



AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE

ANR

Annexe au Plan d'action 2018

Descriptif des recherches en lien avec
l'Appel à projets générique 2018 de l'ANR
(version étendue du paragraphe B du PA 2018)

Date de publication : 5 septembre 2017

Sommaire

B.1 - Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique : <i>vers une compréhension du changement global</i>	8
Introduction	8
B.1 – Axe 1 : Connaissances fondamentales sur les milieux naturels et la biodiversité..	8
B.1 – Axe 2 : Innovations scientifiques et technologiques pour accompagner la transition écologique	11
B.2 - Les recherches à mener pour répondre au défi : Energie propre, sûre et efficace...	14
Introduction	14
B.2 - Axe 1 - sous-axe 1.1 : Recherches fondamentales, exploratoires, concepts en rupture	15
B.2 - Axe 1 - sous-axe 1.2 : Captage des énergies renouvelables, récupération des énergies de l'environnement.....	15
B.2 - Axe 1 - sous-axe 1.3 : Usage du sous-sol dans une perspective énergétique.....	16
<i>B.2 - Axe 1 - sous-axe 1.4 : Conversion des ressources primaires en carburants et molécules plateforme, chimie du carbone</i>	17
B.2 - Axe 1 - sous-axe 1.5 : Gestion dynamique des systèmes énergétiques : stockages, réseaux, vecteurs.....	18
B.2 - Axe 1 sous-axe 1.6 : Equipements et procédés industriels économes en énergie, captage du CO ₂	19
B.2 - Axe 1 sous-axe 1.7 : Transition énergétique et sciences humaines et sociales	19
B.3 - Les recherches à mener pour répondre au défi : Stimuler le renouveau industriel	22
Introduction	22
B.3 – Axe 1 : Usine du futur : Homme, organisation, technologies.....	22
B.3 – Axe 2 : Matériaux métalliques et inorganiques et procédés associés.....	24
B.3 – Axe 3 : Chimie moléculaire, Chimie durable et procédés associés.....	26
B.3 – Axe 4 : Polymères, composites, physique et chimie de la matière molle	27
B.3 – Axe 5 : Nanomatériaux et nanotechnologies pour les produits du futur	28
B.3 – Axe 6 : Capteurs, Instrumentation.....	30
B.3 – Axe 7 : Chimie : analyse, théorie, modélisation	30
B.4 - Les recherches à mener pour répondre au défi : Vie, Santé et Bien-être	32
Introduction	32
B.4 – Axe 1 : Approches biochimiques et structurales.....	33

B.4 – Axe 2 : Génétique, Génomique et ARN	33
B.4 – Axe 3 : Biologie cellulaire, Biologie du développement et Evolution.....	34
B.4 – Axe 4 : Physiologie et Physiopathologie.....	34
B.4 – Axe 5 : Immunologie, infectiologie et Inflammation	35
B.4 – Axe 6 : Neurosciences moléculaires et cellulaires / Neurosciences du développement / Neurosciences intégratives	35
B.4 – Axe 7 : Recherche translationnelle en santé.....	36
B.4 – Axe 8 : Innovation médicale (nanotechnologies, médecine régénérative, thérapies et vaccins innovants, méthodes diagnostiques et biomarqueurs)	37
B.4 – Axe 9 : Technologies pour la santé	37
B.5 - Les recherches à mener pour répondre au défi : Sécurité Alimentaire et Défi Démographique : ressources biologiques, exploitation durable des écosystèmes et bioéconomie.	38
Introduction	38
B.5 – Axe 1 : Biologie des animaux, des organismes photosynthétiques, des microorganismes d'intérêt pour les ressources biologiques et leurs modèles dédiés.	39
B.5 – Axe 2 : Biologie de la nutrition, alimentation, systèmes alimentaires sains et durables, et sécurité alimentaire mondiale	40
B.6 - Les recherches à mener pour répondre au défi : Mobilité et systèmes urbains durables.....	44
Introduction	44
B.7 - Les recherches à mener pour répondre au défi : Société de l'information et de la communication.....	52
Introduction	52
B.7 – Axe 1 : Socle Fondements du numérique.....	53
B.7 – Axe 2 : Sciences et technologies logicielles	55
B.7 – Axe 3 : Interaction, Robotique - Intelligence Artificielle.....	55
B.7 – Axe 4 : Données, Connaissances, Big Data, Contenus multimédias – Intelligence Artificielle.....	57
B.7 – Axe 5 : Simulation numérique intensive pour comprendre, pour optimiser, pour décider.....	58
B.7 – Axe 6 : Infrastructures de communication hautes performances (réseau, calcul et stockage)	60
B.7 – Axe 7 : Micro et nanotechnologies pour le traitement de l'information et la communication	62

B.8 - Les recherches à mener pour répondre au défi : Sociétés innovantes, intégrantes et adaptatives.....	64
Introduction	64
B.8 – Axe 1 : Innovation sociale et progrès	64
B.8 – Axe 2 : Inégalités, discriminations, migrations, radicalisations.....	65
B.8 – Axe 3 : Mutations du travail et de l’emploi.....	67
B.8 – Axe 4 : Cognition, Éducation, Formation tout au long de la vie.....	68
B.8 – Axe 5 : Cultures, création, patrimoines.....	69
B.9 - Les recherches à mener pour répondre au défi : Liberté et sécurité de l’Europe, de ses citoyens et de ses résidents.....	72
Introduction	72
B.9 – Axe 1 – sous-axe 1.1 : Recherches fondamentales en lien avec le défi.....	72
B.10 - Les recherches situées hors du cadre d’un défi de société.....	80
B10 Axe 1 : Mathématiques (Axe hors-défi).....	80
B10 Axe 2 : Physique de la matière condensée et de la matière diluée (Axe hors-défi)	80
B10 Axe 3 : Physique subatomique, sciences de l’Univers, structure et histoire de la Terre (Axe hors défi)	80
B.11 - Les recherches à mener en appui de grands enjeux transverses.....	82
B.11 Axe 1 : Mathématique, informatique, automatique, traitement du signal pour répondre aux défis de la biologie et de la santé	82
B11 Axe 2 : Santé Publique.....	83
B11 Axe 3 : Bioéconomie : technologies (chimie, biotechnologie, procédés) spécifiques et approches système	83
B11 Axe 4 : La Révolution numérique : rapport au savoir et à la culture	85
B11 Axe 5 : Dynamiques des écosystèmes et de leurs composants en vue de leur gestion durable.....	87
B11 Axe 6 : Contaminants, écosystèmes et santé.....	89
B11 Axe 7 : Santé – environnement comprenant le concept « One Health », pathogènes et maladies infectieuses émergentes ou ré-émergentes, résistance aux antimicrobiens	90
B11 Axe 8 : Interactions Homme - environnement : sociétés, changements climatiques, développement durable des territoires, sécurité alimentaire	90

B.1 - Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique : vers une compréhension du changement global.

Introduction

Dans un contexte marqué par l'augmentation de la population mondiale et le renouvellement accéléré des besoins en termes d'énergie, de matières premières, de produits et de services, les changements environnementaux prennent une acuité renforcée, du niveau du paysage à celui de la planète (climat, érosion de la biodiversité, dégradation des sols, pollution de l'air et des eaux, etc.). Cette nouvelle ère, dite Anthropocène, impose la nécessité d'une gestion intégrée des environnements et des trajectoires de développement des sociétés humaines dans leurs diversités.

Il est donc nécessaire de développer des connaissances fondamentales sur les processus à l'origine des changements et d'appréhender leurs conséquences locales ou régionales sur les ressources et les écosystèmes, les sociétés et les activités humaines, notamment celles qui reposent sur les services écosystémiques. Sont également attendues des recherches sur les innovations sociales, y compris juridiques et économiques, politiques et technologiques pour éviter ou réduire les impacts, compenser ou réhabiliter les milieux, et s'adapter aux nouvelles contraintes et opportunités. Ce défi contribue aux grandes initiatives internationales du domaine ([GEO](#), [Future Earth](#), [GFCS](#), [IPCC](#), [IPBES](#), [SDG](#)...) et est soutenu par des appels internationaux du [Belmont Forum](#). L'ensemble de ces recherches s'inscrit résolument dans le contexte de l'accord de Paris conclu fin 2015 dans le cadre de la COP21, premier accord universel sur le climat. Le constat des menaces qui pèsent sur le bien-être humain, et le besoin d'élaborer les modalités d'application de l'accord de Paris posent des questions de recherche nouvelles qui s'adressent aux deux axes mentionnés ci-dessous ainsi qu'à des axes partagés avec d'autres défis (cf § B.11).

B.1 - Axe 1 : Connaissances fondamentales sur les milieux naturels et la biodiversité

B.1 - Axe 1 - Sous-axe 1.1. : Terre fluide et solide.

Fonctionnement et évolution du climat, des océans et des grands cycles

Le domaine du climat touche l'ensemble des compartiments du système Terre : l'atmosphère, les océans, la cryosphère, et les surfaces continentales qui sont en interactions étroites avec la biosphère et les sociétés humaines. Les enjeux sont de (i) mieux comprendre, représenter les processus, mieux caractériser et réduire les biais et incertitudes des modèles (gaz-aérosols-nuages, circulations océaniques, couplage océan-atmosphère, biogéochimie marine, flux et mécanismes dissipatifs, phénomènes non linéaires ou chaotiques, emboîtements d'échelles et d'espaces, télé-connexions, interfaces entre les milieux, grands cycles de l'eau, du carbone, de l'azote, du phosphore ...); (ii) comprendre les mécanismes sous-jacents de la sensibilité climatique, en particulier pour identifier les points de rupture ; (iii) mieux connaître l'incertitude sur la sensibilité du système naturel et viser à la réduire en s'appuyant sur les données d'observation ; (iv) prédire à l'échelle régionale le changement climatique et en quantifier les impacts pour un large éventail de scénarios d'augmentation de la température moyenne globale (de 1,5°C à 4°C à l'horizon 2100). Par ailleurs, le comportement du système en phase d'émission négative de gaz à effet de serre demande aussi à être étudié.

Des études sur les processus de transferts d'énergie, de matières, de polluants, au sein des domaines côtiers et littoraux et à leurs interfaces avec l'océan hauturier, le continent et l'atmosphère sont encouragées afin de débloquent les verrous qui freinent la capacité à modéliser ces domaines au sein du continuum Terre-Mer et leurs réponses (y compris futures) aux pressions anthropiques.

