- ▶ Les structures de financement de la recherche : ANR et BPI.

Soit 29 membres au total.

Une proposition de programmes d'actions prioritaires

Sur la base des travaux réalisés au sein des ateliers, des conclusions du séminaire de restitution et des enjeux transversaux en émanant, et des retours de la consultation publique, 14 programmes d'actions prioritaires ont été proposés et soumis pour validation au ComOp « Recherche ».

Les 14 programmes d'actions proposés dans ce document sont regroupés en 4 grands thèmes :

- ▶ Données massives (*Big Data*) ou Mégadonnées
 - données massives et ingénierie de la connaissance
 - sciences des systèmes complexes
 - de l'information à la décision
 - sécurité et cybersécurité des infrastructures
- ▶ Énergie, environnement et développement durable
 - le système Terre : connaissance, surveillance et prévision
 - bioéconomie au service des transitions énergétique et écologique
 - matériaux stratégiques dans une économie durable
 - transition énergétique pour les territoires
- ▶ Vie et santé
 - Biologie des systèmes
 - Recherche translationnelle : du laboratoire au patient
- ▶ Homme et société
 - vers des espaces urbains rénovés et durables
 - technologies et services pour des transports durables
 - collaboration humain-machine
 - sciences humaines et sociales globales et connectées

Le rôle des sciences humaines et sociales (SHS) a été jugé déterminant pour chacun des défis : le recours à des approches interdisciplinaires, associant largement ses différentes composantes – socio-logie, économie... – est apparu comme une condition essentielle du transfert vers des innovations économiques ou sociétales.

Des critères de sélection, de suivi et d'évaluation des priorités de la SNR

Parallèlement aux travaux d'élaboration des orientations prioritaires de la SNR, une réflexion a été conduite afin de préciser les critères permettant de réaliser une priorisation pertinente des programmes d'actions proposés, leur suivi et leur évaluation en termes d'impact. Ces travaux ont été menés par la DGRI en lien avec le groupe de travail « Métriques » formé au sein du CSR, avec l'appui de l'Observatoire des sciences et des techniques (OST), de l'Académie des technologies (AT) et de l'Association nationale pour la recherche et la technologie (ANRT).

Différents critères ont été retenus pour analyser les programmes et définir les priorités :

- ▶ cohérence avec les autres stratégies ou plans nationaux ;
- ▶ synergies possibles entre le secteur public et le secteur privé ;
- ▶ caractère opérationnel de la proposition et potentialités d'aval industriel ;
- ▶ ratio coût/bénéfice ou gradient d'urgence ;
- ▶ caractère compétitif en termes de standards et d'applications, dans le contexte européen et international.

Trois principaux critères de suivi et d'évaluation ont également été retenus :

- ▶ mesure de l'impact sur la qualité de la production scientifique (analyses bibliométriques de l'OST) ;
- ▶ mesure de l'impact économique des innovations scientifiques attendues ;
- ▶ mesure de l'impact social des avancées scientifiques attendues (indicateurs OST).

Avis du Conseil stratégique de la recherche

Entre les mois de février et novembre 2014, l'ensemble des travaux conduits dans le cadre de l'élaboration de la SNR a été présenté, étape par étape, au CSR. Celui-ci a émis des recommandations et souhaité insister sur trois points principaux qui ont fait l'objet de nombreux échanges entre ses membres :

- ▶ le rôle stratégique et incontournable d'une recherche fondamentale d'excellence ;
- ▶ la prise en compte d'avis divergents sur les analyses des ateliers, notamment concernant les défis « Santé et bien-être » et « Sociétés innovantes, intégrantes et adaptatives » ;
- ▶ la nécessité de définir une métrique permettant de prioriser les propositions de programmes d'actions et d'évaluer leur mise en œuvre.

Analyse comparée des stratégies de recherche chez nos partenaires européens et internationaux

Les approches adoptées par nos grands partenaires européens ou internationaux pour l'élaboration de leur propre stratégie nationale de recherche – en Allemagne, au Royaume-Uni ou au Japon – sont étroitement liées à l'organisation de chacun des systèmes de recherche, de leurs forces et de leurs faiblesses, et aux relations que les gouvernements entretiennent avec leur communauté scientifique. Néanmoins, elle permet de mettre en lumière des convergences stratégiques marquées.

En premier lieu, les grandes puissances industrielles adoptent généralement une stratégie de recherche dans le but de mobiliser l'ensemble des acteurs, publics et privés, en dépassant les grandes césures institutionnelles (universités – organismes d'état, recherche – industrie), pour renforcer les synergies, aux plans national et international, mieux articuler les politiques de formation et de recherche, et favoriser le transfert et l'innovation.

Il s'agit, dans tous les cas, d'un *pacte social* qui est proposé aux acteurs de la recherche scientifique et à la société dans son ensemble, pour favoriser une grande transparence de l'investissement public en matière de recherche et d'innovation ainsi que le rapprochement des scientifiques et citoyens.

Soucieuses de répondre concrètement aux grands défis auxquels nous confronte la mondialisation en matière de démographie et de santé, de transition énergétique, de mobilité, de renouveau industriel ou de pratiques numériques, les stratégies adoptées se déclinent en plans d'actions à moyen et long terme (5 à 10 ans) et visent au développement scientifique, mais aussi économique et social, du pays concerné. Une approche multidimensionnelle a été généralement choisie pour intégrer les filières scientifiques, les technologies clés et les défis sociaux dans de grands programmes d'actions transversaux, et les convergences avec les autres grandes stratégies nationales ont pu être valorisées grâce à des nomenclatures, des normes et des indicateurs comparables.

Dans chaque pays, des organisations *ad hoc* de haut niveau, aptes à conseiller le gouvernement et à coordonner une stratégie interministérielle, ont été sollicitées ou mises en place. La méthode de travail a systématiquement consisté en une phase d'analyse et de diagnostic national et international, une phase de priorisation des orientations et des actions ainsi qu'une phase de sélection, de programmation et de mise en œuvre. Une phase d'évaluation et de mesure d'impact, en coopération avec la représentation nationale, est toujours incluse.

Les exemples allemand, britannique et japonais

Une analyse des stratégies allemande, britannique et japonaise est proposée ici, à titre d'exemple pour illustrer les grandes tendances mondiales.

1 La stratégie allemande pour une technologie de haut niveau (*Hightech-Strategie 2020*¹⁰)

À partir de 2006, le gouvernement fédéral allemand a lancé un processus interministériel en continu, destiné à mettre en œuvre une stratégie de recherche et d'innovation nationale, la *Hightech-Strategie 2020* qui a comme objectif principal d'assurer la promotion du *Standort Deutschland*, ce « pôle allemand » qui articule compétitivité internationale de haut niveau et excellence scientifique et technique. Inscrite depuis 2010 au nombre des objectifs prioritaires du gouvernement allemand, la *Hightech-Strategie* entend également décliner au niveau national les objectifs du programme cadre Horizon 2020.

Ce cadre stratégique repose sur quatre orientations majeures. La première est un effort d'investissement sans précédent pour atteindre et dépasser le cap de 3 % du PIB en investissement de R&D, conforme aux objectifs de Lisbonne de l'Union européenne. La seconde est fondée sur un partenariat de confiance entre la recherche publique, au niveau de l'État et des Länder, et le secteur privé (entreprises et partenaires sociaux), instauré et fondé sur un retour *bottom-up* permanent, sur la mise en place de *clusters* régionaux d'excellence et l'ouverture généralisée des données. La troisième repose sur une évaluation systématique et indépendante de son efficacité et des résultats obtenus. Enfin, la quatrième orientation repose sur une réévaluation régulière des objectifs prenant pleinement en compte la relance industrielle et les réponses apportées aux besoins sociaux.

Mise en œuvre

La création de « marchés phares », issus d'une coopération étroite entre la recherche et l'industrie, constitue l'élément fondamental de la *Hightech-Strategie*. En l'occurrence, elle se focalise sur cinq secteurs clés : climat et énergie, santé et alimentation, mobilité, sécurité et sûreté et, enfin, technologies de l'information et de la communication (TIC). Dans chacun de ces domaines, des projets d'avenir sont définis pour être déclinés sur les 10 à 15 années à venir.

Méthodologie

La *Hightech-Strategie* est élaborée à tous les niveaux (régionaux et fédéraux) entre acteurs de la recherche publique et l'industrie, par le biais des organismes et fédérations industrielles. Elle est pilotée par la *Forschungsunion* (l'Union pour la recherche) qui constitue un haut conseil réunissant des représentants de haut niveau issus de la recherche publique et de l'industrie : il est chargé de suivre

¹⁰ http://www.bmbf.de/pub/hts_2020_en.pdf

le déploiement de la stratégie et l'élaboration des initiatives qui permettent de la décliner au sein des groupes de travail sectoriels.

Comme plusieurs autres conseils de haut niveau instaurés par le gouvernement fédéral, notamment le Comité des Sages de l'économie qui produit des recommandations en fonction des prévisions de croissance (*Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung*), la *Forschungsunion* constitue une instance autonome vis-à-vis du ministère. En complément, le ministère allemand de la Formation et de la Recherche (BMBF) pilote des groupes de travail *ad hoc*.

2 La stratégie britannique pour l'innovation et la recherche au service de la croissance 2011-2015 (*Innovation and research strategy for growth*)¹¹

En décembre 2011, le Royaume-Uni s'est doté d'une stratégie pour l'innovation et la recherche au service de la croissance (*Innovation and research strategy for growth*) 2011-2015. Objectif : promouvoir le rôle du pays comme leader mondial en matière d'innovation, en associant potentiel scientifique et capacités industrielles pour profiter des opportunités de croissance et améliorer son positionnement sur le marché des technologies émergentes.

Mise en œuvre

Pour atteindre cet objectif économique, la stratégie britannique entend développer la recherche finalisée et l'innovation technologique, renforcer les liens des universités et des centres de recherche avec les entreprises – notamment les PME – par le développement de *clusters* de recherche et d'innovation, et favoriser l'accès au marché des produits de la recherche en réduisant au minimum les formalités administratives.

Dans ce cadre, huit grandes technologies ont été sélectionnées : les grandes masses de données (désignées priorité numéro 1), les satellites, la robotique et les systèmes autonomes, la biologie de synthèse, la médecine régénérative, l'agronomie, les matériaux de pointe et le stockage de l'énergie.

Méthodologie

Élaborée sur le long terme et révisable tous les 5 ans, la stratégie britannique est préparée puis suivie et évaluée par le conseiller du gouvernement pour la science, avec l'appui du Conseil pour la science et la technologie (20 membres) composé à parité de chercheurs et d'industriels, 70 comités consultatifs sectoriels, également paritaires, par le groupe des conseillers scientifiques du gouvernement, issus du monde de la recherche et de la société civile, ainsi que par les services de l'Agence gouvernementale

pour la Science. Le chef de file interministériel de ce processus est le ministère des Entreprises, de l'Innovation et des Compétences (*Department of Business, Innovation and Skills*).

L'articulation avec le programme européen Horizon 2020 et l'engagement vis-à-vis de la coopération scientifique avec les États-Unis sont mis sur le même plan dans la synthèse de la stratégie britannique. Les écosystèmes d'innovation des États-Unis, de l'Allemagne, de la Suède et du Japon, sont également analysés.

3 La stratégie globale pour la science, la technologie et l'innovation du Japon : innover pour préparer le futur (*Comprehensive Strategy on Science, Technology and Innovation – Bridge of Innovation toward Creating the Future*)¹²

Lancée en juin 2013 pour une période de 5 ans, la stratégie de recherche japonaise vise à relever les défis qu'affronte actuellement le pays (vieillissement démographique, stagnation économique et dégradation de l'environnement exacerbée par la catastrophe de Fukushima) pour placer ou replacer le Japon parmi les pôles mondiaux de l'innovation. Son ambition est de parvenir à mobiliser le secteur public et le secteur privé en associant à cette démarche des groupes de première importance comme Mitsubishi, Honda, Toyota, Mitsui et Sumimoto qui disposent, chacun, de centres de recherche très performants.

Mise en œuvre

Quatre priorités nationales ont été adoptées : la santé et la longévité, l'énergie propre, les ressources régionales (notamment celles du nord-est de l'archipel) et les infrastructures de nouvelle génération. Ces priorités sont déclinées en 10 programmes stratégiques de promotion de l'innovation (*Strategic Innovation Promotion Programs, SIP*) intégrant de l'amont à l'aval chercheurs et industriels, dans une optique d'innovation au bénéfice de la société et de mise sur le marché de produits technologiques compétitifs.

Ces programmes sont :

- ▶ pour la priorité « Énergie propre » : les technologies de combustion innovante, l'électronique de puissance de prochaine génération, les matériaux de structure innovants, les vecteurs énergétiques, les technologies de développement des ressources marines de prochaine génération ;
- ▶ pour la priorité « Infrastructures de nouvelle génération » : les systèmes de conduite automatique, les technologies de maintenance, de gestion et de rénovation, la résilience pour la prévention et l'atténuation de l'impact des catastrophes ;
- ▶ pour la priorité « Ressources régionales » : les industries agricoles, forestières et halieutiques de nouvelle génération, les technologies de conception et de production innovantes) ;
- ▶ la priorité « Santé et longévité » fait l'objet d'appels d'offres spécifiques.

¹¹ https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/32450/11-1387-innovation-and-research-strategy-for-growth.pdf

¹² http://www8.cao.go.jp/cstp/english/doc/2014stistrategy_provisional.pdf

Parallèlement, la stratégie japonaise a également lancé des programmes spécifiques sur les domaines à haut risque technologique, (*Impulsing PAradigm Change through disruptive Technologies, ImPACT*) sur les thèmes suivants : élaboration de nouvelles ressources, innovation dans les techniques de fabrication, protection de l'environnement et économies d'énergie innovantes, définition de liens nouveaux entre l'homme et la société (*Smart community*), vie quotidienne paisible et confortable, résilience sociale face aux catastrophes imprévisibles.

Méthodologie

Pour définir et suivre sa stratégie de recherche, le gouvernement japonais a mis en place un Conseil pour la politique scientifique et technologique (CSTP), rattaché directement au secrétariat général du Premier ministre, au même titre que les conseils pour la politique économique, la gestion des catastrophes et l'égalité entre les sexes. Présidé par le Premier ministre, le CSTP est composé des sept ministres concernés par la recherche (dont l'éducation, la santé et l'économie¹³) et de huit personnalités de haut niveau, issues du milieu académique et du monde industriel. Le CSTP japonais se réunit tous les mois autour du Premier ministre.

Chargé de coordonner la stratégie de recherche au niveau interministériel, le CSTP a contribué à la sélection des directeurs des 10 SIP et procède avec eux à la préparation, au suivi et à l'évaluation des appels d'offres lancés durant la période 2013-2017 et ouverts aux chercheurs étrangers. Par ailleurs, le CST commence à préparer sa nouvelle phase de 5 ans qui débutera en 2017 et à mettre à profit l'effet mobilisateur des prochains Jeux olympiques d'été, prévus à Tokyo en juillet 2020.

L'analyse comparée des stratégies de recherche allemande, britannique et japonaise

	ALLEMAGNE	ROYAUME-UNI	JAPON
Articulation avec H 2020	+++	+	
	Volonté de « peser sur la stratégie de recherche européenne »	Le programme H 2020 est mis sur le même plan que la coopération avec les États-Unis	NB : Les appels d'offres sont ouverts aux chercheurs européens
Budget public consacré à la recherche	++++	++	+++
	Budget public de recherche et développement en forte augmentation : de 9,3 Mds€ en 2006 à 14,4 Mds€ en 2013	11,2 Mds€ en 2011 (soit 2 % d'augmentation par rapport à 2010) ; - 0,5 Md€ pour les huit grandes technologies ; - augmentation du budget du crédit impôt recherche	11,1 Mds€ en 2014, en augmentation de 12 % ; - 760 M€ consacrés au <i>Strategic innovation program</i>
Objectif économique	+++	++	++
	Un des principaux objectifs de la <i>Hightech-Strategie</i> est la création de marchés phares	La stratégie britannique vise surtout à renforcer les <i>business opportunities</i> et les innovations de rupture	La stratégie japonaise vise à soutenir la relance de l'économie japonaise après Fukushima, accent mis sur le développement des start-up
Objectif industriel	++++	++++	++++
	L'industrie est commanditaire des orientations de la recherche allemande pour promouvoir le <i>Standort Deutschland</i>	La stratégie britannique vise prioritairement à soutenir la filière des technologies innovantes	La stratégie japonaise vise à développer les synergies de recherche entre l'État et les grands groupes industriels
Portée sociétale	+	++	++
	La société civile et les questions sociétales sont impliquées via un processus de consultations publiques	Mise en libre accès public des données issues de la recherche	La stratégie japonaise intègre le vieillissement démographique et le risque de catastrophes naturelles pour améliorer les conditions de vie, promeut une ouverture à l'international et la formation des femmes
Méthode de concertation	+++	++	+
	La <i>Hightech Strategie</i> a fait l'objet d'une concertation <i>bottom-up</i> du niveau régional auprès du grand public ou via les Länder au niveau fédéral	La stratégie britannique vise avant tout au rapprochement <i>top-down</i> entre les hauts responsables de la recherche et de l'industrie	Le processus japonais est <i>top-down</i> et contrôlé par le gouvernement

Légende:

- Ligne 1 : orientations des stratégies de recherche par rapport au programme cadre européen Horizon 2020 (H 2020);
- Ligne 2 : évolution tendancielle des budgets consacrés à la recherche-développement;
- Ligne 3 : la stratégie priviliege-t-elle l'impact économique de la recherche ?
- Ligne 4 : à quel titre la stratégie bénéfice-t-elle à l'industrie ?
- Ligne 5 : prise en compte de la dimension humaine et sociétale ;
- Ligne 6 : prise en compte de la concertation dans l'élaboration de la stratégie.

¹³ En l'occurrence le MEXT (*Ministry of Education, science and technology*), le MHLW (*Ministry of Health, Labor and Welfare*) et le METI (*Ministry of Economy, Trade and Industry*).

Les spécificités de la SNR française

Si elle s'inscrit dans la même dynamique et choisit des méthodes d'élaboration et de pilotage similaires à celles de ces trois modèles, la SNR française présente toutefois des spécificités.

La SNR se positionne comme un moyen de répondre aux enjeux sociétaux, économiques et technologiques mais, contrairement aux stratégies britannique et allemande, ces enjeux ne sont pas l'objectif en soi. À ce titre, la SNR française souligne le rôle transversal dévolu aux sciences humaines et sociales, impliquées dans chacun des défis. Elle insiste également, en maintenant une recherche fondamentale au meilleur niveau mondial, sur la nécessité d'articuler recherche amont et recherche aval, en particulier le transfert vers les ETI, PME et start-up pour permettre la montée en gamme des produits et services, ainsi que le développement d'emplois qui l'accompagne.

Afin d'en consolider la légitimité, la France a, par ailleurs, mis l'accent sur la dimension participative et *bottom-up* de sa stratégie de recherche, en associant à son élaboration des experts de la communauté scientifique et du monde de l'industrie ainsi que tous les ministères concernés.

Enfin, la SNR française se caractérise par son souci d'associer largement des experts européens et internationaux à la définition de ses priorités, à leur suivi et à leur évaluation, pour renforcer ses synergies avec la programmation européenne et de se déployer à l'international.

Grands fondements de la stratégie nationale de recherche

La recherche fondamentale et l'avancement des connaissances

Relever l'ensemble des grands défis sociaux portés par la SNR nécessite des ruptures conceptuelles en plus de la levée de verrous technologiques. La recherche fondamentale joue pour cela un rôle déterminant et, en ce sens, constitue le premier des défis que notre société doit relever en matière de recherche et d'innovation.

La plupart des applications technologiques et des avancées qui, au cours des deux derniers siècles, ont révolutionné notre vie dans les domaines de la santé, de l'énergie, de la communication ou des transports, sont le produit, parfois fortuit, des connaissances accumulées par la recherche fondamentale. Nombre de technologies modernes omniprésentes aujourd'hui trouvent leur origine dans des découvertes inattendues ou motivées par la simple curiosité scientifique, ou des avancées venant parfois de domaines éloignés. Le laser (et ses applications médicales et techniques), le téflon, les antibiotiques, le graphène (à la base d'une nouvelle chimie des matériaux), la relativité (sous-tendant la précision extraordinaire du positionnement GPS), la théorie des nombres (et ses applications en cryptographie ou dans les codes correcteurs), sont autant d'exemples ayant trouvé des applications qui n'étaient pas imaginées au moment de leur découverte. Les prix Nobel de physique, de chimie ou de médecine, témoignent que les avancées majeures en recherche fondamentale sont souvent associées à un impact fort en termes de développement d'applications, voire d'interface industrielle (spintronique, VIH, traitement d'image, robotique médicale, matériaux cicatrisants, et d'autres encore).

Bien qu'incontestée, la contribution de la recherche fondamentale à l'innovation n'est souvent ni directe ni prévisible, et sa traduction en application peut présenter des délais importants ; c'est la raison pour laquelle son financement doit être assuré par l'État.

La recherche fondamentale française, qui manifeste son excellence dans de nombreux domaines où elle est à la pointe de la science mondiale, est donc un fondement essentiel de la stratégie nationale de recherche. Elle a besoin de liberté, assortie d'une exigence d'excellence, pour s'exercer pleinement. Les écosystèmes intégrés tels que le Technion ou le CERN, par exemple, montrent qu'elle est également stimulée par des échanges avec la recherche technologique.

Le transfert technologique et l'innovation

La recherche partenariale (comprenant la recherche collaborative avec des entreprises, la recherche contractuelle et les activités de consultation) représente en France environ 10 % de la dépense intérieure de recherche et développement¹⁴. Elle s'inscrit dans une logique d'*open innovation* : les entreprises, même les plus importantes, ne sont pas en mesure de développer en interne la R&D nécessaire au déploiement des technologies dont elles ont besoin. Par exemple, les entreprises dans les secteurs de l'automobile, de l'aéronautique et de l'énergie, doivent être à la pointe dans des disciplines aussi variées que les matériaux, les TIC, l'énergétique, l'optronique, l'automatique... Elles ont donc développé des stratégies qui consistent à travailler avec les meilleurs partenaires et laboratoires, partout dans le monde.

Pour assurer la transformation des découvertes scientifiques en nouveau produit ou en service innovant, une recherche technologique de pointe, assurant le passage du concept au démonstrateur, est nécessaire. La recherche technologique, publique et privée, est donc un élément indispensable de la SNR.

Cette recherche nécessite des infrastructures spécifiques, une masse critique d'experts dotés d'un large spectre de compétences et une organisation particulière, instaurant des modes de coopération entre ingénieurs, chercheurs et industriels, adaptés à l'ampleur des projets et à la taille des entreprises. Dans la majorité des cas, la solution qui permet de créer un nouvel espace dans la chaîne de valeur repose sur la combinaison de multiples technologies, à la fois matérielles et logicielles, et s'appuie sur une base scientifique très large. Par la variété de ses champs d'application et des sciences qu'elle mobilise, cette recherche est, par nature, interdisciplinaire et intégrative.

Aujourd'hui, la recherche technologique constitue un goulot d'étranglement dans notre processus d'innovation, alors qu'elle représente un enjeu sociétal, économique et social majeur, autant pour la compétitivité de nos industries de pointe que pour les secteurs plus traditionnels. La France est tout particulièrement confrontée à ce phénomène, alors que d'autres pays, comme les États-Unis ou l'Allemagne, affichent une plus grande fluidité entre recherche fondamentale et développement industriel. La dynamique de ces dernières années est insatisfaisante : en 10 ans, les contrats de recherche facturés aux entreprises ont progressé de seulement 7 % à 743 millions d'euros en 2010, ce qui a représenté une baisse de la part des contrats dans le budget des établissements de 5 % en 2000 à 4,5 % en 2010. Il convient donc de soutenir une recherche technologique forte et de qualité pour préserver la capacité de diffusion des technologies nouvelles à l'ensemble des acteurs de la filière, alimenter le renouveau

industriel aujourd'hui indispensable pour nos emplois, mais aussi pour faire face aux avancées technologiques et mieux les maîtriser, voire les anticiper. Il s'agit de l'un des éléments de contexte de la phase 3 des pôles de compétitivité, des travaux de la commission « Carnot 3.0 » chargée de préparer l'avenir du dispositif Carnot, ou de la mise en place de l'appel à projets « LabCom » par l'ANR.

La maîtrise des « technologies clés génériques » (*Key Enabling Technologies, KET* : micro et nanoélectronique, matériaux avancés, nanotechnologies, biotechnologies, photonique et systèmes avancés de production) représente en particulier un enjeu capital, désormais intégré dans la stratégie européenne de recherche et d'innovation. Au-delà de leur fort potentiel de croissance, les KETs sont l'occasion de rapprocher la recherche fondamentale de la recherche industrielle, à l'échelle nationale comme européenne, et de faire émerger de nouvelles filières industrielles.

La recherche finalisée au service des politiques publiques

Un autre axe de notre système français de recherche et d'innovation – la recherche « finalisée » – est lié à une mission d'appui aux politiques publiques qui se situe au même niveau que la mission d'appui au développement économique.

La recherche finalisée est indispensable pour atteindre les objectifs définis par les politiques publiques : inventer un vaccin contre le sida, trouver des solutions pour contrer la résistance aux antibiotiques, concevoir un réacteur nucléaire de nouvelle génération, évaluer la mise en place de la directive européenne sur l'eau ou les risques – réels ou potentiels – de la construction d'un barrage, s'adapter au changement climatique... Autant d'exemples où le facteur de succès repose sur la capacité de traduire ces questions « de société » en questions de recherche, de mobiliser les compétences inter et pluridisciplinaires, en intégrant les sciences humaines et sociales, les infrastructures nécessaires et l'ensemble des acteurs concernés.

Il ressort ainsi la nécessité pour les pouvoirs publics de favoriser les échanges entre recherche fondamentale, recherche technologique et recherche finalisée, afin que de leur interaction permanente surgissent les concepts novateurs de demain.

¹⁴ Mission sur les dispositifs de soutien à la recherche partenariale, IGF-IGAENR-CGEIET, 2013.

La transversalité des sciences humaines et sociales

Articulée autour des défis sociétaux, la SNR met l'homme et la société au centre de sa définition. Il est donc impératif que ses objectifs soient intelligibles pour les citoyens et que les retombées qu'ils peuvent en attendre soient exprimées en termes clairs et lisibles. Les sciences de l'homme et de la société (SHS) sont à la fois essentielles et transversales dans la définition d'une stratégie nationale de recherche.

Les priorités que la SNR met en avant ne pourront progresser que si une articulation plus forte est mise en place entre les SHS et les autres secteurs scientifiques. Des thématiques – comme celle du handicap, du vieillissement ou de l'alimentation – ont trait à des phénomènes ou à des comportements qui ne sauraient se réduire à leur substrat biologique. Il est donc essentiel d'assurer, au travers de configurations de recherche d'un type encore inédit, la collaboration des communautés scientifiques pertinentes. Les enjeux de l'énergie, de la ville ou des transports, par exemple, ne peuvent être envisagés sans que physiciens, informaticiens et spécialistes des sciences de l'environnement, ne se voient dotés des moyens de travailler avec leurs collègues des SHS.

Au-delà des exhortations rituelles à l'interdisciplinarité, l'intégration des SHS doit désormais être portée en pratique au niveau d'intensité et d'efficacité que l'on peut observer chez nos compétiteurs. L'initiative « Énergie » du MIT – agrémentant des économistes, des politistes, des spécialistes du paysage et de l'architecture, de la sécurité ou des sciences cognitives, autour des physiciens et des énergéticiens – est l'un des nombreux exemples qui pourraient alléger de la nécessité et de la fertilisation croisée des configurations interdisciplinaires nous faisant actuellement défaut.

Ce mélange des cultures ne pourra être mis en place de façon efficace qu'en portant également une attention particulière au domaine des SHS dans la stratégie nationale de l'enseignement supérieur. La mise en œuvre de ce mélange non seulement dans la recherche, mais dans l'enseignement supérieur est l'une des clés de la réussite d'ensemble du projet.

La transmission des savoirs et la formation de toutes les générations

Une stratégie nationale de la recherche n'a de sens qu'intimement articulée aux autres dynamiques du pays, à commencer par la stratégie nationale d'enseignement supérieur. La création de connaissances s'enrichit de leur diffusion, de leur partage et de leur confrontation à la diversité des approches et points de vue. Pour répondre aux enjeux sociétaux, il faut donc non seulement produire ces connaissances, mais aussi s'assurer de leur intégration dans nos pratiques et dans notre société ainsi que dans les formations, que ce soit en formation initiale ou tout au long de la vie. Si les formations universitaires s'appuient naturellement sur l'avancée du front des connaissances, l'adossement à la recherche doit pouvoir être étendu à l'ensemble des formations supérieures, ouvrant parfois de nouvelles approches susceptibles de contribuer utilement à la réponse aux enjeux sociétaux. Inversement, les parcours de formation doivent prendre en compte les nouveaux enjeux de la recherche, et notamment les enjeux d'interdisciplinarité.

Les groupes d'experts mobilisés dans la préparation de la SNR ont systématiquement souligné ce développement de nouveaux métiers, de nouvelles compétences, et donc le besoin de proximité des formations supérieures à la pointe des connaissances, d'adaptabilité de l'offre de formations et de diversification des modalités pédagogiques correspondantes. La granularité choisie des filières de formation doit toutefois maintenir les formations « de niche » pour la transmission des savoir-faire spécifiques.

Enseignement supérieur et recherche ne sont qu'un seul et même monde : c'est ce qui fait toute la valeur des universités standard mondial en termes d'enseignement supérieur et de recherche. Cette proximité doit s'incarner dans une collaboration de plus en plus étroite entre établissements d'enseignement supérieur et organismes de recherche au sein des regroupements territoriaux (COMUE, fusion, association) et dans la définition des politiques de site.



GRANDES ORIENTATIONS STRATÉGIQUES DE LA SNR



DÉFI 1

Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique

Périmètre du défi

Dans le contexte de dérèglement climatique et de dégradation, voire parfois d'épuisement des ressources naturelles, la *gestion sobre des ressources* concerne toutes les ressources utilisées ou plus généralement impactées par l'homme pour son alimentation, son énergie et son activité industrielle : les organismes vivants (micro-organismes, végétaux et animaux formant la biodiversité et la biomasse), les eaux de surface et souterraines, les sols, l'air mais aussi les substances minérales ou organiques (matériaux minéraux, ressources énergétiques...). La gestion sobre et durable de ces ressources nécessite de comprendre les mécanismes qui régissent leur formation, leur fonctionnement et leur évolution, et de prendre en compte les impacts potentiels de l'exploitation d'une ressource sur les autres. La question de l'*adaptation au dérèglement climatique* suppose, pour sa part, de mieux comprendre le fonctionnement du climat ce qui demande une double approche de surveillance et de modélisation, afin d'améliorer les outils de prévision et de projection à long terme, pour ensuite évaluer les impacts potentiels du changement climatique et construire des stratégies d'adaptation des sociétés et des économies aux changements locaux et globaux en cours.

Sur ce volet, le défi 1 doit s'appuyer sur la structuration internationale des recherches particulièrement vitale pour l'étude du climat global. Les chercheurs français participent étroitement à l'élaboration des stratégies internationales au sein du *World Climate Research Programme* (WCRP) et du programme *PAGES (Past Global Changes, IGBP)* qui ont identifié les grandes questions à aborder pour appréhender l'évolution du climat : nuages, circulation et sensibilité du climat, cryosphère, événements climatiques extrêmes, information climatique régionale, montée du niveau des mers à l'échelle régionale et ressources en eau, auxquels s'ajoutent celles qui portent sur les climats passés : forçages climatiques, dynamiques climatiques régionales et globales du système Terre, interactions entre activités humaines, écosystèmes et climat.

Ces deux versants du défi, gestion et adaptation, ont une dimension mondiale : les phénomènes climatiques et environnementaux dépendent de systèmes naturels interconnectés, évolutifs et complexes, soumis aux actions de l'homme, et agissant indépendamment des frontières, à des échelles d'espace et de temps emboîtées. Pour étudier ces phénomènes, seule une approche globale et interdisciplinaire du « système Terre » sera à même de caractériser la variabilité naturelle de ce système et d'évaluer les effets d'une action de l'homme sur l'une de ses composantes. Cette approche doit s'appuyer sur les données fournies par des dispositifs d'observation intégrés dans des réseaux européens et internationaux et basés sur des technologies innovantes de capteurs et de réseaux de capteurs.

Le champ thématique impliqué dans ce défi est extrêmement large et implique les sciences de la Terre et du vivant, mais aussi la physique, la chimie, les mathématiques, l'informatique et les sciences humaines et sociales (SHS) pour étudier les interactions entre les êtres humains et leur environnement.

ATOUTS

Le domaine dispose de compétences scientifiques reconnues (4^e rang mondial en nombre de publications en sciences de l'atmosphère et 5^e pour les sciences de la Terre) et d'une expertise scientifique de haut niveau au travers des participations aux grandes structures internationales (GIEC¹⁵, IPBES¹⁶, GBI¹⁷) ainsi qu'une participation à 4 initiatives européennes de programmation conjointes sur l'eau, les océans, le climat et le changement climatique. Le domaine est également bien structuré, avec une alliance dédiée à l'environnement réunissant environ 12000 scientifiques¹⁸ (AllEnvi) et des filières économiques établies ou en construction comptant de grands groupes comme Lyonnaise des Eaux, Veolia, Areva, Total, GDF Suez ou Air Liquide et de nombreuses PME. La France est bien placée pour le futur marché des services climatiques et environnementaux, avec notamment un avantage compétitif dans le domaine du spatial.

¹⁵ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

¹⁶ Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.

¹⁷ Global Biodiversity Information Facility.

¹⁸ Chercheurs, enseignants-chercheurs et ingénieurs travaillant sur des questions environnementales au sein des 24 organismes de recherche et universités, membres fondateurs ou associés de l'alliance nationale de recherche pour l'environnement AllEnvi.

► FREINS

L'ensemble du dispositif d'observations manque de cohérence du fait d'une dispersion de la gouvernance au sein de divers établissements porteurs qui conduit à la multiplication de services (services d'observation, observatoire de recherche en environnement, services d'observation et d'expérimentation et de recherche en environnement...) difficiles à coordonner. Les modes de financement sur une base annuelle ne sont pas les plus appropriés pour maintenir des structures d'observation pérennes, notamment à un moment où il est nécessaire d'envisager le renouvellement de la flotte aérienne et océanographique.

Sur le plan du développement économique, il est essentiel d'implanter sur le territoire français une forme d'économie à très haute valeur ajoutée dans laquelle les ressources naturelles primaires soient prises en compte, préservées, gérées et valorisées de manière intégrée et transversale. Les biotechnologies et plus généralement la bioéconomie, qui concerne l'utilisation du vivant à des fins économiques, sont porteuses de développements technologiques très novateurs, nécessaires pour économiser nos ressources, substituer une énergie à une autre, ou concevoir des modes de production plus économies permettant une gestion sobre des ressources. Elles constituent un secteur en forte croissance au niveau mondial qui intéresse également les défis « sécurité alimentaire » et « énergie ». Cette démarche doit prendre en compte les concurrences potentielles entre les différents usages des ressources, notamment l'usage alimentaire.

◎ GRANDES ORIENTATIONS

Le défi exige une approche globale du système Terre afin d'être en mesure de suivre les changements climatiques ainsi que l'impact des activités humaines à toutes les étapes de l'exploitation des ressources. Il s'agira, en premier lieu, d'améliorer l'instrumentation pérenne de la Terre de façon à renseigner de plus en plus finement et à différentes échelles spatiales et temporelles ses diverses composantes (atmosphère, océans, sols, sous-sols, socio-écosystèmes...). Les données recueillies permettront d'améliorer la modélisation des processus, et donc du fonctionnement de ces systèmes complexes et leur réponse à différents scénarios futurs. Les informations obtenues par ces observations et expérimentations, poursuivies sur le long terme, sont à la base de toutes les réflexions scientifiques (compréhension des processus et modélisation de la machine climatique, des écosystèmes et des milieux), économiques (services d'informations climatiques et environnementales en temps réel, prévisions) et sociétales (risque, prise de décision, aménagement) portant sur la gestion des ressources dans un contexte de réchauffement climatique.

Parallèlement, il est indispensable d'évaluer les impacts des activités humaines sur les réserves et la qualité des ressources naturelles. Cela est nécessaire en particulier pour les « services écosystémiques » qui font référence aux bénéfices que les êtres humains tirent de leur environnement. L'étude de ces impacts doit sortir de l'approche en silo qui a cours actuellement pour prendre en compte tous les milieux directement ou indirectement concernés, les impacts directs ou potentiels, et toutes les motivations et implications sociétales. En effet, chaque composante (écosystèmes, biodiversité, eau, sol, sociétés, territoires) interagissant avec les autres, les exploitations des différentes ressources auront des impacts croisés majeurs.

L'étude de ces risques doit aujourd'hui être revisitée pour tenir compte du changement climatique qui bouscule les régularités historiques sur lesquelles elle se fonde en partie. Elle doit également considérer simultanément les risques naturels et ceux potentiellement liés au processus d'innovation car ils peuvent se combiner et démultiplier leurs effets. Cette recherche consistera notamment à identifier des zones à risques, assurer leur suivi, et évaluer les impacts potentiels, écologiques et économiques, et la capacité d'auto-restauration (résilience) des écosystèmes. La perception du risque de nos sociétés et les processus qui lient information et décision, qu'il s'agisse des décisions prises par les pouvoirs publics ou par le citoyen, doivent également être étudiées par les SHS.

Le littoral émerge comme objet de recherche exemplaire car s'y conjuguent les risques climatiques, environnementaux et telluriques ainsi que les impacts des activités humaines (rejets, surexploitation de la ressource...), et la France est un des plus grands États côtiers du monde, principalement grâce aux départements et collectivités d'outre-mer. Elle dispose de la deuxième zone économique exclusive mondiale (11 millions de km²). L'étude du littoral permettra d'anticiper son devenir face au changement global (dérèglement climatique, poussée démographique, montée de niveau de la mer...).

Orientations de recherche

Orientation 1 / Suivi intelligent du système Terre

Le suivi du système Terre devra s'intensifier avec la mise en œuvre de dispositifs innovants et pérennes (infrastructures, capteurs, modélisation, grandes masses de données) pour mieux connaître le fonctionnement du système et être en mesure de développer des services au monde économique (informations climatiques et environnementales en temps réel). Il inclura le recueil et la diffusion de nombreuses données, qu'elles soient physico-chimiques, biologiques, écologiques et climatiques, ou issues des archives climatiques et environnementales ou émanant des sciences participatives. Les nouveaux dispositifs d'observation et d'expérimentation seront intégrés dans des réseaux européens et/ou internationaux et déployés au sol ou bien embarqués sur les flottes scientifiques à renouveler (flottes océanographique et aérienne), à développer (drones, ballons et dirigeables) ou à maintenir (satellites). Ce défi fera une place importante à la compréhension des processus clés mis en avant par les programmes internationaux et à la modélisation du système Terre dans ses différentes composantes et échelles de temps, passées, présentes et futures.

Orientation 2 / Gestion durable des ressources naturelles

L'étude des ressources naturelles doit sortir de l'approche en silo pour adopter une approche croisée prenant en compte les écosystèmes, la biodiversité, l'eau, les sols, les ressources du sous-sol et les territoires. Elle doit intégrer une analyse coût-bénéfice incluant les retours sur investissement attendus en termes de finances et d'emplois, mais aussi les effets potentiels sur l'environnement, la biodiversité et la santé humaine. Il s'agira d'aller vers un inventaire national actualisé des ressources dites critiques, minérales et énergétiques, avec une vision croisée des différents compartiments, de leurs ressources, de leurs usages et éventuels conflits d'usage pour les territoires et les sociétés qu'ils abritent.

Orientation 3 / Évaluation et maîtrise du risque climatique et environnemental

Le dérèglement climatique associé à la densification de l'occupation des sols et à l'augmentation des populations rend l'approche de prévision des aléas (probabilité d'occurrence) climatiques et environnementaux (traditionnelle, basée sur les chroniques historiques disponibles depuis le début du siècle dernier), insuffisante et nécessite de lancer des recherches nouvelles couplant l'impact des risques naturels, technologiques et industriels. Il s'agira de documenter les zones à risques et d'évaluer les impacts d'un événement hydro-climatique ou toxicologique dangereux, de développer les services de prévision pré-opérationnels et de nouveaux tests écotoxicologiques et toxicologiques. Il sera également nécessaire d'étudier l'adaptabilité des écosystèmes et d'analyser l'impact économique de leur dégradation. Des études complémentaires sur la perception du risque de nos sociétés seront indispensables pour développer des stratégies d'adaptation et d'auto-restauration (résilience).