Le réchauffement climatique, chaotique et marqué d'événements extrêmes, conduit à s'interroger sur la variabilité naturelle et sur la séparation des signaux naturels et anthropiques. Sur ce dernier point, il serait opportun de développer des études en termes de bilan énergétique terrestre qui, actuellement en déséquilibre, est un indicateur pertinent et efficace de l'état du changement climatique ainsi que des interactions entre les sous-systèmes (en développant et en s'appuyant sur des réseaux intégrés d'observations ainsi que sur la modélisation des interactions, y compris sur les derniers millénaires ou sur des périodes anciennes). Tirer parti de grandes ré-analyses mondiales du système Terre sur les dernières décennies voire siècles est encouragé pour une meilleure compréhension des modes de variabilités régionales et des extrêmes associés et de leur prévisibilité.

Les échelles saisonnières à décennales s'avèrent indispensables à la prise de décision sur l'adaptation. Parallèlement, les travaux sur la descente d'échelle spatiale en lien avec les projections climatiques sont attendus pour permettre de mieux décrire l'évolution des phénomènes à fort impact, d'aborder la problématique du climat urbain, de mieux prendre en compte l'hétérogénéité des états de surface et de l'occupation des terres dans l'établissement de propositions d'adaptation. Des études sont aussi encouragées sur les méthodes de détection/attribution du changement climatique et notamment l'occurrence des événements extrêmes passés, actuels et futurs ; l'examen des effets des forçages anthropiques différenciés (gaz à effet de serre, aérosols, usage des sols...) reste également un défi à relever.

Caractérisation, dynamiques et fonctionnements de la zone critique et de la biosphère associée

La zone critique s'étend de la basse atmosphère aux aquifères et comprend un ensemble d'écosystèmes interdépendants qui concentrent des ressources critiques telles que l'air, la biosphère visible et invisible, le sol, l'eau de surface et souterraine. Elle assure de multiples fonctions de ces écosystèmes : transferts de matières biotiques et abiotiques, cycles biogéochimiques (C, N, P...) et de nombreux services : régulation du climat (dont gaz à effets de serre et séquestration du carbone), approvisionnement (aliments, fibres, bois...), et préservation et renouvellement des ressources (eau, fertilité et protection des sols, biodiversité liée au sol et à l'eau...).

Des travaux sont attendus sur (i) les interactions/rétroactions biotiques et abiotiques entre sol, eau, atmosphère, végétation, autres organismes vivants et activités humaines, (ii) le couplage des cycles biogéochimiques des éléments majeurs, mineurs, traces et contaminants, (iii) les transferts d'énergie et de matières (transports solides, en suspension, ou en solution...) et (iv) la formation et/ou l'évolution des composantes de la zone critique (sols, aquifères, versants...), le rôle des interfaces (écotones, zones hyporhéiques, zones humides, zones littorales...).

Un effort particulier doit être porté sur les questions du transfert d'échelles spatiales (connectivités, propriétés émergentes...) et temporelles (constantes de temps, effets seuils, scénarisations, ...). A cet égard, le développement de nouvelles démarches,

méthodes et technologies est encouragé pour mieux identifier et prendre en compte la variabilité des propriétés et des fonctionnements des différentes composantes de la zone critique.

Comprendre l'état et la dynamique des hydro- et écosystèmes aquatiques continentaux et l'écodynamique des substances doit contribuer à réduire les aléas (crues, étiages, sécheresse ...) et risques (pertes du bon état physique, chimique, et/ou écologique). Il convient ici de bien définir ce qu'est un bon état et comment il se mesure : cela sous-entend de passer d'indicateurs statiques à des indicateurs fonctionnels et dynamiques.

En cernant mieux les temps de réponses et les résiliences de ses composantes face à des perturbations, l'enjeu est d'identifier, quantifier, analyser et modéliser la réponse de la zone critique aux pressions multiples des changements globaux, qu'ils soient liés au climat, aux changements d'utilisation des terres et/ou autres activités humaines, par une approche systémique et interdisciplinaire, en s'appuyant notamment sur des dispositifs d'observation et d'expérimentation long terme.

Connaissance des ressources minérales : gisements et impacts environnementaux

Les ressources minérales restent essentielles pour l'activité industrielle et le développement des nouvelles technologies, particulièrement celles de l'électronique et du numérique, du transport et des énergies renouvelables (les ressources énergétiques relèvent du défi « Une énergie sûre, propre et efficace »).

Même généralisé et optimisé, le recyclage ne suffira pas à couvrir les besoins croissants. Il est nécessaire d'optimiser l'exploitation des gisements connus, mais également de rechercher de nouveaux gîtes de matières premières et notamment de métaux critiques. De nouvelles connaissances sont nécessaires sur les gîtes et gisements terrestres ou marins dans leur contexte géologique et environnemental. Les gîtes miniers et les exploitations minières induisent des impacts sur le milieu naturel et la biodiversité, sur les ressources et les populations humaines. Evaluer ces impacts sur les courts et longs termes reste un défi majeur. Il importe parallèlement de développer des stratégies d'exploitation permettant de réduire significativement ces impacts, et d'assurer la reconstruction d'écosystèmes durables après exploitation. L'observation, la compréhension et la modélisation intégrée des processus en jeu dans l'environnement minier durant les phases d'exploration, d'exploitation et/ou d'après-mine nécessitent de nouvelles approches.

Le développement de nouvelles recherches, méthodes et technologies est indispensable pour progresser dans la compréhension des processus régissant la genèse des gisements et des minéralisations. Depuis l'analyse de terrain jusqu'à l'extraction des substances utiles, il est nécessaire de connaître la dynamique spatiale et temporelle des gisements depuis le transfert de fluides minéralisateurs complexes jusqu'aux structures favorables à des accumulations, et leurs déformations successives. Ces voies sont incontournables pour localiser ces ressources, évaluer leur potentiel et identifier précocement les impacts sur les milieux naturels (sol, eau, ...) et mieux comprendre et modéliser les impacts environnementaux sur le long terme (suivi minier et post-minier).

B.1 – Axe 1 - Sous-axe 1.2. : Terre vivante.

Exploration de la biodiversité et analyse de l'écologie, de l'évolution et de la dynamique des espèces, des populations et des communautés

Il convient d'intensifier l'exploration des branches méconnues de la biodiversité, notamment celles associées aux milieux peu ou pas anthropisés, et l'analyse des mécanismes qui expliquent l'origine, le maintien et l'évolution de la diversité biologique dans toutes ses dimensions, y compris génétique, phénotypique et fonctionnelle, à l'aide du canevas conceptuel fourni par la biologie évolutive et l'écologie scientifique.

Les recherches attendues incluent le développement de connaissances sur la diversité biologique, la systématique, l'histoire évolutive des organismes, en particulier dans les régions et les systèmes écologiques riches en biodiversité, y compris les sols, et les mécanismes, ainsi que les interactions entre les dynamiques écologiques et évolutives qui sous-tendent les processus de divergence et de convergence des génomes, des espèces, et des populations.

Les recherches attendues portent également sur la dynamique des espèces, des populations et des cortèges d'espèces dans leur écosystème et sur l'évolution des personnalités et des comportements en interaction avec le milieu et les usages anthropiques. Une attention particulière sera portée à une meilleure compréhension de la vulnérabilité et des réponses des organismes aux différentes pressions du changement global : suivi à long terme de populations ou d'espèces en relation avec le milieu et les usages anthropiques, rôle des associations entre macro- et micro-organismes, animaux et végétaux, dans le fonctionnement des écosystèmes et leur résilience (prise en compte du microbiome et du concept d'holobionte), capacité de réponses des organismes aux changements de leur environnement à l'échelle infra-spécifique, dynamique à long terme des peuplements, des populations, et des espèces en incluant les périodes anciennes, si elles peuvent aider à comprendre les changements actuels de l'environnement, la capacité d'adaptation ou d'évolution d'un système écologique en fonction de la diversité taxonomique et phylogénétique.

N.B. : Bien que le contexte d'analyse soit écosystémique, les travaux sont limités aux écosystèmes non anthropisés. Un axe transverse est dédié à la dynamique des écosystèmes de production

B.1 – Axe 2 : Innovations scientifiques et technologiques pour accompagner la transition écologique

Cet axe répond à des enjeux d'identification et d'atténuation des causes et / ou d'adaptation aux changements environnementaux et impacts, mais aussi à des enjeux curatifs (remédiation) ou préventifs par réduction des risques associés (l'économie circulaire, associée aux nouvelles filières industrielles, relève du défi « Stimuler le renouveau industriel » ou de l'axe bioéconomie). Pour éviter, réduire ou compenser les risques environnementaux, les recherches devront prendre en compte les niveaux d'incertitude existant dans la connaissance de l'environnement et des écosystèmes. Les partenariats publics-privés sont privilégiés dans cet axe autour des priorités ci-dessous.

Développement de capteurs pour la surveillance de l'environnement (smart monitoring)

L'hétérogénéité du milieu environnemental limite l'apport de la métrologie conventionnelle et l'efficacité de nombreuses solutions de prévention et de protection. De nouvelles générations de capteurs ou détecteurs sont attendues pour alimenter les systèmes d'observation ou de diagnostics.

Sont escomptées des ruptures technologiques, numériques, économiques et

méthodologiques, intégrant l'abaissement des coûts, la miniaturisation, l'autonomie, la sensibilité, la fiabilité et robustesse des capteurs en situation réelle, l'augmentation du flux de données, la mesure *in situ* et/ou en continu, en particulier sur des matrices complexes, des cocktails de polluants ou de contaminants biologiques et des espèces invasives.

Les transferts de technologies sont très attendus grâce aux sciences et technologies de l'information et de communication, aux sciences du vivant et aux géosciences. Tous les milieux sont concernés, par exemple eau, mer, littoral, air, sols, forêts, avec leurs composantes biotiques et abiotiques, pour des applications en environnements naturels ou anthropisés.

Méthodes et outils pour services opérationnels d'alerte et de crise environnementale

Dans le domaine de la prévision, prévention et gestion d'alertes et de crises environnementales, la synergie ou effet « cascade » des risques naturels et/ou anthropiques est fréquemment avérée¹.

Il est attendu des méthodes et outils pour les services opérationnels dédiés à ces risques multiples, pour l'ensemble des milieux, intégrant les outils de modélisation, d'assimilation et de visualisation de données. Ces avancées doivent permettre de maîtriser des informations multi-sources, à flux élevés, en temps réel ou quasi-réel et de les intégrer dans les modèles prédictifs. L'objectif final est de mieux évaluer les impacts, cerner les mécanismes et les conditions d'une mise en alerte, pour une gestion des risques ou de crise efficace.