Orientation 4 / Éco et bio technologies pour accompagner la transition écologique

Une approche intégrée de la filière émergente des éco et biotechnologies devra être encouragée afin de satisfaire les besoins socio-économiques en minimisant les impacts sur l'environnement (faible utilisation des ressources, meilleure efficacité, technologies curatives). En particulier, l'analyse de cycle de vie constituera un socle méthodologique à affiner pour s'adapter aux questions particulières des écosystèmes et de leur gestion.

Orientation 5 / Le littoral, un « laboratoire » pour étudier l'ensemble des préoccupations associées aux ressources et au changement climatique

Le littoral, le lieu où se concentrent de nombreux risques d'origine naturelle ou anthropique, fournira un lieu exemplaire pour intégrer les approches précédentes afin d'avoir une vision globale des ressources du sous-sol, de l'économie riveraine liée aux ressources primaires biologiques, à l'énergie et au transport, du développement de l'urbanisme, de l'aménagement du territoire et du tourisme, des enjeux de préservation du patrimoine naturel et culturel. Pour cela, la collecte massive d'informations et la construction d'outils de modélisation et scénarisation sera entreprise sur l'ensemble du continuum terre-mer.



DÉFI 2

Une énergie propre, sûre et efficace

Périmètre du défi

Face à l'accroissement des besoins énergétiques au niveau mondial et aux contraintes fortes imposées par la lutte contre le dérèglement climatique, il est impératif de penser un nouveau modèle fondé sur une plus grande sobriété énergétique, une meilleure efficacité et l'utilisation croissante des énergies renouvelables. Ce modèle nécessitera de faire évoluer le système actuel, fondé sur les grands réseaux, vers un système plus décentralisé et assurant une meilleure valorisation des sources locales. Quelles que soient les orientations retenues *in fine* pour structurer le paysage énergétique de demain, les trajectoires de transition supposent une transformation progressive, en raison de l'importance des investissements requis, mais profonde du système énergétique français.

Ces trajectoires de transition reposent sur une combinaison complexe de progrès dans les concepts scientifiques fondamentaux, d'innovations technologiques et de changements de comportements. Les efforts de recherche, développement et innovation sont essentiels pour consolider la compétitivité des filières existantes (énergies fossiles, nucléaires et renouvelables), exportatrices, réserve de

richesse et d'emplois, mais aussi pour faire émerger les nouveaux systèmes énergétiques et les filières industrielles qui en découlent. La recherche fondamentale est déterminante pour faire émerger des concepts en rupture : la physique, par exemple, pour améliorer le rendement des énergies renouvelables (matériaux nanostructurés des cellules photovoltaïques) ou pour prédire la durée de vie des matériaux ; les mathématiques, pour modéliser le traitement des données (gestion des réseaux de distribution) ; ou encore la chimie, pour mettre au point de nouveaux procédés de capture et de nouvelles voies de valorisation du CO₂. Ces travaux devront intégrer l'apport des sciences humaines et sociales, et notamment des sciences économiques, à tous les niveaux de la réflexion et le plus en amont possible dans les processus de décision afin de garantir une réponse correspondant à la demande et de soutenir la compétitivité de l'économie.

Ce défi « énergie » de la stratégie nationale de recherche et ses orientations sont fortement liés à la construction d'une nouvelle stratégie nationale de recherche dans le domaine de l'énergie (SNRE), co-élaborée par le MEDDE et le MENESR.

ATOUPS

La France dispose dans le domaine de l'énergie d'un tissu académique, d'organismes de recherche et d'innovation et de structures de formation au meilleur niveau mondial. Par ailleurs, le secteur de la recherche et développement est déjà bien structuré avec une alliance nationale, Ancre, qui coordonne spécifiquement les efforts de recherche dans le secteur de l'énergie et au niveau territorial, cinq pôles de compétitivité et des Instituts Carnot dédiés. Des liens forts ont également été établis avec les grands acteurs industriels internationaux du secteur de l'énergie comme Total, Alstom, EDF, GDF Suez ou Schneider-electric mais aussi avec des PME et ETI à travers le syndicat des énergies renouvelables (SER). De fait, l'effort de R&D-énergie par unité de PIB est relativement élevé en France (inférieur seulement à celui du Japon).

► FREINS

Les modes de fonctionnement du monde académique sont encore trop disciplinaires et ne favorisent pas suffisamment le rapprochement d'acteurs qui n'ont pas l'habitude de travailler ensemble, notamment les sciences exactes avec les sciences humaines et sociales. Ils intègrent insuffisamment les attentes du tissu industriel français, notamment en termes de coûts et de compétitivité.

◎ GRANDES ORIENTATIONS

La stratégie nationale de recherche favorisera l'émergence d'une approche globale combinant les aspects liés à la production de l'énergie, à son utilisation et à l'adaptation dynamique entre l'offre et la demande.

Toutes les filières : biomasse, éolien, solaire, géothermie, énergie nucléaire et énergies fossiles y compris hydrocarbures non conventionnels avec capture et recyclage du carbone, doivent être intégrées dans les réseaux de distribution. Il sera alors possible de tirer parti des complémentarités et des synergies entre les filières par une gestion dynamique de la demande. Par exemple, l'excès de production d'énergie solaire permettra de produire l'hydrogène qui alimentera une voiture, ou bien différentes sources d'énergie pourront être utilisées pour couvrir les besoins d'un territoire. Pour cela, il sera nécessaire de recourir à des technologies performantes de stockage et de conversion entre vecteurs énergétiques décarbonés (électricité, hydrogène et autres gaz, chaleur), et de s'appuyer sur le développement de réseaux énergétiques intelligents.

Le second objectif vise à organiser et à optimiser la gouvernance de ces nouveaux systèmes qui accueillent, aux côtés des quelques grands acteurs historiques, une multitude de petits fournisseurs. Il sera nécessaire d'étudier l'influence de ces évolutions sur les acteurs de la filière énergétique et sur les modes de gouvernance au niveau des territoires, et de mesurer leurs effets sur l'économie et l'emploi. La recherche en prospective, qualitative ou modélisée, permettra de prendre en compte, à tous les niveaux d'analyse, les volontés de changement, les contraintes naturelles ou de ressources, les impacts des différents futurs possibles, enfin les marges de manœuvre procurées par le changement technique et par l'intelligence sociale. Cet objectif requiert la pluridisciplinarité et doit intégrer les collectivités territoriales, lieux de démonstrations et de mise en cohésion des systèmes centralisés et délocalisés.

Parallèlement à l'intégration des énergies renouvelables dans les réseaux, la sobriété est une voie complémentaire à développer. L'amélioration de l'efficacité énergétique dans les domaines les plus énergétivores (bâtiments, transports, systèmes de production) est également au cœur de la transition énergétique. Les efforts de recherche viseront à réduire la consommation afin de satisfaire des besoins de confort et de mobilité sans augmenter les coûts, notamment pour les procédés industriels.

Réduire le besoin en matériaux critiques est une troisième voie de recherche contribuant à la transition énergétique qui est riche de potentialités économiques. Les nouvelles technologies associées à la production énergétique utilisent en effet de nombreux matériaux, stratégiques par leur rareté ou leur disponibilité incertaine. Trouver de nouveaux matériaux plus performants ou moins chers, mieux maîtriser les phénomènes de vieillissement des matériaux du domaine de l'énergie ou être en mesure de recycler les matériaux des dispositifs en fin de vie permettra de réduire notre dépendance et d'assurer la durabilité du secteur. L'innovation technologique se concentrera aussi sur la conception de procédés et d'objets techniques propres, efficaces et économies en matières premières, en particulier pour la captation et/ou la transformation des énergies renouvelables et le stockage des énergies, mais aussi pour la fabrication des matériaux de structure sous les sollicitations extrêmes propres aux systèmes énergétiques.

Enfin, une dernière voie consiste à remplacer le carbone fossile utilisé pour la production des carburants mais aussi par l'industrie de la chimie de synthèse, par le carbone qui compose majoritairement la biomasse. Il est nécessaire pour cela de mettre au point des procédés d'extraction et de purification de ce carbone bio-sourcé qui soient eux-mêmes respectueux de l'environnement, mais également de concevoir de nouveaux procédés chimiques et biotechnologiques pour la valorisation du carbone issu de la biomasse ou bien du CO₂ capté sur les installations industrielles existantes. Ces nouvelles applications tiendront compte des autres usages de la biomasse.

Orientations de recherche

Orientation 6 / Gestion dynamique des systèmes énergétiques

L'intégration de sources d'énergie renouvelable de plus en plus diversifiées, nombreuses et localisées augmente la complexité du système et nécessite d'adopter une approche globale afin que sa gestion soit la plus sûre et efficace possible. Il faudra donc simultanément développer des moyens techniques permettant d'intégrer des énergies renouvelables dans les réseaux de distribution et les outils permettant d'adapter l'offre à la demande, c'est-à-dire en combinant de façon optimale les sources d'énergie « bas carbone », souvent irrégulières (éolien, solaire) avec des sources d'électricité programmables, notamment le nucléaire. Il sera nécessaire pour cela de développer les différents vecteurs énergétiques (notamment l'hydrogène), les technologies de stockage et de conversion entre vecteurs (batteries, piles à combustibles, électrolyseurs) ainsi que des réseaux d'énergie intelligents et sûrs permettant de transporter l'électricité du local aux grands réseaux européens (plaques européennes).

Orientation 7 / Gouvernance multi-échelles des nouveaux systèmes énergétiques

Il s'agira de concevoir de nouveaux modes de gouvernance, décentralisés, efficaces et équitables, permettant d'organiser l'usage des énergies renouvelables en prenant en compte la multitude des petits producteurs qui en sont à l'origine. Pour cela on travaillera à l'optimisation des interfaces entre les différentes échelles, du local au global. Les modes de gouvernance prendront en compte la gestion des énergies au niveau du territoire et leur articulation avec le national ; ils devront inclure les coûts des systèmes énergétiques et anticiper les impacts sur les industriels et les particuliers.

Orientation 8 / Efficacité énergétique

Les efforts d'innovation doivent être poursuivis pour concevoir des solutions permettant de limiter les besoins énergétiques dans les secteurs du bâtiment, des transports et des systèmes productifs. Pour être efficaces, ces solutions devront combiner des technologies innovantes (nouveaux isolants, récupération de chaleur, optimisation des moteurs, compteurs intelligents...), des nouveaux comportements d'acteurs, des logiques collectives et des dispositifs d'incitation et de diffusion.

Orientation 9 / Réduction du besoin en matériaux stratégiques

Réduire la dépendance aux matériaux stratégiques pour les systèmes énergétiques passe par la mise en place d'une réflexion englobant toute la chaîne allant de leur extraction du sous-sol à leur recyclage en passant par leur utilisation. Il faudra regrouper les compétences sur ces trois volets afin de soutenir l'émergence d'une filière durable de ces matériaux et concevoir des méthodes de production et de recyclage innovantes et propres. Cela supposera notamment d'étudier les comportements de ces matériaux sous sollicitations multiples, de trouver des matériaux de substitution, d'optimiser les rendements et les durées de vie.

Orientation 10 / Substituts au carbone fossile pour l'énergie et la chimie

La production de biocarburants et les applications issues de la chimie biosourcée n'en sont qu'à leur début. Pour que ces filières de substitution soient durables, il faudra rompre avec des raisonnements de spécialité et penser le procédé chimique ou le biocarburant à la lumière des applications concurrentes, de la mobilisation ou de l'utilisation locales ou non de la ressource et du produit, de ses conditions d'extraction, des possibilités de recyclage du produit, de l'existence d'autres matériaux de substitution...



DÉFI 3

Stimuler le renouveau industriel

Périmètre du défi

La France a connu depuis les trente dernières années, et singulièrement depuis la dernière décennie, un processus de désindustrialisation plus accentué que d'autres pays de l'OCDE. La part de l'industrie manufacturière dans la production est désormais de l'ordre de 10 % du PIB, derrière le Royaume-Uni et bien inférieure à l'Allemagne (22 %). La destruction d'emplois industriels en France (un million d'emplois industriels en 15 ans) résulte essentiellement d'une compétitivité hors-coût insuffisante pour nous différencier de pays à plus bas coût de production, en particulier des pays émergents. Le renouveau industriel, essentiel pour la croissance et la création d'emplois, dépendra donc fortement de notre capacité d'innovation pour repositionner en gamme nos produits et services, et créer de nouveaux secteurs d'activités et de nouveaux métiers.

Outre l'effort de R&D spécifique à chacune des filières industrielles, les innovations transversales nécessaires à ce repositionnement reposent notamment sur une évolution des chaînes de production en vue d'améliorer les postes de travail, d'optimiser les coûts, et d'assurer l'adaptabilité des procédés

de fabrication aux besoins individuels des clients et à la réduction des délais. Un axe majeur d'innovation transfilière, centré sur l'usine et les procédés industriels, est présenté dans les programmes européens « *Factories of the Future* » et « *Spire* », ou encore dans le plan « *Usine du futur* » de la Nouvelle France Industrielle.

Les innovations transversales naîtront de recherches pluridisciplinaires impliquant les sciences et technologies du numérique, l'instrumentation et la métrologie, l'ingénierie, la robotique, la chimie et la physique des matériaux, mais aussi des sciences humaines et sociales, en particulier celles qui s'intéressent à l'interaction humain-machine.

ATOUPS

La France dispose d'une recherche de grande qualité sur un large spectre, en particulier dans les disciplines qui fondent les sciences de l'ingénieur – les mathématiques (5,9 % des publications mondiales en 2012), la physique (4,7 % des publications mondiales en 2012) – et d'un savoir-faire technologique compétitif dans les domaines de la chimie, la physico-chimie des matériaux et l'ingénierie. En termes de capacité de rebond industriel, le rapport Gallois a fait le bilan des atouts de la France : elle dispose de pôles d'excellence mondiaux (industrie aéronautique et spatiale, énergie, agroalimentaire, pharmacie, industrie culturelle, luxe...), de grands groupes puissants et une capacité à faire émerger des PME innovantes, une productivité horaire élevée, un prix de l'énergie électrique relativement bas, des infrastructures et des services publics de qualité, une qualité de vie facteur d'attractivité.

► FREINS

À l'inverse de l'Allemagne ou du Japon notamment, aucun grand groupe français n'a de position majeure dans les équipements industriels, facteur différenciant de compétitivité. La coopération entre les acteurs de la recherche académique et de l'industrie notamment, en dépit des nombreux outils mis en place, doit encore se renforcer. Si la France doit encore améliorer sa capacité à faire émerger des PME innovantes, elle peine surtout à les faire grandir. Notre structure industrielle manque par ailleurs d'entreprises de taille intermédiaires, avec une forte capacité d'innovation et d'export, et la solidarité intra-filière et territoriale est insuffisante. Le système d'éducation et de formation, enfin, doit faire face à la baisse d'attractivité des métiers de l'industrie, ainsi qu'en témoigne, entre 2004 et 2012, la chute de 9 % du nombre d'étudiants inscrits dans les formations scientifiques et ingénieurs¹⁹.

◎ GRANDES ORIENTATIONS

L'usine du futur est radicalement différente de l'usine actuelle, car elle repose sur un changement d'organisation des chaînes de production en supprimant le cloisonnement existant entre la conception et la fabrication. Elle est organisée de façon collaborative de manière à ce que les différentes tâches de production apportent la souplesse et la rapidité indispensable à la fabrication de produits personnalisés et favorise une continuité et un suivi sur tout le cycle de vie des produits.

Cette vision est rendue possible par les avancées du numérique, qu'il s'agisse de la conception et de la validation des produits et procédés, du pilotage des machines, des outils de communication humain-machine, de l'impact du numérique (impression 3D...), du partage d'informations à tous les niveaux, et plus généralement des évolutions du management de l'entreprise permise par ces avancées.

Dans un monde où la compétition pour les ressources (énergie, matière première, eau, sol) va s'accentuer, l'usine du futur devra également être économique en énergie (procédés, transport, stockage), assurer une responsabilité sociale et environnementale, et s'insérer harmonieusement dans son écosystème de proximité.

Pour répondre aux évolutions rapides de la demande, les nouveaux outils de production doivent être flexibles et reconfigurables et offrir une palette d'interactions avec les opérateurs pour accompagner la montée en complexité des produits. Il importera de disposer de pilotes industriels permettant de tester de nouveaux procédés de fabrication, aussi bien pour des produits à large diffusion et concernant l'ensemble des secteurs applicatifs que pour des produits dits stratégiques présentant une forte création de valeur en aval pour l'élaboration de nouveaux systèmes et/ou services (puces électroniques ultrabasse consommation, panneaux photovoltaïques à haut rendement, par exemple). L'ancre des pilotes industriels pour la fabrication de ces nouveaux produits sur notre territoire présente un avantage essentiel pour la sélection des sites français pour les futures usines et le développement de nouveaux marchés de proximité.

Les produits du futur seront aussi de plus en plus complexes, associant divers types de matériaux intégrant notamment des nanotechnologies, chacun apportant un avantage spécifique, par exemple en légèreté, conductibilité, résistance, dureté... Pour que ces matériaux soient sûrs, il conviendra également de développer des outils prédictifs (numérique, capteurs, lois de comportement) pour mieux connaître leur évolution dans le temps et leur tolérance en conditions d'usage et en environnement réel.

Il ne peut y avoir de machine ou de produit intelligent sans capteurs autorisant la prise d'informations physiques fines et fiables et sans logiciels embarqués. La France excelle dans ce domaine et a su y promouvoir un dialogue entre acteurs publics et privés. La métrologie joue aussi un rôle clé pour assurer la qualité des produits et/ou démontrer la conformité à la réglementation, notamment lorsque l'on passe à des échelles nanométriques. En support à cette instrumentation, il faudra enfin disposer d'une énorme capacité de traitement d'information pour utiliser les données rassemblées, les confronter et enfin délivrer la bonne information.

¹⁹ La question de l'attractivité est au cœur de la mission confiée à Christian Lerminiaux, ancien président de la conférence des directeurs des écoles françaises d'ingénieurs (CDEFI), sur une nouvelle filière professionnelle pour les bacheliers professionnels.

Orientations de recherche

Orientation 11 / Conception de l'usine numérique du futur

L'approche numérique devra être généralisée et introduite à tous les niveaux de la chaîne de valeur et impliquer tous les acteurs, du chercheur-ingénieur jusqu'au consommateur. Ces efforts de recherche devront se déployer en adoptant une approche globale afin d'être en mesure de gérer une chaîne cohérente et collaborative de la conception à la production.

Orientation 12 / Usine « verte et citoyenne »²⁰

La recherche visera à concevoir des systèmes intégrés de gestion de l'énergie, des matières premières, des rejets, des risques... Ces systèmes s'inscriront dans une logique d'économie circulaire et d'éco-conception, en prévoyant le recyclage des déchets d'un procédé ou d'une usine en matière première pour un autre usage, en développant les produits à base de matières premières recyclées, l'économie des matières et les matières de remplacement.

Orientation 13 / Procédés de fabrication souples et faciles à piloter

L'objectif sera d'inventer et de déployer à grande échelle des modes de fabrication flexibles, capables de s'adapter aux besoins des clients directement à partir d'interfaces consommateurs, ainsi que des systèmes de coopération humain-machine simples, efficaces et ergonomiques. Ce nouveau domaine nécessite de faire collaborer les chercheurs en sciences de l'ingénieur et les chercheurs en sciences humaines et sociales pour développer les recherches en amont qui se déclineront par la suite sur les sites de production. Il sera également nécessaire de mettre en place des formations initiales et professionnelles adaptées et hautement qualifiées.

Orientation 14 / Conception de nouveaux matériaux

Il s'agira de contribuer à la conception de nouveaux matériaux et des procédés de fabrication associés (la fabrication additive par exemple), ou les procédés de fusion de plusieurs matériaux. Il conviendra également de caractériser ces nouveaux matériaux, de les valider et d'évaluer leur comportement au vieillissement et leur tolérance aux dommages.

Orientation 15 / Capteurs et instrumentation

Cette orientation visera à soutenir le secteur de l'instrumentation et de la métrologie, très en pointe en France, pour répondre aux nouveaux besoins d'innovation de l'industrie. Les recherches consisteront principalement à concevoir et produire des micros capteurs et à les insérer dans les matériaux et les procédés ainsi qu'à imaginer et développer des systèmes de collecte et de traitement haute performance des données recueillies pour suivre l'évolution de leurs performances.



DÉFI 4

Santé et bien-être

Après avoir pris connaissance des conclusions du groupe de travail en charge du défi 4, de nombreux biologistes ont exprimé leur désaccord lors du séminaire stratégique d'avril 2014 et au travers des avis déposés sur le site web. En phase avec ces désaccords, le CSR a été chargé de présenter un texte alternatif. L'analyse effectuée sur ce défi lui a paru refléter une conception trop restrictive de la biologie des systèmes et donner une vision trop exclusivement médicale du domaine, au détriment de la recherche en biologie prise dans son ensemble. Un groupe ad hoc a donc rédigé une proposition alternative qui reprend certains aspects du texte initial mais élargit la réflexion, en accord avec les avis exprimés lors de la consultation nationale. Cette proposition, validée par le CSR, est présentée dans son avis.

Le gouvernement prendra naturellement en compte la nécessité de compléter les conclusions du groupe de travail SNR par la proposition nouvelle présentée par le CSR, cette dernière soulevant des enjeux de recherche essentiels non couverts dans le texte ci-dessous. Il est en tout état de cause prévu qu'un dialogue s'instaure pour faire vivre l'ensemble de la SNR, désormais inscrite par la loi dans la durée, et sur ce défi en particulier un échange sera conduit pour produire une vision consolidée des orientations prioritaires.

²⁰ Cette acceptation désigne une usine qui se réfère aux principes de l'économie circulaire.

Périmètre du défi

Le défi « santé bien-être » concerne un large champ d'activités scientifiques très diverses. La biologie et la physiologie concernent les mécanismes du vivant au niveau moléculaire, cellulaire, tissulaire, systémique et organique. La médecine décrit les maladies et les handicaps, propose des classifications nosologiques, et accède à une compréhension des désordres biologiques et fonctionnels afin de les prévenir et de les corriger. La pharmacie, les biothérapies, les technologies pour la santé, et les interventions de santé publique conçoivent et évaluent des actions préventives, thérapeutiques ou compensatoires. Les déterminants environnementaux, sociaux et économiques des maladies et leurs retentissements sur la personne et la société sont appréhendés par l'épidémiologie et les sciences humaines et sociales. Les évolutions technologiques, méthodologiques et conceptuelles récentes de la biologie favorisent les interfaces avec les mathématiques et la physique et facilitent la création d'un continuum entre l'ensemble des disciplines évoquées. Le champ de la santé est en outre un vecteur déterminant de développement économique (industrie pharmaceutique, biotechnologies pour la santé) et social (lien entre santé, qualité de vie et développement du pays).

ATOUPS

Le champ de la santé et du bien-être représente plus du tiers de l'ensemble des publications scientifiques françaises et concerne principalement trois alliances (Aviesan, AllEnvi et Athena). Il bénéficie d'une activité de recherche fondamentale créative et productive qui s'appuie notamment sur des modèles expérimentaux originaux, et d'une production importante de données en génomique, épigénétique, protéomique, métabolique et issues de l'imagerie médicale. Par ailleurs, la France bénéficie d'un système de soins dont la qualité est mondialement reconnue. Avec le SNIIRAM²¹ et la base de données du PMSI²², elle dispose d'une des plus grandes, voire de la plus grande base médico-administrative du monde avec 1,2 milliard de feuilles de soins par an, 500 millions d'actes médicaux et 11 millions de séjours hospitaliers. 365 sources de données épidémiologiques sont disponibles auxquelles s'ajoutent les données de l'Institut national des études démographiques (Ined) et des services statistiques de l'État (INSEE, DRESS...). La France a donc les capacités, en synergie avec ses partenaires européens et internationaux, d'aborder les grands défis sociétaux liés à la santé et au bien-être.

FREINS

Les différentes communautés concernées par ce défi (biologie, médecine, sciences sociales) sont encore trop segmentées et les échanges d'expérience trop réduits avec les secteurs rompus à la gestion et à la mutualisation de grandes quantités de données (modélisation, physique, climatologie...). Les compétences en informatique de la santé sont encore insuffisamment développées et nécessiteraient la mise en place de nouvelles formations, notamment pour accompagner le développement de grandes infrastructures de données mutualisées. Les compétences en bioinformatique et en informatique de la santé nécessaires au développement de grandes infrastructures de données mutualisées et à leur exploitation sont insuffisantes par rapport aux besoins.

²¹ Le système national d'informations inter-régimes de l'Assurance maladie (SNIIRAM) est une base de données administratives aujourd'hui ouverte à la recherche.

²² PMSI : Programme de médicalisation des systèmes d'information.

GRANDES ORIENTATIONS

L'usage accru de technologies numériques et la systématisation de la quantification conduisent à une augmentation exponentielle du volume de données produites. Les activités liées à la santé sont devenues l'une des sources majeures de données. Ces données proviennent de toutes les disciplines concernées par le défi, analyses moléculaires du vivant dans des modèles expérimentaux, données cliniques, biologiques, ou d'imagerie recueillies chez les patients, enquêtes épidémiologiques, démographiques et comportementales, ou encore données environnementales ou administratives. Le développement de ces approches nécessite de faciliter l'accès des équipes de recherche à des infrastructures et outils technologiques performants et compétitifs, de fédérer les communautés d'acteurs pour garantir un partage efficace des savoirs et des pratiques, et d'assurer une formation et une professionnalisation adaptées à ces activités nouvelles par essence transdisciplinaires.

La première orientation portera sur la collecte et le partage de données de qualité. La qualité des données et la possibilité de comparer à d'autres données et de les échanger sont déterminantes pour leur portée. Elle est assurée au mieux par des infrastructures spécialisées pratiquant une politique d'assurance qualité et garantissant l'interopérabilité des données collectées par différents centres dans différents domaines.

En biologie et en médecine, les données sont recueillies par les plateformes de génomique, de protéomique, de métabolomique, d'imagerie, ou d'études comportementales. Pratiquées dans des cohortes de patients richement documentées et associées à des collections biologiques, ces investigations sont des sources de données très recherchées, présentant un attrait majeur pour des partenariats industriels. En épidémiologie et en santé publique les données proviennent d'enquêtes horizontales ou de cohortes longitudinales en population générale. Le couplage de telles études avec les données extraites des grandes bases administratives représente un enjeu majeur pour l'essor de la recherche en santé publique, en pharmaco-épidémiologie et en sécurité sanitaire. La collecte de données de santé sera profondément modifiée au cours des prochaines années par le développement de nouvelles technologies auxquelles les usages devront s'adapter, tels que les multiples objets connectés, les nouveaux outils diagnostiques, ou la télésanté.

L'intégration des données massives et non-biaisées sur le vivant normal, vieillissant ou pathologique est un enjeu majeur. Cette intégration ouvre la voie à une vision systémique du vivant et à une médecine mieux adaptée aux cas individuels des malades et de leur maladie (médecine personnalisée). Les enjeux sont l'identification de cibles thérapeutiques nouvelles et leur validation, de nouvelles classifications nosologiques, une meilleure conception des investigations cliniques et des essais thérapeutiques. Ces évolutions méthodologiques devront s'accompagner de changements destinés à mieux intégrer la recherche et les soins dans le cadre de réseaux d'excellence en recherche translationnelle et clinique, et imposeront un regard nouveau sur les aspects réglementaires de la recherche en santé.

L'intégration de données épidémiologiques et de santé publique autorise une meilleure appréhension des déterminants de la santé et des maladies : génétique, métabolisme, comportement, environnement, contexte social et économique. Elle aura un impact direct sur les politiques publiques dans les domaines de la gestion environnementale, de la prévention, de l'offre de soin et de l'aménagement du territoire.

Orientations de recherche

Orientation 16 / Des données biologiques diversifiées, abondantes et de qualité

Les mégadonnées sont devenues essentielles au développement de la recherche en biologie et en médecine, une recherche qui repose sur une approche de plus en plus intégrée et systémique. Afin de développer cette biologie systémique, porteuse de nombreuses applications vers la médecine personnalisée, la biologie synthétique et la toxicologie prédictive, on favorisera le développement de plateformes pour la collecte de données biologiques et d'imagerie, la constitution de cohortes de patients et l'ouverture des bases de données administratives à la recherche. Un effort particulier portera sur la formation de bio-informaticiens et de modélisateurs, ainsi que sur les processus d'innovation technologique et médicale sous-tendant le développement de la télésanté, de l'instrumentation pour le diagnostic ou les dispositifs et capteurs pour l'autosurveillance et le recueil de données sociologiques.

Orientation 17 / un réseau national de centres d'excellence pour la recherche et le soin

La mission première de ce réseau sera d'augmenter le volume, la qualité et l'attractivité de la recherche clinique, grâce à une meilleure coordination entre les centres, avec les partenaires industriels, et dans un contexte réglementaire simplifié, mieux adapté aux évolutions méthodologiques et plus favorable à l'innovation.



Sécurité alimentaire et défi démographique

Périmètre du défi

La sécurité alimentaire consiste à assurer pour la population mondiale une alimentation saine, nutritive et en quantité suffisante. Elle est dépendante des systèmes de production agricoles et halieutiques, mais également des échanges mondiaux. La sécurité alimentaire est menacée aujourd'hui par l'impact conjugué du changement climatique, de l'augmentation de la population mondiale, estimée à 9 milliards d'individus en 2050, et de l'évolution des pratiques alimentaires. Ces deux facteurs exercent des pressions de plus en plus importantes sur les systèmes productifs : émissions de gaz à effet de serre, dommages pour les sols et les eaux souterraines, concurrence pour les usages. Ils ont des répercussions sur la santé. Ils engendrent des niveaux de pertes et de gaspillages élevés.

Le thème de la sécurité alimentaire couvre un large spectre qui s'étend des systèmes de production à la santé des populations en considérant tous les niveaux d'organisation et d'échelles: du gène à l'individu, de l'individu à la population puis à l'écosystème, des nouvelles espèces, races ou variétés à de nouvelles organisations sociales et de nouveaux marchés. Ces domaines sont complexes et imbriqués.

Pour les étudier et réaliser des avancées scientifiques significatives, il faut mobiliser toute une palette de disciplines, de la biologie aux sciences humaines et sociales, en passant par la chimie et la physique pour les procédés de transformation de la biomasse, par exemple. Les approches scientifiques doivent posséder enfin assez de maturité technologique pour permettre d'aller jusqu'à l'échelle industrielle.

ATOUTS

La France, dont l'agriculture est une des premières d'Europe, possède des systèmes de production et d'alimentation diversifiés. Elle fait preuve d'un grand dynamisme dans l'élaboration de projets innovants de valorisation et de développement dans le domaine de l'alimentation. Selon l'analyse réalisée par l'OST²³, la recherche française a une grande notoriété scientifique grâce à ses contributions au séquençage des génomes et au phénotypage des animaux et des plantes ou encore à la compréhension du métabolisme. Elle est largement intégrée aux réseaux européens et mondiaux (JPI FACCE²⁴, Wheat Initiative...) et, via l'INRA, au projet d'agro-écologie porté par le ministre de l'agriculture, qui vise notamment à diminuer le recours aux antibiotiques vétérinaires. Le secteur industriel est très présent, notamment au travers d'une dizaine de pôles de compétitivité et de partenariats public-privé impliquant des acteurs comme Limagrain, Syngenta, Caussade ou Florimond Desprez.

► FREINS

L'organisation traditionnellement très cloisonnée des filières agricoles freine le développement d'un modèle de coopération transversale, circulaire et complémentaire consistant, par exemple, à réutiliser à des fins énergétiques les sous-produits de récoltes de céréales, ou permettant d'expérimenter à bonne échelle des systèmes de production en rupture.

◎ GRANDES ORIENTATIONS

Concevoir des systèmes alimentaires sains, nutritifs et durables exige d'ouvrir des fronts de recherche simultanés sur l'alimentation, les systèmes productifs et la bioéconomie. Sur le front de l'alimentation, il convient de mieux cerner ce qui détermine nos préférences alimentaires et d'acquérir des connaissances plus poussées sur la digestion afin de comprendre les liens entre régime alimentaire et santé tout au long de la vie. La prévention des pathologies doit être étudiée du point de vue des réponses individuelles aux régimes alimentaires, en prenant en compte la complexité des interactions entre l'alimentation, la nutrition et les activités physiques, ce qui nécessite une double approche systémique (du gène à la fonction) et globale (c'est-à-dire socio-écologique). Cette double approche permettra de contribuer à orienter des politiques publiques portant sur les comportements et les choix des individus. Elle suppose de mettre en place des cohortes dévolues à ces thématiques, de les suivre et d'identifier des bio-marqueurs de statut nutritionnel qui soient prédictifs de l'évolution de l'état de santé. Les valorisations dans ce domaine touchent l'aliment, sa conception et ses qualités mais aussi la société civile, par les problématiques de prévention de la santé humaine qui leur sont attachées.

Pour que cette alimentation soit durable, il faut également réduire son empreinte écologique en limitant la pression sur les systèmes de production, par exemple en remplaçant la consommation de protéines animales par des protéines végétales, et, au niveau de la production des aliments, en limitant par exemple les transports ou le recours à la congélation qui consomment énormément d'énergie.

Du côté des systèmes de production, il importe de caractériser les services apportés par et aux écosystèmes, et de mettre en œuvre des pratiques plus durables et mieux adaptées à une diversité d'usages. En particulier, la performance des agroécosystèmes productifs doit reposer davantage sur la mobilisation des régulations naturelles que sur l'usage des intrants. Pour cela, il est essentiel de mieux quantifier la portée de ces régulations et de leurs interactions, d'optimiser les conditions de leur mise en œuvre et de caractériser leurs éventuels impacts négatifs. La création de systèmes innovants (agriculture de précision, robotique, capteurs...) et la mise en place de nouvelles espèces ou organisations sociales, devront être soutenues et davantage impliquer les acteurs agricoles et les industriels pour assurer leur succès. De nouveaux outils d'évaluation devront également être développés pour apprécier leurs impacts environnementaux, mais également productifs, sociaux et économiques.

La troisième voie de recherche concerne la transformation de la biomasse en aliments, en molécules et en produits élaborés à haute valeur ajoutée, notamment pour des usages énergétiques ou des matériaux. Pour être durables, ces transformations et valorisations doivent être imaginées au plus près des territoires de production et ceci sans pénaliser les usages alimentaires. Les avancées en biologie de synthèse ont déjà permis de concevoir des souches de micro-organismes capables de réaliser des étapes métaboliques nouvelles et de produire des molécules spécifiques par des processus de fermentation originaux et maîtrisés. Elles pourront à l'avenir conférer un spectre élargi de nouvelles qualités et finalités aux biomasses produites et ainsi transformées.

Les innovations dans ces trois domaines devront être combinées dans des démonstrateurs afin de tester leur performance globale et d'appuyer les arbitrages sur des données validées à des échelles proches des réalités économiques et sociales. Ces démonstrations permettront de comprendre et anticiper le comportement des acteurs, d'organiser avec eux des démarches de co-conception de systèmes innovants, de réaliser des simulations pour promouvoir des innovations ou rétroagir, et mieux communiquer avec les citoyens sur les enjeux économiques, environnementaux et sociétaux qui y sont liés. En prolongation, des approches d'aide à la décision devront être déployées.

²³ Indicateurs bibliométriques décrivant la position internationale de la France dans les défis sociétaux France-Europe 2020, OST, mai 2014.

²⁴ Agriculture, Food Security and Climate Change.

Orientations de recherche

Orientation 18 / Alimentation saine et durable

Le socle de connaissances fondamentales que nous possédons actuellement sur l'alimentation humaine devra être revisité à la lumière de l'étude du microbiote humain participant à la digestion. Les nouvelles connaissances sur la manière dont ces microbes décomposent les aliments en molécules assimilables par le corps permettront de changer notre regard sur les liens entre régimes alimentaires et santé des populations. Il conviendra pour cela de poursuivre les recherches visant à mieux connaître ces populations de microbes. Le développement de nouvelles technologies permettra de compléter ces recherches : la métagénomique pour explorer la diversité et les fonctions des flores digestives humaines, et la métabolomique pour mettre au point des bio-marqueurs d'état et de prédiction du statut nutritionnel de l'être humain.

La révision et la ré-évaluation des chaînes de transformation, stockage, approvisionnement des aliments sous l'angle de leur consommation énergétique fait également partie des objectifs de recherche. Les procédés de transformation et de stockage consommateurs d'énergie (chaîne du froid, minoterie...) devront être améliorés et des procédés complémentaires recherchés (dessiccation, fermentation...).

Orientation 19 / Approche intégrée des systèmes productifs

Industriels, laboratoires de recherche et groupes d'agriculteurs sont à l'origine de multiples innovations technologiques ou organisationnelles, mais ces approches sont très compartimentées par filières (animale, végétale, mécanique agricole). L'approche intégrée des systèmes productifs visera l'évaluation globale et multicritère de leur regroupement dans un véritable système de production instrumenté, afin d'identifier les contraintes, les avantages et les risques de ces innovations et leurs synergies possibles.

Par ailleurs, l'agro-écologie reste largement à inventer. L'objectif de la recherche sera de mieux comprendre et mesurer ce que les écosystèmes peuvent apporter aux systèmes de production et comment les utiliser sans les déséquilibrer. Ces études s'appuieront sur l'expérimentation, l'observation et les approches comparatives. La biologie prédictive sera aussi largement sollicitée et les travaux seront menés à l'échelle de l'individu, de la parcelle, du troupeau ou de l'exploitation agricole, mais également au niveau du territoire dans des approches systémiques. On s'attachera à concevoir les outils d'évaluation multicritères permettant d'apprécier les différentes composantes de la durabilité de ces systèmes et les coûts de transaction.

Orientation 20 / De la production aux usages diversifiés de la biomasse

Il conviendra d'ouvrir un nouveau champ de recherche autour de la bioéconomie reposant sur les nouveaux systèmes de production de la biomasse et sur ses différents usages (aliments, matériaux, énergie) à l'échelle d'un territoire. Cette vision intégrée s'appuiera sur les nouveaux outils de modélisation de systèmes complexes qui permettront de poser les questions différemment en prenant en compte les jeux d'acteurs, les écosystèmes, les échanges, et de forger des représentations permettant de prendre des options au plan politique. Les recherches s'attacheront également à réévaluer dans ce cadre les procédés technologiques et biologiques existants, notamment pour la transformation des aliments, à lever les verrous technologiques et scientifiques liés au bio-raffinage et, enfin, à développer les concepts, méthodes et outils de la biologie de synthèse.



Transports et systèmes urbains durables

Périmètre du défi

Les villes et leurs infrastructures de transport sont des systèmes complexes, à la fois physiques, écologiques, techniques et sociétaux. Ainsi la recherche de solutions équilibrées et durables doit-elle être pluridisciplinaire, impliquant non seulement les technologies, les nouvelles solutions et usage numériques, la sociologie et l'économie, mais également l'architecture, le design, l'étude des comportements... Cette recherche de solutions doit s'effectuer aussi bien à l'échelle des matériaux que des bâtiments, des quartiers, de la ville et de la région, mais également à différentes échelles de temps : quotidiennes, générations ou séculaires. Pour cela, il faut être capable de modéliser les flux de matières, d'énergies, de personnes et d'informations à l'intérieur et entre chacun de ces niveaux. La démarche doit également être multi-acteurs et impliquer les habitants et les aménageurs afin que les solutions proposées intègrent les innovations de manière optimale, qu'elles soient adaptées localement et qu'elles assurent la cohésion sociale. Ces solutions devront également prendre en compte la sécurité et la sûreté de l'ensemble du système et permettre la restauration rapide (résilience) du fonctionnement en cas de panne ou de dégradation involontaire ou malveillante.

ATOUPS

La recherche française sur la ville durable est structurée notamment autour du pôle de compétitivité Advancity, de l'ITE Efficacity et de l'Institut de la ville durable. La filière rénovation urbaine et ville durable se met tout juste en place en France, mais elle bénéficie d'une bonne structuration des acteurs économiques reconnus au niveau mondial, notamment sur les technologies et les services de mobilité (PSA, Renault, Valéo...) et la gestion de l'eau (Veolia, Suez environnement...), mais aussi sur l'intégration des technologies numériques (Orange, Atos, Capgemini...). Elle compte également de nombreuses entreprises, bureaux d'études et collectivités fédérées au sein de Vivapolis, créée pour pousser à l'international l'offre française de réalisation d'écoquartiers.