Des propositions de systèmes prévisionnels intégrés produisant des informations et des scénarios selon les origines possibles d'une crise ou catastrophe, d'une succession de pressions et/ou d'une application simultanée sont encouragées, le couplage de plusieurs systèmes d'alerte sera concerté en lien avec les acteurs et utilisateurs concernés.

Méthodes et technologies de remédiation durable, génie écologique et ingénierie climatique

En matière de remédiation, la priorité est donnée à la restauration de la qualité des sols, des sédiments, de la biodiversité, de l'eau, et leurs services, et à l'ingénierie climatique. Il s'agit de faire évoluer le concept de « traitement curatif » vers des concepts plus systémiques de remédiation durable tels que l'autoréparation des écosystèmes et d'instaurer des stratégies intégrées traitant les besoins primaires tout en répondant aux besoins sociétaux. La solution projetée devra intégrer un socle méthodologique fondé sur des outils comme l'analyse du cycle de vie ou d'autres formes d'analyse coût-bénéfices. L'insertion de trains de technologies sera centrée sur la capacité des matières ou produits à être recyclés.

Pour les sites et sols pollués, il est attendu des procédés nouveaux ou des combinaisons de traitement (ingénierie pédo-génétique, reconstruction de sols...)

Dans le domaine de l'eau, seront privilégiés des projets de rupture intégrant i) une prise en compte des polluants émergents et de leurs métabolites, ii) une valorisation des

¹ Pollutions chroniques et accidentelles, de produits toxiques et d'allergènes, eutrophisation, invasions d'espèces, érosion de la biodiversité, crues & surcotes, érosion littorale, mouvements de terrain, éruptions, séismes, tempêtes, feux, sécheresses, étiage naturel ou induit, surexploitation de l'eau, ...

effluents (phosphore, azote, métaux, ...), et iii) une production accrue d'énergie.

Dans le domaine du milieu marin, le programme doit aider à : i) développer des stratégies nouvelles de conception ou d'éco-conception dans les ouvrages et infrastructures maritimes, ii) des expérimentations de restauration écologique sur différents sites ateliers (notamment milieux sensibles, intertropicaux).

En matière de génie écologique, les priorités s'appuieront sur des solutions inspirées par la Nature et pour la préservation des écosystèmes en bon état écologique. Les protocoles de suivi des solutions et l'intégration aux filières existantes seront à privilégier.

Dans le domaine du climat, le programme vise à développer une expertise française en ingénierie climatique notamment sur i) la gestion du rayonnement solaire et ses impacts, ii) le captage du CO₂ atmosphérique ou la séquestration du CO₂ dans les océans. Pour l'ensemble des techniques envisagées, une réflexion environnementale, éthique et politique est attendue sur les risques associés et sur la gouvernance des solutions envisagées.

Vers l'impact environnemental réduit et maîtrisé de nouvelles filières économiques

Les nouvelles filières économiques (industrielles, énergétiques, agricoles, minières incluant le stockage) liées à la transition écologique doivent s'engager sur une exploitation écologiquement respectueuse des ressources naturelles, offrir un faible impact environnemental, voire un impact positif, en veillant à maximiser les bénéfices socio-économiques. Dans le contexte de développement de ces nouvelles filières, des recherches spécifiques doivent être conduites pour analyser, minimiser et prévenir l'impact potentiel et les risques environnementaux et socio-économiques et en dégager les recommandations spécifiques aux filières économiques. Il s'agit par exemple de développer des processus bio- et géo-inspirés (à des fins de production de matières premières, d'énergie ou de matériaux, à des fins d'épuration ou à des fins de stockage de carbone, énergie, ...), d'apprécier la synergie territoriale en vue d'une efficacité accrue de l'utilisation des ressources (eau, énergie, matières premières, sols) par des outils d'écologie industrielle, d'élaborer des scénarios de pressions et d'impacts potentiels de ces nouvelles filières sur l'environnement et la santé, de faciliter la numérisation de ces filières, d'anticiper et identifier des points clés d'une surveillance des impacts de ces filières, et d'un suivi conjoint des bénéfices et des risques à l'échelle sectorielle ou territoriale.

B.2 - Les recherches à mener pour répondre au défi : Energie propre, sûre et efficace

Introduction

A travers ce défi, l'ANR a pour ambition de mobiliser les meilleures compétences scientifiques et technologiques nécessaires pour répondre aux enjeux de la transition énergétique au niveau national (et, plus globalement, au niveau mondial) et contribuer à la construction du futur bouquet énergétique dans la perspective du Facteur 4 à l'horizon 2050. Il contribue à la SNR dans ce domaine ainsi qu'à la récente Stratégie Nationale de Recherche sur l'Énergie (SNRE), validée par un [arrêté du 21 décembre 2016](#) des ministres chargés de l'énergie et de la recherche, et à l'engagement français de doublement des financements publics de la R&D dans les domaines des énergies propres, pris lors de la COP21 fin 2015 (voir le site de la [Mission Innovation](#)²).

Six grands objectifs sont visés :

- Promouvoir les approches **systemiques, intégratives** et, en général **pluridisciplinaires** que requièrent souvent les enjeux de l'énergie ; si les sciences humaines et sociales ont un sous-axe spécifique (sous-axe 1.7), leurs capacités de travail en interdisciplinarité appellent à soutenir aussi leur déploiement sur les autres sous-axes, plus technologiques, du défi ;
- Mobiliser toutes les disciplines scientifiques (sciences de la matière, des sciences de l'ingénieur, des sciences de la Terre, des sciences du vivant, des mathématiques et des sciences de l'information et de la communication ou des sciences humaines et sociales) pouvant produire les **connaissances fondamentales** utiles à la transition énergétique ; ces travaux de recherche amont peuvent s'inscrire dans le cadre du sous-axe 1.1 mais doivent aussi nourrir les enjeux thématiques décrits dans les autres sous-axes ;
- Faire émerger et permettre l'**exploration** d'idées radicalement nouvelles et de **concepts en rupture** par rapport aux paradigmes existants (voir le sous-axe 1.1) ;
- Concevoir des **matériaux, méthodes et procédés** qui seront mis en œuvre dans les technologies de l'énergie ; on vise à soutenir un large éventail de travaux sur les **matériaux pour l'énergie**, allant de la recherche et du design de matériaux possédant des propriétés nécessaires aux applications visées jusqu'à leur intégration dans des systèmes fonctionnels ;
- Donner des **preuves de concept technologique**, pouvant aller jusqu'à l'élaboration de dispositifs expérimentaux de laboratoire ou intégrés à des sites d'expérimentation existants. Le périmètre de ce défi se limite toutefois à des niveaux relativement amont (Technology Readiness Level de 1 à 5), en complémentarité avec d'autres guichets de financement de la R&D positionnés sur des phases plus avales, aux niveaux national (ADEME, BPIFrance...) et européen (Horizon 2020). Cependant, on encourage les porteurs de ce type de projets, même lorsqu'ils portent sur des phases de recherche amont, à se poser des questions autour des conditions et contraintes d'usage, de la durée de vie, des coûts, d'un moindre recours ou de recherche de substituts à des matières premières rares ou

² <http://www.mission-innovation.net/participating-countries/france/>

toxiques... ;

- Promouvoir les apports des **sciences humaines et sociales** pour contribuer aux débats sur la transition énergétique et caractériser la façon dont des choix sociétaux sont effectués au travers du déploiement des technologies de l'énergie. Les sciences humaines et sociales, par la pluralité de leurs concepts et de leurs méthodes, sont appelées à dépasser une approche sectorielle des technologies et à aborder les dimensions systémiques des innovations ainsi que leurs impacts.

Outre le premier sous-axe, dédié à la production de connaissances de base et aux concepts en rupture et le sous-axe 7, qui fédère les contributions des sciences humaines et sociales, les autres sous-axes couvrent les enjeux de l'énergie en allant du captage des ressources primaires jusqu'à l'utilisation finale, notamment dans le domaine industriel, en passant par les voies de conversion entre vecteurs énergétiques, stockage et distribution. Chaque sous-axe comprend les recherches visant à acquérir des connaissances fondamentales en relation avec la thématique concernée.

B.2 - Axe 1 - sous-axe 1.1 : Recherches fondamentales, exploratoires, concepts en rupture

Orienté vers la production de connaissances de base et l'exploration de concepts en rupture, ce sous-axe vise aussi à attirer de nouvelles communautés vers les enjeux de l'énergie et à favoriser de nouveaux partenariats. Il est transversal aux autres sous-axes thématiques du défi « Une énergie propre ; sûre et efficace »..

Socle de connaissances et recherche fondamentale d'intérêt pour l'énergie

Les enjeux à long terme de l'énergie nécessitent de produire un **socle de connaissances fondamentales** et de consolider des compétences scientifiques, qu'elles relèvent des sciences de la matière (physique, chimie...), des sciences de l'ingénieur (mécanique, thermique, procédés...), des sciences de la Terre, des sciences du vivant, des mathématiques et des sciences de l'information et de la communication (modélisation, simulation, algorithmique, contrôle, automatique...) ou des sciences humaines et sociales. Ce sous-axe vise à soutenir des **recherches amont, orientées par des applications à moyen-long terme dans le domaine de l'énergie** et qui pourront constituer les fondations de technologies du futur.

La recherche interdisciplinaire est naturellement encouragée, étant donné le caractère complexe des problématiques pouvant relever de ce défi.

Concepts en rupture et preuves de concept

Ce sous-axe vise à susciter des projets voulant explorer des **idées ou approches radicalement nouvelles et des concepts en rupture** par rapport à des travaux de recherche plus incrémentaux et scientifiquement mieux balisés. Ces ruptures peuvent s'inscrire dans le cadre du développement de domaines déjà identifiés ou chercher à créer un champ de recherche nouveau. Les propositions devront argumenter en quoi elles ne se reconnaissent pas dans concepts mieux balisés.

B.2 - Axe 1 - sous-axe 1.2 : Captage des énergies renouvelables, récupération des énergies de l'environnement

Conformément aux conclusions de la SNR, l'attention des chercheurs est attirée sur la nécessité d'une baisse des coûts et d'une augmentation des rendements de conversion

des énergies produites à partir des ressources renouvelables, qui facilitera le développement des énergies renouvelables et augmentera leur taux de pénétration dans le mix énergétique, et de réduire, voire d'éliminer le recours à des matériaux stratégiques (Terres rares, Pt...) pour ces technologies.