► FREINS

Les forces de recherche sur la ville durable sont dispersées entre de nombreux laboratoires, depuis des organismes spécialisés (CSTB et Ifsttar) jusqu'aux écoles d'architectures. Elle pâtit également d'un faible dialogue entre techniciens, ingénieurs et chercheurs en sciences humaines et sociales. Le domaine manque de bases de données sur le bâti existant permettant d'étayer les recherches. D'autre part, les savoirs et savoir-faire produits par la recherche ne sont pas encore suffisamment intégrés aux modèles de prise de décision des collectivités territoriales.

◎ GRANDES ORIENTATIONS

La mobilité est un aspect essentiel pour le développement économique et social de la ville. En conséquence, le système de transport doit être développé de manière à réduire sa consommation énergétique et ses émissions polluantes, à décongestionner la ville et à améliorer la qualité de vie. Cet objectif passe par le développement de nouveaux véhicules individuels ou collectifs répondant à ces contraintes mais aussi par la création d'usages innovants et le recentrage des activités autour des habitations.

La mobilité n'est cependant qu'un des aspects de la recherche sur la ville durable. Cette dernière englobe des problématiques extrêmement variées telles que la réduction des coûts énergétiques, la qualité de l'air, l'assurance de sécurité, d'éducation et de culture, la construction de logements et de voies de mobilité adaptés aux personnes vulnérables, la réhabilitation et la réduction des quartiers défavorisés ou la lutte contre l'étalement urbain. Il est également à noter que les villes résilientes peuvent fonctionner en mode dégradé en cas d'aléa hydroclimatique. Les réponses à ces questions nécessitent une forte coordination des acteurs et s'appuient sur des données de nature et d'origine hétérogènes et sur leur intégration multi-échelles. La constitution d'observatoires permettra de réaliser cette intégration, de suivre le comportement des innovations *in situ* et de tester des scénarii prospectifs (flotte de véhicules à mutualiser, changements des usages à susciter et à accompagner...).

Dans un contexte de transition énergétique, la rénovation thermique et environnementale des bâtiments constitue un thème central et nécessite à la fois des innovations technologiques, organisationnelles et socio-économiques. Le développement d'instruments de mesures connectés et d'outils de

conception facilite l'intégration de ces innovations dans les projets de rénovation urbaine. La maquette numérique notamment (ou BIM, *Building Information Modeling*) simplifie la réalisation de bâtiments en s'affranchissant des tests, très coûteux, sur maquette réelle. Étendre la portée de tels outils permettra de réaliser des essais virtuels à l'échelle du quartier ou de la ville, et ainsi de concevoir des systèmes urbains entiers à faible empreinte environnementale.

Enfin, les systèmes urbains ne peuvent prétendre être durables sans que soient maîtrisés, dans un cadre innovant d'économie circulaire, la structuration, la gouvernance et l'optimisation fonctionnelle et socio-économique des réseaux urbains, qu'il s'agisse de la distribution d'électricité, de chaleur, de froid, de gaz, d'eau, de déchets, les câblages, les voies de mobilité ou les réseaux numériques. Ces réseaux doivent faire l'objet d'une réflexion en amont dans la conception de la ville, en portant une attention particulière aux lieux d'interconnexion que sont les aéroports, les gares ou les nœuds de réseaux, par exemple. Leur optimisation énergétique et environnementale est recherchée tout en garantissant à l'habitant le contrôle de son environnement (la température, par exemple). Par ailleurs, les réseaux sont des points vulnérables dans la ville. Ils doivent donc être conçus pour minimiser les risques en terme de sécurité et de sûreté, gérer les défaillances et fonctionner en mode dégradé en cas de pannes, d'accidents ou d'actes de malveillance aussi divers que l'incendie, l'explosion de gaz, l'accident ou l'attaque de hackers.

Orientations de recherche**Orientation 21 / Observatoires de la ville**

Des observatoires seront développés pour fournir des données sur le bâti, les systèmes et des flux urbains d'énergie, de matières et de personnes. Les informations qu'ils recueilleront complèteront les bases de données existantes et les données des enquêtes et comparatifs internationaux. Ces observatoires favoriseront la mobilisation de tous les acteurs concernés autour de la réalisation de diagnostics, de modélisations et de scénarii prospectifs interdisciplinaires. Ils permettront également d'évaluer l'intégration urbaine dans le système régional et international, d'évaluer les politiques publiques et de tester les solutions inventées.

Orientation 22 / Nouvelle conception de la mobilité

Il s'agira de concevoir de nouvelles manières de se déplacer combinant divers modes de mobilité et s'appuyant sur des innovations technologiques et organisationnelles. Il faudra, d'une part, concevoir de nouveaux véhicules innovants à empreinte environnementale réduite (mini-véhicules, aéronefs électriques, drones) et à usages multiples basés sur de nouveaux concepts d'automatisation, de délégation accrue, de connectivité et de gestion des trafics. Il faudra, d'autre part, produire des ruptures technologiques ou organisationnelles pour répondre à la problématique du « dernier kilomètre », pour les livraisons par exemple, et changer le point de vue des acteurs impliqués dans la mise en place de systèmes partagés tels que le co-voiturage et l'auto-partage, l'interfaçage des transports massifiés. De nouveaux modes de gestion devront également être inventés pour le traitement et la valorisation des déchets. Une autre voie de progrès consistera à développer des systèmes pour optimiser les flux de personnes ou réduire les besoins de mobilité, c'est-à-dire à innover en matière de télétravail, de e-services, de loisirs et de mobilité douce et active.

Orientation 23 / Outils et technologies au service de la ville durable

Il conviendra de développer pour les maîtres d'ouvrages de nouveaux instruments de mesure et outils numériques de conception permettant de réaliser des systèmes urbains à faible empreinte environnementale non plus à l'échelle du bâtiment mais à l'échelle d'un quartier. Par ailleurs, l'effort d'innovation devra être maintenu dans les technologies et outils permettant d'optimiser l'efficacité énergétique et environnementale des bâtiments : pompes à chaleur, systèmes de production de froid, nouveaux matériaux d'isolation, système d'évacuation des déchets ou contrôle de la qualité de l'air intérieur et de l'eau...

Orientation 24 / Optimisation et intégration des infrastructures et des réseaux urbains

Il conviendra d'intégrer les différents réseaux (eau, gaz, électricité, internet, transports) dès la phase de conception afin d'optimiser leur mise en place ou leur usage, de réduire leur consommation d'énergie et de susciter, par ailleurs, l'émergence de technologies de rupture pour inventer de nouveaux modes de transmission d'informations utilisant les réseaux en place (système acoustique par les tuyaux d'eau ou les rails des tramways par exemple).

Il s'agira enfin d'améliorer la coordination des réseaux d'infrastructure en proposant des plateformes multi-opérateurs de services et de nœuds d'intermodalité dans les aéroports ou les gares ; de permettre la gestion active des outils mis à la disposition des usagers par le *smart grid*; de développer des solutions d'adaptation et de résilience face aux risques d'aléas techniques, sociaux ou climatiques.



Société de l'information et de la communication

Périmètre du défi

Les sciences et technologies du numérique se placent désormais au cœur d'enjeux économiques, sociaux et humains majeurs. Elles alimentent toutes les autres disciplines scientifiques, comme elles irriguent la vie quotidienne des individus et des groupes sociaux. Le traitement de grandes masses de données (*Big Data*) et le calcul intensif sont devenus en moins de vingt ans des domaines stratégiques. Le développement de technologies matérielles et logicielles innovantes au service des objets connectés et de l'Internet des objets intéresse désormais tous les secteurs, de l'observation scientifique à l'ensemble des activités sociales ou privées. La cybersécurité est, par conséquence, devenue un enjeu de souveraineté nationale aussi bien que de protection des citoyens.

Les avancées des technologies matérielles, logicielles et de communication reposent sur les progrès en mathématiques, informatique, automatique, électronique, traitement du signal et nanosciences. Elles s'appuient, par exemple, sur la quantique et la photonique pour les nouveaux composants, sur la

maîtrise du parallélisme pour les infrastructures et la programmation, sur la fusion des réseaux informatiques et de ceux de télécommunications, sur les méthodes de validation des programmes...

Pour couvrir les différents champs de recherche et d'applications, les sciences et technologies du numérique doivent nouer des collaborations rapprochées avec toutes les disciplines et tous les secteurs d'activité afin de concevoir des solutions adaptées à leurs besoins spécifiques, en intégrant l'adaptation à l'être humain, à ses modes cognitifs et comportementaux.

ATOUTS

Le réseau de recherche français, regroupé au sein de l'alliance Allistene, est de très grande qualité, il se situe au 5^e rang mondial par sa production scientifique en 2012²⁵. Les chercheurs peuvent s'appuyer sur une infrastructure numérique dense et fiable avec Renater et Genci, et de nombreuses infrastructures disciplinaires comme Dariah-EU ou France Génomique ont été mises en place. La France bénéficie aussi d'un tissu industriel et de services de grande technicité, avec des groupes majeurs comme Alcatel-Lucent, Atos-Bull, Cap Gemini, Dassault Systèmes, Orange, OVH, Soitec, STMicroelectronics, Thales et plusieurs milliers de PME. Le secteur de l'embarqué, en particulier, comporte 13 000 entreprises dédiées au numérique.

► FREINS

La principale faiblesse de la France est la sous-exploitation du potentiel de croissance du domaine résultant d'une couverture incomplète de l'offre d'emploi, en particulier dans les nouveaux métiers que sont les experts de la donnée et les experts de l'extraction de connaissances. En 10 ans, notre pays n'a réussi à faire émerger qu'une nouvelle grande entreprise (Gemalto), et la croissance d'acteurs tels que Criteo reste une exception. Beaucoup de petites entreprises peinent à grandir, et l'on observe un manque d'anticipation dans les services. Le contraste est marqué entre la qualité de la recherche et la faiblesse de la création de futurs champions.

◎ GRANDES ORIENTATIONS

Deux grands domaines de recherche sont à soutenir en priorité car leur développement fait effet de levier sur les autres.

Le premier consiste à concevoir des infrastructures et systèmes sûrs pour exploiter les grandes masses de données afin de comprendre, prévoir et décider. Cela couvre les problématiques et techniques associées à la modélisation et à la simulation numériques, au calcul à haute performance, aux grandes masses de données, aux infrastructures partagées, à l'informatique en nuage, au traitement et à l'élaboration des connaissances, à l'aide à la décision, et à la sécurité et la sûreté de fonctionnement

des systèmes. Plus particulièrement, il faut s'attacher au traitement des grandes masses de données, dont les quantités et les flux sont en croissance exponentielle, et qui constitue un verrou majeur pour le développement d'une diversité d'applications. Les grandes tendances de la recherche portent sur des méthodes innovantes de production, de traitement et d'analyse sur toute la chaîne de valeur de la donnée, mais aussi sur le développement de solutions originales d'hébergement et d'extraction de l'information pertinente qui sera à la base de la prise de décision. Le traitement de ces données requiert toutefois des puissances de calcul qui s'accroissent sans cesse. Le milliard de milliards d'opérations par seconde est visé d'ici la fin de la décennie grâce à la conception et l'exploitation des futures architectures de calcul intensif (HPC), la généralisation du calcul parallèle et la plus grande efficacité énergétique des composants matériels et des logiciels.

Il est également nécessaire d'adresser la sécurité des transactions dans le cyberspace, les mécanismes de protection de la vie privée ainsi que la propriété intellectuelle, la responsabilité, la valeur économique et la dimension éthique des données produites afin que la société et les agents économiques puissent s'approprier les applications en toute fiabilité et confiance.

Les objets interactifs et connectés étant amenés à se déployer aussi bien à la maison, à l'école et à l'université que dans l'entreprise, les espaces socio-culturels ou la ville, les problématiques scientifiques qui en découlent ne se limitent pas aux disciplines du numérique mais concernent également d'autres disciplines comme l'écologie, la biologie, les sciences cognitives, les sciences sociales, le design ou l'économie. Il s'agit en particulier de concevoir de nouveaux modes d'interaction avec les objets connectés, les espaces virtuels et les robots, en prenant en compte l'utilisateur dès la phase de conception. Un autre enjeu essentiel est de pouvoir assurer le contrôle et la sécurité d'artefacts intégrant toujours plus de capteurs et d'actionneurs et prenant à leur charge une part toujours croissante d'une intelligence globalement distribuée.

Orientations de recherche

Orientation 25 / Systèmes sûr d'exploitation des grandes masses de données

La recherche contribuera à produire les ruptures conceptuelles renforçant la capacité de traitement des grandes masses de données : maîtriser la collecte, concevoir les algorithmes adaptés à l'agrégation et la fouille intelligente de très grandes masses de données, concevoir de nouveaux modes de stockage des données dans des systèmes faiblement structurés. L'un des objectifs est de s'affranchir des contraintes imposées par les bases de données relationnelles, inadaptées aux grandes masses de données. De même, les futures architectures de calcul nécessiteront des ruptures pour renforcer le parallélisme des algorithmes et pour réduire les consommations énergétiques des nouvelles applications de plusieurs ordres de grandeur. Il s'agira enfin de développer la cybersécurité pour assurer la sécurité des données de plus en plus nombreuses dans les réseaux.

²⁵ Indicateurs bibliométriques décrivant la position internationale de la France dans les défis sociétaux France-Europe 2020, OST, mai 2014.

Orientation 26 / Collaboration humain-machine

Il s'agira de revoir l'interaction humain-machine à la lumière du comportement humain afin que se développe une réelle collaboration entre l'homme et la machine, c'est-à-dire que la machine soit à même de s'adapter aux comportements imprévisibles de l'opérateur. En termes de robotique, il conviendra de développer l'autonomie décisionnelle et opérationnelle des robots et de produire de réelles ruptures dans les modes d'interaction humain-robot, en étudiant, par exemple, la co-évolution entre l'homme et son environnement, le design d'interactions ou les technologies de contenus et de services.

Orientation 27 / Internet des objets

Il faudra par ailleurs lever les verrous associés à la révolution des objets connectés en développant notamment la conception des programmes et la preuve formelle de leur sécurité pour des architectures logicielles distribuées, ouvertes et évolutives, mêlant différents niveaux d'abstraction. La recherche sur les problématiques de sécurité de l'Internet des objets et du *Cloud* devra également être développée pour garantir la confiance dans l'espace numérique par la sécurisation des données et de leur usage.

**DÉFI 8**

Sociétés innovantes, intégratives et adaptatives

Après avoir pris connaissance des conclusions du groupe de travail en charge du défi 8, le CSR considère que les orientations proposées sont trop exclusivement limitées à une approche quantitative et comportementaliste, et que privilégier cette approche aurait des conséquences extrêmement négatives sur la capacité de la recherche française dans les SHS à contribuer efficacement à la compréhension des risques et des opportunités du monde contemporain, ainsi qu'aux conditions d'existence d'une société créative et harmonieuse. Il a par conséquent rédigé un avis spécifique sur ce sujet.

Le gouvernement prend acte des avis différents entre le groupe de travail et le CSR, qui s'inscrivent dans un débat propre à la recherche du domaine, et prendra en compte naturellement à la fois les conclusions du groupe de travail et l'avis du CSR, ce dernier soulevant des enjeux de recherche essentiels non couverts dans le texte ci-dessous. Il est en tout état de cause prévu qu'un dialogue s'instaure pour faire vivre l'ensemble de la SNR, désormais inscrite par la loi dans la durée, et sur ce défi en particulier un échange sera conduit pour produire une vision consolidée des orientations prioritaires.

Périmètre du défi

Ce défi vise à identifier les freins et les leviers à l'innovation, à l'intégration et à l'adaptation des sociétés, confrontées aux évolutions mondiales et aux crises internationales. Les profondes transformations que connaissent nos sociétés, révolutionnées par le numérique ou la globalisation, bouleversent les repères et modifient la façon dont les individus s'organisent et interagissent avec leur environnement naturel, socioéconomique et socioculturel. Dans ce cadre, l'innovation comporte également des risques parfois réels, parfois perçus, de générer des inégalités. L'objectif est d'analyser les conditions d'une innovation réussie, dont les retombées doivent, à terme, bénéficier à l'ensemble des membres de la société en se situant dans une perspective de développement durable. Elles doivent porter également sur les innovations sociales, éducatives et culturelles à fort potentiel d'adaptation et d'intégration, en lien avec les acteurs publics et privés concernés. Enfin, elles questionneront le rapport complexe entre données, informations et décision au sein d'une société de l'information permettant la démocratisation des savoirs et la décision collective.

La réalisation de ces objectifs nécessite de donner une place centrale à l'acquisition et à la mise à disposition de données en sciences humaines et sociales, notamment les données au croisement avec d'autres sciences comme les sciences du vivant et les sciences et techniques de l'information et de la communication. Les résultats de la recherche réalisée dans le cadre de ce défi aideront à établir des stratégies socio-économiques nouvelles et plus efficaces.

ATOOTS

La moitié des pré-projets en sciences humaines et sociales déposés à l'ANR en 2013 portent sur plusieurs autres défis sociaux, témoignant de la diffusion de la culture de l'interdisciplinarité et du renouvellement des pratiques scientifiques. Les communautés sont plus réactives dans les laboratoires transdisciplinaires et les chercheurs en SHS travaillent de plus en plus en étroite association avec les autres secteurs scientifiques, comme en atteste l'activité de l'alliance Athena²⁶.

► FAIBLESSES

La structuration encore majoritairement disciplinaire de l'enseignement supérieur et de la recherche est un frein à une stratégie de recherche sur projet. Les liens sont encore beaucoup trop distants avec le monde de l'entreprise en dépit des initiatives de type consortium de valorisation thématique d'Athena ou commission SHS du réseau Curie. Enfin, la production de données longitudinales en SHS, comparatives et articulées aux autres données, reste très en retard par rapport à celle de ses partenaires européens, notamment anglais et allemands, qui ont consenti depuis longtemps des investissements importants et réguliers dans des infrastructures telles que Share²⁷.

²⁶ L'alliance nationale des sciences humaines et sociales, Athena, associe les membres fondateurs (l'Institut des sciences humaines et sociales du CNRS, la Conférence des présidents d'universités, la Conférence des grandes écoles et l'Institut national d'études démographiques) et les membres associés (l'Institut national de recherche agronomique, l'Institut de recherche pour le développement et la Fondation maison des sciences de l'homme).

²⁷ Share (*Survey en Health, Ageing and retirement in Europe*) est une base de données longitudinale, multidisciplinaire et internationale concernant une enquête réalisée tous les deux ans depuis 2004 sur près de 80 000 européens de 50 ans et plus, dans 20 pays. Les données sont mises gratuitement à disposition des chercheurs.

◎ GRANDES ORIENTATIONS

L'innovation se définit comme la mise en œuvre d'idées nouvelles, qu'elles portent sur des biens, des services, des procédés de production ou des formes d'organisation collective. Comme ses déterminants sont complexes et les transformations de la société qu'elle induit sont multiples, les questions posées par l'innovation méritent des approches croisées et combinées. Identifier ses conditions de succès passe, par exemple, par l'analyse les effets de l'innovation sur les processus de production et les enjeux associés de formation, ainsi que par l'étude des différents éco-systèmes de l'innovation (start-up, PME, cluster, pôles de compétitivité...). Toute innovation supposant une prise de risque, il sera par conséquent essentiel d'analyser le rapport complexe de la société au risque et, ce faisant, sa capacité à s'adapter au changement global actuel. On étudiera à ce sujet la manière dont les acteurs perçoivent le risque et considèrent les opportunités ouvertes par le risque et ses menaces. La perception du risque, des opportunités et des menaces, se révèle en effet aussi déterminante que leur réalité objective pour expliquer les comportements des acteurs.

L'innovation est le principal moteur de la croissance économique de tous les pays développés et émergents. Cependant, selon la manière dont elle se déploie et dont les politiques publiques l'accompagnent, elle peut favoriser l'intégration des populations ou, au contraire, conduire à l'accroissement immédiat ou durable des inégalités. Déterminer les conditions d'émergence d'une société innovante suppose donc de définir les conditions qui contribuent, par l'effet conjoint d'une économie et d'une culture de l'innovation, à la prospérité partagée et à la diminution des inégalités.

Ce défi est par ailleurs étroitement lié à celui portant sur la société de l'information et de la communication par la question de la production et de l'analyse des grandes masses de données. L'enrichissement et la création de nouvelles bases de données interopérables, spécifiques aux sciences humaines et sociales, s'accompagne en effet du besoin de pouvoir en extraire de nouvelles connaissances et de permettre de nouvelles interprétations. Plus largement, l'enjeu commun est celui du développement d'une société ouverte aux données, autorisant une participation des citoyens à la vie publique et aux processus de décision collective, et favorisant les échanges entre scientifiques et citoyens. La démocratisation des savoirs et de la culture reste à cet égard plus que jamais un défi au regard des inégalités sociales et territoriales. Cela conduit aussi à poser la question du projet ou du modèle d'individu, de société et de gouvernance qui se dessine au sein d'une société de l'information, de plus en plus structurée en réseaux et hyper-connectée. L'évolution rapide des formes de lien social, comme des communautés d'individus, doivent être analysées dans ce contexte.

Enfin, l'innovation sociale consiste à élaborer des réponses nouvelles à des besoins sociaux qui ne sont pas suffisamment pris en compte. Ces innovations concernent le vieillissement, la petite enfance, le logement, la santé, la lutte contre la pauvreté, l'exclusion, les discriminations, les migrations... L'objectif prioritaire d'intégration des sociétés place l'éducation, la formation tout au long de la vie et l'apprentissage au premier plan. L'intégration passe par l'étude comparée des cultures et des sociétés qui permet, à travers la connaissance des arts, des littératures et des cultures anciennes et contemporaines, des croyances et des religions, des sciences et des techniques, d'ouvrir sur d'autres possibles, d'interroger le passé pour comprendre le présent et préparer l'avenir, d'étudier les représentations culturelles et leurs processus de transmission. La recherche dans les humanités, renouvelées par les « humanités numériques », contribue au défi de l'intégration, mais également à ceux de l'innovation et

de l'adaptation, à travers l'étude diachronique des sociétés humaines, des mises en perspective et des nouvelles interrelations. De même, les nouvelles recherches croisées sur les patrimoines français et européens dans leurs dimensions matérielles et immatérielles, culturelles et naturelles sont de nature à accroître l'intégration culturelle des sociétés.

Orientations de recherche

Orientation 28 / Nouveaux indicateurs de la capacité à innover

Déterminer ce qui fonde la capacité des sociétés à innover nécessite de construire de nouveaux indicateurs de l'activité scientifique et d'innovation, de la capacité de l'éducation à valoriser l'initiative, l'expérimentation, la créativité, la pensée critique et déterminer les modalités de transmission des connaissances tacites. Ceci nécessite d'étudier à la fois les comportements individuels face aux risques et les attitudes sociales vis-à-vis du progrès, de la recherche et de la science, mais aussi les représentations du risque et le rôle que jouent le système scolaire, avec la stigmatisation de l'échec par exemple, et les risques émergents (climatique, cyber-risques,...) dans la construction de cette représentation. Ces travaux devront s'appuyer sur de grandes infrastructures existantes en sciences sociales comme l'*European Social Survey*, pour étudier les mécanismes sous-tendant la confiance en l'avenir et la capacité à s'y projeter et d'en développer de nouvelles le cas échéant.

Orientation 29 / Sécurisation et optimisation de l'extraction des données

Les grandes masses de données et les questions associées constituent un champ nouveau et central qui suppose une forte interdisciplinarité avec les STIC. Les recherches devront porter sur la manière d'extraire des connaissances des flux d'informations non hiérarchisées et sur les mécanismes individuels et collectifs de prise de décisions.

L'accent sera mis sur l'enrichissement et la création de bases de données européennes ouvertes permettant de travailler sur des cohortes virtuelles de grande taille et d'effectuer des comparaisons.

Orientation 30 / Innovations sociales, éducatives et culturelles

Les innovations sociales, éducatives et culturelles sont multiples et porteuses. Leur étude constitue un champ nouveau qui proposera des modes d'anticipation permettant de les promouvoir et de favoriser l'intégration et l'adaptation de l'ensemble de la population aux transformations de la société. En particulier, il sera nécessaire de développer de nouvelles méthodologies présentant une dimension comparative rigoureusement conduite et d'établir de nouveaux référentiels pour évaluer le progrès social en tenant compte des variables subjectives comme le bien-être ressenti. Des infrastructures nationales et transnationales dédiées, du type enquête Share ou ESS, devront être développées afin d'assurer la validité empirique requise. Il faudra enfin systématiser l'évaluation raisonnée (*evidence-based*) des politiques publiques vis-à-vis de ces innovations. Les recherches porteront sur des thématiques aussi différentes que les dispositifs scolaires innovants ou les représentations, leur dynamique et leur diffusion. Les études concernant les processus mémoriels ainsi que la dissémination et l'appropriation du patrimoine culturel seront également soutenues.



Une ambition spatiale pour l'Europe

Périmètre du défi

L'espace cristallise de nombreux enjeux : de souveraineté et d'autonomie tout d'abord, liés aux questions de défense, de relations internationales, de gestion de crise, des enjeux de recherche technologique, de connaissances scientifiques et sociétales concernant l'environnement, le changement climatique et météorologie, mais également des enjeux de développement économique et industriel, en particulier avec les progrès qu'il permet dans les secteurs des télécommunications et de la géolocalisation. À ce titre son développement sollicite des compétences dans tous les domaines scientifiques, y compris dans le domaine du droit avec l'élaboration de traités internationaux et d'un encadrement juridique national sur les opérations spatiales. Il repose par ailleurs sur un secteur technologique et industriel de pointe, reconnu internationalement. L'espace joue le rôle d'un grand laboratoire R&D pour la science et la recherche technologique qu'il développe dans des conditions extrêmes. Les verrous technologiques qu'il contribue à lever bénéficient ensuite à de nombreux secteurs même si, là encore, le transfert peut être amélioré.

L'ambition spatiale de la France est de conserver son rang sur le marché mondial et son rôle moteur dans la construction de l'Europe de l'espace : l'espace a tout de suite été européen, sous l'impulsion d'Hubert Curien, c'est sa grande force. Cet objectif sous-tend la stratégie spatiale de la France, développée dans les documents « Une ambition spatiale pour l'Europe : vision française à l'horizon 2030 », coordonnée par le Centre d'analyse stratégique, et « Stratégie Spatiale Française » coordonnée par le MENESR. La feuille de route technologique française sur les satellites de télécommunication et les satellites d'observation est discutée au sein du comité de concertation entre l'État, l'agence nationale, l'industrie et les clients : le CoSpace, mis en place et animé par le ministère de la recherche en 2013, avec les ministres de la défense et de l'industrie.

ATOUTS

L'industrie spatiale française est en position de leader européen dans le domaine des lanceurs (Ariane), des infrastructures spatiales et des instruments de très hautes performances (Airbus D&S, Thales Alenia Space) et compte un grand motoriste (Safran), des équipementiers (Sodern, Safran, Saft, Sofradir, Air Liquide) et des opérateurs de rang mondial (Arianespace, Eutelsat, CLS, Airbus DS, Telespazio). L'action publique est forte en France au travers du CNES, l'Europe spatiale est structurée (ESA, Eumetsat, Eutelsat) et on constate une montée en puissance de l'UE (Galileo, Copernicus, Horizon 2020).

La contribution du spatial aux secteurs des télécommunications et de la navigation est au centre de nombreuses applications et défis sociétaux. L'effort de recherche et développement fourni dans le cadre du programme NeoSat de l'ESA, par exemple, ainsi que dans le cadre du PIA, permet d'augmenter la compétitivité de l'industrie nationale dans le domaine des télécommunications. De même, le système européen de navigation EGNOS, qui améliore la précision et la fiabilité du positionnement GPS dans toute l'Europe, pourra bientôt être couplé au système de géolocalisation européen Galileo. La précision de localisation devrait ainsi atteindre la dizaine de centimètres, ouvrant la voie à des applications dans de nombreux domaines (agriculture, navigation aérienne, signalisation des trains, secours en montagne...).

La contribution, en termes technologique et de gouvernance, aux programmes scientifiques d'observation et d'exploration de l'espace dans le cadre de l'ESA (observatoires spatiaux, système solaire, Mars) ou de coopérations bilatérales (exploration robotique de Mars avec la NASA, missions à fort retour sur investissement) est essentielle pour être partie prenante de grandes aventures scientifiques qui ne peuvent, en raison de leur ampleur, être réalisées que dans un cadre international. L'effort en R&D nécessaire pour développer des instruments et exploiter les données à cette fin devra s'appuyer sur la mutualisation des ressources humaines et des moyens techniques des universités et des organismes de recherche, et sur l'élaboration de nouveaux modes de travail entre le CNES et les laboratoires.

► FREINS

La dépendance de l'industrie européenne et française pour des composants électroniques critiques et des technologies clés est autant un défi de souveraineté qu'un défi économique. Par ailleurs, la concurrence internationale est de plus en plus importante, alors que les budgets institutionnels nationaux se sont stabilisés et poussent de grands acteurs à chercher des relais de croissance sur les marchés extérieurs (Boeing, Lockheed Martin...). Enfin, la position de la France dans les applications et services doit être renforcée : ces services représentaient en 2013 un marché mondial de près de 120 Mds€, soit un fort effet de levier par rapport aux 67 Mds€ de l'industrie spatiale et aux 17 Mds€ des opérateurs satellites.

Enfin, les technologies du spatial contribuent à assurer la défense et la sécurité du territoire. La surveillance depuis l'espace nécessite des infrastructures spécifiques pour lesquelles on souhaite développer des capacités nouvelles, prévues par le Livre blanc sur la défense et la sécurité nationales. Pour réduire les coûts associés à ce type de système, il est possible de faire jouer, chaque fois que possible, la dualité civil/défense des systèmes spatiaux, mais aussi de mutualiser les développements nationaux réalisés dans le cadre européen d'une capacité opérationnelle de surveillance de l'espace.

Orientations de recherche

Orientation 31 / Chaîne de services dans l'observation de la Terre

Il sera question de renouveler des infrastructures spatiales essentielles aux services opérationnels et de les intégrer ou de les associer au dispositif européen Copernicus ; de participer aux missions scientifiques de l'ESA (*Earth Explorer*) et à des coopérations bilatérales complémentaires (États-Unis, Inde, Chine...) ; de valoriser les données et de participer à la modélisation du changement climatique et de ses impacts ainsi qu'à l'évaluation des politiques d'adaptation.

Orientation 32 / Compétitivité des secteurs des télécommunications et de la navigation

Assurer la compétitivité de ces secteurs nécessitera de développer de nouvelles plateformes à propulsion électrique et de préparer des ruptures à moyen terme, notamment dans les technologies photoniques et les liaisons optiques à haut débit bord-sol, et de mettre en service le système Galileo.

◎ GRANDES ORIENTATIONS

La position leader de la France dans le domaine des lanceurs sera confortée par le développement d'Ariane 6, décidé au Conseil ministériel de l'Agence spatiale européenne en décembre 2014. Ce lanceur permettra à l'Europe de disposer avec Vega d'une gamme complète et cohérente de lanceur, en synergies industrielles.

Les infrastructures spatiales sont essentielles pour observer le système Terre. De cette observation dépendent l'existence et la qualité de nombreuses recherches impliquées dans plusieurs défis, comme celui de l'adaptation au changement climatique. De cette observation dépendent aussi des services opérationnels comme la météorologie, l'océanographie ou la cartographie. Enfin, sur le plan socio-économique, la mise en place de moyens de distribution, d'archivage, d'exploitation et de commercialisation des données à destination des utilisateurs scientifiques et non scientifiques représente également un enjeu important. Un objectif est par conséquent d'assurer la qualité des données recueillies et leur complémentarité par rapport aux programmes des autres régions du monde.

Orientation 33 / Composants critiques

La non-dépendance technologique et la sécurité d'approvisionnement en composant électroniques critiques représentent les conditions de base pour un développement durable de l'industrie spatiale européenne. Il s'agira donc de porter un effort spécifique pour assurer la plus grande indépendance possible de l'Europe et de la France dans les composants critiques.

Orientation 34 / Des technologies pour l'observation et l'exploration de l'univers

Les recherches viseront notamment à développer des instruments de mesure et les méthodes permettant l'exploitation des données des recherches spatiales ainsi qu'à participer aux développements technologiques critiques pour le programme européen d'observation de l'univers et d'exploration du système solaire (notamment de Mars).

Orientation 35 / Défense et sécurité du territoire

Il conviendra d'assurer le renouvellement des infrastructures utilisées pour des services opérationnels spécifiques défense (observation optique à très haute résolution et/ou revisite fréquente, télécommunications sécurisées) et de développer des capacités nouvelles comme le renseignement d'origine électromagnétique.



Liberté et sécurité de l'Europe, de ses citoyens et de ses résidents

Périmètre du défi

La liberté et la sécurité des citoyens et résidents européens suppose une approche intégrée de la question du risque et de la menace. Le champ du défi recouvre, sans s'y limiter, l'ensemble des missions régaliennes de sécurité et de protection de l'État. La recherche concernée est aussi bien celle relative aux risques naturels qu'aux risques d'origine anthropique et, au sein de ces derniers, ceux qui sont d'origine intentionnelle et les autres. Ce défi porte notamment sur la cyber-sécurité, la protection des infrastructures vitales et des réseaux, la surveillance des espaces maritimes, terrestres et aériens, la gestion des crises de toute origine (négligence ou malveillance, catastrophes d'origine naturelle ou accidentelle) et la sécurité du citoyen, qui recouvre la lutte contre le terrorisme et la criminalité, le secours aux personnes ainsi que la question de la collecte et de l'admissibilité de la preuve.

La recherche et l'innovation sont requises dans l'ensemble de ces domaines pour faire face à des menaces et des vulnérabilités en évolution constante, tout en garantissant un niveau satisfaisant de protection des droits fondamentaux et des libertés individuelles. Elles réunissent, au sein d'une

démarche globale, des domaines scientifiques peu habitués à travailler ensemble, comme les sciences de la nature, l'informatique, les sciences pour l'ingénieur et les sciences humaines et sociales (comportement, droit et libertés publiques, respect de la vie privée), et des collaborations étroites avec la filière française des industries de sécurité.

ATOUTS

Les études relatives à la sécurité enregistrent une vive croissance de la production scientifique du domaine : le nombre de publications a augmenté de 16 % entre 2002 et 2012. Par ailleurs, le tissu industriel correspondant est riche en entreprises capables d'intégrer et d'industrialiser les innovations (50 000 emplois hautement qualifiés et peu délocalisables).

► FREINS

Une approche presque exclusivement technologique prévaut encore trop souvent dans le domaine couvert par ce défi : la connexion avec la recherche scientifique fondamentale reste ténue, notamment celle qui a trait aux comportements individuels et collectifs critiques. La communauté scientifique explicitement concernée demeure peu nombreuse et trop fragmentée.

◎ GRANDES ORIENTATIONS

Qu'il s'agisse de concevoir des villes et sociétés résilientes et sûres, de protéger des infrastructures critiques ou de prendre des décisions en contexte risqué et incertain, les contraintes de la sécurité et le respect de la vie privée doivent être intégrés dès la conception.

Un premier objectif est d'être en mesure de prévoir, d'anticiper et de prévenir les crises. Pour cela, il est nécessaire de détecter les informations pertinentes dans l'ensemble des données disponibles, de disposer de règles de prévention à suivre et de s'assurer que les dispositifs de protection envisagés sont compatibles avec les libertés publiques. Il est également indispensable, afin que ces systèmes soient réellement efficaces, qu'ils intègrent les réactions possibles des acteurs face aux risques mais aussi face aux mesures adoptées pour les prévenir.

Un deuxième versant de la prise en compte du risque vise à fournir aux acteurs les moyens de prendre une décision appropriée lorsque les crises surviennent effectivement. Pour cela, il est essentiel de comprendre les phénomènes critiques à l'œuvre (accident nucléaire, pollution accidentelle de l'eau potable, attaque bactériologique...), de développer des concepts et méthodes efficaces de traitement de données d'origines diverses afin de dégager rapidement des informations pertinentes, et d'établir les connaissances nécessaires à l'élaboration de procédures favorisant une intervention intelligente et étayée dans les phases critiques.

Enfin, lorsque les crises ont eu lieu, il faut que les systèmes soient capables de s'auto-réparer et de reprendre leur activité le plus rapidement possible. Il faut notamment pour cela comprendre les mécanismes de la résilience des systèmes complexes et développer des méthodologies appropriées pour la conception et la réalisation de tels dispositifs.

Orientations de recherche

Orientation 36 / Prévention et anticipation des risques et des menaces

Les questions de sécurité doivent être intégrées dès le stade de conception des systèmes physiques ou numériques, notamment pour le dimensionnement des infrastructures et réseaux. L'être humain étant au cœur de ces systèmes, il sera indispensable d'étudier les comportements individuels et collectifs face au risque, mais aussi de déterminer les principes sur lesquels établir des règles et des normes de prévention à la fois efficaces et respectant l'exercice des droits et libertés publiques.

Orientation 37 / Approche intégrée de la gestion de crise

La gestion de crise demandera d'intégrer toutes les informations sur l'événement critique, son évolution probable, les capacités de réaction des acteurs... Pour que cette gestion soit efficace, il faudra développer la modélisation et la simulation des phénomènes critiques (événement naturel ou d'origine humaine), la capacité d'acquérir et de traiter en temps réel des données hybrides et multi-sources afin d'en extraire les informations pertinentes, et élaborer des outils d'aide à la décision fondés sur une évaluation du danger, une interactions homme/machine appropriée.

Orientation 38 / Résilience des systèmes de sécurité complexes interconnectés

Il conviendra de développer les fondements scientifiques et des méthodologies d'analyse de la résilience des systèmes complexes interconnectés que sont les systèmes de sécurité, et intégrer des processus de résilience dès le stade de leur conception. Cette recherche s'appuiera en particulier sur la théorie des réseaux, l'analyse des processus décentralisés, et les mécanismes de la coordination ; elle s'attachera également à développer les approches et outils d'aide à la conception de dispositifs résilients (tolérance aux défauts, aux sabotages, aux dégradations) ainsi que des méthodologies pour l'analyse ex post encore trop peu utilisée.



PROGRAMMES D'ACTIONS PRIORITAIRES

Introduction

Propositions de programmes d'action prioritaires

Les grandes orientations prioritaires dégagées par les ateliers sur les dix défis posent des questions de recherche transversale aux thématiques traitées. Tous les défis produisent, utilisent et s'appuient sur les données, pour élaborer des décisions complexes ou pour acquérir un niveau d'expertise plus élevé. Sur le plan de la recherche, tous les domaines scientifiques, des sciences expérimentales aux sciences humaines et sociales, se fondent sur des volumes considérables de données. Leur traitement et la gestion des connaissances permettent d'en extraire des connaissances jusqu'alors inaccessibles, à tel point que le sujet s'impose comme un « quatrième pilier » de la science, aux côtés de la théorie, l'expérimentation et la simulation.

Les dispositifs d'observation de la Terre fournissent également des informations qui trouvent leurs applications dans la plupart des défis identifiés. Par exemple, les prévisions météorologiques et les données relatives au climat servent également pour la gestion de la production énergétique renouvelable, l'anticipation des catastrophes naturelles ou la surveillance épidémiologique. L'observation et le suivi de l'environnement au sol contribuent par ailleurs à optimiser les modèles de fonctionnement et d'évolution des systèmes naturels, sous pression anthropique ou non.

La notion de système, ensemble organisé dont les composantes inter et rétro-agissent, fait désormais partie de l'ensemble des domaines scientifiques. Les avancées réalisées autour de cette notion au cours des soixante-dix dernières années ont permis de dépasser les limites des méthodes cartésiennes, qui abordent la résolution d'un problème par division en sous-problèmes alors qu'aujourd'hui la science et l'ingénierie adressent des enjeux complexes, c'est-à-dire soulevés par des systèmes qui résultent de multiples boucles d'interaction et de rétroaction entre plusieurs parties de grande taille. Ces systèmes « complexes » soulèvent des enjeux majeurs d'interdisciplinarité.

Enfin, les processus qui conduisent, tant au plan individuel qu'au plan collectif, de l'information à la prise de décision concernent tous les défis, avec différentes perspectives pour aborder le sujet. Un premier angle considère la manière de traiter les grandes masses de données arrivant en flot continu, y compris en condition de crise : comment accéder, au bon moment et sous la forme adéquate, aux informations nécessaires à la prise de décisions ? Un autre angle vise l'analyse du rapport entre l'information et la prise de décision individuelle ou collective, qui conduit à s'interroger sur l'évolution des liens sociaux dans une société hyper-connectée, sur l'élaboration des politiques publiques, ou sur l'impact de l'information scientifique sur les croyances de la société. Un troisième angle concerne la gestion de l'information pour anticiper, appréhender ou éviter le risque.