La ressource solaire

Compte-tenu de l'abondance de la ressource énergétique solaire, différentes voies de récupération et utilisation de cette énergie demandent à être développées :

- La production directe d'électricité, via le photovoltaïque (qu'il soit à base de semi-conducteurs inorganiques, organiques ou hybridés éventuellement combinés en multi-jonctions ainsi que la concentration solaire et les concepts à très hauts rendements). Sont également visées les technologies de fabrication des modules ;
- La production de chaleur, basse (**solaire thermique**) ou haute température (**solaire thermodynamique concentré**) pour chauffer directement ou pour produire du froid, de l'électricité ou de l'hydrogène ;
- La production de **fuels solaires**, par **photo-électrolyse**, éventuellement combinée à la **photo-catalyse du CO₂** pour produire des hydrocarbures de synthèse ; l'exploration de voies biomimétiques ou bioinspirées est bienvenue.

Autres ressources renouvelables (air, eau) et récupération des énergies de l'environnement

Les milieux naturels ainsi que certaines activités humaines (chaleurs fatales...) offrent d'autres ressources énergétiques dont l'exploitation pourra conduire à diversifier et compléter le mix énergétique ou à produire de l'énergie pour des applications ciblées : flux aéraulique, hydraulique, de chaleur, gradients thermiques, de pression, vibrations, déchets organiques... Au-delà des technologies arrivées au stade de démonstrateur, le captage de ces ressources nécessite encore des travaux de recherche qui permettront d'ouvrir la voie à des technologies innovantes économiquement viables à moyen et long termes, tant pour les énergies renouvelables (**éolien, hydraulique, énergies marines**) que pour la récupération (*energy harvesting*) et la valorisation d'énergies diffuses (**biopiles à combustible, thermoélectricité, piézoélectricité...**).

B.2 - Axe 1 - sous-axe 1.3 : Usage du sous-sol dans une perspective énergétique

Alors qu'il produit une large part de nos ressources actuelles en énergie, le sous-sol reste un milieu encore insuffisamment exploré et connu. Un usage raisonné, optimisé et durable du sous-sol contribuera à l'atteinte de certains des objectifs de la LTECV du 18 août 2015. Des recherches sont nécessaires, tant pour l'extraction de ressources énergétiques clés que pour l'utilisation de ses capacités de stockage. Elles devront viser l'acquisition de connaissances et le développement d'outils, de méthodes (modélisation multi-échelles en particulier) et technologies permettant un usage du sous-sol et une exploitation de ses ressources, compétitifs et à faible impact environnemental, trouvant une place dans le mix énergétique futur.

Ces recherches doivent mobiliser les diverses composantes des sciences de la Terre (géologie, géochimie, géophysique, géo-mécanique, géothermique...) ainsi que d'autres disciplines (technologies du numérique notamment). Des avancées sont attendues, tant sur le contexte et la caractérisation géologiques que sur la faisabilité technique, les rendements et la sécurisation à long terme, impliquant des recherches sur le suivi des sites et la gestion des risques environnementaux (stratégies de surveillance...).

Ces travaux pourront concerner le confortement ou le développement de nouvelles filières comme :

- La **géothermie** pour la production de chaleur, froid ou d'électricité, étendue à des périmètres géographiques plus larges (diversification des sources exploitées) et son rôle dans les procédés de stockage thermique ;
- Le **stockage souterrain de CO₂** ;
- Les stockages souterrains des énergies : **stockage de chaleur, CAES, stockage d'hydrogène, nouveaux concepts de stockage en souterrain** ;
- L'exploitation de l'**hydrogène natif**.

Mais aussi viser à rendre des filières plus matures davantage respectueuses de l'environnement :

- Un **nucléaire** plus sûr, en accroissant la sûreté des stockages de déchets radioactifs ;
- et une exploitation « responsable » des **hydrocarbures** (efficacité, en termes de consommation d'énergie et de ressources, réduction de leur impact en termes de rejets) ;

Le développement d'un **socle de connaissances transversales**, et ressources de méthodologies d'exploration et d'évaluation des caractéristiques et du potentiel du sous-sol dans l'objectif d'un stockage ou de l'extraction de ressources énergétiques bénéficiera à l'ensemble des filières.

B.2 - Axe 1 - sous-axe 1.4 : Conversion des ressources primaires en carburants et molécules plateforme, chimie du carbone

Les hydrocarbures, biosourcés ou non, joueront encore longtemps un rôle important dans le mix énergétique futur, ne serait-ce que comme mode de stockage à grande densité énergétique et longue durée. Un enjeu important est de réduire les émissions de CO₂ que la production, les transformations et l'utilisation de ces génèrent.

Bioénergies

Dans ce défi, sont attendues des recherches tant sur la **production de bioressources** destinées essentiellement aux applications énergétiques que sur les différentes **voies de transformation** (biologiques, thermo ou physico-chimiques, hybridation de procédés...) des bioressources en **vecteurs énergétiques**. Ces thématiques sont décrites de manière plus détaillée et replacées dans le contexte plus large du développement de la bioéconomie et des usages variés de la biomasse, objet d'un axe conjoint associé aux défis « Une énergie propre, sûre et efficace », « Stimuler le renouveau industriel » et « Sécurité alimentaire et défi démographique » auxquels ce sous-axe « bioénergies » se rattache.

Valorisation du CO₂

Les différentes voies de **transformation du CO₂, particulièrement du CO₂ fossile capté**, pour la **production d'hydrocarbures**, notamment comme mode de stockage des énergies intermittentes, et/ou fourniture de molécules carbonées pour la chimie, sont également à explorer et à développer.

Des recherches sont particulièrement attendues sur la production d'**hydrocarbures de synthèse**, en particulier pour des secteurs sans autre alternative actuelle que le pétrole (aéronautique par exemple).

B.2 - Axe 1 - sous-axe 1.5 : Gestion dynamique des systèmes énergétiques : stockages, réseaux, vecteurs

Une part importante des énergies renouvelables est intermittente par nature et leur production est déconcentrée : il faut être en mesure de garantir leur transport et leur distribution par les réseaux dans **des conditions optimales et d'apporter des solutions de stockage de l'énergie** permettant de pallier le décalage entre les besoins et la production. De plus, le développement de dispositifs de stockage embarqués devrait réduire la dépendance des transports aux énergies fossiles.

Hydrogène et piles à combustible

L'**hydrogène** pourra constituer un moyen de stockage massif d'énergie. Il devra toutefois être produit en minimisant les rejets de CO₂ fossile dans l'atmosphère (par **électrolyse** ou **thermolyse de l'eau** notamment). Parallèlement, des recherches restent nécessaires pour permettre le développement **des piles à combustible et des moyens de stockage de l'hydrogène**, où des travaux sont encore requis sur les matériaux et les structures adaptés au stockage solide.

Stockages de l'énergie

Si certains types de stockage sont déjà matures, d'autres disposent de marges de progrès majeures voire nécessitent encore des travaux de recherche fondamentaux pour émerger :

- Le stockage dans les **accumulateurs électrochimiques**, tant pour le stockage stationnaire que pour des applications embarquées et nomades, doit améliorer ses densités d'énergie et ses puissances spécifiques ainsi que sa fiabilité, sa sécurité et son bilan environnemental, tout en réduisant ses coûts ; le stockage dans les **supercapacités** demande aussi des recherches pour améliorer la densité d'énergie et la sécurité ;
- D'autres types de **stockage** pour **stocker massivement l'électricité ou la chaleur** ;
- De **nouveaux concepts de stockage/gestion de l'énergie**, en lien avec l'**autoproduction**, l'**autoconsommation** et le découplage partiel du réseau ou par addition d'une nouvelle fonctionnalité à un système existant (par exemple, les batteries des véhicules électriques, les ballons d'eau chaude sanitaire) peuvent être explorés ;

Transport, distribution, gestion et autoconsommation de l'énergie

Il est important de travailler sur les éléments qui permettent l'intégration dans les réseaux et la gestion de l'énergie électrique, pour le stationnaire et l'embarqué : **génie électrique, électronique de puissance, machines électriques** (actionneurs et générateurs), dont l'efficacité repose sur des matériaux à très hautes performances (matériaux magnétiques, diélectriques, électromagnétiques...).

Le développement de sources énergétiques davantage distribuées spatialement et intermittentes et de moyens de stockage invite à travailler sur les concepts de **réseaux énergétiques intelligents**, à différentes échelles spatiales, destinés à assurer une optimisation en temps réel du système énergétique. Des recherches, faisant notamment appel aux sciences de l'information et de la communication, sont attendues sur :

- Le pilotage des réseaux, intégrant la prédiction spatio-temporelle du productible

des énergies renouvelables et des appels de puissance ; dans cette perspective, le développement de micro-réseaux, de la consommation locale (dont l'autoconsommation) et la conception d'usages en mode flexible (notamment pour des procédés industriels), délestables ou effaçables devraient être considérés ;

- La dynamique de pilotage de charge du parc électronucléaire pour compenser au mieux l'intermittence des énergies solaires et éoliennes et limiter les besoins en stockage d'électricité ;
- La sûreté (résilience et fiabilité) et la sécurité intrinsèque (« *by design* ») des réseaux ;
- L'interopérabilité des réseaux d'énergie (électricité, différents gaz, chaleur...).

B.2 - Axe 1 sous-axe 1.6 : Equipements et procédés industriels économes en énergie, captage du CO₂

Des économies d'énergie substantielles et une plus grande efficacité dans l'utilisation de l'énergie peuvent être obtenues en travaillant directement sur les **procédés spécifiques des industries manufacturières** (réduction des besoins énergétiques de procédés de production existants ou recherche de procédés alternatifs plus économes en énergie ou en émissions de CO₂) et de **production d'énergie** (amélioration des rendements de conversion, réduction des pertes, récupération d'énergie).

Il convient aussi de traiter les **équipements et systèmes auxiliaires** (pompes, systèmes de production de chaud ou de froid, ventilation...). Ces recherches doivent tenir compte des contraintes environnementales (conditions extrêmes, contraintes mécaniques, encrassement, corrosion...), mais aussi d'usage (fiabilité, robustesse, facilité d'utilisation, retour sur investissement...).

Un enjeu majeur de l'efficacité énergétique est de travailler sur des méthodes et procédés de récupération, de transport et de valorisation de la chaleur, dont la **chaleur fatale**, soit par des **dispositifs thermodynamiques** (échangeurs thermiques, pompes à chaleur, ORC...), soit par des **dispositifs mettant en œuvre des matériaux** (MCP, absorbeurs de chaleur...).

Au-delà de la recherche d'une plus grande efficacité énergétique, la « décarbonation » de l'énergie devra s'appuyer sur l'augmentation de la part d'électricité décarbonée dans les procédés industriels (par exemple, chauffage par induction ou micro-onde) mais aussi sur le développement et l'optimisation de procédés de **combustion** moins émetteurs de gaz à effet de serre, en intégrant notamment le **captage du CO₂**.

B.2 - Axe 1 sous-axe 1.7 : Transition énergétique et sciences humaines et sociales

Au-delà des besoins d'avancées essentiellement techniques décrits dans les axes précédents, se posent aussi des questions qui interpellent les sciences humaines et sociales. En effet, les évolutions attendues en matière de technologies de l'énergie sont indissociables d'enjeux politiques, sociétaux et environnementaux. Par la diversité de leurs concepts et de leurs méthodes, les SHS (aménagement, anthropologie, droit, économie, géographie, histoire, psychologie, sociologie, sciences politiques, urbanisme...) offrent un fort potentiel d'analyses disciplinaires et inter-disciplinaires de ces enjeux et de leurs liens avec les technologies, aux différents étapes des processus d'innovation. En abordant la technologie comme un ensemble ouvert, instable, combinant entités sociales et techniques, elles peuvent contribuer à la compréhension du caractère systémique des processus de transition énergétique, des transformations des jeux d'acteurs et du constant besoin de s'accorder sur ce qui est « prioritaire » et fait « valeur ». Les sujets

proposés ci-après ne sont pas associés à une discipline, mais ils invitent à des dépôts de projet originaux et interdisciplinaires.

Les territoires dans la transition énergétique

L'émergence des politiques climat-énergie, davantage systémiques et ouvertes à des initiatives locales, modifient la question territoriale. Plusieurs thèmes retiennent l'attention : le rôle (leviers ou freins) des **héritages socio-géographiques** sur les trajectoires de transition ; la gouvernance multi-échelles des nouveaux systèmes énergétiques et la redéfinition de l'**espace des politiques énergétiques** ; les processus de **construction de nouvelles ressources** énergétiques territorialisées, les effets redistributifs comme les effets de captation qu'elles peuvent susciter. Ces enjeux suggèrent des **perspectives de recherche internationales**, en Europe et hors-Europe. En France, ces dynamiques territoriales pourront utilement être considérées en rapport avec les éléments de la **Loi de transition énergétique**.

Demandes, usages de l'énergie

Les **politiques de sobriété et d'efficacité énergétiques** constituent des leviers majeurs pour la transition énergétique. Néanmoins, l'infléchissement des **comportements** de consommation et des styles de vie échappent à un pilotage simple. Au-delà de notions parfois normatives, la demande appelle, pour être comprise, à tenir compte de processus systémiques entrecroisant des **dimensions sociales, culturelles, politiques, voire historiques**, dans une mise en acte routinière mais toujours renouvelée des usages de l'énergie. En particulier, il s'agit d'analyser : l'articulation entre les **pratiques sociales** et les **dispositifs de gestion et d'accès à l'énergie** ; la construction de la demande et ses transformations (tendances sociétales et démographiques, émergence du consommateur-producteur-citoyen, pratiques de sobriété énergétique...) ; le rôle des **instruments économiques et non économiques** et leur usage par l'action publique (incitations - notamment non-financières telles que les « nudges » -, quotas, écotaxes...).

Transition énergétique, marchés, réglementation et gouvernance

La gouvernance de la transition est prise entre plusieurs feux (héritages sectoriels, négociations 'climat', renouvellements géopolitiques, libéralisation des marchés, multiplication des parties prenantes ...). L'analyse pourra porter sur les processus/choix, s'agissant de l'élaboration et l'évaluation des instruments (tarifs, quotas échangeables, primes, enchères...), des dynamiques de coûts, du 'design' des marchés et des réseaux, des modèles de filières (économiques, organisationnels, vulnérabilités/résilience), des enjeux liés à l'intégration (équité, sécurité énergétique) de nouvelles formes d'énergies (intermittence, flexibilité, stockage), des nouvelles formes d'accès à l'énergie (production distribuée, réseaux intelligents, solidarités entre territoire) ou offres (kWh différenciés...)... Il s'agit d'évaluer ces options tout autant que les enjeux sociaux, économiques, industriels, environnementaux qui leur sont associés.

Construction des futurs, prospective, modélisation

Les **scénarios** quantifiés, adossés à des **modèles de prospective**, occupent une place croissante dans la définition des politiques énergétiques. En tant qu'acteurs de ces modèles, les SHS sont en charge d'une **meilleure prise en compte du réel** (e.g. comportements, technologies, innovation, inerties technologiques ou financières...), afin d'**éclairer une diversité d'enjeux** (e.g. sécurité énergétique, impacts sociaux, objectifs/moyens de la loi française de transition énergétique...). Elles sont aussi appelées

à mettre en perspective le recours aux **modèles/scénarios** comme **modes de construction des futurs**. Il s'agit alors d'analyser ces modèles, les **mondes sociaux** qui les portent, **les pratiques** qui leur sont associées (fabrication, validation, circulation, rôle/influence dans les processus politiques...).

B.3 - Les recherches à mener pour répondre au défi : Stimuler le renouveau industriel

Introduction

L'industrie française souffre d'une image écornée par les nuisances générées dans l'entreprise ou dans l'environnement. A cela s'ajoutent une compétitivité en baisse et une offre vieillissante, pour les secteurs qui n'ont pas choisi une spécialisation dans des produits innovants et à plus haute valeur ajoutée. L'industrie française doit donc se réinventer et tendre vers une fabrication propre et durable, en favorisant une économie circulaire, et ceci en avance de phase sur ses concurrents. Ceci touche aussi bien les industries existantes qu'il faut accompagner dans leur (r)évolution que des **secteurs industriels à faire émerger** pour servir des besoins nouveaux.

C'est l'objet de ce défi que d'accompagner ce mouvement, en soutenant des projets préparant ces mutations **à moyen et long terme**. Les recherches concerneront des **domaines industriels** larges (par ex. industries manufacturières, industries chimiques ou de procédé, industries agroalimentaires, ...), convoquant un vaste champ de **disciplines scientifiques** (génie industriel, robotique, ergonomie, interfaces hommes/machines, économie, physique, chimie, mécanique, matériaux, génie des procédés, ...), permettant de traiter les **aspects technologiques** et les **aspects humains et sociétaux** associés (organisation du travail, intégration dans le tissu urbain, valorisation du capital humain, nouveaux métiers ...). Ces recherches viseront tous les aspects des industries actuelles ou émergentes, allant de la conception, la fabrication ou l'assemblage des matériaux et objets, à la structure industrielle ou au monde du travail. Cependant, les projets concernant les matériaux développés prioritairement pour le domaine de l'énergie doivent être déposés dans le défi « Une énergie propre, sûre et efficace ».

Il est attendu des résultats de ces recherches un renouveau **à moyen ou long terme** qui conjuguera **innovation, économie et réponse aux attentes fortes de la société**. Aussi, en correspondance avec la priorité "primauté industrielle" et le volet "technologies clés génériques" (KET) du programme Horizon 2020, le défi « Stimuler le renouveau industriel » vise à soutenir des études sur un spectre large de TRL (TRL 1 jusqu'à 4), allant de recherches fondamentales en amont d'applications éventuelles, à des recherches proches de problèmes industriels. A ce titre **les différents axes prendront en compte les projets de recherche fondamentale qui ont vocation à renouveler les approches**.

Le renouveau de l'industrie française passe **par l'accroissement des liens entre les laboratoires académiques et les entreprises**. Il est attendu que ces liens puissent parfois aller jusqu'à un transfert technologique mais aussi qu'ils permettent **un transfert rapide des nouvelles connaissances acquises vers les utilisateurs potentiels**. Les projets pourront donc être de nature expérimentale, théorique, technologique, industrielle et instrumentale pouvant inclure des aspects fondamentaux d'acquisition de connaissances. Il est attendu que les projets se partagent entre des aspects en forte rupture avec l'existant, l'élimination de verrous technologiques sur des procédés nouveaux de production et l'acquisition de nouvelles connaissances sur des thématiques d'intérêt. Les aspects modélisation et simulation peuvent être présents dans des projets répondant aux objectifs définis précédemment ou faire l'objet de projets spécifiques

B.3 - Axe 1 : Usine du futur : Homme, organisation, technologies

Face à la demande de produits plus personnalisés, l'usine du futur organisera une relation flexible et interactive avec ses fournisseurs et sous-traitants. Elle concevra des produits compétitifs de haute qualité et des services. Elle sera sûre, intégrée dans son écosystème local. **Soutenir et amplifier le développement des nouvelles technologies du numérique ou de la fabrication** est un premier axe de rupture : il faut réduire les temps de développement pour répondre à la demande de produits personnalisés et optimisés. **Promouvoir une vision et une organisation systémique de l'usine** s'impose comme un deuxième axe de rupture : il faut un processus de développement agile, intégrant les dimensions cycle de vie et chaîne de valeur, dans lequel le client et les fournisseurs interagissent avec le système industriel. **Centrer l'usine sur l'humain** est le troisième axe de rupture : l'organisation du travail devient plus flexible mais l'Homme reste au centre des opérations. Les possibilités de régulation pouvant diminuer, une solide connaissance des processus humains du travail sera nécessaire pour répondre aux enjeux de production tout en allégeant le travail cognitif et physique. Les projets pourront s'appuyer sur différentes communautés scientifiques : sciences pour l'ingénieur, sciences et technologies de l'information, sciences humaines et sociales. Les projets transversaux prenant en compte les aspects technologiques et humains sont encouragés car ils sont de nature à apporter la rupture significative nécessaire pour concevoir l'usine du futur.

L'Homme dans les nouvelles organisations productives

Le système de fabrication moderne reposera sur une répartition optimale des tâches entre humains et machines, sur une adaptation plus continue du travail aux capacités physiques, sensorielles et cognitives des travailleurs. Des questions se poseront de façon accrue : comment donner des moyens de régulations individuelles et collectives de l'activité ? Comment intégrer la santé/sécurité dans les logiques de production ? Comment aider l'Homme, au centre de l'usine pour piloter, décider, à gérer les situations anormales et non anticipées ? Les nouvelles organisations du travail qui émergent (par ex., entreprises en réseaux) renvoient à des opportunités et à des risques qu'il convient d'étudier.