Le fort impact potentiel des enjeux transversaux sur les 10 défis a été la base d'un travail de définition de programmes d'actions ciblés couvrant le plus grand nombre possible de défis. À l'issue de ce travail, 14 propositions de programmes d'actions prioritaires ont été proposées, elles sont définies dans le chapitre suivant.

Ces programmes d'action prioritaires ont été regroupés par grandes thématiques : grandes masses de données ; terre et environnement, énergies et ressources ; vie et santé ; science, industrie et société. Chaque programme est présenté au regard des enjeux auquel il répond, puis décliné en actions plus concrètes, en proposant une appréciation de son articulation avec les autres politiques de l'État, de ses impacts économiques et sociaux pour la France, et de son positionnement européen et international.

1 | DONNÉES MASSIVES (BIG DATA)

Données massives et ingénierie de la connaissance

Les quatre programmes d'action prioritaires qui font l'objet de cette section concernent les sciences du numérique qui regroupent de nombreuses disciplines informatiques et mathématiques, de la science des réseaux à l'algorithme en passant par la programmation et la preuve de programme. Ils portent plus particulièrement sur des questions associées aux grands volumes de données ou mégadonnées, c'est-à-dire sur les moyens de les gérer, de les exploiter et d'en extraire des connaissances nouvelles mais aussi d'assurer l'identification des bonnes informations pour une prise de décision étayée et de garantir le fonctionnement sûr, sécurisé et résilient des systèmes informatiques qu'elles alimentent.

La levée des verrous associés à ces questions intéresse tous les secteurs scientifiques, de la biologie aux sciences humaines et sociales en passant par la recherche sur le climat, ainsi que les secteurs technologiques à travers le contrôle de processus industriels ou d'infrastructures de transport par exemple. L'impact économique et sociétal des avancées dans le domaine est immense car l'exploitation des mégadonnées offre de nouveaux ressorts de compétitivité, de productivité et de croissance et s'accompagne de l'émergence de nouveaux métiers. L'industrie de la gestion de données génère un chiffre d'affaires de plusieurs milliards d'euros par an. Elle sous-tend l'essor des industries du semi-conducteur, de l'informatique, du logiciel, des télécommunications et, plus récemment, des services numériques (Dassault Systèmes, STMicroelectronics, Orange...), mais aussi des transports, de la santé, de la sécurité...

La question des mégadonnées est fortement intégrée dans l'agenda politique. Les technologies et les usages du numérique sont parmi les priorités des territoires. Les 4 programmes proposés irriguent les 34 plans industriels et les 7 ambitions de la commission. Ils apporteront de nouveaux moyens d'analyse et de prévention pour les politiques publiques dans des domaines comme la sécurité, le transport, la santé publique en ce qui concerne les risques systémiques, la résilience des systèmes complexes. Ces programmes permettront de mieux prendre en compte les comportements des acteurs (comportements à risques, conduites addictives, pratiques alimentaires, sobriété énergétique...). La recherche dans le domaine de la sécurité et cybersécurité des infrastructures est parfaitement en ligne avec les directives nationales de sécurité en cours de refonte et présente évidemment une dimension stratégique. Tous les programmes permettront à la France de prendre ou de conserver de l'avance et dans des domaines critiques.

NATURE ET ENJEUX

Les données et les avancées scientifiques qui naissent de leur accumulation constituent un capital immatériel de l'économie de la connaissance déterminant pour les individus, les entreprises ou institutions, les pays qui les détiennent. La France maîtrise les technologies matérielles et logicielles sur toute la chaîne de valeur des données massives, de leur collecte à leur compréhension en passant par les questions d'indexation, de stockage, de visualisation, de fouille, d'agrégation, d'analyse et d'extraction

de connaissances. Un investissement approprié de l'État est cependant nécessaire pour soutenir l'innovation et le développement autour de ces activités et renforcer la position du pays dans le groupe leader. Cet investissement sera propre à favoriser l'évolution vers une nouvelle science qui permette d'optimiser, de fiabiliser et de sécuriser l'exploitation de ces données.

► ACTIONS

Action 1 / Favoriser les programmes associant sciences numériques, SHS et sciences expérimentales

- ▶ constituer des communautés interdisciplinaires : sciences numériques, expérimentation in-silico/ sociologie, économie et humanités numériques/ingénierie et conception numériques, prototypage virtuel autour grandes thématiques sociétales : autour de thématiques et sur des thématiques sociétales concernant le domicile, l'école et l'université, l'entreprise, les espaces socio-culturels, la ville, la planète, le climat...
- ▶ Lancer des appels d'offres ou des projets de recherche sur des environnements cyber physique au service de l'homme : l'homme augmenté, la communication homme-machine (IHM), l'interface cerveau-machine, l'internet des objets, les réalisations augmentées et virtuelles, robotique, systèmes embarqués et intelligents.

Action 2 / Développer des infrastructures cohérentes

- ▶ Soutenir le développement des centres de bio-informatique à l'échelle nationale et européenne.
- ▶ Accroître la puissance de la modélisation (calcul et capacités de stockage) dans les sciences du climat.
- ▶ Optimiser les observatoires virtuels en astrophysique dans le cadre des programmes sol-espace ESO et ESA.
- ▶ Développer l'initiative PRACE via Genci sur les méthodes et outils du calcul haute performance et du stockage massif en nuage.
- ▶ Développer les data center en sciences humaines.
- ▶ Déployer et rendre accessibles aux équipes de recherche et aux entreprises des plateformes pour des expérimentations et des tests à grande échelle (Elixir, Smart Cities, Living Labs...).

Action 3 / Concevoir des méthodes d'extraction des connaissances plus efficaces pour gagner en efficacité dans l'interprétation des données et l'extraction des connaissances

- ▶ Développer les briques technologiques d'ingénierie de la connaissance adaptées aux usages des diverses communautés scientifiques, des administrations, voire des entreprises, sur tout le continuum données/information/connaissance.
- ▶ Déployer à grande échelle des moyens d'extraction et d'analyse de données (statistiques, fouille de données, visualisation).

Action 4 / Assurer la formation de spécialistes

- ▶ Former de nouveaux spécialistes pour la gestion et l'usage des données (*Data scientists*) et pour l'extraction des connaissances (*Knowledge scientists*).
- ▶ Transférer les technologies par le biais d'ateliers de fabrication numérique (fab-labs).

FORCES	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maîtrise française de toute la chaîne de valeur de la donnée, avec un tissu industriel de haute technicité dans les technologies matérielles et logicielles comme dans les services ▪ Excellence de l'école de mathématiques appliquées et de statistiques et existence de réseaux de recherche académique de grande qualité en STIC et SHS ▪ Qualité et densité de l'infrastructure académique de calcul intensif et des réseaux de communication publics et privés ▪ Expertise académique et industrielle en gestion des bases de données et recherche documentaire 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Difficulté à agréger l'ensemble des communautés de recherche, notamment STIC et SHS, autour de la thématique interdisciplinaire du traitement des données et de l'ingénierie des connaissances ▪ Faiblesse de la ressource humaine dans le domaine numérique avec notamment une pénurie d'experts et de formations dans la gestion et l'usage des données (<i>Data scientists</i> et <i>Knowledge scientists</i>) ▪ Insuffisance des mobilités entre la recherche publique et l'industrie dans ce secteur ▪ Absence d'appel à projets bien ciblés sur la connaissance extraite des données
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Migration rapide des activités socio-économiques vers l'Internet ▪ Décroissance rapide des coûts technologiques dans la production et l'usage des données ▪ Croissance rapide de la valeur économique et sociale de la donnée ▪ Collaborations entre le public et le privé dans les nombreux appels à projets ayant trait aux grandes masses de données 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Décrochage des investissements de la France en calcul intensif par rapport à ses partenaires européens ▪ Concurrence de quelques grands acteurs internationaux, position dominante de grands éditeurs de logiciel²⁸ et dépendance accrue des utilisateurs de services ▪ Perte de contrôle d'éléments de souveraineté ▪ Économies effectuées sur les systèmes de protection en matière de sécurité des données

Fiabilité des systèmes complexes

NATURE ET ENJEUX

La science et l'ingénierie des systèmes sont confrontées aux enjeux soulevés par l'étude des systèmes complexes, c'est-à-dire résultant de multiples boucles d'interaction entre un grand nombre d'entités. Ces questions concernent aussi bien la modélisation des systèmes en biologie, par exemple, que la conception de systèmes impliquant des objets numériques, des composantes d'ingénierie et leur environnement physique, ou encore de systèmes globaux qui incluent une forte dimension humaine et sociale. Les systèmes urbains et de transport, ou bien les relations entre santé humaine et animale et les écosystèmes constituent des exemples bien connus de systèmes globaux.

.....

²⁸ Comme l'allemand SAP ou l'américain Oracle.

L'efficacité de ces systèmes, leur capacité à s'auto-restaurer (résilience) et leur sûreté sont des propriétés qu'il est essentiel de pouvoir garantir. En effet, la multiplication des objets numériques (capteurs et dispositifs de contrôle) et le facteur humain, qui reste au cœur de ces systèmes, contribuent à la fois à leur organisation, à leur complexité et à leur fragilité. Leur étude doit intégrer une forte dimension interdisciplinaire, en s'appuyant notamment sur les sciences du numérique et les sciences humaines et sociales. Progresser dans la modélisation de ces systèmes suppose également de passer à des expérimentations à grande échelle, plus proches de la réalité.

► ACTIONS

Action 1 / Constituer une communauté scientifique de taille critique sur la science des systèmes globaux

- ▶ Fédérer, à l'échelle nationale, une large communauté pluridisciplinaire sur ces sujets, rassemblant des théoriciens, des spécialistes en numérique et en ingénierie, des experts en sciences humaines et sociales et en sécurité, issus du monde académique du secteur industriel ou, plus largement, du monde économique et social.
- ▶ Renforcer la dynamique et le rôle du GIS Institut des systèmes complexes.
- ▶ S'appuyer sur les instituts et les compétences regroupés au sein de l'alliance Allistène...

Action 2 / Soutenir des recherches fondamentales sur la science des systèmes globaux

Le soutien de projet de recherche amont pluridisciplinaires présentant une forte composante STIC et SHS est déterminant pour :

- ▶ élaborer des modèles capables de représenter les boucles d'interaction entre des systèmes numériques, des infrastructures industrielles à grande échelle, des systèmes biophysiques relevant de différentes disciplines, et des phénomènes sociaux allant des comportements collectifs spontanés jusqu'aux organisations les plus structurées;
- ▶ mener des recherches fondamentales sur la science des systèmes globaux.

Action 3 / Mettre en place des expérimentations pour valider les modèles

La mise en place d'expérimentations à taille réelle permettra de fournir des données nécessaires à la validation des modèles de systèmes globaux et leur transfert vers des applications. Cela suppose, par exemple, une instrumentation pour collecter des informations sur l'environnement, des cohortes connectées d'usagers ou des opérateurs, et pour lesquels on définira des scénarii d'expérimentation et d'enquêtes. Les expérimentations concerteront :

- ▶ la gestion de mobilité intelligente;
- ▶ l'impact des comportements et de l'environnement sur la santé;
- ▶ la prévision des risques, résilience des systèmes complexes, cybersécurité;
- ▶ la conception de technologies numériques et leurs impacts sur la complexité et la résilience.

Action 4 / développer des programmes de recherche dans les domaines technologiques ou applicatifs

En s'appuyant sur la large communauté fédérée, les recherches fondamentales sur les outils nécessaires et les moyens d'expérimentation à l'échelle, il sera possible de mener des recherches collaboratives autour de champs d'application variés :

- ▶ la sécurité (prévision des risques, résilience des systèmes complexes, cybersécurité...);
- ▶ l'analyse systémique de la ville et de la mobilité (mobilité intelligente...);
- ▶ la santé (santé objective versus subjective, impact de l'environnement et du comportement sur la santé...);
- ▶ l'éducation, par exemple la société apprenante et contributive, en liaison notamment avec la StraNES;
- ▶ les objets connectés (conception d'objets et de services numériques grand public, leur impact sur la complexité et la résilience).

FORCES	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Excellentes équipes en recherche fondamentale, bien positionnées au plan international (mathématiques, physique, STIC, SHS) ▪ Existence de quelques structures transversales spécialisées²⁹ ▪ Fort tissu industriel dans les domaines d'application : objets connectés, sécurité, ville, transport, santé 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Petit nombre d'équipes de recherche sur les systèmes globaux ▪ Problème d'évaluation et reconnaissance insuffisante des chercheurs interdisciplinaires dans ce domaine ▪ Difficultés de mise en œuvre pratique du programme d'actions prioritaire compte tenu de la difficulté d'accès aux données
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fort impact sur les politiques publiques de prévention des risques, en particulier pour la sécurité, le transport et la santé publique, grâce à une approche systémique ▪ Fort impact économique et sociétal par le développement de l'activité des entreprises dans le domaine du numérique³⁰, de l'aéronautique³¹, de l'espace et des transports, de la sécurité, de la santé et du bien-être ▪ Complémentarité par rapport aux autres dispositifs stratégiques existant³² et aux dispositifs européens grâce à son approche systémique globale 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Constat d'un léger décrochage de la production scientifique française relative aux sciences et technologies de l'information et de la communication ▪ Faible intérêt des acteurs publics pour les outils d'aide à la prévention des risques

La recherche dans les secteurs scientifiques concernés a été largement renouvelée, notamment du fait des nouvelles vulnérabilités dues à un monde intensément interconnecté dans lequel l'information disponible est à la fois ubiquitaire et bruitée, et le risque et l'incertitude difficiles à paramétriser. Une autre évolution essentielle de la recherche tient à l'importance désormais accordée aux processus collectifs de décision, au raisonnement en groupe et aux stratégies de communication et de coopération. Dans ce contexte, la compréhension des mécanismes de la décision sollicite une communauté interdisciplinaire associant les sciences cognitives et les neurosciences, l'économie, la sociologie, l'anthropologie cognitive et l'éthologie. Ce domaine des *behavioral studies*, situé à l'interface des SHS et des SVT, doit être agrégé à d'autres secteurs, comme celui de l'étude des systèmes informatiques d'aide à la décision, qui sont pertinents pour l'analyse de la transition entre information et décision. Des centres dédiés comme le *Risk Center* de l'ETH de Zürich sont des exemples de ces configurations intégrées qui nous font aujourd'hui défaut, et dont la construction est l'objet de la présente priorité.

► ACTIONS

Mettre en place une plateforme nationale de référence pour les sciences du comportement

Cette plateforme, dotée de l'équipement de pointe requis pour la recherche dans les domaines concernés, articulera la recherche conduite dans les trois secteurs pertinents (SHS, SVT, STIC) pour l'analyse de la transition entre information et décision, notamment la décision assistée par ordinateur et les bases neurologiques de la prise de décision. Elle aura le mode de fonctionnement des Max-Planck allemands : hôtel à projets hébergeant des programmes de recherche conduits par des équipes-projets interdisciplinaires. Cela recouvre :

- ▶ la création de structures de coopération mixtes, de type UMR, interdisciplinaires ;
- ▶ une plateforme distribuée constituée de la mise en commun d'équipements à l'image de l'institut ISIS à Strasbourg ;
- ▶ des appels à projets, financés par les guichets existants, sur des thématiques données nécessitant la formation d'une masse critique de compétences pluridisciplinaires, et portant principalement sur les sujets d'études suivants : mécanismes individuels de la décision et biais d'aversion au risque ; alternatives aux dispositions réglementaires (*nudges, social software*) ; principe de précaution, usages actuels et substituts ; dispositifs d'aide à la décision publique et évaluation *ex post*.

Mécanismes de décision

NATURE ET ENJEUX

Le domaine de la prise de décision concerne la question de l'accès en temps utile aux informations pertinentes contenues dans des bases de données foisonnantes et indépendantes et de leur emploi effectif par les utilisateurs pour prendre une décision étayée. Cette problématique est présente dans de très nombreuses applications : en environnement de travail complexe (robotique, collaboration homme-machine) ; dans les infrastructures critiques (réseaux, nucléaire, traitement de l'eau, pétrole...) ; ou encore en temps de crise (sanitaire par exemple), aussi bien que dans les applications portant sur la remédiation cognitive et le handicap ou l'ingénierie sociale.

²⁹ GIS Réseau national des systèmes complexes avec notamment le centre d'analyse et de mathématiques sociales de l'EHESS, l'Institut rhône-alpin des systèmes complexes, le laboratoire d'ingénierie pour les systèmes complexes de l'IRSTEA et plusieurs Labex et EquipeX de qualité.

³⁰ Frenchtech, Halle Freyssinet, Dassault Systèmes, STMicroelectronics, ILIAD, Orange.

³¹ EADS, Airbus.

³² ANR, programme investissements d'avenir, fond unique interministériel, 34 plans industriels, commission innovation 2030.

FORCES	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Excellence internationalement reconnue des équipes françaises dans le domaine des sciences cognitives ▪ Existence depuis de longues années de dispositifs de structuration interdisciplinaire en SHS, STIC et sciences de la vie³³ ▪ Soutien fort et cohérent apporté à ce domaine par les dispositifs du programme investissements d'avenir ▪ Connexion avec les milieux industriels et émergence de dispositifs de valorisation de type Carnot articulant recherche et valorisation ▪ Extension récente de l'économie aux disciplines adjacentes pertinentes pour l'analyse des processus de décision individuels et collectifs 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inadaptation du recrutement et le suivi des carrières pour les chercheurs pratiquant une interdisciplinarité forte ▪ Absence de dispositifs du type des commissions interdisciplinaires du CNRS articulant les différents secteurs pertinents pour la recherche dans ce domaine ▪ Difficulté à agrégner l'ensemble des communautés de recherche autour de la thématique interdisciplinaire du risque ▪ Prise en compte insuffisante des composantes cognitives de la problématique d'ensemble des données massives ▪ Domaine de recherche non reconnu en tant que tel
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Besoin important exprimé par les pouvoirs publics ▪ Très fort impact sociétal prévisible des très grandes masses de données disponibles pour la décision individuelle et collective, ▪ Développement croissant de la recherche relative aux mécanismes individuels de la décision dans divers domaines (médication, addictions, comportements risqués) ▪ Nécessité de développer les instruments d'aide à la décision publique sur des bases empiriques (<i>evidence-based</i>) mieux assurées ▪ Existence d'infrastructures pertinentes de recherche en sciences sociales pour le suivi dans la durée des décisions de la puissance publique 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Décrochage de la France par rapport à ses partenaires européens dans des domaines émergents comme les <i>Disaster Studies</i> ou l'application de la méthodologie des systèmes complexes aux sciences sociales (physique sociale) ▪ Possible perte de compétences en l'absence d'une action volontariste en matière de recrutements de chercheurs et d'enseignants chercheurs ▪ Risques afférents à une approche purement technologique de la problématique des données massives ▪ Risques liés à une approche fragmentaire, au cas par cas, des questions de décision

³³ Fondation Cognition.

Sécurité et cybersécurité des infrastructures

NATURE ET ENJEUX

Savoir protéger efficacement les grandes infrastructures contre tout type d'agression naturelle ou intentionnelle a été identifié par le COFIS comme un besoin prioritaire, aussi bien pour les opérateurs publics et privés, que pour les entreprises et les citoyens. C'est un élément-clé permettant à l'État d'assurer le fonctionnement continu des infrastructures de transport, de réseaux d'eau ou d'énergie. C'est également une préoccupation essentielle des entreprises dont les sites de production sont en milieu sensible (risques naturels, d'intrusion ou de sabotage).

Cette protection physique des infrastructures est aujourd'hui de plus en plus liée à la sécurité informatique car les dispositifs de protection intègrent une part croissante de systèmes d'information (gestion automatisée des accès, mise en réseau des caméras de surveillance, automatisation des systèmes de production). La sécurité et la cybersécurité des infrastructures doivent ainsi être pensées conjointement, si possible dès la conception de l'infrastructure (notion de *Security by Design*), et intégrer les apports de nombreuses disciplines, comme la cryptographie, la physique des composants, la géolocalisation, mais aussi la sociologie du risque ou le droit des libertés. Le programme proposé vise à agrégner autour des sujets de la sécurité les communautés de recherche pertinentes, notamment celles de la prévention des risques ou de la sûreté de fonctionnement. Elle soutient les axes de recherche nécessaires pour comprendre, analyser et proposer des réponses appropriées.

► ACTIONS

Action 1 /

Soutenir les avancées en modélisation, simulation, protection physique et sécurité des systèmes d'informations des infrastructures critiques et des réseaux (système de commande et de contrôle, cloisonnement de réseau, système de détection adaptés...); développer en particulier des systèmes de contrôle sans contraintes (par exemple sans point d'inspection filtrage), non intrusifs pour les usagers,

Action 2 /

Développer des méthodologies de conception et de dimensionnement d'infrastructures capables de résister à des agressions (explosions, impulsion électromagnétique). Ces méthodologies reposent sur des modèles physiques prédictifs, validés par l'expérimentation et concourant à généraliser une démarche systématique de *Security by Design*.

Action 3 / Développer les recherches concernant la résilience numérique et physique des réseaux et des organisations

Les recherches seront principalement centrées sur :

- ▶ l'amélioration des capacités de réaction et d'anticipation *by design* de systèmes co-localisés dédiés à des systèmes adaptatifs ;
- ▶ la gestion des interactions des réalités physiques et des modes de fonctionnement numériques ;
- ▶ l'interopérabilité de réseaux numériques sécurisés et robustes, tout en garantissant la protection des citoyens et de leurs libertés ;
- ▶ la prévention et la gestion des sinistres en cascade (effet domino).

Action 4 / Prendre en compte le facteur humain

- ▶ Étudier les interactions humain-système pour mieux les comprendre.
- ▶ Évaluer les ratios entre risques évités et mesures prises en prenant en compte les notions de coût évité et de rapport coût/bénéfice afin d'améliorer la prise de décision.
- ▶ Développer des outils d'analyse *ex post* et de rétro-évaluation.

Action 5 /

Intégrer ces développements dans des thèmes fédrateurs comme ceux du bâtiment intelligent et sûr par conception, reconfigurable selon les niveaux de sécurité (par exemple gestion des entrées/sorties selon le niveau de vigilance).

MATRICE D'ANALYSE STRATÉGIQUE	FORCES	FAIBLESSES
	OPPORTUNITÉS	MENACES
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forte croissance du secteur en terme de publication (16 % de 2002 à 2012) avec d'excellentes équipes de recherche en cryptologie et sécurité matérielle ▪ Tissu industriel riche en grands groupes et PME capables d'intégrer et industrialiser les innovations³⁴ ▪ Bonne position de la France à l'export sur les technologies de sécurité ▪ Grands intégrateurs industriels français de systèmes de confiance 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Masse critique insuffisante de la communauté de recherche impliquée ▪ Difficulté à agréger l'ensemble des communautés de recherche autour de la thématique interdisciplinaire de la sécurité et réticence de nombreuses équipes à s'engager dans le domaine de la sécurité globale ▪ Absence d'une méthodologie de conception d'infrastructures sécurisées fondée sur des modèles prédictifs intégrant la modélisation des comportements humains individuels et collectifs ▪ Prise en compte très insuffisante de la recherche amont, notamment en SHS, dans les appels à projets ciblant la sécurité globale

³⁴ 50 000 emplois hautement qualifiés et non délocalisables et 10 milliards d'euros de chiffre d'affaires.

³⁵ Appels à projets communs entre l'ANR et le BMBF (*Bundesministerium für Bildung und Forschung*), ministère allemand de la formation et de la recherche; projet de création d'un institut de la cybersécurité.

³⁶ COFIS : comité de la filière industrielle de sécurité.

2 ENVIRONNEMENT, ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

Cette thématique vise à mieux connaître, comprendre et anticiper l'évolution du système climatique global (océan, atmosphère, cryosphère, surfaces continentales), à concevoir de nouveaux systèmes de production et de transformation de la biomasse, et à réduire notre dépendance aux matériaux stratégiques et aux énergies fossiles dans le but d'assurer le développement durable de nos sociétés. Les quatre programmes qui la composent impliquent en premier lieu les sciences de la vie et de la Terre (SVT), la physique, la chimie, les mathématiques et l'informatique. Ils font une place croissante aux sciences humaines et sociales (SHS) à toutes les étapes de la recherche car l'homme est nécessairement au centre des solutions à élaborer. Ces programmes contribueront à la transition écologique et énergétique en levant des verrous technologiques (procédés économes en énergie, matériaux biosourcés, biocarburants...) mais aussi des verrous sociétaux avec l'élaboration de nouvelles organisations de filières, de nouveaux modes de gouvernance et de nouvelles stratégies. Ils auront des retombées économiques directes mais aussi indirectes, par exemple en suscitant l'activité d'innovation autour des capteurs ou de la gestion de grandes masses de données. Les retombées directes concernent le développement des prévisions météorologiques et des services climatiques pour les secteurs agricoles et industriels ; la conception de nouveaux procédés de transformation de la biomasse intéressant les secteurs de l'agroalimentaire, de l'énergie, de la chimie, des matériaux et de la pharmacie ; la mise au point de nouveaux procédés d'extraction des matériaux stratégiques (métaux, terres rares) et de techniques de recyclage très attendus par les nombreux secteurs industriels concernés, de l'automobile à l'énergie en passant par les matériaux et l'électronique.

Les programmes proposés s'inscrivent dans le cadre des politiques publiques et de la loi sur la transition énergétique (recyclage et économie circulaire en cohérence avec les travaux du COMES³⁷, apports de la recherche à la transition énergétique dans les territoires, agroalimentaire). Ils se déployeront en conjonction avec les différents organismes de recherche des alliances AllEnvi et Ancre et en lien avec les dispositifs des ministères techniques, notamment le ministère en charge de l'environnement.

Certains programmes sont susceptibles d'être soutenus par de nombreuses organisations internationales dans lesquelles siège la France comme le G8 et le G20, le WCRP (*World Climate Research Programme*), IGBP/PAGES (*Past Global Changes*), le Global Science Forum de l'OCDE, l'organisation GEO (*Group on Earth Observation*) ou le Future Earth programme de l'ICSU (*International Council for Science*).

Système Terre : connaissance, surveillance, prévision

NATURE ET ENJEUX

L'étude du système Terre et de ses différentes enveloppes (sous-sol, sol, océan, écosystèmes, atmosphère...) permet de comprendre, suivre, prévoir et anticiper son évolution dans le contexte du changement climatique mais également de la raréfaction ou de la dégradation des ressources naturelles. Le programme concernera des questions cruciales pour nos sociétés comme la qualité de l'air, de l'eau, des sols, la déforestation, la perte de biodiversité, l'acidification de l'océan, la modification des écosystèmes, les risques telluriques, les épidémies, les migrations... Il permettra de contribuer à la mise en place de services d'information et/ou de prévision climatique et environnementale, mais aussi de proposer des services dans le domaine de l'énergie, des ressources, du risque et de la sécurité au sens large.

Il se concentrera sur les zones les plus vulnérables, notamment les zones littorales qui sont également les plus peuplées et les plus actives du point de vue économique. Outre les facteurs anthropiques locaux, l'influence humaine sur l'évolution récente et future du climat aura des impacts spécifiques sur les zones littorales, en particulier du fait de l'acidification des océans, du réchauffement des eaux de mer, ainsi que de la montée du niveau des mers et leurs conséquences. Ces zones sont la résultante fragile des flux de matière et d'énergie se déplaçant à l'interface Continent-Océan, au gré de la conjonction de facteurs climatiques, géologiques et écologiques. Outre les facteurs anthropiques locaux, l'influence humaine sur l'évolution récente et future du climat aura des impacts spécifiques sur les zones littorales, en particulier du fait de l'acidification des océans, du réchauffement des eaux de mer, ainsi que de la montée du niveau des mers et leurs conséquences. Le dérèglement climatique va intensifier les phénomènes de submersion, d'inondation côtière et d'érosion du littoral.

Tous les phénomènes étudiés étant géographiquement interconnectés, il est essentiel de constituer une capacité d'observation allant du local au global en combinant des moyens d'observation *in situ* sur terre, sur mer, dans les airs mais également depuis l'espace. Les satellites permettent déjà un suivi global et homogène sur de longues périodes, en s'affranchissant à la fois des contraintes liées à la physique de la surface du globe (océans, déserts, zones polaires, montagnes) et de la géographie politique (restrictions d'observation dans de nombreux pays). Pour avoir une fiabilité et une efficacité optimale, ces études doivent couvrir des échelles qui vont du court terme au très long terme et du local au global, ce qui nécessite d'être capable de traiter des « sauts variables » d'échelles temporelles et géographiques. Or ces « sauts » d'échelle constituent un verrou scientifique majeur qui nécessite l'acquisition de données de plus en plus fiables et précises et la réalisation de modélisations de plus en plus complexes. L'amélioration de la qualité des mesures recueillies reposera donc également sur la levée de verrous technologiques, notamment dans les composants électroniques critiques du domaine du spatial.

³⁷ COMES : comité pour les métaux stratégiques.

ACTIONS

Action 1 / Promouvoir les fronts de science fondamentale

- ▶ Compréhension du climat aux échelles décennales (maîtrise des incertitudes et des sauts d'échelle, étude des ruptures, des non-linéarités et des interactions).
- ▶ Fonctionnement et évolution de notre environnement (surfaces et interfaces continentales, atmosphère, océan, littoral, socio-écosystème).
- ▶ Dynamique et résilience de la biodiversité, avec une attention particulière aux milieux extrêmes, sujets porteurs en innovations pour les biotechnologies.

Action 2 / Favoriser le développement des services climatiques

et environnementaux qui représentent un nouveau secteur économique sur lequel la France a de l'avance et doit investir.

- ▶ Prévision météorologique pour le monde socio-économique et les citoyens.
- ▶ Suivi des productions agricoles, des stocks halieutiques ou de l'état de la forêt.
- ▶ Prévision des risques météorologiques (inondations, crues, tempêtes, incendies, etc.) et impacts sur les transports, par exemple.
- ▶ Prévision de la demande énergétique.
- ▶ Impact sur la propagation des ondes électromagnétiques, sur le rendement des filières sensibles (énergies marines, éolienne, solaires...).
- ▶ Risque sur la santé humaine (propagation des maladies, télé-épidémiologie, qualité de l'air et suivi des pollutions...).
- ▶ Choix des lieux d'installation et du dimensionnement d'activités économiques...

Action 3 / Créer et développer des technologies de rupture

- ▶ Augmenter la sensibilité et la précision des capteurs, à masse équivalente embarquée.
- ▶ Développer la technologie des réseaux de capteurs et le traitement associé³⁸.
- ▶ Développer l'imagerie satellitaire ou embarquée³⁹.

Action 4 / Mettre en place des formations adaptées

- ▶ Mettre en place des formations techniques et supérieures rompues à la démarche interdisciplinaire et intégrée.
- ▶ Anticiper les nouveaux métiers liés à l'observation, la modélisation et l'expérimentation sur le terrain ainsi qu'à mise en place des grandes bases de données.

MATRICE D'ANALYSE STRATÉGIQUE	FORCES	FAIBLESSES
	OPPORTUNITÉS	MENACES
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collaboration internationale installée⁴⁰ ▪ Expertise scientifique de très haut niveau⁴¹ ▪ Expertise industrielle nationale et européenne (aéronautique, lanceurs, instrumentation) ▪ Programmation de recherche depuis plusieurs décennies⁴² ▪ Flottes, observatoires et réseaux d'observatoires à Terre (25 ans) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dispersion des infrastructures de recherche (établissements porteurs, gouvernance, financements) ▪ Déficit de cohérence et de coordination du dispositif ▪ Faiblesse de l'interopérabilité des banques de données ▪ Faible implication des industriels sur les services ▪ Faible articulation avec des pôles de compétitivité

⁴⁰ GCOS (General Comprehensive Operating System), Copernicus, GEO (Group on Earth Observation), CIUS (conseil international des unions scientifiques), FutureEarth.

⁴¹ GIEC (groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), IPBES (plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques), GBIF (Global Biodiversity Information Facility).

⁴² CNRS, CNES et établissements membres de l'alliance AllEnvi.

⁴³ ESFRI: European Strategy Forum for Research Infrastructure.

⁴⁴ KIC (Knowledge and Innovation Communities), Climat, JTI (Joint Technological Initiative) biobases industry, Eranets Climate Services et Earth Observation, JPI (Joint Programming Initiative) Ocean, Water, Climate, JPI FACCE (Joint Research Programming Initiative on Agriculture, Food Security and Climate Change).

³⁸ Amélioration des capacités d'archivage et de traitement des données ainsi que développement de l'interopérabilité des bases de données spatiales (missions ESA, CNES, programmes Copernicus et GEO/GEOSS) et terrestres au niveau national et européen.

³⁹ note manquante

Bioéconomie au service des transitions énergétique et écologique

NATURE ET ENJEUX

Les systèmes de production alimentaires et l'accès aux ressources énergétiques seront fortement modifiés dans les décennies à venir. Dans ce cadre, imaginer et évaluer de nouveaux systèmes de production et de transformation durables constitue un réel défi pour le futur.

Produire, transformer et valoriser de la biomasse en visant aussi bien des débouchés dans le secteur de l'alimentation que de l'énergie, de la chimie, des matériaux ou de la pharmacie représente un vrai potentiel de progrès, de création de nouvelles activités et de renouvellement d'emplois industriels au niveau des territoires.

L'idée directrice de la bioéconomie est de structurer une véritable filière française de la biomasse dans les domaines de l'agroalimentaire, l'énergie, la chimie-matériaux et les déchets, à partir des spécificités et disponibilités de la biomasse produite localement et pour aboutir à des projets qui aient une double dimension territoriale et nationale. Dans ces conditions, la recherche sous-jacente nécessaire en bioéconomie pourra devenir un vecteur efficace de la transition écologique et énergétique.

► ACTIONS

Action 1 / Promouvoir la création de laboratoires ouverts pour développer des méthodes de production adaptées aux changements globaux

- ▶ Mettre en place un processus d'innovation adapté à la problématique en promouvant la notion des laboratoires d'innovation ouverte⁴⁵ qui regrouperaient des laboratoires de recherche, des entreprises, des collectivités locales, ainsi que des utilisateurs potentiels. Ce choix favorisera la mise en synergie des méthodes d'organisation innovantes, le partage des réseaux et l'implication des utilisateurs dès le début de la conception de nouveaux systèmes de production dans une approche « économie circulaire ».

Action 2 / Encourager le développement de produits issus de la biomasse (carbone renouvelable)

- ▶ Proposer des filières de production durable de substituts pour des applications dans les domaines de l'énergie, des matériaux, de la pharmacie ou de la cosmétique. En particulier, les carburants de troisième génération nécessitent des recherches amont, le développement de pilotes et des recherches industrielles sur la ressource (agricole, aquatique, micro-organismes) et les procédés.
- ▶ Développer des biomatériaux et des bioproduits performants pour le bâtiment, le transport, les biens de consommation... en visant une réduction des coûts de production.

- ▶ Mettre en place des moyens en R&D pour aboutir à des produits de substitution pour la pharmacie, la cosmétique et plus généralement la chimie de spécialité.

Action 3 / Lancer de nouveaux centres et infrastructures en biologie synthétique et chimie verte

- ▶ Produire, à partir de la biomasse, les briques de base (synthons et molécules plateforme biosourcées) qui seront utilisées dans les procédés de synthèse par l'industrie chimique. L'industrie chimique deviendra ainsi un très important relais (et une vitrine) pour l'adoption du carbone renouvelable.

Action 4 / Financer des recherches sur de nouvelles voies de valorisation de la partie organique des déchets

- ▶ Améliorer les méthodes de valorisation des déchets agricoles, déchets verts ou déchets ménagers fermentescibles, ou en trouver de nouvelles, notamment pour produire de l'énergie via la filière biogaz ou bien via des solutions comme la gazéification pour la production d'hydrocarbures liquides proposée par Solena.
- ▶ Trouver de nouvelles voies de valorisation du CO₂ en s'appuyant sur des microorganismes, à l'instar de ce que les sociétés RWE et Brain AG viennent de proposer.

⁴⁵ Le laboratoire d'innovation ouverte, ou *Living Lab* en anglais, place l'utilisateur au centre d'un dispositif permettant d'imaginer, créer et développer des services et des outils innovants qui répondent aux attentes du public auquel ils sont destinés.

MATRICE D'ANALYSE STRATÉGIQUE	
FORCES	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Excellence nationale de la recherche, académique et industrielle et cohérence avec les besoins en R&D de la filière ▪ Le secteur agroalimentaire est le premier secteur industriel français ▪ Fort potentiel de création de richesse et d'emplois grâce à une présence industrielle de haut niveau, variée et prometteuse⁴⁶ ▪ Structuration d'une filière soutenue par le programme investissements d'avenir 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Secteur sans réelle feuille de route française en bioéconomie et qui s'appuie sur un ensemble de forces industrielles et R&D dans un domaine très large et très varié (de l'agriculture à l'énergie, aux matériaux) ▪ Manque de <i>laboratoires vivants</i>⁴⁷ regroupant laboratoires de recherche, entreprises, collectivités locales et utilisateurs
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Présence d'emplois et de force de travail dans les territoires ▪ Potentiel de productions adaptées aux changements globaux (ressources agricoles, démographie, climat...) intégrant les problématiques essentielles des enjeux des secteurs concernés : énergie, chimie, matériaux, alimentation, agriculture ▪ Secteur clé pour la transition énergétique qui permet des orientations interministérielles sur la bioéconomie (feuille de route française consolidée) ▪ Réflexion éthique <i>ab initio</i> permettant une intégration pertinente des SHS (intégration applicable tous les volets de la chaîne de valeur) ▪ Possibilité du renforcement de la position française au travers de l'initiative industrielle conjointe européenne⁴⁸ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fortes concurrences dans le secteur industriel de la transformation : compétition d'usage des ressources entre agroalimentaire, énergie, chimie, pharmacie, cosmétique ▪ Édiction de réglementations limitant la diffusion des innovations ▪ Mobilisation de certaines ressources (bois, ressources aquatiques) coûteuses en énergie, en main-d'œuvre et en logistique (forte dispersion) ▪ Difficulté à lever des capitaux dans un secteur considéré comme à haut risque ▪ Réticences de la société civile à utiliser des parcelles agricoles pour produire de l'énergie

Matériaux stratégiques dans une économie durable

NATURE ET ENJEUX

Les nouvelles technologies de production de l'énergie reposent sur l'utilisation massive de matières premières et de matériaux que l'on qualifie de stratégiques ou critiques. Ainsi, l'alliance ANCRE relève que, pour la même puissance installée, les éoliennes et les technologies solaires pourraient consommer jusqu'à 90 fois plus d'aluminium, 50 fois plus de fer, de cuivre et de verre que les centrales thermiques à flamme ou les centrales nucléaires. Ces précieuses ressources sont également indispensables aux secteurs de l'automobile, de l'aéronautique, de l'éclairage et de l'électronique. Or, l'Europe ne produit qu'environ 3 % de ses besoins. Par ailleurs, les réserves elles-mêmes sont très concentrées, elles sont exploitées par peu d'entreprises, dans un nombre réduit de pays producteurs et dans des conditions souvent mal maîtrisées pour l'environnement. Il est ainsi essentiel de limiter la consommation de ces ressources et de trouver, quand cela est possible, des produits de substitution moins coûteux et moins nocifs pour l'environnement, et de développer des procédés efficaces de recyclage.

Ce domaine, éminemment stratégique, n'est toutefois pas suffisamment structuré et se heurte à d'importants verrous technologiques et questions de recherche. Il est donc essentiel de renforcer les compétences scientifiques, de mettre en œuvre des programmes permettant d'organiser une filière durable et indépendante, capable de garantir le développement pérenne des nouvelles technologies (éolien, solaire, hydrolien) et celui de convertisseurs d'énergie efficaces.

Ce programme conduira à réduire l'impact environnemental de l'utilisation des matériaux stratégiques et à mettre en œuvre des filières industrielles créatrices de valeurs et d'emplois dans les domaines des procédés d'extraction à l'impact environnemental perfectible, et des produits de substitution et du recyclage.

ACTIONS

Action 1 / Dresser un état de l'économie de la ressource

- ▶ Identifier, localiser, quantifier et dresser une cartographie précise des réserves associées à leurs coûts d'accès (accessibilité géopolitique, impact sur les écosystèmes).
- ▶ Déterminer les situations pour lesquelles le développement de technologies moins dépendantes en matériaux stratégiques permettrait de réduire la contrainte de l'approvisionnement et fournirait un meilleur compromis coût/efficacité à performance égale.

Action 2 / Mettre en œuvre des filières de matériaux de substitution

- ▶ Découvrir des matériaux de substitution propres à remplacer les matériaux stratégiques par des éléments moins critiques, plus faciles à mettre en œuvre ou à approvisionner, et moins nocifs pour l'environnement. De la découverte de ces matériaux de substitution dépendra l'émergence de nouvelles filières particulièrement prometteuses.

⁴⁶ MetEx, Global Bioenergies, Deinove, Carbios.

⁴⁷ Un *living lab* est un écosystème d'innovation ouverte porté par l'usager qui opère souvent dans un contexte territorial (ville, agglomération, région) et intègre la recherche simultanée et le processus d'innovation au sein d'un partenariat public-privé.

⁴⁸ JTI Biobased Industry, en cours de mise en place.

Action 3 / Mettre en œuvre une filière de recyclage

- ▶ Concevoir des techniques de récupération et de purification appropriées qui conduiront, de surcroît, à des méthodes d'évaluation des analyses de cycle de vie très précises. Certains produits, comme les grosses machines électriques des éoliennes, contiennent beaucoup de terres rares qu'il conviendra de savoir valoriser lorsqu'elles arriveront en fin de vie dans plusieurs années.
- ▶ Stimuler des partenariats avec des industriels comme Rhodia-Solvay qui consacrent déjà des moyens à cet aspect de la question et contribuer ainsi à la constitution d'une filière.

MATRICE D'ANALYSE STRATÉGIQUE

FORCES	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collaboration ancienne entre recherche académique et recherche industrielle sur la compréhension des matériaux et les compétences sur les matériaux et leurs propriétés ▪ Force et solidité du tissu industriel français dans certains secteurs⁴⁹ ▪ Structuration du domaine soutenue en France⁵⁰ comme au sein de l'Union européenne⁵¹ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Accès insuffisant aux ressources (manque de disponibilités, absence d'industrie minière) ▪ Absence d'une filière robuste ; présence d'un seul acteur majeur dans les métaux rares et le recyclage ▪ Efforts des industriels encore insuffisants sur les substitutions des matériaux critiques ▪ Absence de taille critique européenne de nos laboratoires⁵² et lent renouvellement des compétences ▪ Ciblage des financements existants sur la recherche aval
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contrainte économique et environnementale forte favorisant les filières du recyclage et la substitution des matériaux stratégiques ▪ Développement de nouvelles disciplines en lien avec la durabilité au sein du système d'enseignement et de formation (analyses du cycle de vie) ▪ Forte demande en matériaux de la part d'acteurs industriels de premier plan⁵³ ▪ Volonté nationale de structurer la filière pour répondre à la demande croissante des pays⁵⁴ ▪ Participation française aux projets européens⁵⁵ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Difficulté d'accès (quantité, prix) aux matériaux rares produits dans certains pays ▪ Insuffisant développement des incitations au recyclage ▪ Domaine du recyclage risqué car très concurrentiel en termes industriels et en termes d'accessibilité aux gisements de matières ▪ Coût élevé des usines de recyclage

⁴⁹ Ciment et béton, acier, aluminium, titane, verre, polymères ; métaux rares et recyclage (Rhodia – Solvay).

⁵⁰ Pôles de compétitivité, 2 comités stratégiques de filières, 2 IRT, comité des métaux stratégiques, ERA-MIN (réseau européen des programmes de recherche sur les matériaux stratégiques).

⁵¹ Sélection récente de la KIC Raw Materials par l'EIT (Institut européen de l'innovation et de la technologie).

⁵² Allemagne (Aix-la-Chapelle, Karlsruhe, Stuttgart) et au Royaume-Uni (Cambridge, Oxford).

⁵³ BTP, automobile, aéronautique, espace, énergie, optique et produits *high tech* (électronique, TIC, jeux).

⁵⁴ Plan industriel recyclage et matériaux verts, concours mondial de l'innovation (plans de la commission innovation 2030 « stockage de l'énergie et recyclage des matériaux rares », restructuration de la recherche publique autour de 3 grands pôles suite aux recommandations du comité d'orientation national de la métallurgie).

⁵⁵ Eranet, Era-Min (réseau de recherche européen sur les matériaux stratégiques avec le CNRS, l'ANR et l'ADEME) et la KIC (Knowledge and Innovation Communities) Raw materials.

Transition énergétique pour les territoires

NATURE ET ENJEUX

La transition vers un nouveau bouquet énergétique repose sur une plus grande sobriété et efficacité, sur la montée en puissance des énergies décarbonées et sur l'utilisation de nouveaux vecteurs et systèmes énergétiques. Une caractéristique essentielle de cette évolution du paysage énergétique est l'émergence d'un modèle de gouvernance inusité, intégrant de nombreux acteurs, du niveau local au niveau national. Par exemple, la recherche de l'efficacité énergétique au niveau d'un éco-parc industriel suppose de faire dialoguer entre eux les industriels concernés, mais aussi de rapprocher les industriels et les acteurs de l'habitat lorsque les installations industrielles sont couplées aux zones urbaines comme c'est le cas dans l'éco-parc du Havre. D'autre part, augmenter les sources d'énergie décarbonée entraîne un accroissement de la production décentralisée et souvent non programmable de l'énergie. Les réseaux de distribution et les solutions locales de stockage deviennent ainsi des éléments essentiels du paysage énergétique qui nécessitent également des solutions originales de gouvernance. L'échelle territoriale, en minimisant notamment l'investissement initial en infrastructures, se prête à réaliser des démonstrations de l'intégration des énergies renouvelables.

► ACTIONS

/ Réaliser une démonstration sur un territoire

L'objectif de cette action est d'intégrer des énergies renouvelables sur un territoire suffisamment étendu pour en faire un démonstrateur. L'échelle, suffisamment modeste pour qu'il soit réalisable à court terme, mais suffisamment importante pour que l'expérience soit probante se situe au niveau du département. Cette expérience inclura les trois composantes de la problématique : différents modes de production d'énergie, différents usages ou mode de consommation et différents modes de gestion. Elle se différenciera en cela des démonstrations en cours (éco-parcs industriels, plateforme Myrte...) qui n'associent que deux éléments des trois composantes.

L'action favorisera :

- ▶ l'optimisation des procédés actuels et le développement de technologies en rupture, par exemple pour le séchage ou la dessication des produits, la production de froid, les échangeurs thermiques, et aussi la promotion des avancées en métrologie et en conception de capteurs innovants ;
- ▶ la construction d'une filière française structurée dans le domaine de la récupération et de la valorisation de l'énergie fatale industrielle ;
- ▶ l'étude des espaces et temporalités de l'énergie par les SHS. Ce domaine émergent bénéficiera de l'étude de cas réels à une échelle territoriale. Ce sera une des clés de la réussite de l'action « 200 territoires à énergie positive en 2017 » inscrite dans le projet de loi relatif à la transition énergétique pour la croissance verte (article 56).

FORCES	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexibilité énergétique des procédés industriels et lien habitat-industrie explorés dans plusieurs instituts pour la transition énergétique⁵⁶ ▪ Succès des éco-parcs industriels dans plusieurs régions françaises ▪ Dynamisme des publications scientifiques dans le domaine de récupération de l'énergie⁵⁷; étude récente de l'alliance ANCRE sur l'optimisation énergétique des sites industriels⁵⁸ ▪ Action Démonstrateurs de stockage et conversion du programme investissements d'avenir 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manque de retour d'expérience global sur l'ensemble des expérimentations locales⁵⁹ ▪ Peu de projets intégrés globaux liant production, gestion et utilisation ▪ Difficulté à agréger l'ensemble des communautés de recherche autour de la thématique interdisciplinaire de la transition énergétique et environnementale ▪ Nombreux acteurs de typologie très variée (TPE/PME, collectivités locales, grands groupes)
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contexte favorable induit par la loi sur la transition énergétique et la croissance verte⁶⁰, et du programme « innovation pour la transition écologique et énergétique » du programme investissements d'avenir²⁶¹ ▪ Échelle territoriale propice à la transition énergétique par une démonstration significative à moindres frais ▪ Soutien du programme Horizon 2020 (défi énergie) : actions <i>smart-cities and communities</i> ▪ Développement de la demande des <i>smart grids</i> et des réseaux locaux de génération de chaleur 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forte concurrence sur les fonds européens ▪ Manque d'engagements financiers des industriels pour une optimisation des flux énergétiques et de matières au sein d'un bassin industriel (lenteur de la mutualisation avec collectivités locales)

3 | VIE ET SANTÉ

La thématique vie est santé est très large, et les deux programmes d'action proposée ont choisi de se focaliser sur des innovations de rupture, tant dans le domaine de la biologie fondamentale que dans ses applications médicales et ses retombées économiques.

Ces programmes intègrent un panel de compétences qui vont de la biologie à la médecine, en passant par les sciences du numérique et les sciences humaines et sociales. Ils impliquent des évolutions des méthodes de travail et des modes de fonctionnement interdisciplinaires.

Leur impact sociétal et leur potentiel économique est considérable : outre les bénéfices de la médecine personnalisée en regard de la prise en charge des patients, les retombées industrielles de la biologie des systèmes sont estimées à plusieurs milliards d'euros (cinq mille milliards de dollars uniquement pour la partie Big data et le programme est un levier de croissance des industries de santé, qui ont pour certaines déjà investi dans ce domaine).

Ces deux programmes se placent dans le cadre de politiques publiques déjà engagées par l'État français : le programme biologie des systèmes s'inscrit dans le cadre du plan annoncé par le président de la République à Strasbourg le 30 janvier 2014. Quant à la recherche hospitalo-universitaire d'excellence, elle est un des objectifs du programme « écosystèmes d'excellence » dans le cadre du nouveau PIA. Au niveau européen, ce programme peut bénéficier des interactions existantes avec les infrastructures EBI (Institut européen de bioinformatique) et Elixir, qui ont vocation à intégrer des données provenant des grands centres européens de bioinformatique.

Biologie des systèmes

NATURE ET ENJEUX

Dans les 10 ans à venir l'étude des fonctions, centrale en biologie, évoluera vers l'étude des systèmes conçue pour décrire la complexité du vivant en utilisant des formalismes dérivés des mathématiques et des théories de l'information. Elle visera à l'intégration d'approches expérimentales, informatiques et théoriques pour modéliser les interactions qui constituent un système biologique. Elle produira des modèles multi-échelles des organismes vivants, nous renseignant ainsi sur les déterminismes complexes qui les régissent dans leur globalité, du biologique au social.

⁵⁶ Instituts PSEE (institut Paris Saclay efficacité énergétique), IDEEL (institut d'excellence en énergie décarbonée).

⁵⁷ Multiplication par 10 durant les 10 dernières années.

⁵⁸ Étude de l'alliance ANCRE sur l'optimisation énergétique des sites industriels, 2014.

⁵⁹ Entre 2005 et 2013, le nombre de projets d'écologie industrielle français a été multiplié par cinq.

⁶⁰ La loi prévoit le développement de « 200 territoires à énergie positive » (art. 56) et des « expérimentations locales de distribution et de flexibilité » (art. 58 et 59).

⁶¹ Dans l'action « démonstrateurs de la transition écologique et énergétique » pour laquelle le projet de loi de finances pour 2015 prévoit 800 millions d'euros, une attention particulière sera portée à « la dimension territoriale des expérimentations ».

La biologie des systèmes apportera des concepts opérationnels nouveaux pour la biologie de synthèse, pour la médecine (nouvelles thérapeutiques, médecine personnalisée) et pour la santé publique, et plus largement pour les industries bio-sourcées. C'est un domaine émergent dont les retombées

économiques sont estimées à plusieurs milliards d'euros. Il devient donc crucial pour notre pays de valoriser les données massives recueillies sur le vivant, la santé et leurs rapports avec l'environnement en favorisant le développement de la biologie des systèmes.

► ACTIONS

Action 1 / Structurer une communauté scientifique multidisciplinaire sur la biologie des systèmes

Cette structuration s'appuiera sur les organismes de recherche et d'enseignement supérieur fédérés au sein des alliances de recherche Aviesan, Alistène, Allenvi et Athena. Son ambition est de développer une approche interdisciplinaire pour la biologie des systèmes et de lutter contre la fragmentation du paysage de la recherche dans ce domaine, d'attirer les partenariats industriels pour des applications dans le domaine médical, de la chimie, de l'environnement ou de l'alimentation, et de former de nouvelles générations de chercheurs (mathématiciens, biologistes, médecins, physiciens, informaticiens, biochimistes...) qui utiliseront un langage commun.

Action 2 / Lancer la création de centres multidisciplinaires pour la biologie des systèmes

Plusieurs types de structures pourront être réunies au sein d'un réseau national réunissant :

- ▶ Des centres de biologie systémique et biologie industrielle pour :
 - accueillir sur un même site des équipes de recherche impliquées dans la description théorique de la complexité du vivant et des équipes académiques et industrielles qui traduiront ces représentations théoriques en concepts opérationnels ;
 - collecter des données sur l'ensemble des organismes vivants. Les industriels de la pharmacie, des biotechnologies, des dispositifs médicaux et plus largement des industries bio-sourcées participeront aux travaux visant à établir des preuves de concept et des prototypes, avant de procéder aux développements industriels.
- ▶ Des centres de médecine systémique avec l'objectif de recueillir des données médicales, notamment auprès de cohortes de patients multimodales et stratifiées. Les analyses théoriques permettront d'identifier des cibles thérapeutiques potentielles et les unités expérimentales de les valider. Les industries de santé y réaliseront des recherches précliniques et des essais thérapeutiques.
- ▶ Des centres de biologie systémique et toxicologie prédictive, associant des équipes académiques et industrielles pour :
 - travailler sur des données issues de cohortes populationnelles, d'enquêtes d'exposition et des grandes bases administratives ;
 - formuler des hypothèses sur les interactions entre les contaminants environnementaux et les systèmes vivants pour définir des marqueurs d'exposition et de toxicité, que les unités expérimentales devront valider.

MATRICE D'ANALYSE STRATÉGIQUE	FORCES	FAIBLESSES
	OPPORTUNITÉS	MENACES
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Excellence académique en mathématique, biologie fondamentale et biologie de synthèse ▪ Implication d'industriels puissants dans l'étude des systèmes, avec un soutien des pouvoirs publics ▪ Soutiens des pouvoirs publics apportés par le programme investissements d'avenir⁶² ▪ Richesse des bases de données administratives en santé ▪ Formation universitaires existantes et écoles d'ingénieurs de grande qualité 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peu d'équipes effectivement impliquées dans la biologie théorique ▪ Faible intérêt actuel des mathématiciens et modélisateurs pour la théorisation dans les domaines de la biologie et de la santé ▪ Dispersion des équipes et manque de coordination ▪ Peu de structures de taille suffisante au niveau national et faible visibilité internationale des structures existantes qui limite l'attractivité des chercheurs étrangers ▪ Défaut d'interopérabilité des bases de données

Recherche translationnelle : du laboratoire au patient

NATURE ET ENJEUX

La recherche translationnelle en santé concerne des questions scientifiques relevant de manière indissociable de la recherche fondamentale, de la recherche clinique et de leur mise en œuvre dans l'offre de soins. Elle vise le développement de dispositifs médicaux, de biomarqueurs à visée thérapeutique ou diagnostique, de plateformes technologiques, de bioinformatique ou de biologie des systèmes, dans

⁶² Cohortes, instituts hospitalo-universitaires, infrastructures, calculateurs.

⁶³ Les sciences « omiques » incorporent des disciplines telles que la génomique, la protéomique, la transcriptomique et la métabolomique ; elles analysent un grand volume de données qui s'interprètent par le biais de la bioinformatique.

⁶⁴ ISBE (*Infrastructure for Systems Biology – Europe*), ERAnt EraSynBio.

les domaines de la médecine personnalisée, des thérapeutiques innovantes et des nouveaux protocoles ou modalités de prise en charge thérapeutique⁶⁵ des patients.

La recherche translationnelle requiert les efforts conjugués d'acteurs (chercheurs, médecins, décideurs institutionnels) dont les cultures respectives sont très différentes, mais nécessairement complémentaires. Un effort important de structuration des équipes engagées dans cette recherche a conduit, dans le cadre du premier programme investissements d'avenir en 2011-2012, à la création de structures thématiques (6 instituts hospitalo-universitaires, IHU, de 6 IHU prometteurs, et enfin de deux pôles hospitaliers universitaires en cancérologie), regroupant sur un même site la recherche en laboratoire et la recherche clinique. En 2012-2014, ont également été créés les réseaux thématiques, labellisés HU, réunissant des départements hospitalo-universitaires (DHU), des centres d'investigation clinique, et des équipes de recherche généralement associées à l'INSERM autour de projets de recherche communs. Ces outils assurent une structuration de la recherche en santé autour de thématiques d'excellence et permettent de décloisonner les structures (organismes publics/entreprises privées/collectivités territoriales). Ils sont aujourd'hui au nombre d'une soixantaine.

► ACTIONS

/ Stimuler l'innovation en santé

Il s'agira de créer les conditions propices au maintien en France des activités de R&D des industries de santé et d'augmenter l'attractivité de la recherche clinique. Pour cela, l'action favorisera l'émergence de projets de recherche translationnelle très compétitifs, associant les activités de recherche et de soins.

⁶⁵ Cette action correspond à l'appel d'offre « Recherche hospitalo-universitaire en santé » inscrit dans le programme du nouveau PIA.

MATRICE D'ANALYSE STRATÉGIQUE	FORCES	FAIBLESSES
	OPPORTUNITÉS	MENACES
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Réseaux d'excellence thérapeutique encadrant des médecins et des chercheurs de haut niveau⁶⁶ ▪ Crédit de grandes infrastructures en biologie-santé⁶⁷ et de fondations hospitalières ; impact positif des grands plans nationaux⁶⁸ ▪ Industrie pharmaceutique performante ▪ Mise en place du contrat unique issu du conseil stratégique des industries de santé (CSIS) ▪ Constitution de cohortes grâce au programme investissements d'avenir 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Encadrement réglementaire des essais cliniques complexe, rigide et peu adapté aux évolutions technologiques et méthodologiques ▪ Accès restreint aux données-patients pour métanalyses des essais cliniques ▪ Baisse de l'attractivité de la France dans le domaine des grands essais cliniques internationaux promus par les grands groupes pharmaceutiques ▪ Réponses insuffisantes aux projets européens

⁶⁶ DHU (département hospitalo-universitaire), FHU (fédérations hospitalo-universitaires), IHU (institut hospitalo-universitaire), PHUC (pôle de recherche hospitalo-universitaire en cancérologie).

⁶⁷ Dans le cadre de la feuille de route ESFRI, la Commission européenne a créé des infrastructures destinées à coordonner la recherche communautaire et les initiatives nationales : EATRIS pour la recherche translationnelle en santé, BBMRI pour les réseaux de ressources biologiques, ECRIN pour la recherche clinique.

⁶⁸ Cancer, Alzheimer, maladies rares.

4 | HOMME ET SOCIÉTÉ

Les recherches fondamentales ou appliquées portant sur la ville, les transports et les interactions entre l'homme et la machine placent tous l'homme au cœur des problématiques. Le caractère hybride de ces thématiques souligne la nécessité de placer les sciences humaines et sociales (SHS), au cœur des questions étudiées, en étroite avec les autres secteurs scientifiques, notamment les sciences du numérique.

Les recherches trouvent naturellement des applications dans les secteurs de l'urbanisme, de l'énergie, des transports, du bâtiment, des réseaux (électrique, téléphone, internet, déchets...) et aux technologies associées (électronique, logiciel, équipements, matériaux...), quand elles ne portent pas sur ces applications. Elles favoriseront également l'innovation non technologique (modes innovants de mobilité, organisation des flux, design institutionnel, régulations...) et permettront d'accroître la pertinence et le succès de l'innovation technologique dans des domaines où la compréhension du comportement humain est essentielle ou permet de limiter les échecs (véhicules innovants, gestion des bâtiments, interaction homme-machine...). Dans le domaine de l'interaction homme-machine, le programme confortera la R&D des industriels de secteurs clés comme les systémiers les équipementiers, ou les éditeurs de logiciels. Il concerne de grandes entreprises, comme Dassault Systèmes ainsi que de nombreuses PME. Il fournira également de nouvelles pistes pour l'organisation des entreprises et du travail en vue d'améliorer les conditions de travail d'une population dont la durée d'activité augmente.

Le programme apportera sa contribution à l'engagement du gouvernement en faveur de la transition écologique et énergétique avec également un fort impact sur les 6 chantiers du MEDDE dans la ligne des objectifs énergétiques et climatiques nationaux et européens. Avec des effets visibles et concrets pour accroître la qualité des transports et améliorer la qualité de l'air, ce programme contribuera également à la ré-industrialisation et aux évolutions futures de l'industrie française. Il aidera ainsi à pérenniser et à renforcer le secteur industriel des applications critiques, qui est l'un de ceux où la France et l'Europe ont encore une position forte au niveau mondial.

Espaces urbains rénovés et durables

NATURE ET ENJEUX

Pour penser la ville durable, il faut dépasser l'approche consistant à optimiser les performances énergétiques des bâtiments et considérer la ville dans sa globalité. Car la ville est un système complexe, c'est-à-dire un ensemble dont les caractéristiques ne peuvent être directement déduites de celles des entités qui le constituent. Seule la prise en compte de toutes ses composantes et de leurs interactions (bâtiments mais aussi mobilité, réseaux, équipements, déchets, air intérieur...) permettra de proposer des solutions intégrées, cohérentes et efficaces, à moindre coût.

Cette complexité a été peu traitée jusqu'à présent et de nombreuses questions relatives aux futures villes durables restent posées, par exemple la manière d'intégrer l'économie circulaire en ville ou de penser l'avenir des transports urbains. Y répondre nécessite dans un premier temps de concentrer les efforts de recherche sur des échelles d'espaces plus directement appréhendable que la ville entière : l'îlot ou le quartier. Il est également essentiel d'adopter une approche interdisciplinaire, associant les chercheurs en sciences de l'homme et de la société, afin de faire émerger avec les habitants des solutions optimales. D'autre part, mettre en place la future ville durable nécessite de s'intéresser en premier lieu à la rénovation des bâtiments anciens et leur intégration dans la ville car la construction neuve ne représente qu'environ 1 % du bâti.

L'objectif de ce programme sera donc de favoriser cette démarche intégrative et interdisciplinaire sur des zones cohérentes identifiées après inventaire des besoins de rénovation (ce qui peut passer par la démolition/reconstruction) réalisé en coparticipation avec les services de politique de la ville afin d'optimiser et d'accélérer la rénovation énergétique et environnementale des bâtiments anciens pour atteindre les 500 000 logements rénovés par an.

► ACTIONS

Action 1 / Créer des observatoires de la ville

Créer des observatoires de systèmes et de flux urbains d'énergie, de matières et de personnes, indispensables pour réaliser les inventaires et les travaux de formalisation et de modélisation.

Action 2 / Mettre en place une grande action nationale autour de thématiques structurantes sur la ville du futur

Organiser des appels à projets favorisant les approches développement durable et intégrant des méthodes et des collaborations entre écologie, sciences humaines et sociales, sciences de l'environnement et ingénieries, ainsi qu'avec les entreprises. Les projets soutenus porteront sur :

- ▶ les nouveaux matériaux;
- ▶ la performance énergétique des bâtiments dans le cadre de l'adaptation au changement climatique;
- ▶ la rénovation des îlots urbains;
- ▶ l'évaluation des services écosystémiques.

Action 3 / Créer des centres interdisciplinaires sur la ville du futur

Développer des infrastructures de recherche interdisciplinaires sur les bâtiments et les nouveaux matériaux, encore très peu développées par rapport aux infrastructures de recherche sur les transports.

Action 4 / Organiser la diffusion des résultats de recherche

Organiser une meilleure capitalisation et dissémination des résultats de la recherche

- ▶ Rencontres thématiques rassemblant ingénieurs, architectes, urbanistes, chercheurs en sciences humaines et sociales et industriels.
- ▶ Coordination de la production de données par les collectivités territoriales et de leur traitement en collaboration avec les chercheurs.

FORCES	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ De puissants groupes industriels internationaux nés en France et une majorité de PME⁶⁹ ▪ Fortes compétences reconnues dans les différentes filières de la rénovation urbaine ▪ Présence de laboratoires reconnus au niveau international⁷⁰ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Faible structuration des recherches sur la ville durable et insuffisante interdisciplinarité dans les projets entre sciences techniques et SHS ▪ Nombre insuffisant d'infrastructures publiques de recherche de taille adéquate dédiées à la ville durable ▪ Manque de bases de données informées sur le bâti existant ▪ Relations insuffisantes entre collectivités territoriales et équipes de R&D ▪ Trop faible investissement des PME dans la recherche
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Urbanisation croissante de la population mondiale et développement de villes pionnières démonstratrices⁷¹ ▪ Besoin de rénovation urbaine à faible coût pour permettre la transition énergétique et écologique ▪ Priorité du programme Horizon 2020 ▪ Mise en place de l'offre industrielle française Vivapolis⁷² à l'export. ▪ Potentiel de création d'emplois non délocalisables 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Offre concurrentielle internationale très performante⁷³ ▪ Indisponibilité des financements pour atteindre les objectifs du gouvernement⁷⁴ ▪ Difficulté à maintenir une formation de qualité pour les professionnels dans un contexte d'explosion de la demande

Transports durables

NATURE ET ENJEUX

La mobilité étant une condition nécessaire du développement économique et social d'une ville, il est essentiel de chercher des solutions technologiques pour s'affranchir progressivement des carburants fossiles tout en maintenant une grande disponibilité de motorisation. Plusieurs verrous d'ordre économique, environnemental, organisationnel, sociétal ou technologique freinent aujourd'hui le déploiement de nouveaux services de mobilité et de véhicules à empreinte environnementale réduite. En particulier, les travaux restent le plus souvent sectoriels et envisagent peu les interactions et rétroactions entre les grands services systémiques (approvisionnement, régulation et social) ; ils considèrent des espaces limités et mobilisent peu les collaborations avec les entreprises.

Ce programme vise à lever ces obstacles, à optimiser les approches interdisciplinaires et à les ouvrir à de nouveaux concepts, comme la cognitique et les nouveaux usages. Il cible un concept de véhicule dédié, c'est-à-dire destiné à un usage spécifique et proposant des services sur des cibles identifiées (entreprises, particuliers, collectivités publiques...). Il peut être à usage privé ou public, pour les transports des personnes et des biens, et s'appuie sur des infrastructures d'énergie, d'exploitation et de technologie d'information et de communication.

► ACTIONS

Action 1 / Analyser les obstacles à la mise en œuvre de mobilités durables intégrées

- ▶ Comprendre les besoins et usages des utilisateurs pour développer des technologies et services adaptés.
- ▶ Renforcer les coopérations entre communautés scientifiques et industrielles, pour travailler sur des solutions intermodales et centrées sur l'utilisateur.
- ▶ Proposer des modèles économiques en coût complet et évaluer l'impact des solutions technologiques et fiscales. Les aspects juridiques et législatifs seront pris en compte : réduction de la pollution, des coûts, optimisation des flux, systèmes partagés, e-services...

Action 2 / Réaliser une programmation pluri-thématique des axes de recherche

- ▶ Conception de motorisations ultra-basse consommation (thermique, hybride, électrique, hydrogène...), de nouveaux carburants, de nouvelles batteries, de véhicules connectés.
- ▶ Modélisation des mobilités, l'intégration des services TIC, l'augmentation de la sécurité des transports, tous modes confondus.
- ▶ Amélioration et la création de nouveaux concepts d'automatisation, de délégation accrue, de connectivité et de gestion des trafics... permettant de proposer de nouveaux types de véhicules (mini-véhicules, aéronefs électriques, drones...).

⁶⁹ Plus de 350 000 TPE-PME, dont 60% avec une seule personne.

⁷⁰ CEA, CETHIL, CSTB, DGCB, LEPTIAB, LEEVAM, LIMSI, LPBS, PPRIME, PHASE, CEP, LAMTI, LEMTA, LGCN, LOCIE, TREFLE, UTAP, GSCOP, G2ELab, CITI, AMPERE, PROMES, RABSOSEE, LATEP, CERMA, BRGM, CIRED, LINC, LTM.

⁷¹ En France : Dunkerque, Grenoble ou Nantes.

⁷² Le gouvernement a lancé la marque Vivapolis pour aider les entreprises françaises et les élus locaux à s'implanter sur le marché du développement urbain, en pleine expansion dans les pays émergents.

⁷³ Asie du Nord-Est (Chine et Corée du Sud) et pays nordiques.

⁷⁴ Le gouvernement affiche un objectif français de 500 000 rénovations par an, soit 10 Mds€ par an

Action 3 / Mieux structurer les forces scientifiques et technologiques françaises pour participer davantage aux programmes européens et répondre de façon coordonnée aux enjeux communs

FORCES	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Excellence scientifique : organismes de recherche publique⁷⁵ ▪ Excellence industrielle : constructeurs automobiles, aéronautiques, ferroviaires, équipementiers, sociétés de services et opérateurs ▪ Appui des pouvoirs publics via le programme investissements d'avenir ▪ Système de recherche et d'innovation très structuré 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cloisonnement des systèmes de transport d'un mode à l'autre, d'une région à l'autre, d'un pays à l'autre, d'un opérateur à l'autre, entre fret et passager ▪ Offre française non structurée à l'export ▪ Compréhension partielle des verrous sociaux, économiques, humains et organisationnels conduisant à des nouvelles technologies et nouveaux services de mobilité pas toujours pertinents ▪ Système de recherche et d'innovation peu réactif face à de nouveaux paradigmes ▪ Disparition du dispositif interministériel PREDIT⁷⁶
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disponibilité de grands volumes de données (GPS, mobiles, trafic) pour améliorer les stratégies de mobilité ▪ Simplification de la carte régionale ▪ Réponses potentielles aux enjeux environnementaux (Facteur 4) et sociaux (pollution, CO₂, gaz à effet de serre, bruit, sécurité, télétravail...) ▪ Opportunités d'emplois dans les filières concernées et réponses au besoin croissant d'optimisation de la mobilité ▪ Soutien des pouvoirs publics via le programme investissements d'avenir⁷⁷ et le programme Horizon 2020 (défis transports et énergie) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manque d'influence de la France sur les réglementations européennes et les normes internationales ▪ Forte concurrence au sein de chaque mode de transport et entre les modes de transport ▪ Questionnements d'une partie de la société civile vis-à-vis de l'exploitation des données individuelles

⁷⁵ CNRS, CEA, IFSTTAR (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux), IFPEN (Institut français du pétrole énergies nouvelles).

⁷⁶ PREDIT : Programme interministériel de recherche et d'innovation dans les transports terrestres.

⁷⁷ Véhicules et transports du futur/Plan industriel 21/100 km.

Interactions homme-machine

NATURE ET ENJEUX

Le programme proposé vient compléter et démultiplier les dispositifs qui soutiennent déjà les recherches industrielles sur l'usine du futur, tant sur le plan national que sur le plan européen. Il se centre sur une problématique de recherche amont : la collaboration entre humains et machines dans les organisations industrielles. Cette problématique inclut les nouveaux moyens de fabrication, comme les *fab-labs*, qui peuvent faire évoluer les procédés de fabrication de petites séries et la conception par le prototypage rapide. Elle rejoint naturellement le domaine de l'ingénierie des systèmes complexes. Seront également considérées les applications dites critiques pour les conséquences désastreuses qu'un dysfonctionnement pourrait avoir, par exemple dans le domaine médical (production de médicaments, robots) ou des transports, qui exigent un très haut niveau de fiabilité et de sécurité mais aussi de finesse dans l'interaction.

Les verrous scientifiques et technologiques associés à cette problématique sont liés à la tension entre le gain de productivité généré par le numérique en déhumanisant les procédés et le fait que l'humain reste au cœur des systèmes de production. En conséquence, les recherches menées sur cette problématique doivent intégrer une forte dimension interdisciplinaire, s'appuyant sur le numérique et les sciences humaines et sociales. L'objectif est de provoquer la rupture nécessaire dans les recherches sur la collaboration entre humains et machines.

► ACTIONS

Action 1 / Fédérer une large communauté pluridisciplinaire à l'échelle nationale sur quatre thèmes.

- ▶ La coopération entre robots et humains dans la production et l'informatique émotionnelle, qui permettra de dépasser les verrous sur l'interaction entre humains et robots sur un même poste de travail, sur la place du robot dans le cadre du travail, sur les interactions entre humains et artefacts numériques.
- ▶ L'ingénierie des systèmes complexes, qui visera les verrous portant sur les méthodes de conception de systèmes complexes et l'ingénierie des modèles.
- ▶ L'Internet des objets industriels, qui levera les verrous dans le domaine des réseaux sans fil industriels ou critiques et de la conception de systèmes embarqués et de systèmes cyberphysiques.
- ▶ La sociologie des organisations, qui étudiera l'impact des nouvelles formes de collaboration entre humains et machines sur les organisations industrielles et ses aspects socio-dynamiques.

Action 2 / Soutenir des pilotes industriels pour la fabrication de nouveaux produits génériques

- ▶ Mettre en œuvre les briques technologiques destinées à la fabrication de nouveaux produits génériques ou stratégiques par les nouveaux systèmes ou services qu'ils permettent de réaliser. Cette action est indispensable pour assurer un ancrage industriel sur notre territoire et le développement de nouveaux marchés de proximité.

Action 3 / Former pour le secteur manufacturier

- ▶ Cette action vise à augmenter fortement l'attractivité des formations et des métiers de l'industrie du futur ainsi que leur adéquation avec les métiers émergents des filières.

FORCES	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> ■ Excellence des équipes de recherche et de technologie bien implantées dans les réseaux européens, masse critique importante en robotique, réseau, objets connectés, systèmes embarqués, ingénierie système, sciences cognitives, sociologie, économie. ■ Grands acteurs industriels français motivés et proactifs en recherche⁷⁸ ■ Editeur logiciel de premier plan dans le domaine industriel possédant une vision stratégique forte⁷⁹ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Difficulté à agrégner l'ensemble des communautés de recherche autour de la thématique interdisciplinaire de la collaboration humain et machine ■ Faible investissement des équipes françaises de recherche amont dans le domaine de la production industrielle, coopération entre les acteurs de la chaîne de valeur insuffisante ■ Participation insuffisante des équipes françaises à certains programmes européens
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> ■ Très forte synergie avec les programmes européens⁸⁰ ■ Enjeu national du renouveau industriel, synergie avec les 34 plans industriels et le programme investissements d'avenir ■ Nombreuses PME dynamiques dans secteurs drones, objets connectés, systèmes embarqués ■ Émergence de nouvelles organisations de la production (par exemple <i>fab-labs</i>, méthodes agiles) ■ Besoins induits par l'allongement de la durée de vie active pour les emplois industriels à forte pénibilité 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Différentiel d'investissements croissant entre la France et les grands pays industriels ■ Absence de grand industriel de la robotique en France⁸¹ ■ Forte mobilisation de nos partenaires européens afin d'attirer les implantations des démonstrateurs et projets pilotes européens

Sciences humaines et sociales globales et connectées**NATURE ET ENJEUX**

Les priorités mises en avant sont des problématiques hybrides, dans lesquelles on ne pourra progresser que si une articulation organique, beaucoup plus intense que celle qui est actuellement en cours, est mise en place entre les SHS et les autres secteurs scientifiques. Des thématiques comme celle du handicap, du vieillissement ou de l'alimentation, ont trait à des phénomènes ou à des comportements qui ne sauraient se réduire à leur substrat biologique. Il est donc essentiel d'assurer, au travers de configurations de recherche d'un type encore inédit, la collaboration des communautés scientifiques pertinentes pour la poursuite de ces objectifs. Des considérations du même ordre sont applicables à la totalité des défis de la SNR, que ce soit l'énergie, la ville ou les transports. L'intégration requise des SHS aux autres secteurs scientifiques doit désormais être portée en pratique au niveau d'intensité et d'efficacité que l'on peut observer chez nos compétiteurs. L'initiative « Energie » du MIT (MITEI), qui agrège autour des physiciens et des énergéticiens des économistes, des politistes, des spécialistes du paysage et de l'architecture, de la sécurité ou des sciences cognitives, est un des nombreux exemples qui pourraient être allégués de la nécessité et de la fécondité des configurations interdisciplinaires qui nous font actuellement défaut.

► ACTIONS**Action 1 / Créer des plateformes équipées dans le cadre des politiques de sites**

- ▶ Créer des plateformes du type « hôtel à projets », sur le modèle des Instituts Max-Planck en Allemagne, qui hébergeront des équipes interdisciplinaires travaillant à horizon déterminé sur des projets bien définis. Les Maisons des Sciences de l'Homme (MSH) pourront, selon les cas, être le support de ces hôtels à projets. Ces plateformes permettront 1) de modéliser et de simuler le comportement des agents dans tous les secteurs pertinents de la vie sociale, 2) de développer les approches et les méthodes qui nous font défaut.

Action 2 / Accompagner ce plan par la stratégie nationale de l'enseignement supérieur (StraNES)

- ▶ Mettre en place des parcours de formation interdisciplinaires dédiés, comportant une importante composante SHS, dans la recherche et dans l'enseignement supérieur (universités, écoles d'ingénieurs...) à l'instar de ce que fait le MITEI pour le défi énergétique.

Action 3 / Valoriser les double cursus

- ▶ Décloisonner les cursus des SHS et entre les cursus SHS et des autres secteurs scientifiques.

Action 4 / Financer les grandes infrastructures de données

- ▶ Financer les infrastructures, en particulier celles qui ont trait aux grandes enquêtes de sciences sociales comme Survey of Health, Ageing and Retirement in Europe (SHARE) ou European Social Survey, sur

⁷⁸ PSA et SAFRAN.

⁷⁹ Dassault Systèmes.

⁸⁰ Primalité industrielle du programme Horizon 2020, *Factory of the Future*. SPIRE (Industrie de transformation durable par l'efficacité des ressources et de l'énergie) et la KIC Added Value Manufacturing; complémentarité avec le nouveau programme d'investissement européen, plus en aval et très fortement doté.

⁸¹ Les acteurs majeurs de la robotique sont les États-Unis, l'Allemagne, le Japon et la Corée du Sud.

lesquelles reposent les recherches intégratives et qui permettent d'assurer leur adéquation empirique et leur testabilité.

Action 5 / Assurer un transfert efficace vers le monde économique

- ▶ Les *Consortiums de Valorisation Thématique* (CVT) déjà mis en place, notamment le CVT SHS, auront pour tâche, en coordination avec les autres dispositifs de transfert et d'innovation, de veiller à la connexion avec le monde économique. Un espace y sera réservé pour les start-ups, notamment celles concernées par les aspects organisationnels, managériaux, culturels ou sociétaux des innovations résultantes.
- ▶ Un *job officer* sera affecté à chacune de ces plateformes, avec pour objectif une insertion et un suivi professionnel des étudiants ayant bénéficié d'une formation par la recherche dans ces environnements.

Action 6 / Assurer la visibilité des SHS

- ▶ Assurer le suivi et l'évaluation de cette action en finalisant les réflexions en cours sur l'introduction de la production SHS dans les grandes bases de données scientométriques, au même rang de lisibilité et de considération que la production hors SHS.

ÉVALUATION ET SUIVI DE LA SNR

Comme indiqué dans son avis, un groupe de travail constitué au sein du CSR⁸² a mené une réflexion pour définir des indicateurs permettant d'évaluer, de prioriser, puis de mesurer les impacts scientifiques, économiques et sociaux des programmes d'action de la SNR. La DGRI, l'Observatoire des sciences et des techniques (OST), l'Académie des technologies (AT), l'Institut pour la recherche et l'innovation dans la société (IFRIS) et l'Association nationale pour la recherche et la technologie (ANRT), ont été associés à ce travail.

Proposition de matrice d'analyse

Trois types d'indicateurs sont proposés pour sélectionner les priorités et évaluer la mise en œuvre de la SNR en termes d'impact scientifique, économique et sociétal.

La matrice présentée ci-dessous, qui s'inspire de la méthode utilisée dans le monde industriel, est conçue comme un outil d'aide à la décision pour sélectionner les orientations programmatiques. Elle se compose de deux grands types de critères.