Usine intelligente, connectée, pilotée

Avec l'Internet des objets, le produit porte les données utiles pour l'approvisionnement de ses constituants et la traçabilité de sa fabrication. L'accès aux données de production permet d'adapter en temps réel la fabrication. Compilation, analyse et diffusion des informations captées facilitent l'aide au diagnostic et à la décision pour l'opérateur et le management. L'interconnexion du système usine-fournisseurs-clients réduit la durée de fabrication et les stocks et contribue à l'agilité du dispositif industriel. Enfin, l'usine est un système cyber-physique réparti et interconnecté qui intègre la cyber-sécurité dès la conception.

Usine virtuelle

Des solutions avancées d'interaction homme-machine, de réalité virtuelle et augmentée, de conception et d'optimisation produits-process, de simulation de la collaboration, permettront de valider de nouveaux scénarios d'usage. Le virtuel devra aussi soutenir l'activité des équipes (ingénierie, production, maintenance) via les systèmes d'information d'entreprise, donner lieu à la création d'outils pour répondre aux besoins de formation et de gestion des connaissances. Les multiples usages de la réalité augmentée pouvant transformer la nature du travail, il importera d'en anticiper les effets notamment sur la charge de travail (physique, cognitive) et la régulation de l'activité.

Usine flexible et agile

L'entreprise doit fournir des produits renouvelés, personnalisés et complexes, dans des marchés de masse ou de niche. Il faut pouvoir reconfigurer le système de production en réutilisant les ressources personnalisables en place, avec des approches « plug&play » et d'ingénierie système. L'agilité est importante dès la conception des process opérationnels et des produits. Il faut alors repenser la place de l'Homme dans les projets en prenant en compte les interactions entre les équipes (ingénierie, production, maintenance) et l'évolution des compétences.

Usine verte

Tout incite à concevoir des systèmes de production plus durables. Il s'agit d'accroître l'innovation sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement pour obtenir des procédés moins énergivores et moins consommateurs de matière, de favoriser la création d'écosystèmes industriels pour optimiser la production et la consommation d'énergie, la consommation et les flux de matières. Afin de réduire l'empreinte environnementale, l'éco-conception intervient dès la conception du produit ou service, et lors de toutes les étapes de son cycle de vie, de la conception au recyclage.

Robotique industrielle et systèmes coopératifs multi-robots

La programmation des robots manufacturiers pourra s'appuyer sur des techniques d'apprentissage, d'Intelligence Artificielle et de commande avancées. L'étude de flottes de robots se coordonnant dans l'atelier est pertinente, ainsi que la robotique collaborative, le robot apportant précision, endurance et effort là où l'humain capitalise jugement et décision. Une collaboration opérateur-robot naturelle, efficace et sûre mobilisera de nouvelles méthodologies et technologies (p. ex., de capteurs et d'actionnement) afin d'augmenter la sensibilité et la dextérité du robot, d'améliorer la communication verbale ou non verbale. Les robots collaboratifs ont aussi des capacités d'apprentissage, l'opérateur étant alors en mesure de les façonner pour son propre usage.

Nouvelles technologies de production et de contrôle

Des technologies innovantes de fabrication, d'assemblage, de contrôle et de mesure apporteront une forte valeur ajoutée pour des produits personnalisés. Si la fabrication additive améliore la résistance des objets, leur poids et l'impact environnemental, des défis scientifiques considérables subsistent et l'amélioration du taux de rendement synthétique reste un enjeu majeur. Pour l'assurance qualité, la surveillance à partir de multiples mesures pose des problèmes de traitement de gros volumes de données et d'extraction de connaissances en vue d'actions de correction ou d'assistance à l'opérateur.

B.3 – Axe 2 : Matériaux métalliques et inorganiques et procédés associés

Les matériaux de type métallique ou iono-covalent (métaux et alliages, céramiques et verres, hybrides, matériaux naturels...) et leurs surfaces et interfaces sont des éléments stratégiques du nouveau industriel et de la compétitivité des entreprises, en particulier pour les aspects relatifs aux ressources, performances et nouvelles fonctionnalités. Ces dernières sont indissociables des voies utilisées pour les obtenir (élaboration, mise en forme, assemblage...), que l'on s'efforce de rendre notamment plus économes, respectueuses de l'environnement, et compatibles avec les réglementations. Cette démarche s'applique également au recyclage. Les aspects procédés d'élaboration, simulations, études thermodynamiques sont des enjeux majeurs. Le développement de

matériaux destinés à être employés dans des conditions d'utilisation extrêmes (très hautes températures, contraintes mécaniques sévères, forte vitesse de déformation, milieux fortement corrosifs, irradiation...) est également recherché.

Matériaux inorganiques fonctionnels

Les matériaux inorganiques (dont les céramiques ou les verres) ont de nombreuses applications dans notre vie quotidienne, par exemple dans le domaine de l'électronique, du stockage de l'information, du stockage et de la conversion de l'énergie... Il faut poursuivre les efforts vers la recherche de nouveaux matériaux à propriétés fonctionnelles (électriques, magnétiques, thermiques...), voire multifonctionnelles. On cherchera à développer de nouvelles structures, de nouvelles fonctionnalités, à remplacer les éléments sensibles (rareté, risque chimique, coût...). On favorisera la modélisation / simulation des propriétés du matériau en relation avec sa structure ou sa composition, afin d'améliorer sa compréhension et sa maîtrise.

Science et génie métallurgiques

Chaque évolution ou innovation de rupture dans la conception ou la mise en œuvre des matériaux métalliques a un impact industriel dans de nombreux secteurs : aéronautique, automobile, ferroviaire, construction, emballage... Les propositions s'orienteront vers le développement d'alliages innovants et pourront valoriser l'utilisation d'éléments issus du recyclage. Elles s'articuleront autour d'une approche relation microstructure-propriétés et pourront impliquer l'utilisation de simulations (méthodes de calcul *ab initio*, couplage thermodynamique / cinétique, simulation de la genèse des microstructures). Ces approches, fortement couplées à de l'expérimentation opérant aux mêmes échelles que les simulations, deviennent des outils puissants pour raccourcir les délais de développement et se substituer aux approches empiriques classiques

Surface et interface : fonctionnalisation, traitement de surface

Le matériau massif assure généralement une fonction principale, par exemple structurale, mais son interaction avec l'environnement est assurée par sa surface et son revêtement éventuel. Les traitements de surface ou les revêtements en couches minces confèrent des caractéristiques ou des fonctionnalités nouvelles en relation avec leur environnement. Les techniques mises en œuvre sont multiples et peuvent être couplées. On cherchera dans ce domaine à développer des approches innovantes, tant par le procédé proposé, que par les propriétés recherchées.

Assemblages

Les procédés d'assemblage (collage, rivetage, soudage, brasage...) sont largement utilisés dans le domaine industriel notamment pour la création d'architectures multimatériaux ou de structures complexes. Les problématiques liées aux zones d'hétérogénéité interfaciales (gradient de composition ou de microstructure, localisation des phénomènes sous sollicitation) qui sont inhérentes aux processus d'assemblage seront également traitées. On favorisera les approches couplées expérimentation/simulation, ainsi que le développement de procédés originaux.

Mise en œuvre des matériaux

Pour la mise en œuvre des matériaux par des procédés de transformation ou d'assemblage, il s'agit de bien mettre en relation les spécificités des matériaux avec les

procédés utilisés pour les obtenir, en ayant recours notamment aux outils de simulation. La fabrication additive qui est un des moyens appelé à se développer fortement est éligible dans cet axe.

B.3 – Axe 3 : Chimie moléculaire, Chimie durable et procédés associés

La chimie doit répondre aux enjeux du développement durable et accélérer l'évolution de ses pratiques pour réduire sa consommation en matières premières, son coût énergétique et son empreinte environnementale. L'évolution de l'industrie chimique vers une économie « circulaire » doit s'appuyer sur un effort de recherche et d'innovation en chimie et en génie des procédés, associé à des techniques d'activation en rupture. L'éco-conception, l'analyse coûts-bénéfices et l'analyse du cycle de vie doivent être intégrées dans la mesure du possible à tous les niveaux de maturité technologique.

Ainsi, les projets attendus concernent la recherche, le développement et la mise en œuvre de tout ou partie de procédés conduisant d'une part aux molécules, matériaux, produits existants et d'autre part à de nouvelles molécules et de nouveaux matériaux. Ces projets pourront aborder toutes les étapes de la fabrication allant de la sélection des matières premières, à la mise au point de la voie réactionnelle (recherche de nouvelles réactivités, nouvelles méthodes d'activation, objets catalytiques, solvants « verts » ...) et aux procédés associés.

Nouvelles molécules, nouveaux schémas réactionnels et outils associés

Cette thématique s'intéresse à la conception de nouvelles molécules présentant des propriétés originales. Les avancées attendues concernent la recherche i) de voies de synthèse avec économie d'atomes, ii) de solutions de substitution à l'utilisation de substances toxiques, ou conduisant à des produits et des procédés plus respectueux de l'environnement, ou iii) des synthèses de matériaux aux propriétés ciblées. Les innovations peuvent concerner de nouvelles voies d'accès, de même que des réactions, réactifs et mises en œuvre originaux. Les projets s'intéresseront également aux innovations dans les domaines analytiques. Le développement de méthodes de conception et d'évaluation *a priori* de la réactivité en même temps que des propriétés recherchées (approche *in silico*) pour minimiser les impacts biologiques et environnementaux est attendu. Les procédés et voies de synthèse chimique inspirés de ceux exercés par les organismes vivants (catalyseurs inspirés des enzymes, modes d'activation) et leur traduction dans des schémas réactionnels nouveaux et industrialisables en insistant sur les recyclages possibles pourront être explorés.

Systèmes catalytiques

Ce domaine recouvre la ***catalyse homogène, la catalyse hétérogène, la catalyse enzymatique et leurs combinaisons***. Les innovations attendues concernent la mise au point de nouveaux systèmes catalytiques performants pour des réactions clés économes en atome. L'apport des systèmes catalytiques multiples combinant plusieurs types de catalyse constitue un axe complémentaire. Un intérêt peut être porté aussi i) à la stabilité des systèmes catalytiques de préférence dans des conditions réactionnelles sévères (température, solvant, pH...), ii) à l'influence des impuretés des substrats envisagés et iii) à l'effet des poisons présents afin notamment de pouvoir établir des mécanismes de désactivation et de proposer les solutions à apporter. Une attention particulière doit être portée au recyclage des catalyseurs et à l'utilisation de métaux et/ou ligands non toxiques et dont la disponibilité et le coût ne sont pas des critères sensibles. Le développement de

catalyseurs enzymatiques et le couplage catalyseurs chimiques et enzymatiques sont également attendus. Toutes les approches (caractérisation notamment *in situ/operando*, cinétique, modélisation...) permettant d'améliorer la connaissance des étapes catalytiques doivent être considérées. L'association d'autres modes d'activation (électro, photocatalyse, microondes, ultrasons, plasma...) ainsi que l'élaboration de micro- ou nanoréacteurs constituent des thèmes d'intérêt.