- Des critères d'impact, visant à préciser en quoi le programme d'action répond à certains enjeux :
 - Enjeux scientifiques : le programme d'action permet-il une avancée du front des connaissances fondamentales dans le domaine ? Peut-il s'intégrer avec les enjeux et les priorités européens ? Améliore-t-il le positionnement scientifique de la France vis-à-vis de ses partenaires à l'international ?
 - Enjeux économiques : Le programme d'action aura-t-il un impact économique (création d'activité ou de filières, création d'emplois, création de valeur...) ? Participera-t-il au renforcement du tissu industriel de la France (création d'entreprises, innovation...) ? Peut-il donner à la France un avantage concurrentiel dans la compétition internationale ?
 - Enjeux politiques et sociaux : En quoi le programme d'action rencontre-t-il les 10 défis de la SNR ? Quelle visibilité dans l'agenda politique ? La mise en œuvre induira-t-elle des impacts importants sur la société ? Le programme d'action peut-il constituer une priorité pour plusieurs ministères ?

► Des critères de maturité :

- Le programme s'appuie-t-il sur des dispositifs existants (TGIR, outils du PIA...) ?
- Existe-t-il une masse critique scientifique ?
- Dans quel laps de temps le programme est-il réalisable : à court/moyen/long terme ?

	OBJECTIFS	CRITERES	EXEMPLES D'INDICATEURS	IMPACT DES PRIORITES-ACTIONS												
				1. Priorité-Action	...	5. Les matériaux critiques stratégiques dans une économie durable	6. Les territoires, terres de la transition énergétique	7. Lots urbains à énergie et environnement positifs	8. Technologies et Services pour des Mobilités Durables Intégrées	9. Collaboration humain – machine dans les industries du futur et les applications critiques	10. Données massives et ingénierie de la connaissance	11. Vers des systèmes globaux résilients	12. Information, risque, décision	13. SHS globales et connectées	14. Sécurité et cybersécurité des infrastructures	
IMPACT DES PRIORITES-ACTIONS	SCIENTIFIQUES	Avancée du front des connaissances, levée de verrous scientifiques	Ex. indicateurs bibliométriques													
		Rôle accru de la France dans l'espace européen de la recherche	Ex. : Nb ERC, coordination programmes européens...													
		Positionnement scientifique international														
	POLITIQUES	Capacité à apporter des réponses aux questions de politique publique	Nb et nature des Contrats de recherches publiques...													
		Conditions de vie, bien-être														
		Organisation sociale	Nb d'emplois créées dans le domaine/la filière...													
	SOCIAUX	Formation des jeunes/ employabilité	Formation par la recherche/ employabilité des doctorants													
		Impact économique	Création richesse et emploi													
		Compétitivité de la France	Impact sur la compétitivité internationale de la France													
	ECONOMIQUES	Renforcement du tissu industriel par le transfert de technologies	Nb de création de nouvelles filières, de start up, CIR...													
IMPACT GLOBAL DE LA PRIORITE-ACTION																
A		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A				
MATURITE	MATURITE	Complémentarité par rapport aux dispositifs existants	Complémentarité par rapport aux dispositifs existants													
		Masse critique mobilisable pour la réalisation de la PA	Masse critique mobilisable pour la réalisation de la PA													
		Faisabilité de la mise en œuvre à 5 ans	Faisabilité de la mise en œuvre à 5 ans													
MATURITE GLOBALE DE LA PRIORITE-ACTION																
EVALUATION GLOBALE	Evaluation globale de la Priorité-Action		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		

⁸² Groupe piloté par Marion Guillou et composé de Pascal Colombani, Oussama Khatib, Helle Kristofferson, Valérie Masson-Delmotte, Jean Therme, Jean Tirole et Cédric Villani ; assistés par des experts de l'OST, du CEA, de l'INRA et de la DGRI.

Cette métrique sera elle-même l'objet d'un suivi et d'une analyse attentive de ses résultats, de façon à pouvoir optimiser son adéquation aux objectifs de pilotage des actions retenues par la SNR.

ANNEXES

Composition et méthode de travail des ateliers

Composition des ateliers

LES 10 DÉFIS SOCIÉTAUX	Les pilotes	Les copilotes (DGRI)
GESTION SOBRE DES RESSOURCES ET ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	Ghislain de Marsily, professeur émérite, membre de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies	Élisabeth Vergès
UNE ÉNERGIE PROPRE, SÛRE ET EFFICACE	Patrick Criqui, directeur de recherches au CNRS	Frédéric Ravel
STIMULER LE RENOUVEAU INDUSTRIEL	Stéphane Cassereau, directeur de l'institut de recherche technologique Jules Vernes et, Philippe Choderlos de Laclos, président du centre technique des industries mécaniques	Marco Moroni
SANTÉ ET BIEN-ÊTRE	Philippe Kourilsky, professeur au Collège de France, membre de l'Académie des sciences	Jean-Michel Heard
SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET DÉFI DÉMOGRAPHIQUE	Hervé Le Bras, directeur d'études à l'Institut national d'études démographiques (INED), enseignant à l'École des hautes études en sciences sociales (EHESS)	Michel Beckert
MOBILITÉ ET SYSTÈMES URBAINS DURABLES	Denise Pumain, professeur à l'université de Paris I	Frédéric Getton Patrick Duval
SOCIÉTÉ DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION	Malik Ghalab, directeur de recherches au CNRS	Pascal Fouillat
SOCIÉTÉS INNOVANTES, INTÉGRATIVES ET ADAPTATIVES	Pierre Yves Geoffard, directeur de recherches au CNRS, directeur de l'École d'économie de Paris	Benoist Pierre
UNE AMBITION SPATIALE POUR L'EUROPE	Jean-Yves Le Gall, président du CNES	Philippe Pujes
LIBERTÉ ET SÉCURITÉ DE L'EUROPE, DE SES CITOYENS ET DE SES RÉSIDENTS	Ischam Abou Kandil, conseiller scientifique du délégué général pour l'armement	Jacques Dubucs

Questionnaire soumis aux ateliers

M. Alain BRAVO, délégué général de l'Académie des technologies, a proposé la grille d'analyse suivante à laquelle les pilotes d'ateliers se sont référés, tout en tenant compte de la spécificité scientifique, économique et sociale propre à chaque défi.

Cette grille comportait 7 thèmes.

► Spécificités du défi, notamment bénéfices économiques et sociaux

Quelles spécificités du défi justifient de faire de la recherche dans ce domaine avec un niveau de priorité élevé dans la SNR ? Comment structurer le champ du défi en termes de disciplines et de domaines d'application concernés ? Quels sont les bénéfices sociaux potentiels, quels sont les bénéfices économiques potentiels d'investir des moyens spéciaux sur ce défi ? Quelles conditions doivent être remplies pour obtenir des retombées sur le marché (existence d'une industrie forte ? marché à créer, acteurs industriels à créer ? synchronisation avec d'autres résultats scientifiques ou techniques, existence de standards...).

► Place des sciences humaines et sociales

Quelle place faire aux SHS dans chaque défi ? Dans la définition des approches à retenir ? Dans des configurations de recherche interdisciplinaires à former ? Dans des recherches intégrées ou parallèles à développer ?

► Interdisciplinarité et questions transverses

L'atteinte des objectifs à formuler pour chaque défi ne pouvant se réaliser qu'avec une forte structuration interdisciplinaire, et sachant que les dimensions sociétale et économique sont transverses à l'ensemble de ces défis, quelles équipes/structures multidisciplinaires devraient se former dans chaque défi ?

► Moyens à envisager pour la mise en œuvre

Quelles sont les priorités (3 à 5) pour chaque défi ? Quel type de recherche faire (industrielle, technologique, scientifique...) ? Quelles actions sont à privilégier : programmes, projets académiques, projets collaboratifs, plates-formes de maturation technologique... ?

► Interactions avec les autres processus stratégiques

Quelles cohérences avec les investissements d'avenir, les plans de la nouvelle France industrielle, les 7 secteurs d'excellence d'Innovation 2030, les programmes et instruments européens existants (programmations conjointes, initiatives technologiques) ? Quels instruments pour mettre en œuvre les priorités, « points manquants » des plans existants, par défi ?

► Atouts et faiblesses français (scientifiques, technologiques, sociaux, industriels)

Quels sont en ce domaine les atouts et faiblesses de la France dans le contexte européen et mondial ? Quelles collaborations/partenariats/alliances établir (avec des programmes communs) au niveau national et européen pour être plus efficaces/innovants (ce qui peut aussi vouloir dire être prêt à abandonner certaines parties) ? Quels sont les liens avec des programmes européens et notamment Horizon 2020 ?

► Feuille de route : instruments et calendriers

Quel est le contenu d'une feuille de route en termes de verrous scientifiques ou techniques à lever d'ici à 2020, de niveau de maturité technologique (TRL) à atteindre, d'acteurs académiques ou sociétaux ou technologiques à mobiliser ? Quelles ruptures technologiques peuvent intervenir d'ici 2020 ? Quelles sont les ruptures scientifiques connues ou prévisibles qui peuvent engendrer ou modifier des actions ?

Résultats de la consultation publique

La stratégie nationale de la recherche est un processus multi-échelle et multi-acteurs. Elle est le fruit de l'avis des alliances regroupant les organismes et établissements de recherche, de l'analyse d'ateliers d'experts publics et d'entreprises, de la coordination interministérielle dans le cadre du comité opérationnel et de la sage réflexion de l'élite scientifique auprès du pouvoir politique dans le cadre du Conseil stratégique de la recherche. De plus, cette stratégie nationale a également été conçue par une écoute attentive de l'ensemble de la population française, et notamment de l'ensemble des personnels directement impliqués dans l'activité de recherche. Pour mener cette concertation dans le respect de l'obligation légale⁸³, et permettre l'écoute de chacun, une consultation publique a été organisée. Cette consultation a eu lieu du 10 avril au 10 mai, avant d'être prolongée jusqu'au 23 mai. Elle s'est tenue par voie électronique pour permettre à chacun d'y participer.

Ainsi, plus de 600 personnes se sont inscrites pour participer à cette consultation publique, et les attentes vis-à-vis de la stratégie nationale de la recherche ont été exprimées sous la forme de près de 200 contributions. 20% de ces contributions proviennent de collectifs. Les communautés scientifiques se sont plus ou moins mobilisées selon les défis sociaux concernés. Toutes les contributions ont été transmises aux responsables de la coordination de l'élaboration des textes par défis sociaux.

Méthodologie

La consultation publique s'est étendue sur plus de six semaines. Présente en première page du site du ministère en charge de l'enseignement supérieur et de la recherche, cette consultation a fait l'objet d'une annonce lors du colloque de restitution des 9 et 10 avril, ainsi que d'une communication écrite dédiée auprès des directions générales et des responsables de la communication des acteurs de la recherche publique et des associations de culture scientifique, technique et industrielle.

Suite au séminaire de restitution des réflexions des groupes d'experts publics et privés autour de chacun des dix défis sociaux, les 9 et 10 avril 2014, les rapports de chacun de ces groupes d'experts a été publié sur le site internet du ministère⁸⁴. À partir de ces documents, il était proposé d'exprimer une remarque, une critique ou une proposition complémentaire afin d'enrichir le processus d'élaboration de la stratégie nationale de la recherche. Pour ce faire, chaque personne pouvait remplir un formulaire permettant de l'identifier, d'identifier son rattachement potentiel à une organisation du secteur de la recherche, et d'indiquer les défis sociaux à propos desquels elle souhaitait s'exprimer⁸⁵. Ce formulaire proposait en outre un champ libre dans lequel les personnes inscrites ont pu laisser un commentaire ou une proposition brève. Le contenu de ces champs libres, rendu anonyme, a été transmis aux responsables de la coordination de l'élaboration des textes de chacun des défis afin qu'ils tiennent compte des messages ainsi exprimés.

Après avoir reçu ce formulaire, les participants recevaient un courriel les invitant à transmettre par retour de courriel une version plus longue et élaborée de leur avis sous forme d'un document en pièce jointe. Le contenu de tous les messages reçus, tant dans les corps de courriel qu'en pièces jointes, après une étape pour assurer autant que faire se peut l'anonymat⁸⁶ des contributions et ainsi éviter d'éventuelles tensions entre contributeurs et membres des groupes d'experts, ont été transmis aux responsables de la coordination de l'élaboration des textes de chacun des défis afin qu'ils tiennent compte des messages ainsi exprimés.

⁸⁴ <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid78770/strategie-nationale-de-recherche-participez-a-la-consultation-publique.html>

⁸⁵ Les champs de ce questionnaire étaient respectivement :

- le type d'organisation dont dépend le participant (champ obligatoire, choix unique parmi : « Association professionnelle », « Collectivité territoriale », « Fondation », « Industrie », « Organisation non gouvernementale », « Organisation syndicale », « Organisme de recherche », « Université ou établissement d'enseignement supérieur », « Autre »).
- le nom de l'organisation dont dépend le participant (champ obligatoire, saisie libre).
- le nom, le prénom et l'adresse courriel du participant (champ obligatoire, saisie libre).
- l'indication du ou des défis concerné(s) par la contribution du participant (champ obligatoire, choix multiple parmi douze choix : les 10 défis de la SNR, plus « Interdisciplinarité » et « Autre »).
- un commentaire libre (champ facultatif, saisie libre 255 caractères maximum).

⁸⁶ L'anonymat a été obtenu en supprimant des signatures ou des références à des unités de recherche. Il a été pris soin de ne pas modifier le contenu des messages. Certaines contributions étaient rédigées sur papier à en-tête ou encore signées nominativement comme sous la forme d'une pétition ; elles constituent l'exception à cet anonymat. Aucune adresse électronique des participants à la consultation n'a été communiquée à qui que ce soit, et seuls les fichiers anonymisés ont été transmis aux acteurs de la SNR.

Résultats

673 personnes distinctes se sont inscrites sur la page internet consacrée à la consultation publique et ont rempli le questionnaire associé, dont 36 % de femmes. Ces personnes⁸⁷ déclarent une appartenance aux types d'organisation du secteur de la recherche suivants :

Organisme de recherche	377	56,02 %
Université, établissement d'enseignement supérieur	243	36,11 %
Industrie	16	2,38 %
Organisation non gouvernementale	8	1,19 %
Association professionnelle	6	0,89 %
Collectivité territoriale	4	0,59 %
Fondation	3	0,45 %
Organisation syndicale	2	0,30 %
Autre - établissement d'état	8	1,19 %
Autre - particulier	6	0,89 %
TOTAL	673	100 %

L'inscription permettait de préciser un ou plusieurs thèmes d'intérêt liés aux dix défis sociétaux de la SNR. Le nombre de thèmes sélectionnés par chaque personne inscrite est le suivant :

1 thème d'intérêt	415	61,66 %
2 thèmes d'intérêt	120	17,83 %
3 thèmes d'intérêt	67	9,96 %
4 thèmes d'intérêt	40	5,94 %
5 thèmes d'intérêt	11	1,63 %
6 thèmes d'intérêt	6	0,89 %
7 thèmes d'intérêt	1	0,15 %
8 thèmes d'intérêt	1	0,15 %
9 thèmes d'intérêt	1	0,15 %
10 thèmes d'intérêt	2	0,30 %
11 thèmes d'intérêt	5	0,74 %
12 thèmes d'intérêt	4	0,59 %
TOTAL	673	100 %

⁸⁷ Les 30 personnes n'ayant pas précisé leur organisation de rattachement ont été ventilées en fonction des autres informations qu'elles ont communiquées.

En moyenne chaque personne a indiqué 1,86 thème parmi les douze proposés⁸⁸, ce qui illustre l'implication des participants sur des thèmes précis, plutôt que sur l'ensemble des défis.

Défi 1 – Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique	183	15 %
Défi 2 – Une énergie propre, sûre et efficace	78	6 %
Défi 3 – Stimuler le renouveau industriel	79	6 %
Défi 4 – Santé et bien-être	332	26 %
Défi 5 – Sécurité alimentaire et défi démographique	61	5 %
Défi 6 – Mobilité et systèmes urbains durables	40	3 %
Défi 7 – Société de l'information et de la communication	72	6 %
Défi 8 – Sociétés innovantes, intégrantes et adaptatives	71	6 %
Défi 9 – Une ambition spatiale pour l'Europe	25	2 %
Défi 10 – Liberté et sécurité de l'Europe, de ses citoyens et de ses résidents	20	2 %
Interdisciplinarité	165	13 %
Autre	128	10 %
TOTAL	1254	100 %

Lors de leur inscription, 263 personnes ont déposé un bref « commentaire » dans le champ libre à cet effet.

186 contributions écrites ont été reçues par retour de courriel.

Toutes les personnes ayant envoyé une contribution écrite avaient bien au préalable enregistré leur inscription liée à l'étape ci-dessus. Pour l'ensemble des 673 personnes inscrites, la relation entre les commentaires brefs laissés dans le champ libre lors de l'inscription et les contributions transmises par courriel est la suivante :

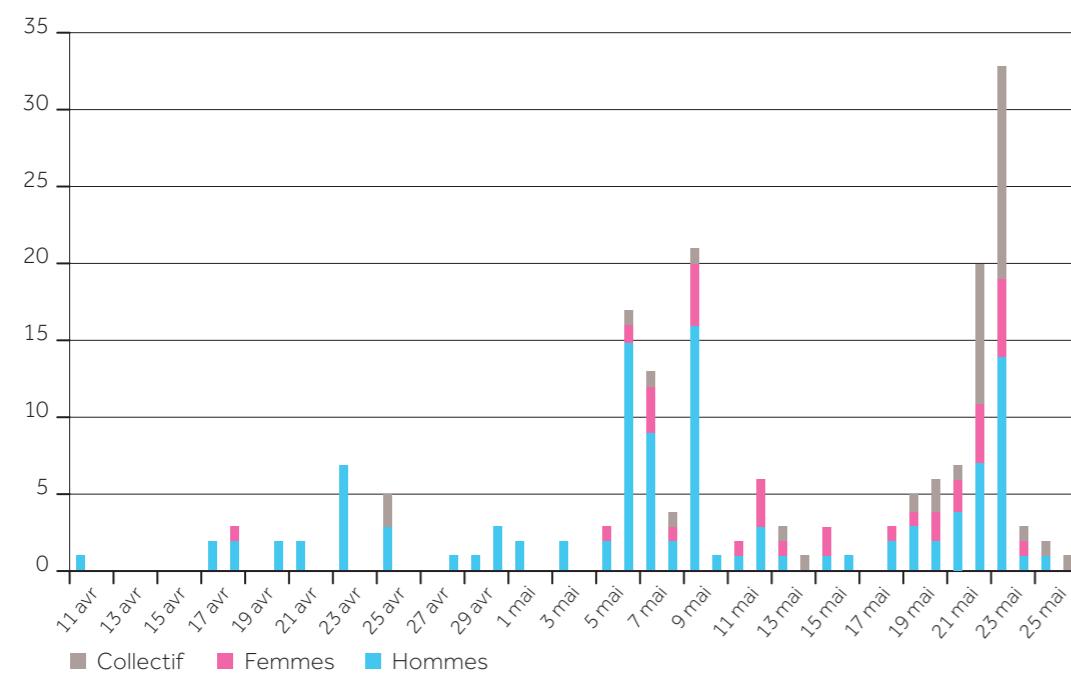
Commentaire seul	157	23 %
Commentaire et contribution	106	16 %
Contribution seule	80	12 %
Ni commentaire, ni contribution	330	49 %
TOTAL	673	100 %

⁸⁸ Choix multiple possible entre : les dix défis sociétaux, « interdisciplinarité » ou « autres sujets ».

L'identification des signataires des contributions souligne l'organisation collective spontanée des acteurs de la recherche pour participer à cette consultation publique. Ces collectifs expliquent que des personnes inscrites n'aient pas déposé de contribution individuelle. La mobilisation des femmes autour de cette consultation est inférieure à la proportion de celles-ci observée parmi les personnels des organismes publics de recherche.

Homme	114	61,3 %
Femme	34	18,3 %
Collectif	38	20,4 %
TOTAL	186	100 %

La réception des contributions a été marquée par les délais offerts pour prendre part à cette consultation, avec un soubresaut lié au report de ce délai. Ce report a visiblement permis l'organisation des réponses collectives.



La très grande majorité de ces contributions émanent d'une personne ou d'un collectif dont l'activité professionnelle se situe dans le secteur de l'enseignement supérieur ou de la recherche.

Organisme de recherche, université, établissement d'enseignement supérieur, fondation	179	96,2 %
Industrie	2	1,1 %
Association professionnelle	3	1,6 %
Autre - Particulier	2	1,1 %
TOTAL	186	100 %

Une vingtaine de contributions reprenaient simplement un texte déjà envoyé par un autre contributeur.

En fonction de leur contenu, les contributions ont été affectées à un ou plusieurs des items suivants, afin de faciliter leur prise en compte par les bons responsables de la coordination de l'élaboration des textes par défi :

Défi 1 – Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique	29	12,4 %
Défi 2 – Une énergie propre, sûre et efficace	3	1,3 %
Défi 3 – Stimuler le renouveau industriel	11	4,7 %
Défi 4 – Santé et bien-être	97	41,7 %
Défi 5 – Sécurité alimentaire et défi démographique	11	4,7 %
Défi 6 – Mobilité et systèmes urbains durables	7	3,0 %
Défi 7 – Société de l'information et de la communication	11	4,7 %
Défi 8 – Sociétés innovantes, intégrantes et adaptatives	10	4,3 %
Défi 9 – Une ambition spatiale pour l'Europe	0	0,0 %
Défi 10 – Liberté et sécurité de l'Europe, de ses citoyens et de ses résidents	3	1,3 %
Organisation du système français de recherche	30	12,9 %
Recherche fondamentale	21	9,0 %
TOTAL	233	100 %

Toutes les contributions ont été transmises aux responsables de la coordination de l'élaboration des textes par défi potentiellement concernés.

Commentaires

► **Une mobilisation pour réitérer des demandes d'évolution du système français de recherche**
Un huitième des contributions portent sur l'organisation générale du système français de recherche et d'innovation. Si une large part de celles-ci rappelle les recommandations des Assises, à commencer par des considérations de gestion du personnel et de surcharge administrative, quelques propositions nouvelles ont été transmises aux services du ministère concernés pour envisager les évolutions suggérées.

► **La nécessité d'intégrer et soutenir la recherche fondamentale dans la stratégie nationale de la recherche**

Les contributions illustrent l'engagement de leurs auteurs pour l'idée qu'ils portent de l'activité qu'ils mènent. Plus de la moitié des contributions se sont senties obligées de rappeler le besoin de liberté de la recherche, de définir et de rappeler la nécessité de soutenir la « recherche fondamentale ». Des questions sont posées sur la manière dont la stratégie nationale de la recherche prend en compte et appuie la recherche fondamentale. De nombreux contributeurs appuient les propos de Benoît Hamon en introduction du colloque de restitution des 9 et 10 avril pour une « recherche libre, foisonnante et non programmée car non programmable ».

► La clarification des modalités de mise en œuvre des priorités de la stratégie nationale de la recherche

Dans la plupart des contributions, après une défense généraliste de la liberté de la recherche, les contributeurs soutiennent une thématique de recherche, une discipline ou une approche. Il s'agit systématiquement, à de rares exceptions près, d'une défense des travaux qu'ils mènent et qu'ils ne retrouvent pas dans les rapports d'experts. Au-delà de certaines défenses corporatistes, ils expriment leur passion pour leur activité, ainsi qu'une crainte d'être exclus du discours public, et par conséquent des subsides publics. En contexte national budgétaire contraint, ils demandent des précisions sur les modalités de mise en œuvre des priorités gouvernementales qui émaneront de la stratégie nationale de recherche.

► Des communautés scientifiques diversement mobilisées

Les contributions à cette consultation nationale illustrent la capacité d'organisation et d'intervention dans le champ public des communautés scientifiques.

Certaines communautés se sont visiblement organisées pour exprimer un message. Plusieurs stratégies ont été déployées, non exclusives les unes des autres. La rédaction et l'envoi de contributions collectives, parfois au nom d'un institut ou d'une section disciplinaire est une voie courante d'intervention (un cinquième des contributions). D'autres préfèrent répéter le même message par autant d'individus membres de ladite communauté, parfois en copiant/collant ce message ou en le réinterprétant. De nombreuses contributions ont ainsi les mêmes plans et arguments.

Les communautés scientifiques **biomédicales et des sciences de la nature** en général se sont ainsi particulièrement mobilisées autour du défi « Santé et bien-être », concentrant la moitié des contributions à la consultation. De nombreuses contributions disent ne pas se retrouver dans le rapport du groupe d'expert du défi « Santé et bien-être ». La concentration des efforts sur le modèle homme dans son ensemble conduit les spécialistes des recherches biomoléculaires, cellulaires, spécialisés dans tel ou tel organe, ou sur des modèles animaux ou végétaux à se sentir exclus de la SNR.

La communauté scientifique sur **l'air, l'atmosphère et leurs pollutions** s'est également mobilisée autour des défis « Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique » et « santé et bien-être ».

Au-delà de ces mobilisations spécifiques, les contributions collectives portent essentiellement autour des thématiques suivantes : la biologie végétale, la chimie du vivant, la culture scientifique et technique, les mers et les littoraux, la valorisation des langues de la France, les matériaux stratégiques, la conception des systèmes sur puces, la microfluidique, et l'anthropologie.

Les autres contributions évoquent des sujets épars, liés aux travaux en cours des contributeurs.

Composition du conseil stratégique de la recherche



Pascal COLOMBANI

- > Vice-président du CSR
- > Membre de l'Académie des Technologies
- > Président du conseil d'administration de Valeo
- > Administrateur d'Alstom et Technip
- > Senior advisor AT Kearney



Laurent BEAUVAIS

- > Président de la région Basse-Normandie et président de la commission enseignement supérieur de l'ARF (Association des régions de France)



Françoise BARRE-SINOSSI

- > Prix Nobel de Médecine 2008
- > Membre de l'Académie des sciences
- > Professeure à l'Institut Pasteur et au Centre François Jacob



Michel BERSON

- > Sénateur de l'Essonne
- > Membre de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)

**Marie DARRIEUSSECQ**

- > Prix Médicis 2013 pour son roman *Il faut beaucoup aimer les hommes*
- > Écrivaine et psychanalyste

**Serge HAROCHE**

- > Administrateur du Collège de France
- > Titulaire de la chaire de Physique Quantique
- > Médaille d'or du CnRS 2009
- > Prix nobel de Physique 2012

**Philippe DESCOLA**

- > Professeur au Collège de France et directeur d'études à l'EHESS, directeur du Laboratoire d'Anthropologie sociale, membre étranger de la British Academy et de l'American Academy of Arts and Sciences
- > Médaille d'or du CNRS 2012

**Edith HEARD**

- > Directeur d'Unité à l'institut Curie
- > Professeur au Collège de France et Fellow of the Royal Society (FRS)

**Marion GUILLOU**

- > Présidente d'Agreenium
- > Membre de l'Académie des technologies
- > Membre du C.A. des centres internationaux de recherche agricole (CGIAR) et du comité d'expert à haut niveau sur la sécurité alimentaire de la FAO

**Marie-Noëlle JEGO-LAVEISSIERE**

- > Directrice exécutive innovation, Marketing et technologies chez orange

**Jean JOUZEL**

- > Médaille d'Or du CNRS et Prix Vetlesen 2012
- > Directeur de Recherches au CEA, membre du Conseil Economique, Social et Environnemental (CESE)
- > Docteur à l'Institut Pierre Simon Laplace, département de virologie

**Oussama KHATIB**

- > Professeur à l'université de Stanford, department of computer science
- > Président de la Fondation internationale de robotique de recherche

**Helle KRISTOFFERSEN**

- > Directeur Stratégie et intelligence économique de Total, membre du Comité Directeur et secrétaire du Comité Exécutif
- > Membre du Conseil d'Administration d'Orange

**Anne-Marie LAGRANGE**

- > Prix Irène Joliot-Curie 2011 dans la catégorie Femme scientifique de l'année
- > Astrophysicienne à l'Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble
- > Membre de l'Académie des sciences, membre du Comité Scientifique et Technique de l'Observatoire Européen Austral

**Marwan LAHOUD**

- > Directeur Général Délégué à la Stratégie et à l'International d'AIRBUS Group et Président d'AIRBUS Group SAS
- > Ingénieur aéronautique de formation
- > Président du GIFAS (Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales)

**Anne LAUVERGEON**

- > Présidente de la Commission Innovation 2030
- > PDG d'ALP SA

**Valérie MASSON - DELMOTTE**

- > Prix Irène Joliot-Curie 2013 dans la catégorie Femme scientifique de l'année
- > Directrice de recherches au CEA au Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
- > Docteure

**Sylvia SERFATY**

- > Lauréate du prix Henri Poincaré et du Grand Prix Mergier-Bourdeix de l'Académie des Sciences
- > Professeure à l'université Pierre-et-Marie Curie Paris VI, laboratoire Jacques-Louis Lions

**Jean TIROLE**

- > Prix Nobel d'Economie 2014
- > Médaille d'or du CNRS 2007
- > Président de l'Ecole d'économie de Toulouse

**Cédric VILLANI**

- > Médaille Fields 2010
- > Mathématicien
- > Directeur de l'institut Henri Poincaré

**Jean-Yves LE DEAUT**

- > Député de Meurthe-et-Moselle
- > Premier Vice-Président de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)

**Sandrine MURCIA**

- > Directrice générale de Spring Lab

**Alain SUPIOT**

- > Professeur au Collège de France
- > Juriste

**Colette LEWINER**

- > Conseillère du Président de Capgemini sur les questions énergétiques
- > Membre de l'Académie des Technologies
- > Docteure es sciences physiques

**Eva PEWAY-PEYROULA**

- > Professeur à l'Université Joseph Fourier de Grenoble
- > Docteur es sciences (physique moléculaire)

**Jean THERME**

- > Directeur de la recherche technologique au CEA
- > Membre de l'Académie des technologies

Glossaire des sigles

A	ACV	Analyse du cycle de vie
	ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
	AIE	Agence internationale de l'énergie
	ALLENVI	Alliance pour l'environnement
	ALLISTENE	Alliance pour les sciences et technologies de l'information
	ANAEE	Infrastructure d'analyse et d'expérimentation sur les écosystèmes
	ANCRE	Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie
	ANR	Agence nationale de la recherche
	ANRT	Association nationale de la recherche et de la technologie
	AT	Académie des technologies
	ATHENA	Alliance nationale des humanités, sciences humaines et sciences sociales
	AVIESAN	Alliance nationale pour les sciences de la vie et de la santé
	ANRT	Agence nationale pour la recherche et la technologie
B	BBMRI	Biobanking and Biomolecular Resources Research Infrastructure
	BDD	Behavior Driven Development
	BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung (ministère allemand de la formation et de la recherche)
	BTP	Bâtiment et travaux publics
C	CA	Chiffre d'affaires
	CAMS	Centre d'analyse et de mathématique sociales
	CDT	Cellule de diffusion technologique
	CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
	CICS	Conseil des industries de la confiance et de la sécurité
	CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
	CIUS	Conseil international des unions scientifiques
	CLS	Collecte localisation satellites
	CNES	Centre national d'études spatiales
	CNML	Conseil national de la mer et des littoraux
	CNRS	Centre national de la recherche scientifique
	COFASP	Cooperation in Fisheries, Aquaculture and Seafood Processing
	COFIS	Comité de la filière industrielle de sécurité
	COMER	Comité spécialisé pour la recherche et l'innovation
	COMOP	Comité opérationnel du CSR
	COP 21	Conférence Paris Climat 2015

CNES	Centre national d'études spatiales
COMES	Commissariat à l'énergie solaire
CPER	Contrat de projets État-région
CPMR	Conférence des régions périphériques maritimes d'Europe
CRT	Centre de recherche technologique
CSG	Centre spatial guyanais
CSR	Conseil stratégique de la recherche
CSTI	Stratégie pour le développement de la culture scientifique, technique et industrielle
CVT	Consortiums de valorisation thématique
D	
DGRI	Direction générale de la recherche et de l'innovation
DHU	Département hospitalo-universitaire
DNTE	Débat national sur la transition énergétique
E	
EATRIS	European Infrastructure for Translational medicine
EBI	European Bioinformatic Institute (Institut Européen de Bioinformatique)
ECRIN	European Clinical Research Infrastructure Network
EERA	European Energy Research Alliance
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service (Service Européen de Navigation par Recouvrement Géostationnaire)
EIP-SCC	European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities
EMBRC	European Marine Biological Resource Center
EQUPEX	Equipements d'excellence
ERA-MIN	ERA-NET network on the Industrial Handling of Raw Materials for European Industries
ESA	European Space Agency (Agence spatiale européenne)
ESFRI	European Strategy Forum for Research Infrastructure
EMBL	European Molecular Biology Laboratory (Laboratoire européen de biologie moléculaire)
ETI	Entreprise de taille intermédiaire
F	
FACCE-JPI	Joint Research Programming Initiative on Agriculture, Food Security and Climate Change
FAO	Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)
FEDER	Fonds européen de développement régional
FEEBAT	Formation énergie environnement bâtiment
FEM	France énergies marines
FHU	Fédérations hospitalo-universitaires
FUI	Fonds unique interministériel
G	
GBIF	Global Biodiversity Information Facility, Système mondial d'information sur la biodiversité
GCOS	General Comprehensive Operating System
GEO	Group on Earth Observation
GEOSS	Global Earth Observation System of Systems
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GMES	Global Monitoring for Environment and Security (programme européen de surveillance de la Terre)
GRC	German Research Center
H	
HPC	High Performance Computer
HR/THR	Haute résolution/Très haute résolution
H2020	Horizon 2020 (programme européen pour la recherche et le développement pour la période 2014-2020)

I	ICOS	Integrated Carbon Observing system	NoSOL	Not only Structured Query Language (pas uniquement langage de requête structurée)	
	ICSU	Conseil international des unions scientifiques (CIUS), International Council of Scientific Unions	O	OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
	IDEEL	Institut d'excellence en énergie décarbonée		OGM	Organisme génétiquement modifié
	IFMAS	Institut français des matériaux agro-sourcés		ONERC	Observatoire national sur les effets du changement climatique
	IFRIS	Institut francilien recherche, innovation, société		ONRN	Observatoire national des risques naturels
	IFPEN	Institut français du pétrole énergies nouvelles		OPECST	Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques
	IFSTTAR	Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux		OST	Observatoire des sciences et des techniques
	IHU	Institut hospitalo-universitaire	P	PCRD	Programme-cadre de recherche et de développement
	INES	Institut national de l'énergie solaire		PEI	Programme exceptionnel d'investissements
	INRA	Institut national de la recherche agronomique		PFT	Plateforme technologique
	INRIA	Institut national de recherche en informatique et en automatique		PHUC	Pôle de recherche hospitalo-universitaire en cancérologie
	IPBES	Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques		PIA	Programme des investissements d'avenir
	IRSTV	Institut de recherche en sciences et techniques de la ville		PIVERT	Picardie innovations végétales, enseignements et recherches technologiques
	ISBE	Infrastructure for Systems Biology - Europe		PLF	Projet de loi de finance
	ISBE	International Society for Behavioral Ecology		PME	Petites et moyennes entreprises
	INSERM	Institut national de la santé et de la recherche médicale		PREDIT	Programme interministériel de recherche et d'innovation dans les transports terrestres
	IPVF	Institut photovoltaïque d'Île-de-France		PREH	Plan de rénovation énergétique de l'habitat
	IRT	Institut de recherche technologique		PS2E	Paris Saclay efficacité énergétique
	ITAR	International Trade Arms Regulation		PSPC	Projets structurants des pôles de compétitivité
	ITARF	Ingénieurs et personnels techniques et administratifs de recherche et de formation		PUCA	Plan, urbanisme, construction et architecture
	ITE	Instituts pour la transition énergétique	R	RBR	Réglementation bâtiment responsable
	ITWS	International Tsunami Warning System		RWE	Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk Gesselschaft
	IXXI	Institut rhône-alpin des systèmes complexes	S	SATT	Sociétés d'accélération du transfert de technologies
J	JPI	Joint Programming Initiative		SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (Système de contrôle et d'acquisition de données)
	JRC	Joint Research Center		SDV	Sciences de la vie
	JTI	Joint Technological Initiative		SHARE	Survey of Health, Ageing and Retirement in Europe
K	KET	Key Enabling Technologies		SHS	Sciences humaines et sociales
	KIC	Knowledge and Innovation Communities		SNR	Stratégie nationale de recherche
L	LABEX	Laboratoire d'excellence		SNRE	Stratégie nationale de la recherche énergétique
	LISC	Laboratoire d'ingénierie pour les systèmes complexes		SOERE	Systèmes d'observation et d'expérimentation pour la recherche
	LTER	Long Term Environmental Research Infrastructure		SPIRE	Industrie de transformation durable par l'efficacité des ressources et de l'énergie
M	MEDDE	Ministère de l'Énergie, du Développement durable et de l'Énergie		SSRI	Service de la stratégie de la recherche et de l'innovation
	MENESR	Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche		STIC	Sciences et technologies de l'information et de la communication
	METL	Ministère de l'Égalité des territoires et du Logement		STRANES	Stratégie pour l'enseignement supérieur
	MITEI	Massachusetts Institute of Technology Energy Initiative		SWOT	Strengths (forces), Weaknesses (faiblesses), Opportunities (chances), Threats (menaces)
	MOOC	Massive open online course	T	TLE	Transient Luminous Events (Phénomènes lumineux transitoires)
	MTEP	Million de tonnes équivalent pétrole		TOSCA	Terre, Océans, Surfaces continentales, Atmosphère
	MSH	Maisons des sciences de l'homme		TRL	Technology Readiness Level (Niveau de Maturité Technologique)
N	NCATS	National Center for Advanced Translational Sciences		TRP	Translational Research Partnerships
	NEON	National Ecological Observatory Network		TWB	Toulouse White Biotechnology
	NIH	National Institutes of Health	U	UCLA	University of California, Los Angeles
	NIHR	National Institute for Health Research		UMIFRE	Unités mixtes des instituts français de recherche à l'étranger
	NiMH	Nickel-metal hydride (nickel-hydride métallique)	W	WMO	World Meteorological Organization

Partie 2

Avis du Conseil
Stratégique
de la Recherche

Synthèse

Institué par la loi relative à l'enseignement supérieur et la recherche du 22 juillet 2013, le Conseil stratégique de la recherche (CSR) a pour mission de « proposer au gouvernement les grandes orientations de la stratégie nationale de recherche » (article 95), dont « les priorités sont arrêtées après une concertation avec la communauté scientifique et universitaire, les partenaires sociaux et économiques et des représentants des associations et fondations, reconnues d'utilité publique, les ministères concernés et les collectivités territoriales, en particulier les régions » (article 15). Ces acteurs (environ 400 personnes), rassemblés en dix groupes de travail coordonnés par la direction générale de la recherche et de l'innovation sur la base d'une contribution synthétique des cinq Alliances nationales de recherche et du CNRS, ont fourni au cours du premier semestre 2014 un travail de réflexion permettant l'élaboration d'une quarantaine de grandes orientations stratégiques et l'identification d'une quinzaine de programmes d'actions prioritaires.

Le Conseil stratégique de la recherche, réuni à sept reprises au cours de l'année 2014, a suivi les travaux et procédé à l'examen des réflexions et propositions. Le présent document est l'avis du CSR au gouvernement sur la proposition de stratégie nationale de recherche issue de la concertation.

Le Conseil stratégique de la recherche salue l'important travail mené par l'ensemble des contributeurs et prend acte des orientations et des programmes d'action issus de cette concertation.

Il tient à compléter les travaux menés sur cinq sujets qui lui paraissent déterminants pour assurer une politique de recherche nationale d'excellence, efficace et durable.

En premier lieu, il lui semble important que la stratégie nationale de recherche s'attache à préciser les rôles déterminants de la recherche fondamentale et des recherches finalisées et technologique.

- Le CSR souhaite rappeler les enjeux de la recherche fondamentale, démarche créatrice de connaissances motivée par la curiosité pure et activité génératrice d'innovations qui augmentent les moyens d'action et de diagnostic sur la nature, l'homme et la société. Il souhaite suggérer des améliorations nécessaires aux conditions de son exercice.

- Le CSR souhaite également rappeler l'importance des recherches finalisées, au croisement de deux mouvements : la dynamique des connaissances et celle des questions qui se posent aux sociétés. Ces recherches sont cruciales pour l'élaboration des politiques publiques, mais contribuent aussi à la création future de valeur, d'activités et d'emploi.
- Le CSR souligne enfin l'importance d'une recherche technologique de pointe : celle-ci permet d'imaginer et de construire les solutions techniques qui seront la base des produits et applications de demain. Elle constitue une véritable passerelle entre une recherche fondamentale de qualité et la R&D du secteur industriel, et les acteurs de valorisation industrielle. C'est donc un facteur crucial de compétitivité des entreprises.