Procédés économes, intensifiés et nouveaux milieux

La recherche de nouvelles méthodes pour développer des procédés innovants, compétitifs et éco-efficaces est attendue à savoir : *i*) la conception de procédés, notamment en lien avec des nouveaux modes d'activation, des réacteurs intensifiés catalytiques, des réacteurs multifonctionnels, ..., *ii*) la mise en œuvre de technologies nouvelles, sur des opérations unitaires comme sur des procédés entiers, permettant d'obtenir des ruptures économiques comme environnementales, *iii*) l'exploration de nouveaux milieux (nouveaux solvants, sans solvant, milieux éco-compatibles, etc.), *iv*) la refonte de procédés existants pour en améliorer la compétitivité et l'efficacité environnementale par la mise en œuvre de solutions innovantes (diminution des rejets, recyclage, amélioration du bilan énergétique, couplage des transferts, intégration des rejets à l'économie du procédé), et *v*) le développement de procédés flexibles notamment pour valoriser des flux de matières et d'énergie toujours plus variables.

B.3 - Axe 4 : Polymères, composites, physique et chimie de la matière molle

Les matériaux polymères et composites à matrice organique sont importants dans différents secteurs industriels (aéronautique, automobile, bâtiment, énergies, santé...) porteurs de retombées directes sur l'environnement. Les ruptures récentes (autoréparation, vitrimères...) et les travaux d'amélioration de leurs propriétés thermiques et mécaniques, de leur valorisation en terme de recyclage, d'introduction de propriétés fonctionnelles, associent chimistes, physico-chimistes, physiciens et ingénieurs, et cet axe a donc vocation à stimuler des projets émanant de ces communautés qui doivent mettre en avant des concepts innovants pour relever les enjeux de la science des polymères au sens large. Cet axe accueille également les projets relatifs à la science et ingénierie de la matière molle, où les propriétés résultent d'interactions et de structurations et de dynamique à différentes échelles spatiales et temporelles. Afin de faciliter le choix des déposants, un nombre réduit de rubriques est proposé avec quelques indications et illustrations ne prétendant pas à l'exhaustivité.

Chimie et synthèse des polymères

La conception et l'utilisation de nouveaux monomères, oligomères et polymères non-toxiques, la fonctionnalisation des polymères (naturels ou synthétiques) et la chimie macromoléculaire ainsi que le développement des voies de synthèse de matériaux polymères résistants à des conditions extrêmes, de résines pour matériaux composites conduisant à des polymérisations contrôlables à des températures modérées, tout en maintenant voire en réduisant les temps de cycle ou de systèmes pour la fabrication additives sont attendus par ce sous-axe. L'utilisation de monomères et oligomères issus de la biomasse ou du recyclage de matériaux en fin de vie est une voie d'intérêt ainsi que le développement de méthodes/procédés efficaces de dépolymérisation, de dégradation contrôlée et de valorisation des composés obtenus ou de modification/ fonctionnalisation permettant leur réemploi. Ainsi, des propositions de chimies de synthèse de matériaux permettant le recyclage efficace des polymères sont attendues.

Chimie et physico-chimie supramoléculaire et assemblages moléculaires

L'assemblage de molécules par liaisons faibles joue un rôle essentiel dans le domaine du vivant (structures du vivant aux échelles méso et macro, reconnaissances moléculaires, récepteurs moléculaires, interactions enzyme-substrat,) ou pour la conception de matériaux dits "intelligents" (possédant des propriétés ou des fonctionnalités au-delà de ceux de leurs constituants, auto-réparation, régulation et adaptation autonome, reconnaissance et catalyse supramoléculaire). La production des synthons permettant la construction d'organisations supramoléculaires, grâce à leurs propriétés d'auto-assemblage ou d'auto-organisation, inclut de même l'étude des architectures ou des assemblages eux-mêmes, comme celle des systèmes moléculaires réversibles ou programmables. La chimie et les relations structurepropriété associées pourront être abordées tant d'un point de vue théorique qu'applicatif.

Matériaux polymères et composites fonctionnels

Ce sous-axe a pour objet de stimuler des projets proposant des avancées dans le domaine de l'élaboration de matériaux à base de polymères, possédant des propriétés particulières (thermomécaniques, auto-réparatrices...), pour des applications spécifiques (membranes, textiles intelligents, capteurs...). Il inclut également des concepts de formulation innovants, l'étude de relations structurespropriétés et leur compréhension ainsi que la modélisation multi-échelle de matériaux polymères, composites, nanocomposites dans le but de prédire des propriétés. La durabilité des matériaux polymères est également un enjeu crucial pour les développements futurs qui devrait stimuler des projets innovants.

Surfaces et interfaces polymères

Par rapport aux sous-axes précédents qui s'adressent principalement aux polymères et composites "en masse", les surfaces polymères au travers de leur structuration (voire nano-structuration), de leurs propriétés spécifiques (adhésives spécifiquement ou antiadhésives, antibactériennes, ...) peuvent permettre d'adapter un matériau à une application. Ce sous-axe inclut des projets proposant des traitements originaux de surfaces polymères, des caractérisations fines de propriétés de surfaces, des procédés innovants de collage de polymères sur des surfaces identiques ou de nature différente... Des projets relatifs à des films minces de polymères, pour lesquels l'épaisseur est comparable à la taille des espèces impliquées relèvent de cette thématique.

B.3 – Axe 5 : Nanomatériaux et nanotechnologies pour les produits du futur

L'industrie du futur reposera pour partie sur des matériaux multifonctionnels et sur des systèmes de mesure et de détection intégrés. Ceux-ci seront d'autant plus performants que l'intégration de leurs fonctions à différentes échelles (micro-macro) et de leur assemblage sera pensée dès l'échelle nanométrique qui reste peu maîtrisée dans les procédés industriels. La mise au point de procédés nécessitera l'organisation de la chaîne de briques scientifiques et technologiques essentielles à ces développements.

La présence d'objets ou de phénomènes spécifiques de l'échelle nano dans le résultat final visé par le projet doit être le critère principal pour motiver le dépôt du projet dans cet axe 5 plutôt que dans les axes chimie ou matériaux. Les verrous scientifiques adressés doivent être génériques. Les projets plus applicatifs doivent être déposés dans le défi ad hoc

Nano-objets complexes fonctionnels

La première brique technologique pour les produits du futur est la production en volume de nanomatériaux (nanoparticules, nanofils, nanotubes, cœur-coquille...) pouvant être hybrides ou composites. Dans le cas des composites, l'interface peut elle-même être assimilée un nano-objet d'étude. La mise au point de matériaux et substrats innovants pour l'optoélectronique souple doit être considérée comme un sujet transverse à plusieurs approches possibles, (compatibilité avec le vivant, l'adaptation aux structures de formes variables, la communication visuelle...). Les schémas de production doivent intégrer si possible les principes d'écoconception et d'objets *safe by design*. La durabilité ainsi que le cycle de vie des nanomatériaux peuvent faire l'objet d'études. Ces nano-objets peuvent présenter des propriétés fonctionnelles (mécaniques, chimiques, biologiques, thermiques...) permettant leur utilisation dans des matériaux aux propriétés nouvelles. Les projets autour des nanomatériaux, pour les applications électroniques, spintroniques et optiques pour l'information et de la communication, concernant leurs conception, synthèse, formulation et la mise en œuvre relèvent du défi « *Stimuler le renouveau industriel* ». Cependant, la fabrication et la caractérisation des dispositifs et systèmes dérivants de ces nanomatériaux devront s'orienter vers le défi « *Société de l'information et de la communication* ». La conception, la synthèse, la formulation et la mise en œuvre des Matériaux actifs pour l'électronique flexible et imprimable relèvent du défi « *Stimuler le renouveau industriel* ». Cependant, la fabrication et la caractérisation de dispositifs pour l'électronique flexible et imprimable relève du défi « *Société de l'information et de la communication* ».

Gestion des interfaces à l'échelle nano, fonctionnalisation, interaction entre interfaces

La seconde brique technologique requise concerne la fonctionnalisation de surface à l'échelle nanométrique incluant les films ultraminesces et la modification de nano-objets, leur apportant ainsi un caractère fonctionnel (réactivité chimique ou biologique, passivation, interaction dirigée entre surfaces, adhésion, propriétés optiques, magnétiques...). Les voies sèches ou humides peuvent être considérées. Les modifications des propriétés physiques des surfaces comme la mouillabilité, l'étude des stabilités des interfaces liquide/liquide, ou liquide/solide, les émulsions fluides, les stabilités des compounds polymères avec charges de stabilisation ou de renforcement font partie de cette approche.

Assemblages de nano-objets et nano-structuration 2D et 3D

Les capacités à assembler ou diriger l'auto-assemblage de nano-objets constituent un challenge pour obtenir des matériaux fonctionnels bi ou tri-dimensionnels. Les développements des procédés de nanostructuration, de mise en forme et de gestion des assemblées d'objets (électrospinning, revêtements nanostructurés, microfluidique, nanofluidique, rhéologie des nanopoudres...) constituent une autre brique pour la mise en capacité à produire des produits nouveaux (nanostructurés). La compatibilité des nanomatériaux avec les procédés industriels peut également faire l'objet d'études.

Nano-objets et nanomatériaux innovants pour la santé

Les connaissances fondamentales acquises dans les vingt dernières années sur la physicochimie des nanoparticules peuvent être mises à profit pour des applications biotechnologiques. Les projets se focaliseront sur la définition et l'étude de familles innovantes de nano-objets et nanomatériaux qui pourront être multifonctionnels

(imagerie, ciblage, théranostique, encapsulation/vectorisation de la biocompatibilité, le relargage et la détection. Les projets peuvent intégrer la preuve de concept biologique. Si la priorité du projet est l'étude biologique, ceux-ci doivent être adressés aux axes scientifiques du défi « *Vie, santé et bien-être* ».

Quels que soient les verrous visés, les projets répondant aux besoins de la lutte contre le cancer, le VIH/sida et les hépatites virales ne pourront pas être proposés si ces thèmes sont considérés par l'INCa et l'ANRS.