En ce qui concerne les orientations dégagées et les programmes d'actions, le CSR, après avoir pris acte de l'ensemble des travaux, souhaite préciser certains aspects du défi « gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique », et il marque un désaccord avec les conclusions des groupes de travail sur deux des dix défis, le défi « santé et bien-être » et le défi « sociétés innovantes, intégratives et adaptatives ».

- L'analyse effectuée sur le défi « santé bien-être » lui apparaît trop exclusivement limitée à une vision médicale du domaine, qui ne laisse pas la part qui lui revient à la recherche en biologie. Un groupe *ad hoc* a donc rédigé une proposition alternative à celle des ateliers.
- L'angle adopté sur le défi « sociétés innovantes, intégratives, adaptatives » lui apparaît présenter une vision quantitative réductrice qui n'appréhende pas les enjeux dans leur diversité et qui omet l'apport de nombreuses disciplines des sciences humaines et sociales permettant leur compréhension. Cette analyse est détaillée dans un avis circonstancié.

Toujours en ce qui concerne les orientations, le CSR souhaite par ailleurs apporter des éléments de réflexion complémentaires sur un domaine émergent : celui de la bio-économie.

Enfin, la SNR doit être évaluée tous les deux ans par l'OPECST. Dans cette perspective, le CSR s'est saisi de la question de son évaluation, en réunissant un « groupe métrique » dont les réflexions visent à la conception d'un système d'évaluation des recherches plus particulièrement attachées à des défis sociaux et économiques.

Le CSR rappelle que la stratégie nationale de recherche est établie pour 5 ans, et révisable à cette échéance. Elle est donc destinée à être adaptée en fonction des évolutions des sciences, des technologies, des enjeux sociaux, et des contextes politiques et économiques nationaux et mondiaux. Le CSR y veillera par une réflexion continue sur ces évolutions.

Le Conseil propose au gouvernement d'arrêter les priorités de la SNR en amendant le projet qui lui a été soumis dans un sens conforme au présent avis.

Table des matières

Les rôles déterminants des différentes déclinaisons de la recherche	142
Avis du Conseil Supérieur de la Recherche sur les orientations prioritaires	154
Le processus d'évaluation des impacts de la Stratégie Nationale de Recherche	163
Annexes	169

Les rôles déterminants des différentes déclinaisons de la recherche

Au niveau européen, notamment dans le cadre du programme Horizon 2020, la politique globale de recherche comporte trois volets :

- ▶ l'encouragement de l'excellence scientifique, notamment à travers les appels d'offres de l'European Research Council ;
- ▶ l'appui au développement des innovations industrielles, à travers le pilier « primauté industrielle » ;
- ▶ la réponse aux défis sociétaux.

Partout dans le monde, les politiques, les organisations et les pratiques de recherche s'intéressent à cette diversité d'objectifs complémentaires : le progrès de la connaissance, l'appui au développement économique et la réponse aux défis sociétaux.

Pour répondre à chacun de ces grands enjeux, différents types de recherche sont mobilisés : des recherches les plus fondamentales aux recherches les plus appliquées, dans des proportions différentes.

S'il nous semble important que la stratégie nationale de recherche (SNR) adopte une approche globale vis-à-vis de ces enjeux qui mobilisent de façon souvent très imbriquée tous les types de recherche, il nous paraît tout aussi nécessaire de les distinguer selon leurs motivations spécifiques. Ainsi, nous dégageons trois types de recherches :

- ▶ la recherche guidée par la seule curiosité, ou « recherche fondamentale » ;
- ▶ la recherche guidée par la dynamique des connaissances et des questions qui se posent à la société, dite « recherche finalisée » ;
- ▶ la recherche qui s'attache spécifiquement au progrès technologique et à la compétitivité du secteur productif, appelée « recherche technologique ».

La recherche fondamentale

La recherche scientifique est, à la fois, une démarche créatrice de connaissances motivée par la curiosité pure et une activité génératrice d'innovations qui augmentent les moyens d'action et de diagnostic sur la nature, l'homme et la société. Ces deux aspects de la recherche, le fondamental et l'appliqué, loin de s'opposer, sont complémentaires l'un de l'autre. La recherche fondamentale crée le socle de connaissances à partir duquel naissent les applications et, inversement, les avancées technologiques procurent les outils d'investigation de plus en plus perfectionnés qui conduisent à approfondir nos connaissances fondamentales.

La reconnaissance de cette complémentarité ne doit pas masquer une dissymétrie essentielle entre recherche fondamentale et recherche appliquée. La première, qui conduit à des résultats imprévisibles par essence, n'est pas programmable et doit se développer sur de longues constantes de temps, en laissant au chercheur l'entièvre liberté de définir son objet de recherche. La seconde, qui cherche à répondre à des demandes spécifiques de la société, se planifie sur des périodes de temps limitées pour conduire à des applications immédiates, génératrices de profit économique et/ou de bien-être social.

Dans le contexte actuel de crise économique et d'avenir incertain, cette dissymétrie entre recherche fondamentale et appliquée fragilise grandement la première. La société a en effet une tendance naturelle à favoriser la recherche de résultats à court terme, immédiatement rentables et, ce faisant, à appliquer à l'ensemble de la recherche, fondamentale et appliquée, des méthodes de gestion et d'évaluation qui si, elles sont légitimes pour la recherche appliquée, ne peuvent s'étendre sans dommage à la recherche fondamentale.

Un exemple de cette dérive est la généralisation de la recherche sur contrat à thématiques ciblées, au détriment de la recherche financée de façon récurrente. En adoptant pour l'organisation de la recherche fondamentale des méthodes de gestion qui ne lui sont pas adaptées, on fragilise en fait l'ensemble de la recherche puisque ce n'est qu'à partir d'une recherche fondamentale s'épanouissant librement que peut naître une innovation fructueuse. Seuls des financements récurrents au niveau des laboratoires (avec pour corollaire une évaluation rigoureuse et indépendante du laboratoire par les pairs), ainsi que l'utilisation poussée de programmes blancs promouvant la liberté créative des membres des laboratoires permettent d'assurer les conditions du développement d'une recherche fondamentale libre et forte, non contrainte par des impératifs de résultat à court terme.

Partant de ce constat, le CSR estime que la première condition à remplir pour répondre aux défis que la société pose à la recherche est de reconnaître la recherche fondamentale comme la condition essentielle de l'innovation et d'en améliorer les conditions d'exercice.

Le texte qui suit rappelle les caractéristiques essentielles de la recherche « pour la connaissance » motivée par la curiosité pure, son importance pour la civilisation en général et pour l'innovation en particulier. Il sert de préambule à l'énoncé de l'amélioration des conditions dans lesquelles s'effectue la recherche fondamentale dans notre pays.

Le code de la recherche (article L.111-6) donne pour objectif à la stratégie nationale de recherche de « répondre aux défis scientifiques, technologiques, environnementaux et sociaux en maintenant une recherche fondamentale de haut niveau ». Cette activité de connaissance « pour elle-même » doit être avant tout reconnue comme une aspiration fondamentale de l'esprit humain. Dans un pays avancé comme la France, il est impératif de favoriser le développement d'une recherche fondamentale libre et respectueuse des règles de l'éthique. Les thèmes d'étude théoriques ou expérimentaux de cette recherche doivent être choisis selon une approche ascendante, dite « bottom up », par les chercheurs eux-mêmes, qui sont formés à inventorier les limites scientifiques du savoir et reconnaître les domaines qui demandent à être approfondis.

Cette aspiration à la connaissance pour elle-même, cherchant à mieux comprendre le monde qui nous entoure et son histoire, est un besoin largement présent dans la société et fait partie intégrante de la culture collective. En témoigne l'intérêt soutenu du public pour des recherches et des découvertes sans application pratique immédiate ou même lointaine, en astronomie, en cosmologie, en paléontologie, en égyptologie, en sciences du vivant ou même en physique des particules.

Insister sur la nature « gratuite » et largement imprévisible de la recherche fondamentale ne s'oppose pas, bien au contraire, à la reconnaissance de son rôle essentiel comme « terrain fertile » favorable à l'innovation. L'essentiel des applications technologiques et des avancées dans les domaines de la santé, de l'énergie, de la communication ou des transports qui ont révolutionné notre vie dans les deux derniers siècles proviennent, de façon indirecte, de l'accumulation des connaissances produites par la recherche fondamentale non finalisée. Ainsi, celle-ci apparaît-elle comme une nécessité, même pour ceux qui, ne se fiant qu'à des critères utilitaristes, pourraient être insensibles à sa valeur culturelle.

Au nom de la société, l'État et les scientifiques ont pour mission de chercher à identifier des solutions aux défis que pose la mondialisation. Des technologies innovantes sont nécessaires pour répondre à ces défis, mais celles-ci ne pourront se développer qu'à partir de découvertes fondamentales par définition non prévisibles. Le passé montre que dans tous les domaines, qu'il s'agisse de la lutte contre le cancer, le VIH et bien d'autres pathologies infectieuses ou non, les avancées les plus prometteuses sont venues de travaux fondamentaux dans les domaines de la biologie qui ont permis de mettre au point des outils validés ensuite par de la recherche clinique. De même, les nombreuses technologies issues de la recherche fondamentale en physique (lasers, GPS, ordinateurs, imagerie médicale) ne se sont développées qu'après que des chercheurs inspirés par la curiosité pure eurent élaboré les concepts sur lesquels ces technologies ont pu se bâtir.

Le CSR tient par conséquent à souligner que le défi de la connaissance « pour elle-même » n'est pas simplement un défi parmi d'autres, mais constitue le premier des défis auxquels notre société doit faire face en matière de recherche et d'innovation. Relever ce défi conditionne la réussite de tous les autres dans la mesure où les innovations nécessaires pour répondre aux enjeux sociaux ne se réaliseront que si existe en France une recherche fondamentale performante et porteuse d'excellence. En d'autres termes, le défi de la connaissance « pour elle-même » constitue un enjeu transversal, sous-jacent à tous les autres et devant de façon impérative porter la stratégie nationale de la recherche consacrée à la connaissance.

Dans le contexte actuel, le simple affichage de la thématique « connaissance pour elle-même » ne suffit malheureusement pas. L'habitude qui s'affirme de présenter une part de plus en plus importante de la recherche fondamentale comme étant riche de débouchés possibles conduit les chercheurs et les institutions à aller de plus en plus dans le sens de cette « justification additionnelle », même quand leurs travaux sont fondamentaux et encore loin de toute application. Le danger est de faire des promesses que les chercheurs ne soient pas sûrs de tenir, ce qui conduit finalement à une perte de confiance dans la recherche (les exemples abondent, depuis celui de la fusion contrôlée ou de l'ordinateur quantique à la guérison du cancer ou la mise au point d'un vaccin contre le paludisme ou le VIH, trop souvent promis pour demain). Les chercheurs ne doivent pas être contraints à entrer dans ce jeu dangereux et la recherche fondamentale, par nature imprévisible, doit être plus largement qu'aujourd'hui financée sur le long terme.

Après l'analyse effectuée par son groupe de travail interne sur la recherche fondamentale, le CSR constate que la recherche fondamentale française, qui manifeste son excellence dans de nombreux domaines où elle est à la pointe de la science mondiale, souffre de plusieurs handicaps auxquels il doit être remédié pour que notre pays puisse garder ou renforcer son rang de grande puissance. Parmi ces handicaps figurent les problèmes de recrutement, de statut et de carrière des jeunes chercheurs, l'insuffisance des moyens récurrents permettant le développement d'une recherche libre sur un temps suffisamment long, la complexité administrative du système de recherche et d'enseignement supérieur français et son manque de lisibilité internationale.

Le CSR présente donc des recommandations pour s'attaquer à ces problèmes et améliorer la situation de la recherche et des chercheurs. Ces recommandations reprennent en partie les préconisations élaborées par les Assises de l'enseignement supérieur et de la recherche et présentées le 17 décembre 2012 au président de la République. Elles soulignent l'importance qui s'attache à leur mise en œuvre pour promouvoir la recherche fondamentale.

Une autre partie importante des recommandations des Assises concernait plus spécifiquement l'enseignement supérieur et la gestion des universités. Elles ne seront pas reprises ici, même s'il est évident qu'une recherche fondamentale performante ne peut prospérer que dans un environnement favorable à un enseignement supérieur de qualité, délivré par des universités bien gérées, ayant parmi leurs missions essentielles, parallèlement à la préparation des étudiants à un métier, le partage et la diffusion de la connaissance.

Les recommandations qui suivent assignent comme premier objectif aux instances chargées de la recherche et de son évaluation l'excellence scientifique et la mise en place des conditions qui permettent de la maintenir et de la développer. Elles privilient les mesures qui visent à garantir à la recherche fondamentale ses forces vives, des moyens nécessairement inscrits dans la durée et son attractivité internationale. Elles traitent successivement de l'emploi des chercheurs et des personnels de soutien à la recherche, des moyens logistiques mis à leur disposition, de la gestion et enfin de l'attractivité de la recherche au niveau national et international.

1 Métiers de la recherche

La première recommandation vise à maintenir la continuité du recrutement des jeunes chercheurs, condition du dynamisme et de l'attractivité professionnelle de la science française vis-à-vis de sa jeunesse. Le CSR insiste sur la nécessité de mettre un terme aux diminutions de recrutement observées ces dernières années dans les organismes de recherche. Il doit en aller de même pour le recrutement des ingénieurs, techniciens et administratifs (ITA), qui dans certains domaines, sont des soutiens indispensables à la recherche. Le CSR souligne également la nécessité de la revalorisation des traitements des chercheurs et enseignants-chercheurs, particulièrement en début de carrière, condition essentielle pour améliorer l'image de la recherche auprès des jeunes.

Le maintien des recrutements suppose des budgets adaptés et réalistes, mais aussi une meilleure prise en compte de la complémentarité des exigences de l'enseignement et de la recherche. Le système actuel sépare de façon trop rigide les carrières de chercheurs de celles d'enseignants-chercheurs. Il faut donc favoriser toutes les procédures qui permettent le passage d'un type d'activité à l'autre et même d'un type de métier à l'autre. Ceci inclut la relance de systèmes existants ayant fait leurs preuves, comme l'Institut universitaire de France (IUF) qui devrait augmenter le nombre actuel de postes offerts annuellement à ses « membres junior ». Le système de délégation auprès du CNRS offert aux enseignants-chercheurs devrait être renforcé. La pratique d'années sabbatiques pour recherche devrait être systématisée, sur le modèle pratiqué à l'étranger.

L'élaboration de solutions juridiques innovantes tenant compte des spécificités françaises doit être envisagée dans ce contexte, l'objectif étant d'aboutir à un système cohérent et lisible, utilisant au mieux les talents et les compétences de chacun au service d'une recherche et d'un enseignement supérieur de qualité.

Par les garanties de sécurité et d'indépendance qu'il offre, le statut de la fonction publique autorise une prise de risque intellectuelle indispensable à une recherche réellement innovante. Il est aussi un facteur d'attractivité, ainsi qu'en témoigne le nombre très élevé de candidatures de grande qualité aux concours de recrutement. Pour qu'il joue pleinement ce rôle, il conviendrait toutefois d'en faciliter l'accès aux chercheurs étrangers ainsi qu'à ceux dont les travaux transcendent les découpages disciplinaires habituels.

Pour les disciplines qui y trouvent un avantage en termes de compétitivité internationale, le CSR propose d'essayer, dans des établissements tests, l'expérimentation de chaires d'excellence junior, complémentaire des procédures de recrutement existantes. Ce système répondrait notamment aux critères suivants :

- ▶ il permettrait de recruter de jeunes chercheurs français ou étrangers, sélectionnés par des jurys internationaux de haut niveau, et de les affecter, en dérogation à la loi du 12 mars 2012 relative à l'accès à l'emploi titulaire et à l'amélioration des conditions d'emploi des agents contractuels (loi dite Sauvadet), sur des postes non fléchés et non permanents d'une durée de 5 ou de 6 ans ; ces recrutements spécifiques devraient être dotés d'émoluments attractifs à l'échelle internationale et de moyens financiers permettant de rémunérer des doctorants ou des post-doctorants ou d'effectuer des dépenses d'équipement ;
- ▶ les dotations correspondantes pourraient être gérées soit directement par un organisme public soit par une fondation de coopération scientifique *ad hoc* apte à percevoir des fonds publics et privés ;

- ▶ à terme, ces postes permettraient aux chercheurs ayant obtenu une excellente évaluation internationale d'être définitivement recrutés par une université ou établissement de recherche sur un poste permanent de rang A. Pour cela, une fraction des postes ouverts au recrutement dans les universités ou les institutions de recherche devrait être réservée à ce type de recrutement ;
- ▶ un retour d'expérience devrait être mis en place au terme de quelques années, avant de décider de la poursuite éventuelle de cette mesure.

Le CSR insiste sur l'importance de la formation par la recherche ainsi que sur la reconnaissance et la revalorisation du doctorat dans la fonction publique comme au sein des entreprises⁸⁹, notamment par sa reconnaissance au sein des conventions collectives. La valorisation du doctorat est essentielle pour renforcer l'attractivité de la recherche vis-à-vis des jeunes chercheurs. En ouvrant des débouchés plus nombreux à ceux qui choisiront de ne pas poursuivre leur carrière de chercheur, elle donnera plus de souplesse au dispositif de la recherche française. Elle permettra à la société de bénéficier davantage des qualités que la recherche a développées chez ceux qui l'ont pratiquée en termes de réflexion critique et d'esprit d'innovation, irriguant ainsi des pans entiers de l'économie. Ces qualités sont largement exploitées par les entreprises qui emploient des docteurs à l'étranger et gagneraient à l'être davantage dans notre pays. Le CSR recommande par conséquent à l'État et aux collectivités territoriales de montrer l'exemple en recrutant des docteurs et suggère de réformer les dispositions légales relatives au crédit d'impôt recherche en en conditionnant l'octroi à l'embauche de docteurs ou au financement de la fondation de coopération scientifique envisagée pour gérer le système de chaires d'excellence junior.

2 Moyens logistiques

Les moyens financiers publics consacrés à la recherche fondamentale s'inscrivent dans quatre catégories : la masse salariale des personnels, les financements récurrents, les financements sur contrat et les grandes infrastructures. Le maintien d'une recherche d'excellence nécessite que l'ensemble de ces moyens soient suffisants et reçoivent des dotations, en pourcentage du PIB, comparables à celles que nos partenaires de l'OCDE les plus performants consacrent à la recherche fondamentale. Il faut, d'autre part, qu'un meilleur équilibre soit trouvé entre ces quatre composantes, alors qu'actuellement, la fraction de budget hors masse salariale des organismes de recherche ne permet pas aux laboratoires de construire une stratégie de recherche à long terme, notamment l'acquisition d'équipements de type mi-lourd.

Afin de promouvoir la recherche d'excellence, le CSR recommande de garantir des moyens récurrents substantiels aux meilleurs laboratoires ou unités de recherches, sur la base de leurs réalisations effectives, évaluées selon des critères internationalement reconnus. Ce type de financement favoriserait la poursuite de projets de recherche risqués et ambitieux, mal adaptés aux modes de financements sur contrat à court ou moyen terme.

⁸⁹ Cette revalorisation est prévue par la loi du 22 juillet 2013.

Afin de consolider le financement de la recherche fondamentale, l'Agence nationale de la recherche devrait inscrire son soutien au titre de ses priorités et s'engager à augmenter substantiellement la part des programmes blancs, pouvant aller jusqu'aux deux-tiers, en fonction des spécificités de chaque domaine, sans les assortir d'aucune obligation spécifique d'interdisciplinarité ou de collaboration entre laboratoires.

Une recherche fondamentale en sciences humaines et sociales de qualité, libre et inspirée par la curiosité est, comme dans les sciences de la nature, la condition indispensable au développement de recherches sur l'homme et la société plus finalisées et susceptibles de porter un diagnostic sur les problèmes nouveaux posés par les changements rapides de notre monde globalisé. Pour les mettre en mesure de contribuer pleinement à la stratégie de la recherche, le CSR préconise un plan de soutien aux sciences humaines et sociales, où notre pays a pendant longtemps excellé.

Un tel plan aurait pour objectif de restaurer et conforter l'attractivité internationale dans l'ensemble des sciences humaines et sociales. Il devrait en particulier soutenir et conforter les structures ayant démontré leurs capacités à promouvoir l'interdisciplinarité et l'internationalisation. À cette fin, il éviterait un refinancement non sélectif des structures existantes, mais viserait à soutenir – par le recours à un jury international et indépendant, composé de scientifiques choisis sur la base de leur renommée – les meilleurs dispositifs issus des vagues successives d'investissement (Maisons des sciences de l'homme, Instituts d'études avancées, Écoles, Instituts et Centres français de recherche à l'étranger, bases documentaires numérisées) ou d'autres initiatives ayant fait leurs preuves.

Le plurilinguisme – qui dans le cas des sciences humaines et sociales ne peut se limiter à la seule maîtrise de l'anglais – doit être réaffirmé comme une des ambitions de la recherche française en SHS et la condition de son attractivité et de son insertion européenne et internationale.

Le CSR prend acte de la campagne d'évaluation du crédit d'impôt recherche actuellement en cours suite aux préconisations de la Cour des comptes. Il recommande que les modalités d'attribution de ce crédit soient évaluées et revues en fonction des résultats de cette évaluation.

Pour mobiliser les entreprises sur les enjeux de la recherche fondamentale, le CSR recommande de multiplier les occasions de contact et de faciliter le recours aux financements privés en adaptant les règles de la comptabilité publique à cet objectif prioritaire.

3 Administration de la recherche

La gestion des moyens nécessaires à la recherche a tendance à s'alourdir. Les dépenses doivent être justifiées dans le détail et sont souvent rejetées pour des motifs mineurs. Cela freine notamment la mise en place des plateformes de recherche pourtant très utiles pour partager les moyens et mettre l'expertise acquise par certaines équipes à la disposition de la communauté scientifique.

Le CSR recommande par conséquent d'entreprendre une réflexion nationale sur l'encadrement administratif de la recherche que rend nécessaire la complexité croissante des appels d'offres nationaux, européens et internationaux. À ce titre, les ingénieurs et techniciens de recherche (IT) sont amenés à jouer un rôle crucial qui justifierait des actions de formations ciblées et des carrières ainsi que des rémunérations attractives. Il s'avère donc nécessaire de remédier à la décroissance marquée du nombre d'IT dans les laboratoires qui oblige les chercheurs à se charger eux-mêmes de tâches administratives pour lesquelles ils ne sont pas formés et qui pèse négativement sur la capacité de la France à répondre aux appels d'offres et à ses engagements internationaux.

Le CSR recommande de mener parallèlement une réflexion sur la question de l'évaluation de la recherche, clé de sa crédibilité, mais dont les lourdeurs administratives pèsent de plus en plus sur les chercheurs au détriment du temps qu'ils doivent consacrer à leur mission scientifique. Centrer prioritairement les rapports d'évaluation aux choix opérés et aux résultats scientifiques obtenus et renforcer les critères qualitatifs par rapport aux indicateurs quantitatifs trop nombreux et souvent contestables s'avère nécessaire. Il faudrait à ce titre alléger à leur strict minimum les procédures administratives, le nombre de pièces à fournir et les formalités comptables propres aux campagnes d'évaluation.

Une partie de l'énergie employée à l'évaluation des laboratoires et des chercheurs devrait être utilisée à évaluer les politiques de toutes les institutions, section par section, en se focalisant sur les critères de recrutements et la carrière des recrutés.

Le CSR recommande la réalisation d'une étude comparative qui analyserait les avantages et les inconvénients du mode de fonctionnement des établissements de recherche les plus réputés en Europe et dans le monde et permettrait à notre système de renforcer son attractivité en termes de recrutement et de carrière, d'évaluation et de promotion ainsi que d'allocation de moyens.

Le CSR est conscient des contraintes qu'imposent à la recherche la compétitivité économique internationale, la protection de la propriété intellectuelle et le secret-défense. Compte tenu de l'importance qui s'attache à la liberté de parole et de circulation des chercheurs, il tient toutefois à recommander aux pouvoirs publics de limiter au strict minimum nécessaire les consignes de sécurité ayant pour effet de les limiter.

4 Attractivité de la recherche

La France ayant besoin d'attirer les meilleurs chercheurs mondiaux, le CSR recommande aux pouvoirs publics d'entreprendre une revalorisation de l'échelle des salaires versés aux chercheurs afin de les rendre compétitifs au niveau international.

Le CSR recommande également d'améliorer l'accueil des chercheurs étrangers et d'encourager leur installation ou leur intégration dans notre système de recherche. Lorsqu'ils sollicitent un titre de séjour, ils devraient bénéficier de dérogations statutaires s'inspirant de la réglementation en vigueur pour les sportifs de haut niveau et les professions artistiques.

Un cadre national destiné à faciliter la réinsertion des chercheurs français s'étant expatriés pour des raisons professionnelles permettrait de renforcer la mobilité européenne et internationale de nos chercheurs dont dépendent les progrès et le rayonnement de la recherche française. Le défaut d'annuités de cotisation pour des scientifiques seniors qui voudraient venir ou revenir en France est souvent un facteur dissuasif. Des procédures devraient être mises en œuvre pour permettre à ces chercheurs de reconstituer leur carrière en les aidant financièrement à racheter leurs droits à la retraite.

5 Place de la France au sein de l'Europe de la recherche

Compte tenu de l'étendue toujours croissante des sujets relevant de la recherche fondamentale, chaque connaissance acquise engendrant de nouvelles questions de plus en plus complexes et coûteuses à résoudre, le CSR tient à souligner que le défi de la connaissance « pour elle-même » est un défi largement international. La France doit jouer un rôle fédérateur et moteur en la matière, contribuant activement à une démarche de coopération en recherche fondamentale, ouverte et articulée à l'échelle européenne et internationale.

Compte tenu de la dynamique positive engendrée tant du point de vue des échanges scientifiques que du financement de la recherche par l'insertion de la France au sein de l'espace européen de la recherche, comme l'atteste, entre autres, l'impact des bourses du Conseil européen de la recherche (ERC), le CSR préconise une participation accrue de la France aux appels d'offres européens par le renforcement des structures de soutien destinées à inciter les chercheurs français à répondre davantage et régulièrement aux appels d'offres européens. La formation de personnels administratifs ou techniques aux réglementations européennes pourrait décharger les chercheurs répondant à ces appels de tâches administratives occupant à l'heure actuelle une partie trop importante de leur temps.

Le CSR estime que la tenue d'une comptabilité exhaustive du temps de recherche dans le cadre des contrats européens méconnaît l'esprit de la recherche qui mobilise souvent les chercheurs bien au-delà du temps qu'ils consacrent officiellement à leur travail. Le CSR incite les pouvoirs publics à obtenir des instances européennes qu'elles allègent leur demande en la matière et que, par souci de protection juridique, les établissements français ne se montrent pas plus exigeants que les instances européennes.

La recherche finalisée

La recherche finalisée est au croisement de deux mouvements : la dynamique des connaissances et les questions qui se posent aux sociétés. Pour les recherches finalisées, il faut s'attacher, après l'identification des défis prioritaires, à faciliter l'étude des objets complexes de recherche tels que le changement climatique, la circulation des agents infectieux, la gestion de l'eau ou les systèmes durables d'alimentation. Les produits attendus des recherches seront de nature variée : nouvelles connaissances, innovations techniques, méthodes d'analyse, comme expertise en appui aux politiques publiques ou formation.

Les recherches finalisées sont nécessairement inscrites dans un contexte ; elles évoluent avec la société et ses préoccupations. « Comprendre pour pouvoir mieux agir » dans des systèmes naturels, sociaux et économiques en constante évolution, inventer et mettre au point des méthodes et des techniques utilisables par les acteurs. Elles nécessitent d'être attentives à l'excellence des travaux conduits mais aussi à leur pertinence vis-à-vis des défis identifiés. Elles sont cruciales pour la création de valeur, d'activités et d'emploi.

Elles supposent plusieurs étapes :

- ▶ la traduction des questions et problèmes des sociétés en questions de recherche ;
- ▶ la mobilisation, le plus souvent, d'approches pluridisciplinaires autour des questions de recherche identifiées ;
- ▶ le partage avec les acteurs concernés, dans leur diversité, des questions de recherche à l'amont du choix, puis des résultats. Parfois, cela va plus loin lorsque les acteurs fournissent eux-mêmes une partie des connaissances mobilisées et sont partie prenante de la démarche de recherche (recherches participatives avec les associations de malades, les naturalistes, les agriculteurs innovants...). Ces nécessaires coopérations entre chercheurs et ingénieurs de la recherche publique, et industriels, agriculteurs, malades, citoyens, imposent aux scientifiques des méthodes de travail spécifiques et supposent également une évaluation différente des équipes comme des personnes concernées.

Cela a été le sens des propositions faites par le groupe EREFIN (Evaluation de la Recherche Finalisée) à l'agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur.

En France, des recherches conduites dans plusieurs départements du CEA, à l'INRA, à l'IFREMER, à l'IRSTEA, à l'IRD, à l'IFSTTAR, ou au Muséum national d'histoire naturelle, par exemple, relèvent de la recherche finalisée. Certaines recherches conduites au CNRS (INSU, Sciences pour l'ingénieur) ou dans certains laboratoires de l'Inserm adoptent les mêmes démarches lorsque le point de départ est un défi comme l'est, par exemple, le changement climatique. Toutes les recherches conduites par les entreprises publiques et privées en relèvent également. La même problématique des pratiques d'une science qui part des questions de la société se retrouve au niveau international en matière médicale, agronomique, climatique ou énergétique, par exemple.

La recherche technologique

La recherche technologique a pour objectif de convertir des connaissances de base en une technologie à visée identifiée, transférable à un utilisateur final, qui est le plus souvent un industriel, mais peut aussi être un organisme public ou une institution. Elle permet d'imaginer et de construire les solutions techniques qui seront la base des produits et applications de demain. Aujourd'hui, son rôle est reconnu et soutenu dans tous les pays industrialisés.

En effet, elle constitue souvent la suite de la recherche scientifique qui permet de valoriser dans l'industrie les découvertes scientifiques réalisées en amont. En ce sens, elle constitue une véritable passerelle entre le monde académique de la recherche fondamentale et les acteurs de valorisation industrielle. En effet, une découverte scientifique n'est généralement pas applicable telle quelle à un processus industriel. Il faut être en capacité de convertir la connaissance de base en une technologie, un produit fiable industrialisable c'est-à-dire répondant aux performances satisfaisantes, reproductibles et à coût de fabrication compétitif. Il faut auparavant étudier, souvent par expérimentation sur des équipements spécifiques :

- ▶ la faisabilité technique et les procédés techniques afférents ;
- ▶ l'intégration dans un processus industriel souvent existant ;
- ▶ les implications économiques et la rentabilité à terme ;
- ▶ les impacts sociaux d'une telle réalisation.

Dans tous les cas, la transformation d'une idée en un produit ou service qualifié dans son environnement passe par le saut de la science à la technologie, du concept au démonstrateur fonctionnel. Cette étape est indispensable et critique et car elle nécessite :

- ▶ des infrastructures spécifiques : les plates-formes technologiques pour maîtriser les technologies clefs matérielles ou immatérielles et assurer leur intégration ;
- ▶ des compétences adaptées : le rassemblement d'une masse critique d'experts ayant un large spectre de compétences ;
- ▶ une organisation de la recherche particulière : des modes de coopération étroits entre industriels et ingénieurs de la recherche publique permettant d'exploiter rapidement les résultats, et de plus adaptés à l'ampleur des projets et à la taille des entreprises.

C'est dans la majorité des cas la combinaison de plusieurs technologies de base qui conduit à la solution gagnante et permet de créer un nouvel espace dans la chaîne de valeur, exploitable industriellement. Les technologies à combiner sont multiples, à la fois matérielles et logicielles, et s'appuient sur une base scientifique très large. Toutes les disciplines scientifiques sont concernées par cette recherche appliquée qui, par la variété de ses applications et des sciences qu'elle mobilise, est, par nature, interdisciplinaire et intégrative.

La recherche technologique permet donc de combler le fossé bien identifié entre recherche fondamentale et développement industriel. Dans un monde complexe centré sur le court terme, les industriels sont toujours à la recherche d'une compétitivité accrue, souvent en manque de produits innovants, ou en manque de temps et de moyens pour conduire une recherche de longue haleine. Le développement de l'activité d'innovation et de R&D des entreprises constitue donc un enjeu économique majeur, notamment pour la compétitivité d'industries d'avenir stratégiques et dans lesquelles la France a des positions fortes, mais aussi pour les secteurs traditionnels, pour lesquels un positionnement à forte

valeur ajoutée, suppose une importante capacité d'innovation. Or, on constate tout particulièrement en France que le passage entre la recherche fondamentale, de grande qualité dans notre pays, et le développement industriel n'est pas assez naturel, alors que d'autres pays comme l'Allemagne affichent une plus grande fluidité.

Pour gagner en efficacité sur la valorisation industrielle de la recherche, il convient donc de porter une attention toute particulière à la recherche technologique, qui constitue aujourd'hui un véritable goulot d'étranglement dans notre processus d'innovation. Face à ces enjeux, seule une recherche technologique forte, qui serait à la fois publique (au moins en partie pour préserver la capacité de diffusion à un ensemble de filières et d'acteurs) et de haut niveau, permettra de supporter efficacement le renouveau industriel du pays, indispensable tant pour nos emplois industriels que pour notre capacité à faire face aux avancées technologiques venues d'ailleurs et à mieux les contrôler.

Pour un progrès juste et durable, créateur d'activité et d'emploi

L'ensemble de ces types de recherche sont bien présentes dans les orientations prioritaires et les programmes d'actions de la SNR, ce qui permet d'en apprécier la nécessité et la valeur, fondées sur un désir de progrès, et une volonté de prise de risque.

Bien entendu, les scientifiques et ingénieurs qui travaillent dans ces domaines ou bien ceux qui – tout en s'activant dans la recherche fondamentale gardent un œil attentif sur la possibilité que leurs découvertes aboutissent à des innovations de rupture – savent que le progrès technologique et la prospérité économique qui l'accompagnent doivent être durablement créateurs d'une valeur ajoutée qui profite à tous, sur le long terme, par la création d'activité, d'emploi, et de justice sociale.

Avis du Conseil Supérieur de la Recherche sur les orientations prioritaires

ATOUTS

La France est au 5^e rang mondial pour la recherche biologique fondamentale (source OST, 2014). On le doit à une forte tradition dans ce domaine, à un système universitaire capable de former les futurs chercheurs, et à des établissements publics scientifiques et techniques qui, en liaison avec les universités et certaines grandes écoles, ont soutenu des travaux dans toutes les disciplines biologiques. Un élément majeur de notre compétitivité a été l'instauration, il y a environ 20 ans, des contrats ATIP/AVENIR qui permettent à des jeunes d'accéder rapidement à l'indépendance. Cette indépendance pour les meilleurs, accompagnée d'une stabilité de l'emploi et d'un mélange de financements récurrents et compétitifs via l'Agence nationale pour la recherche et les autres sources nationales et internationales de financement contractuels a permis de maintenir un tissu dense, inventif et diversifié.

► FREINS

En ce qui concerne les orientations dégagées, le CSR marque un désaccord avec les conclusions des groupes de travail sur deux des dix défis sociaux, le défi « santé et bien-être » et le défi « sociétés innovantes, intégrantes et adaptatives ».

Avis sur le Défi « Santé et Bien-être »

L'analyse effectuée sur le défi « santé et bien-être » lui apparaît trop exclusivement limitée à une vision médicale du domaine, qui ne laisse pas la part qui lui revient à la recherche en biologie. Un groupe ad hoc a donc rédigé la proposition ci-dessous, alternative à celle des ateliers.

OBJECTIFS

Rester compétitifs au niveau fondamental, stimuler l'interdisciplinarité, développer les outils nouveaux, favoriser les applications thérapeutiques et industrielles.

■ PÉRIMÈTRE DU DÉFI

La biologie présente une composante historique marquée dans des faits aussi évidents que le développement et l'évolution. Elle est multi-échelle et nécessite l'intégration de ses différents niveaux, de la molécule aux populations. Elle a des frontières avec les sciences de la matière et les sciences humaines. Sa seule théorie unifiée est la théorie de l'évolution, cadre général qui prend ses racines dans la systématique animale et végétale. La biologie est donc la science des systèmes vivants, de leurs évolutions et de leurs interfaces, y compris avec le monde physique. Les connaissances nouvelles en biologie ont un impact fort dans plusieurs domaines sociaux, dont la santé, l'agriculture, l'économie ou l'éducation.

◎ GRANDES ORIENTATIONS DE RECHERCHE

La biologie est très diversifiée. Céder à la tentation de faire des choix peut faire passer à coté de découvertes dont les conséquences sociétales et économiques sont imprévisibles. Un grand pays a les moyens – somme toute modestes – de cette ambition.

À ce niveau général, insistons sur les grands fondamentaux. Parmi les incontournables, il faut nommer : l'évolution des organismes, la physiologie végétale et animale, les neurosciences, l'immunologie, la microbiologie et les maladies infectieuses, la biologie structurale, la biologie cellulaire et la signalisation, la génétique et l'épigénétique. Il y a dans ces domaines et ceux cachés sous le terme générique de physiologie, des voies qui s'ouvrent sur la clinique et sont alimentées par elle, dont les études sur le système cardiovasculaire, la nutrition et le métabolisme, ou encore l'épidémiologie. On ne doit abandonner aucune des pistes aujourd'hui explorées par les laboratoires de recherche. Une orientation importante est représentée par l'ouverture sur l'innovation technologique et thérapeutique. Parmi les voies moins « classiques » et qui doivent être soutenues, mentionnons les interactions avec la physique, la chimie et les mathématiques, la biologie des systèmes et la biologie synthétique.

Orientations de recherche

/ Instabilité du vivant

Il faut prendre en compte le caractère instable d'un vivant en renouvellement à tous les niveaux (molécules, génome, cellules, organes...) avec des ouvertures sur la médecine à travers la réparation et la modification du génome, les cellules souches ou la régénération des tissus. La médecine régénérative s'inscrit dans cette ligne.

/ Individuation et vieillissement

L'instabilité du vivant fait émerger une nouvelle conception du vieillissement, considéré comme un défaut de la réparation ou du renouvellement. Cette conception nous rappelle que l'évolution des individus (individuation, vieillissement) et des espèces (évolution) s'appuie sur la génétique et l'épigénétique, laquelle s'inscrit dans la « mémorisation » au sens large – innée et acquise – avec une composante forte des neurosciences et de l'immunologie.

/ Les génomes

Notre conception du génome a fortement évolué avec une attention portée à sa structure et à l'importance des éléments non-codants. Le lien avec les travaux sur l'évolution des espèces dont les mécanismes sont loin d'être élucidés est évident. Les études sur les génomes ont permis d'identifier des polymorphismes de gènes « normaux » responsables de maladies humaines très communes. Suivant l'environnement, ces polymorphismes peuvent être neutres, favoriser certaines pathologies, ou protéger contre d'autres pathologies. D'où l'importance de réintroduire la question de l'environnement dans l'expression pathologique d'une mutation (ou d'un polymorphisme).

/ Régulations

Il faut tirer toutes les conséquences de l'irruption récente du rôle régulateur des ARN, codants ou non. Les travaux nés de ces percées conceptuelles doivent être renforcés dans toutes les branches de la biologie, microbienne, animale et végétale. Le monde végétal à l'origine de ces découvertes ne doit être ni oublié ni restreint à son seul intérêt pour l'agronomie.

/ Le monde microbien

L'exploration du monde microbien doit continuer pour son apport intellectuel, son importance technologique (découvertes d'outils de manipulation des génomes) et l'intérêt sociétal des maladies infectieuses. Pour la physiologie aussi à travers les études sur le microbiote intestinal.

/ Les grandes maladies

Au-delà des maladies liées au vieillissement des populations, en premier lieu les maladies du système nerveux, d'autres grandes pathologies doivent continuer d'être explorées, dont les maladies métaboliques (diabète), les maladies cardio-vasculaires, le cancer, les maladies génétiques (trop nombreuses pour être déclinées), auxquelles s'ajoutent les maladies d'étiologie sporadique, donc pas uniquement génétique, comme – à titre d'exemple – « la » schizophrénie.

/ La biologie synthétique et les systèmes « cyborg »

Il s'agit de fabriquer le vivant à partir d'éléments simples mais aussi de le modifier. Le lien avec la chimie et les recherches sur les origines du vivant est évident. Comme l'est celui avec la mise au point de systèmes de production de molécules « utiles ». Pour les aspects cliniques, le développement des interfaces avec la robotique est nécessaire (interface cerveau-machine, systèmes sensoriels artificiels, exosquelettes...)

/ Nouvelles technologies

Les nouvelles technologies génèrent des masses de données dont l'analyse est essentielle au développement d'une biologie et d'une médecine contemporaines. Il faut amplifier ces efforts technologiques dans tous les domaines (séquençage, imagerie, robotiques...) et développer les outils d'analyse (biologie des systèmes, bioinformatique) ce qui impose un effort de formation professionnelle.

/ Interfaces

Les interfaces avec les mathématiques et l'informatique doivent être développées. Il en va de même pour les interfaces avec la physique qui dépassent le nécessaire développement de l'instrumentation, pour constituer un apport essentiel à l'intégration des différentes échelles du vivant. Identifier, quantifier et formaliser les propriétés physiques et mécaniques à ces différentes échelles est crucial pour comprendre l'encodage des fonctions biologiques dans les propriétés élémentaires des macromolécules. C'est aussi le cas de la chimie qui doit être réintroduite dans les sciences du vivant. Nombre de médicaments sont issus de principes actifs naturels améliorés grâce à la chimie organique et des molécules essentielles à la compréhension du vivant et au développement de nouveaux médicaments restent à découvrir.

/ Recherche clinique

Le rapprochement entre recherche biologique et recherche clinique doit être facilité par des doubles cursus « MD-PhD » et par la prise en compte des modèles que la pathologie offre aux études en physiologie. Ce rapprochement demande le développement de centres de recherche de haut niveau sur des sites hospitaliers et le recrutement d'équipes aux inclinations complémentaires (fondamentales et cliniques) sur la base d'appels d'offres compétitifs.

/ Recherche « translationnelle »

On note l'essor des « jeunes pousses » en biotechnologie qui, si elles réussissent, peuvent être rachetées ou abrées par les grands groupes industriels. Ce nouveau « modèle » demande qu'on améliore le financement de la phase de preuve du concept. L'emploi scientifique se développe aujourd'hui dans les biotechnologies et tous les leviers devraient être utilisés pour favoriser cette tendance. Créer de l'emploi dans l'industrie fournit des débouchés aux docteurs formés dans les laboratoires publics et contribue à rapprocher la recherche de l'industrie sur des bases pérennes.

Avis sur le Défi « Sociétés innovantes, intégratives et adaptatives »

Le CSR approuve pleinement l'orientation consistant à faire place aux SHS dans les recherches à conduire pour répondre aux différents défis jugés prioritaires par la SNR. Mais les sciences humaines ne pourront apporter une contribution utile à ces recherches que dans la mesure où l'on respecte leur diversité et leur identité propre. Tel n'est pas le cas de l'approche retenue dans les conclusions du groupe de travail « Sociétés innovantes, intégratives et adaptatives ». Cela aurait, si cette approche était reprise en l'état, des conséquences extrêmement négatives sur la capacité des SHS de contribuer efficacement à la compréhension des risques et des opportunités du monde contemporain et des conditions d'existence d'une société créative et harmonieuse.

On peut douter qu'un investissement massif dans l'étude des bases neurologiques de la prise de décision ou dans la constitution des bases de données suffise à préparer notre pays à faire face aux risques majeurs pour la sécurité nationale et internationale que représente la situation géopolitique chaotique qui prévaut aujourd'hui dans la zone immense allant du Mali à l'Afghanistan en passant par la Centrafrique, le Moyen-Orient et le Pakistan. Cette situation appellerait plutôt à un investissement massif dans l'étude des langues, des religions, des structures anthropologiques et de l'histoire longue des pays concernés, autant de sujets absents de l'horizon des conclusions du groupe de travail.

Plus généralement, ces conclusions souffrent d'un manque d'attention aux études comparatives et internationales, qui ne se résument pas à la compilation de données. Les études quantitatives jouent un rôle central dans beaucoup de sciences sociales et doivent être facilitées et encouragées. Mais elles ne peuvent couvrir le spectre total des recherches (ne serait-ce parce que avoir de bonnes données n'est pas toujours faisable ; et aussi parce que des données sans théorie sont inutiles pour l'intervention publique). Dans le contexte de la globalisation, l'État et les entreprises ont un besoin vital, pour innover et s'adapter, de mieux connaître et comprendre la diversité des civilisations, à la fois dans leur profondeur historique et dans la manière dont elles évoluent et interagissent. Cela suppose des dispositifs de recherche qui permettent d'ancrer l'étude des sociétés contemporaines dans les savoirs de l'enquête, de l'érudition et de la philologie, et qui attirent, comme savent le faire les universités américaines, des chercheurs venus du monde entier, capables de penser et de travailler dans un très grand nombre de langues. Quoique les conclusions du groupe de travail « Sociétés innovantes, intégratives et adaptatives » n'en fasse pas mention, le développement de dispositifs de ce genre est au cœur de la stratégie de recherche allemande en SHS. C'est pour répondre à ce besoin, qu'en 2007, le choix avait été fait dans le cadre de la loi Goulard de doter la France d'un certain nombre d'instituts d'études avancées. Prolongeant cette dynamique, quelques instituts du même type ont été créés en 2012 dans le cadre des investissements d'avenir. La cohérence et la continuité d'action de l'État est nécessaire en ce domaine afin d'assurer, sur la base d'une évaluation rigoureuse, la consolidation des investissements ainsi engagés, au lieu de faire tous les 4 ans du passé table rase.

À ces manquements s'ajoutent ce que le CSR considère être des partis pris idéologiques. La proposition de SNR reprend à son compte l'idée d'une aversion française au risque. Mais elle ne dit mot de la crise économique de 2008, la plus grave que nous ayons connue depuis un siècle : ni de ses causes – notamment de la responsabilité des États dans la déréglementation des marchés financiers – ni des

défaillances de la prévision économique qu'elle a mises en lumière, ni de l'allocation finale des risques systémiques engendrés par certaines innovations de la mathématique financière. De même, les systèmes de solidarité et de protection sociale, qui constituent l'armature institutionnelle et financière de la cohésion sociale, sont passés sous silence, comme si l'étude de leurs forces et de leurs faiblesses n'était pas nécessaire à la compréhension des facteurs d'intégration, de santé et de bien-être. La crise des institutions nationales et européennes, le creusement des inégalités, les transformations du travail et les conséquences de l'automatisation sur l'emploi ne sont pas davantage abordés, alors qu'on peut difficilement contester qu'ils participent des recherches à conduire en vue d'une société « innovante, intégrative et adaptive ».

Concernant l'innovation, par ailleurs un axe central du document, il faut noter que la compréhension du rapport entre les découvertes scientifiques et les conditions de leur apparition passe par des études d'histoire et de sociologie des sciences, qui sont un enjeu de recherche qui n'apparaissent pas dans les conclusions du groupe de travail. Certaines de ces études montrent que depuis une trentaine d'années, le processus d'innovation n'est plus irrigué par de nouvelles grandes inventions, comme ce fut le cas dans la période précédente : il court sur la lancée de découvertes dont les dernières datent du début des années 1980. Il y a là une question majeure, qui ne peut être posée correctement sans prendre en considération le changement de temporalité intervenu dans l'organisation et le fonctionnement des entreprises. L'enfermement dans un temps court est incompatible avec les investissements à long terme et la sérendipité requis par une véritable politique de recherche et développement. Si l'on souhaite rendre aux entreprises une réelle capacité de recherche et d'innovation, il conviendrait donc d'étudier les multiples raisons de ce court-termisme et les moyens d'y remédier. Les comparaisons internationales, notamment avec les entreprises allemandes, leur ancrage culturel et leur structure capitaliste, seraient de ce point de vue particulièrement éclairantes.

L'insistance à concentrer les moyens sur les bases de données devrait à tout le moins tenir compte elle aussi des nombreux travaux d'histoire et de sociologie de la quantification, qui montrent que dans le domaine des SHS (à la différence des sciences exactes) les « data » ne sont pas des mines où il suffirait d'aller puiser, comme dans une mine de houille, mais le produit de nombreuses conventions d'équivalence que tout bon chercheur doit s'employer à contrôler avant de les utiliser. Céder à cet imaginaire du « data mining » conduirait les SHS à singler les sciences exactes au lieu de contribuer à une extension raisonnée des sources de connaissances fiables.

Enfin, le CSR rappelle les trois recommandations ponctuelles suivantes pour que les SHS soient en mesure de contribuer pleinement à la stratégie de la recherche.

- ▶ Le besoin de financement de « petits projets ». Concentrer les très faibles crédits affectés aux SHS sur quelques gros projets très coûteux ne peut qu'assécher le tissu de recherche dans son ensemble. Une meilleure répartition sur de petits projets, dont la gestion pourrait être confiée aux Maisons des sciences de l'homme, serait au contraire de nature à mobiliser beaucoup de chercheurs talentueux, à commencer par les jeunes les plus prometteurs.
- ▶ L'importance cruciale de la politique de recrutement des universités et EPST, qui doit exclure l'endogamie et s'ouvrir notamment aux talents étrangers ou au retour de chercheurs français ayant entamé leur carrière à l'étranger. La politique de recrutement du CNRS devrait s'ouvrir plus largement aux domaines de recherche peu ou pas encore enseignés dans les universités, en évitant de dupliquer ce que font ces dernières. Et les universités devraient de leur côté tirer parti des chercheurs ainsi recrutés pour concevoir de nouvelles formations par la recherche

en évitant de se contenter de la répétition de l'existant. Les SHS ne souffrent pas tant d'une crise des vocations ou d'une baisse de qualité des candidatures que du conformisme et du localisme. Pour lutter contre ce dernier, il serait bienvenu d'interdire le primo recrutement par les universités de leurs propres docteurs.

- La primauté de l'évaluation qualitative du travail des chercheurs. De nombreux travaux récents ont montré les inconvénients et les effets pervers de systèmes d'évaluation reposant principalement sur la quantification des publications, laquelle ne peut tout au plus constituer qu'une aide à la décision et non un mode de reconnaissance de la qualité. La qualité ne se laisse pas réduire à des scores bibliométriques car elle se juge essentiellement aux progrès de l'intelligibilité et/ou de la maîtrise du monde physique ou social.

Éléments complémentaires sur les enjeux internationaux dans les sciences du climat

Les sciences du climat se positionnent à l'interface entre une recherche fondamentale, pilotée par le défi de la connaissance des processus et mécanismes du système climatique et de ses impacts, et une recherche finalisée, guidée par l'élaboration de stratégies d'adaptation et d'atténuation, ainsi que par le développement des services climatiques. La SNR, qui a été construite à partir des défis sociétaux et de l'effort de recherche exprimé en appui aux politiques publiques, décline des orientations de recherche liées à l'adaptation au changement climatique et à son atténuation dans plusieurs défis (gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique ; une énergie propre, sûre et efficace ; sécurité alimentaire et défi démographique ; transports et systèmes urbains durables ; stratégie spatiale). Cette présentation fragmentée rend peu lisibles les inflexions de la stratégie de recherche française en matière de sciences du climat au sens des trois volets des rapports du GIEC (même si l'importance de la recherche fondamentale dans la stratégie de surveillance, connaissance et prévision du système Terre est soulignée dans le défi 1).

La structuration internationale des recherches est particulièrement vitale pour l'étude du climat global. Les chercheurs français participent étroitement à l'élaboration d'une stratégie internationale au sein des programmes WCRP (*World Climate Research Programme* : www.wcrp-climate.org) et PAGES (*Past Global Changes*). Nous recommandons de renforcer l'articulation de la SNR avec les grands programmes internationaux ce qui améliorera la lisibilité de la contribution française. Cette programmation de la recherche pilotée par les priorités scientifiques doit rester un atout stratégique de l'effort de recherche français dans ce domaine. De la même manière, la lisibilité de la stratégie nationale de recherche au sein de la plateforme mondiale de recherche interdisciplinaire « Future Earth » construite autour de trois axes (*Dynamic Planet, Global Sustainable Development and Transformations towards Sustainability*) mériterait d'être renforcée pour le programme d'action prioritaire II (environnement, énergie et développement durable). Nous soulignons enfin l'importance du renforcement de l'interdisciplinarité et la mobilisation des SHS sur ces défis majeurs. Cette volonté est exprimée dans le préambule du document SNR mais ces aspects n'apparaissent ni dans la matrice d'analyse stratégique du programme d'action « système Terre », ni dans les cinq actions proposées.

Éléments complémentaires sur la bio-économie

Quelles filières de bio-économie et quelles perspectives ?

La raréfaction de certaines ressources naturelles (non renouvelables, notamment) modifiera les sources d'approvisionnement de certaines filières et entreprises nationales. La biomasse, qu'elle soit d'origine agricole, forestière, aquatique et marine (algues...), ou venant des déchets est une ressource dont la mobilisation peut aller au-delà de la réponse aux besoins alimentaires pour couvrir en partie les besoins chimiques et énergétiques de l'économie française. Dans un contexte visant la réduction de l'émission des gaz à effet de serre, cette substitution partielle de l'usage de carbone d'origine fossile par du carbone renouvelable présente un avantage environnemental. La substitution de procédés chimiques par des procédés biotechnologiques répond aussi à des préoccupations du programme REACH⁹⁰ et de sécurité des installations industrielles.

La stratégie nationale de recherche souligne le rôle positif de ce développement au service des transitions énergétiques et écologiques. Dans l'analyse des forces et faiblesses conséquentes, elle relève le manque de stratégie (feuille de route) française.

La transition énergétique fait actuellement l'objet de plusieurs exercices de prospective, dont une entreprise par ANCRE sous le pilotage du CEA, de l'IFPEM et du CNRS. La mobilisation de la biomasse est estimée sur la base de volumes nécessaires à la production énergétique, la France étant considérée comme un fournisseur sans particularité territoriale. Toutefois, la disponibilité réelle ou réaliste de la biomasse, en regard des surfaces agricoles et forestières, est négligée, ce qui peut conduire à des situations contrastées ou à des résultats potentiellement sources de contestations.

De plus, dans le cadre du Grenelle de l'environnement, les industriels français de la chimie ont pris l'engagement de développer les filières bio-sourcées et de porter à 15 % le niveau de matières premières renouvelables parmi leurs intrants en 2017. Une réactualisation récente propose même 20 % en 2020.

Ces objectifs ambitieux supposent une mobilisation de la recherche publique et privée pour créer les connaissances nouvelles requises et pour aller jusqu'aux innovations-clés pour déverrouiller les filières.

Ils exigent également des exercices collectifs de type prospectif à l'image de ce qui a été conduit dans le domaine énergétique. La concurrence et la complémentarité au niveau français des différents objectifs d'usage de la biomasse à des fins alimentaire, énergétique et chimique n'a en effet pas été envisagée. Or, il est indispensable que cette dimension soit considérée tant sous l'angle de l'usage des sols agricoles et forestiers, des biomasses récoltées – dans un cadre d'exploitation durable – que des filières industrielles que ces biomasses seraient en capacité d'approvisionner et des procédés susceptibles d'être développés et mis en œuvre. De même, les conditions économiques et sociales de cette

⁹⁰ Registration, Evaluation, Authorization of Chemicals : Règlement sur l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et les restrictions des substances chimiques.

transformation majeure des filières ne vont pas de soi, car elles supposent des transitions de la part de nombreux acteurs. Enfin, il sera nécessaire de mettre en regard l'évolution potentielle de la demande dans les secteurs concernés.

Cet effort prioritaire de recherche ainsi que la conduite d'un exercice collectif de prospective, qui pourrait être confié au groupe inter-alliances Allenvi-Ancre, nous paraissent de nature à valoriser des atouts scientifiques et économiques reconnus.

Le processus d'évaluation des impacts de la Stratégie Nationale de Recherche

Il est souhaitable au moment du choix des priorités pour la mise en œuvre de la stratégie nationale de recherche de clarifier les transformations attendues par rapport à la situation actuelle. Cette description *ex ante* facilitera le suivi puis l'évaluation future de cette stratégie par le Parlement.

Plus généralement, l'évaluation des impacts socio-économiques de la recherche est à l'agenda des grandes institutions nationales, européennes et internationales. L'intérêt pour l'évaluation d'impact est actuellement renouvelé compte tenu d'un double mouvement :

la tension croissante sur les budgets publics et l'exigence de démonstration de la performance des investissements;

l'orientation d'une part substantielle de l'effort de recherche vers la réponse aux grands défis économiques et sociaux. Il suffit de regarder le programme européen Horizon 2020 ou les stratégies britanniques, allemandes ou japonaises pour s'en convaincre.

Compte tenu que, par définition, la recherche est une activité risquée, marquée par une incertitude radicale, un dilemme classique apparaît à l'évidence : l'information complète sur l'impact nécessite une information complète dont on ne dispose qu'*ex post* alors que les décisions sont irréversibles ; *ex ante* (et dans une moindre mesure) *ex nunc*, on dispose d'une grande flexibilité décisionnelle mais pas de la connaissance des impacts.

Cette difficulté doit conduire à concevoir un système d'évaluation qui articule de façon complémentaire les différentes approches d'évaluation *ex ante*, de suivi (*ex nunc*) puis de mesure *ex post*.

Leçons de la littérature et des expériences d'évaluation d'impact

Trois enseignements fondamentaux peuvent être tirés de l'évaluation *ex post* des impacts de la recherche :

- ▶ les délais entre début des recherches et impact sont très longs, généralement estimés à une trentaine d'années pour les recherches agricoles (20 ans en moyenne dans l'étude Asirpa), même s'ils tendent à raccourcir ;
- ▶ les impacts sont produits par un réseau d'acteurs et donc difficilement attribuables à un seul d'entre eux. Il convient donc d'identifier les différentes composantes du réseau, les interactions productives, et le rôle spécifique de la composante soumise à l'évaluation ;
- ▶ la distribution des impacts est très asymétrique : on le voit par exemple avec l'étude de la distribution des revenus des brevets (pour le CNRS par exemple, les brevets de Potier sur le taxol représentent 80 % des redevances).

Les enseignements des approches basées sur les chemins d'impact sont instructifs :

- ▶ il est fréquent d'avoir des recherches réussies mais qui ne produisent pas d'impact, même sur des périodes de temps assez longues ;
- ▶ les activités des intermédiaires sont essentielles, elles correspondent à la fois à la constitution de connaissances applicables et à l'intérêt d'acteurs ;
- ▶ l'impact suppose souvent une transformation des utilisateurs et/ou des conditions d'utilisation, qui peut constituer un obstacle à la généralisation de l'impact.

Compte tenu de ces éléments, il n'est absolument pas fondé de prendre des mesures de résultats comme indicateurs d'impact.

Le deuxième élément fondamental vient de l'expérience américaine, notamment celle qui a été conduite lors de la mise en place de l'Advanced Technology Programme par Clinton et celle du Department of Energy (DOE) qui a fait des investissements méthodologiques considérables. Le mérite de ces expériences est d'avoir testé une très grande diversité d'approches : économétriques, analyses coûts/bénéfices, bibliométriques, études de cas qualitatives... Il en ressort que les approches les plus crédibles sont celles qui combinent approches qualitatives et quantitatives sur des études de cas.

Un système d'évaluation doit combiner différentes approches

La conception d'un système d'évaluation des recherches attachées à des défis sociaux et économiques devrait suivre les grands principes suivants :

- ▶ adapter les objectifs de l'évaluation à chacun des grands défis, ce qui nécessite de décliner ces grands défis en objectifs opérationnels, à différentes échelles de temps⁹¹ ;
- ▶ adopter une démarche séquentielle qui conduit à adapter le niveau d'information requis aux différentes phases de la recherche. Il n'est ni utile ni pertinent de rechercher un niveau d'information précis dans les phases exploratoires. On peut alors, à l'image de la recherche pétrolière, distinguer l'impact potentiel, l'impact prouvé et l'impact réalisé ;
- ▶ concevoir un système d'information durable qui permet de combiner de façon opérationnelle les différentes approches de l'évaluation. Notamment, les connaissances produites par l'évaluation *ex post* doivent permettre de redéfinir l'information cherchée dans l'évaluation *ex ante* et *ex nunc*.

Sur le plan des méthodes, l'évaluation *ex ante* pourrait dans un premier temps s'inspirer des pratiques d'évaluation des entreprises de capital-risque qui consistent en gros à croiser une estimation de l'importance de la cible et une évaluation de la crédibilité de la démarche. Ces démarches sont adaptables aux grands défis. Elles sont applicables à des portefeuilles de projets larges. On peut ainsi déterminer des impacts potentiels.

Lorsque les projets avancent (lorsque l'on dispose des résultats (outputs) de la recherche, par exemple), il est possible de faire des évaluations plus précises pour lesquelles peuvent être mobilisées des méthodes prospectives et des analyses de scénario. De telles analyses ont vocation à préciser l'impact potentiel. Ces évaluations doivent repérer les points critiques de la réalisation d'impact, sur la base d'une représentation du chemin d'impact. Les points critiques peuvent être intégrés dans des modèles logiques qui permettent d'envisager comment le projet permet de les dépasser.

Enfin, lorsque les impacts sont réalisés, on peut en faire une analyse plus fine. Cette analyse peut être réalisée dès l'observation des premiers impacts (outcomes). Les méthodes économiques classiques sont utilisables. D'autre part, l'analyse précise des chemins d'impact et de la contribution permet de mieux comprendre les mécanismes qui génèrent les impacts. Cette connaissance peut être utilisée pour améliorer l'évaluation aux étapes antérieures, ce qui permet d'enclencher des boucles d'apprentissage et d'améliorer la culture de l'impact.

Parfois, certains se risquent à des évaluations plus globales ; ainsi nos collègues australiens (ABARES) ont chiffré la part de la productivité agricole liée à des résultats de recherche et développement et ont risqué le chiffre de 2/3. Ils ont à cette occasion constaté que les recherches à long terme sont celles pour lesquelles l'impact évalué est le plus élevé (travaux portant sur 50 années : <http://data.daff.gov.au>).

⁹¹ Ce principe exclut du champ de l'analyse des approches souvent utilisées qui consistent à prendre en compte les effets économiques générés par les investissements dans la recherche (emploi direct et indirect, effets externes, ...). Une telle analyse n'est pas dénuée d'intérêt. Mais elle ne doit pas détourner de l'objectif essentiel : l'évaluation de la façon dont la recherche permet effectivement de répondre aux grands défis.

Et au sein du système des centres internationaux de recherche agricole, la nouvelle stratégie en cours d'élaboration pour les années à venir a l'ambition de fixer des objectifs quantitatifs dans le cadre des objectifs attendus par les donateurs tels que la diminution de la faim ou des déficiences nutritionnelles dans les Pays du Sud ou l'amélioration de l'état des ressources naturelles (nombre de personnes et surfaces concernées par exemple). Au-delà des simplifications auxquelles cela conduit, cette méthode de choix affiché a priori donne l'obligation aux entités et personnes qui conçoivent les propositions de programme de penser, dès la conception du programme de recherche, au lien avec les acteurs destinataires des travaux de recherche et leurs organisations et donc à affiner les questions à aborder avec eux.

Quelles leçons pour le conseil stratégique de la recherche ?

Le Conseil stratégique de la recherche (CSR) a souhaité mettre en place une grille d'indicateurs qui constitueront des repères pour juger de la pertinence des actions proposées, puis pour suivre les effets de leur mise en œuvre. Ainsi, ces indicateurs doivent pouvoir nourrir des analyses pour un état des lieux du système français de recherche et d'innovation au démarrage de la stratégie (analyse *ex ante*) puis un suivi permanent (analyses *ex nunc*) du déroulement de ces actions et de leurs premiers effets, et enfin une évaluation régulière (analyses *ex post*) de la situation afin de préciser à nouveau les actions à mettre en œuvre.

Dans cette optique, **la première partie du travail** conduite par l'observatoire des sciences et des techniques (OST) a établi une série d'indicateurs bibliométriques visant à apprécier, défi par défi, la solidité des connaissances scientifiques créées par les laboratoires de recherche qui sont susceptibles d'alimenter chaque défi. Les indicateurs proposés permettent de situer, sur une période de 10 ans, **la dynamique de production et d'influence scientifiques de la France** (figures en annexe) au niveau mondial, ainsi que la place des publications françaises les plus influentes au niveau international et leur place dans la production nationale. Les indicateurs sont normalisés de manière telle qu'ils sont comparables entre pays, et qu'ils permettent ainsi, par comparaison internationale de ces dynamiques, de dégager des éléments de diagnostic concernant la France.

Dans la seconde partie du travail en cours, le CSR tente de caractériser, via leur secteur économique, les entreprises actives en recherche partenariale, notamment parce qu'elles ont une activité de dépôt de brevet. Dans ce volet, les experts de l'ANRT, du CEA et de l'Académie des technologies ont défini avec l'appui de l'OST des indicateurs permettant d'apprécier un des effets attendus de la mise en place de la stratégie nationale de recherche, à savoir **l'impact économique de la recherche**. Cette question, particulièrement complexe, fait l'objet de nombreux travaux de recherche et de propositions diverses pour des indicateurs nouveaux. Dans une perspective plus directement opérationnelle, il s'est agi pour le CSR de se focaliser, dans un premier temps, sur la recherche partenariale. En effet la recherche partenariale qui comprend la recherche sur projets de type collaborative (financée par les agences telles que l'ANR...) et toutes les formes de recherche contractuelle directe entre recherche publiques et entreprises, est celle qui est la plus proche du monde économique mais qui est insuffisamment développée en France. Il s'agit donc de mieux caractériser l'efficacité globale de la recherche dite partenariale sous ses différentes formes (recherche qui associe institutions publiques et entreprises) et

de mieux analyser les flux qui vont des publications (idées) jusqu'à leur exploitation (contrats recherche publique-industriels) en passant par la génération de la propriété industrielle (brevets).

Dans la troisième partie du travail, le CSR s'attachera à proposer des indicateurs qui prennent en compte d'autres acteurs qui organisent **l'appropriation « sociétale » des connaissances scientifiques**, comme les pouvoirs publics, des groupes professionnels, des associations de citoyens. A cette fin, il se propose d'étendre l'observation aux processus d'impacts sociaux en testant deux indicateurs complémentaires, qui seraient déclinés de façon spécifique par défi. Le premier est un indicateur d'activité qui répertorie des dispositifs d'interaction entre recherche et société. Le second est un indicateur de production (outputs) qui répertorie des produits majeurs de la recherche qui ont été transférés à des acteurs sociaux hors du monde de la recherche. Ces deux indicateurs devraient être parcimonieux : il ne s'agirait pas de lister tous les produits ou tous les dispositifs mais de recueillir les objets les plus significatifs pour illustrer l'existence des interactions productives.

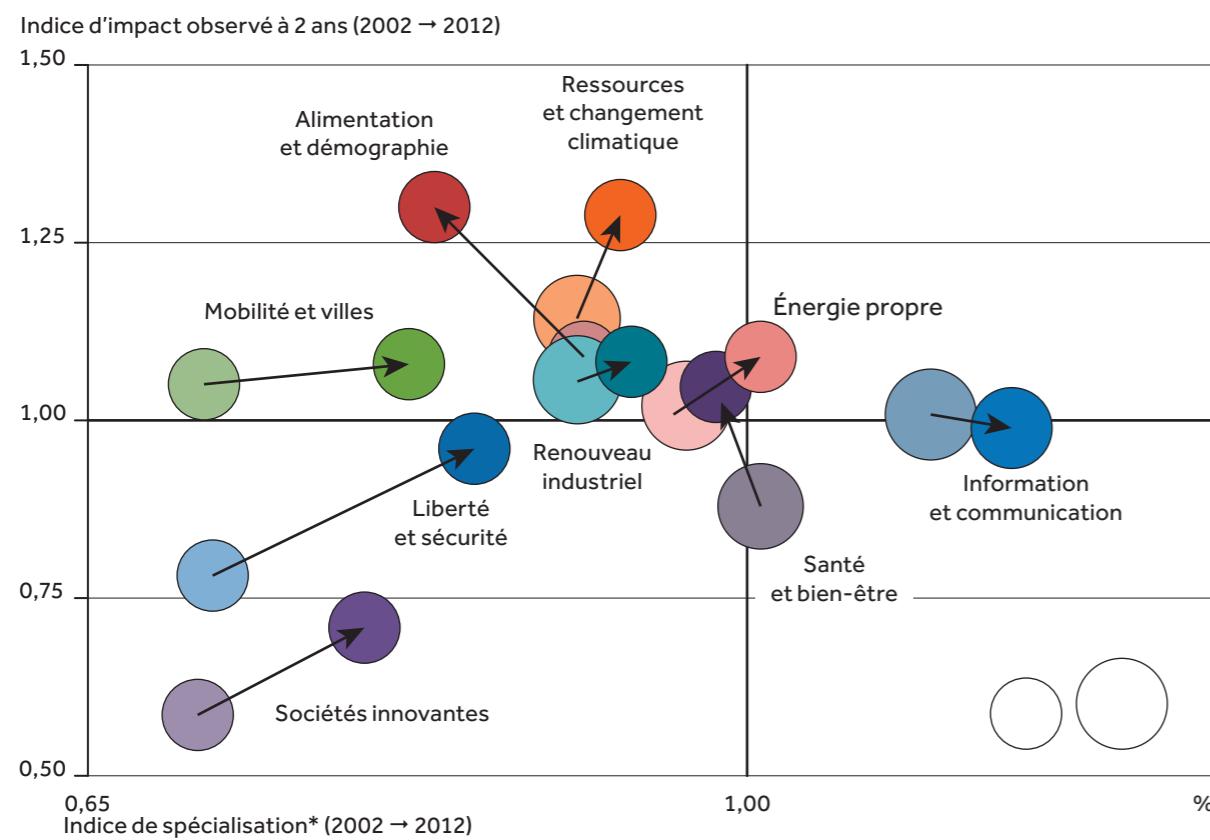
Aussi, pour choisir les priorités de mise en œuvre de la stratégie nationale de recherche, nous proposons de partir des secteurs où la France est bien placée en matière de production scientifique et de dynamique économique et sociale, sauf pour les secteurs « régaliens » (sécurité, santé...) dans lesquels les politiques sectorielles de l'État serviront de guide. Ces analyses serviront à rendre plus « explicites » les critères de priorisation proposés dans le projet de stratégie nationale de recherche. Le suivi puis l'évaluation de cette politique devront s'attacher à voir si ces mêmes positionnements auront progressé au cours de la mise en œuvre de la SNR.

ANNEXES

Cartes établies par l'Observatoire des sciences et des techniques sur les dynamiques comparées des publications au niveau international et présentées au CSR du 11 juin 2014.

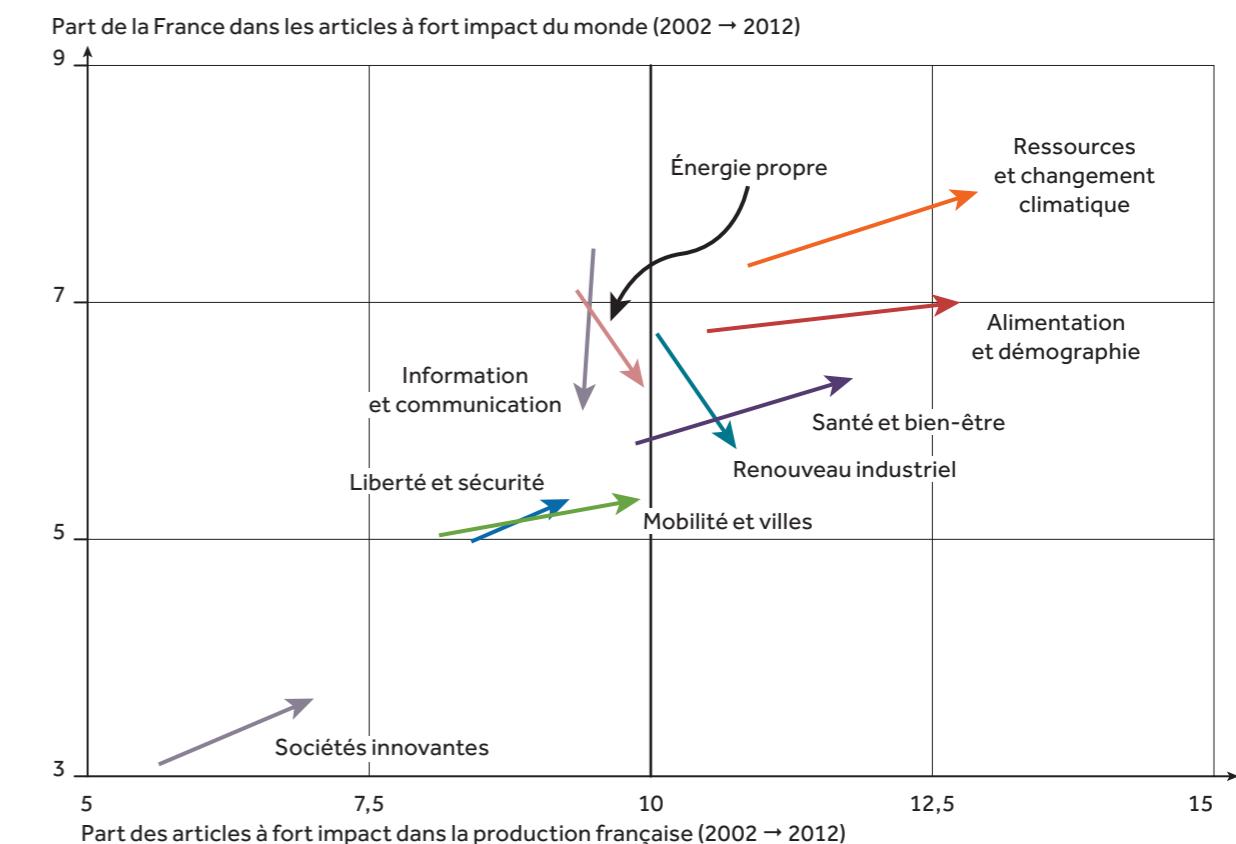
1 Indicateurs bibliométriques : la France

Influence et spécialisation scientifiques de la France par défi : évolution entre 2002 et 2012.



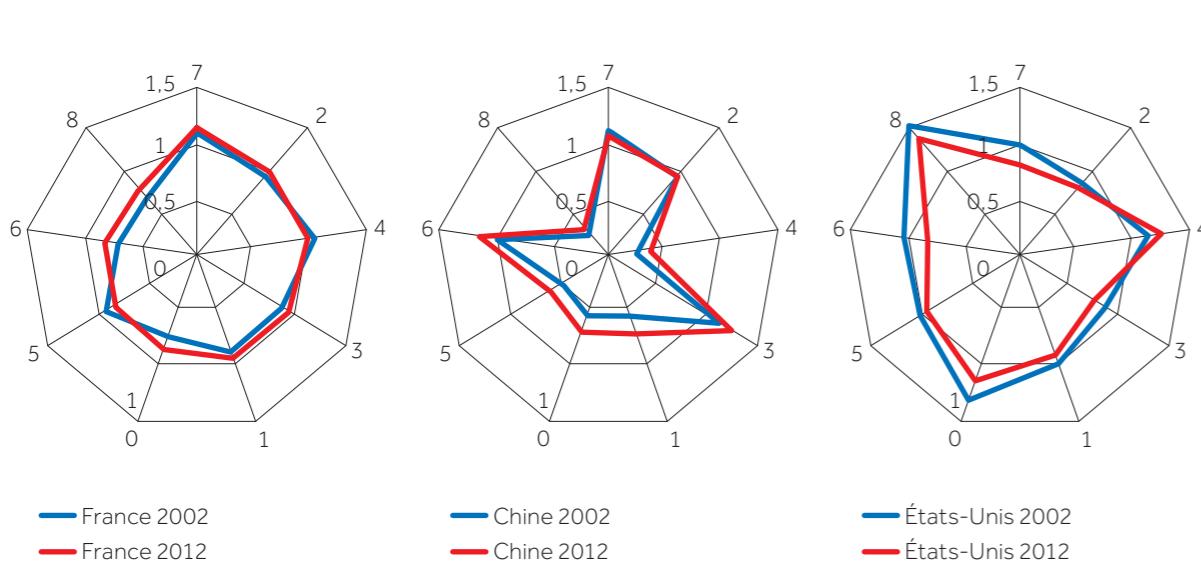
2 Indicateurs bibliométriques : la France

Part de la France dans les publications du Top 10 % mondial et part des publications du Top 10 % mondial dans la production française par défi.



Orientation des pays vis-à-vis des Défis

Trois profils : France, Chine, États-Unis

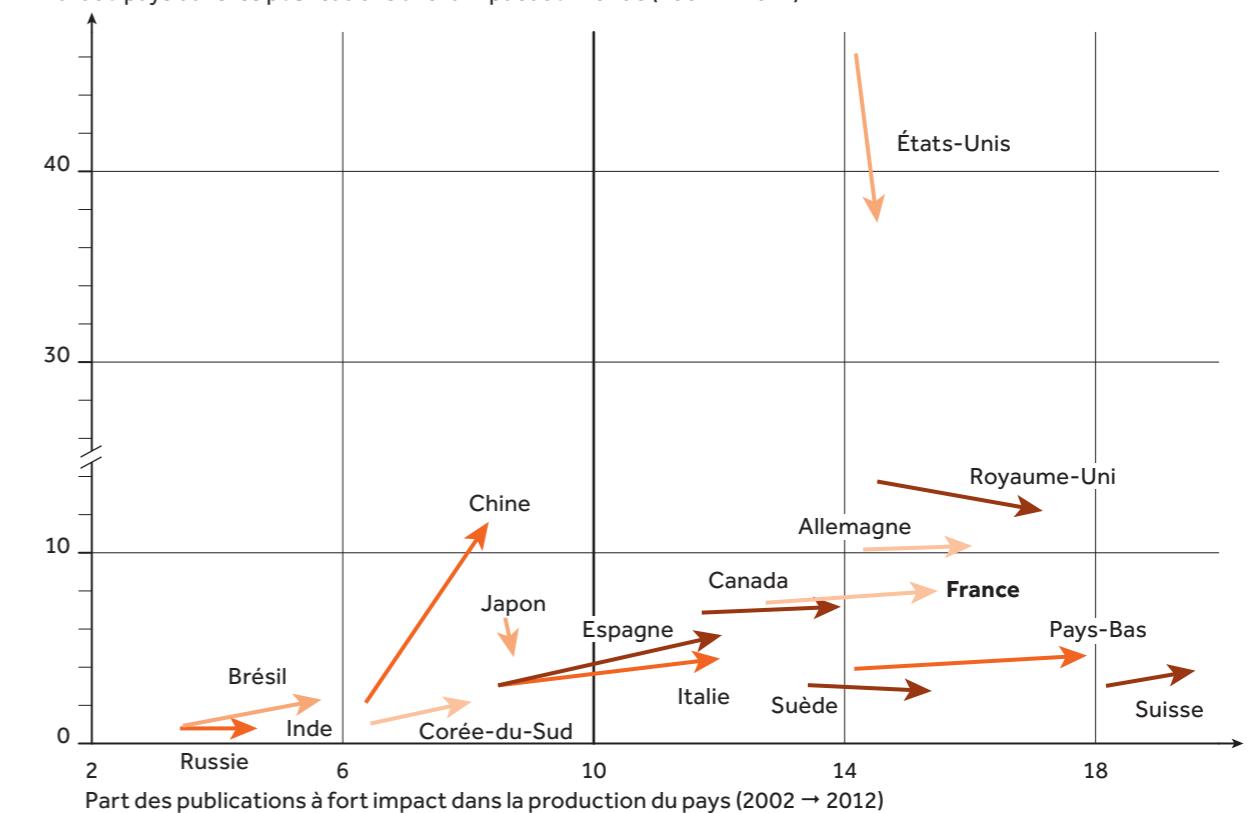


Légende des défis :

- 1 - Ressources et changement climatique
- 2 - Energie propre
- 3 - Renouveau industriel
- 4 - Santé et bien-être
- 5 - Alimentaire et démographie
- 6 - Mobilité et villes
- 7 - Information et communication
- 8 - Sociétés innovantes
- 10 - Liberté et sécurité

Comparaison des pays par Défi : Défi 1

Part du pays dans les publications à fort impact du monde (2002 → 2012)



Part du pays dans les publications du Top 10 % mondial et part des publications du top 10 % mondial dans la production des pays pour le défi 1.

Date de publication : mars 2015

Crédits photos / Xoxoxox xoxooxoxox oxoxoxoxoxox oxoxoxoxoo



www.enseignementsup-recherche.gouv.fr