B.3 – Axe 6 : Capteurs, Instrumentation

Cet axe accueille les projets dont l'objectif principal concerne le vaste domaine des capteurs et de l'instrumentation pour le suivi en ligne des procédés et caractéristiques des matériaux et plus généralement dans le domaine industriel. Il comprend trois grands thèmes :

Méthodes de mesure et instrumentation

La conception et l'utilisation pour le suivi de procédés, de capteurs où la partie sensible est de taille micrométrique ou supérieure (sans nano-structuration ou fonctionnalisation de surface d'épaisseur nanométrique) relèvent de sous-axe. L'augmentation de la qualité et de la productivité des matériaux requiert un meilleur contrôle de leur mise en œuvre. Ceci implique un suivi en ligne des caractéristiques des matériaux fabriqués, afin d'ajuster en temps réel les conditions d'opération. Pour obtenir ces données, le développement de caractérisations et diagnostics en ligne est fondamental. On recherchera dans cet axe des projets en rupture soit par la technologie de détection, soit par les modes d'action sur le procédé.

Caractérisation à l'échelle nanométrique. Caractérisation de nanomatériaux

La caractérisation à l'échelle nanométrique requiert une instrumentation dédiée afin de répondre aux besoins de métrologie d'observation et de détection. Des projets portant sur le développement d'instruments ou de méthodologie instrumentale dans ce domaine sont donc attendus. La détection et le comptage de nano objets dans les milieux complexes, fluides ou solides, dilués ou non, et les méthodologies associées sont des challenges intégrés dans ce sous-axe ainsi que le couplage de techniques d'analyses sur un même objet ou point. Les propriétés physiques sur lesquelles sont fondés ces instruments peuvent être de toute nature.

Capteurs innovants à l'échelle nanométrique

Dans ce sous-axe, les projets doivent se focaliser sur la rupture que peut apporter l'échelle nanométrique aux performances des capteurs/actionneurs en termes de détection (physique, chimique, biologique) de sensibilité, de spécificité, de localisation ou d'action. Le projet devra aller au-delà de la simple fabrication de matériaux et de la caractérisation de leur sensibilité à un paramètre (physique...) et envisager une intégration à des fins d'instrumentation.

B.3 – Axe 7 : Chimie : analyse, théorie, modélisation

Cet axe accueille les projets dont le cœur de la recherche relève essentiellement de démarches **d'approche fondamentale** dans les disciplines de **la chimie** concernant le secteur ERC-PE04 (PE04_02 : « *Spectroscopie et techniques spectrométriques* » ; PE04_05 : « *Chimie analytique* » ; PE04_07 : « *instrumentation chimique* » ; PE04_09 :

« *Développement de méthodes en chimie* » ; PE04_13 : « *Chimie théorique et calculs* ».

Il traite également des aspects spécifiques de l'instrumentation chimique, qui ne seraient pas couverts par les autres axes du défi « *Stimuler le renouveau industriel* ».

B.4 - Les recherches à mener pour répondre au défi : Vie, Santé et Bien-être

Introduction

« Vie, santé et bien-être » constitue un défi riche de potentialités aux frontières de la connaissance et de son transfert vers l'individu et la société. Ce défi représente également un vecteur d'innovation et de croissance économique pour les secteurs industriels des biotechnologies, de la pharmacie, du diagnostic et du dispositif médical.

La Stratégie Nationale de Recherche indique deux orientations prioritaires pour ce défi, respectivement : « analyse multiéchelle de la diversité et des évolutions du vivant » (orientation n°16) et « traitement et collecte des données biologiques » (orientation n°17).

Le plan d'action 2018 de l'ANR propose 12 axes (dont trois interdéfis : cf § B.11), la plupart de ces axes sont transversaux et certains pluridisciplinaires. Ils sont tous **très ouverts aux projets de recherche fondamentale**. Ils se distribuent en trois grands domaines :

- (i) le décryptage des mécanismes du vivant, la physiologie, le développement et le vieillissement, les bases de la diversité génétique. Les approches doivent dépasser le stade descriptif de l'observation et du séquençage des génomes et aborder la compréhension des mécanismes fonctionnels et de leurs désordres.
- (ii) la compréhension des processus pathologiques avec la perspective de prévenir, de traiter, ou de compenser les handicaps. Elle implique l'innovation médicale, par exemple pour identifier de nouveaux marqueurs biologiques ou en imagerie de la cellule, du tissu ou de l'organisme, de nouvelles cibles et molécules thérapeutiques, le criblage innovant à haut-débit et haut-contenu, les innovations en galénique ou en pharmacologie, les biothérapies réparatrices, régénératrices et de substitution, les biomatériaux, la recherche technologique en e-santé et en télé-médecine.
- (iii) la connaissance des déterminants de santé pour la population et les sciences sociales de la santé afin de décrire les chaînes causales des inégalités socio-économiques, de genre, environnementales ou culturelles, les crises sanitaires, l'impact des pathologies chroniques sur les individus et leur environnement, les dynamiques sociales, économiques et politiques relatives à l'innovation en santé et la régulation des activités liées à la santé, la recherche méthodologique, quel que soit son domaine d'application.

L'action de l'ANR est complémentaire des actions d'autres organismes de financement. Le portail santé (www.aap-recherchesante.fr) apporte des informations sur l'ensemble des appels à projets publiés en France dans le domaine de la santé et décrit les spécificités de chacun. Par exemple, l'ANR n'a pas vocation à soutenir les recherches sur le Cancer, le VIH/Sida et les hépatites virales, ou certains aspects de Santé et Environnement. Ces thématiques sont prises en charge par l'INCa, l'ANRS ou l'ANSES. Les projets dans ces domaines qui comportent un partenariat avec des industriels ou un partenaire international pourront toutefois être soutenus par l'ANR, ainsi que dans le cadre des appels à projets de type ERA-NET, lorsqu'ils sont ouverts à ces thématiques. Les projets de recherche clinique seront préférentiellement soumis au Programme Hospitalier de Recherche Clinique (PHRC), et les projets de recherche sur les systèmes de santé et de

soins au Programme de Recherche sur la Performance du système des Soins (PREPS) de la Direction générale de l'offre de soins (DGOS).

L'ANR propose également des actions internationales ou européennes rattachées au défi « Vie, santé et bien-être ». Les appels à projets qui s'y rattachent sont consultables sur le site internet de l'ANR.

B.4 – Axe 1 : Approches biochimiques et structurales

Cet axe vise à caractériser les machineries et mécanismes moléculaires mis en œuvre dans le fonctionnement et les dysfonctionnements des systèmes vivants. Il concerne des recherches faisant appel à différents champs disciplinaires comme la biochimie, la biologie structurale, la chimie, la biophysique moléculaire, l'imagerie ou l'ingénierie du vivant. Cet axe est décliné en deux sous axes qui seront traités par deux comités d'évaluation distincts.

- **La caractérisation des structures et relations structure-fonctions des macromolécules biologiques** : Il s'agit de décrypter ou de prédire les structures des macromolécules biologiques et de leurs complexes, la caractérisation et la dynamique de leurs interactions en utilisant des systèmes isolés ou reconstitués *in vitro* ou dans leur contexte cellulaire. Les développements technologiques en biologie structurale (RMN, cristallographie, cryo-microscopie électronique...), en imagerie (microscopie à super-résolution, microscopie corrélative, ...), en dynamique moléculaire, ou les approches sur molécules uniques sont également considérés dans cet axe.
- **La biochimie du vivant** : Il s'agit de caractériser et modéliser les transformations chimiques et biochimiques assurées par la cellule. Ce sous-axe concerne donc l'enzymologie, la pharmacologie et la toxicologie, les études sur le métabolisme et la bio-énergétique, ainsi que les approches analytiques et « -omics », dont les analyses protéomiques et métabolomiques quantitatives, incluant les études sur le microbiote. Ce domaine comprend aussi les approches pour agir sur le vivant et leurs applications à l'analyse fine des mécanismes en biologie fonctionnelle et en santé humaine (sondes, inhibiteurs, ligands, molécules à visées diagnostiques ou thérapeutiques). Il recouvre enfin la conception de nouveaux systèmes biologiques (biologie de synthèse) et l'altération contrôlée des voies métaboliques, visant à comprendre les mécanismes fondamentaux du vivant ou à développer des applications biotechnologiques.

B.4 – Axe 2 : Génétique, Génomique et ARN

Cet axe vise à appréhender : les bases génétiques et épigénétiques du fonctionnement du vivant chez différents organismes, les mécanismes assurant la régulation de l'expression des gènes, les défauts génétiques et de l'expression génique à l'origine de dysfonctionnements cellulaires, de pathologies dans des modèles animaux ou végétaux et de maladies humaines.

L'ambition de cet axe est :

- **La caractérisation** : de la variabilité des génomes et des épigénomes et des mécanismes la générant, des mécanismes responsables de l'intégrité des génomes, de la transmission fidèle de l'information génétique, des principes d'organisation et d'évolution des génomes.

- La compréhension des mécanismes de réplication, réparation, transcription, maturation, transport et traduction des ARN et des régulations/dérégulations transcriptionnelles, post-transcriptionnelles et traductionnelles.
- La caractérisation et la compréhension des mécanismes de mise en place de l'organisation de la chromatine et de ses modifications épigénétiques, incluant le rôle des entités génétiques non-géniques, de l'ADN non-codant, de l'organisation 3D des génomes, des ARN non-codants régulateurs.
- L'étude et la caractérisation de la relation génotype-phénotype et le rôle sur cette relation des composantes de l'exposome, en lien avec l'environnement.

B.4 – Axe 3 : Biologie cellulaire, Biologie du développement et Evolution

Cet axe vise :

- La compréhension des mécanismes biochimiques et biophysiques élémentaires à l'échelle des cellules bactériennes, animales, et végétales : cycle cellulaire, biogenèse et dynamique des organites intracellulaires et de la membrane plasmique, mécanismes moléculaires de la sénescence, du vieillissement et de la mort cellulaire, signalisation de la réception du signal à sa transduction, homéostasie et différenciation des différents types cellulaires, maintien et différenciation des cellules souches, l'adhérence cellulaire, le mouvement et la migration cellulaire.
- La compréhension de ces mécanismes à l'échelle des tissus dans l'organisme ou dans des systèmes multicellulaires reconstitués *in vitro* (organoïdes) pour déchiffrer les principes de base de la morphogenèse des tissus animaux et végétaux, de l'homéostasie cellulaire, du développement des tissus et des organismes eucaryotes multicellulaires, ainsi que des colonies cellulaires procaryotes, du vieillissement des tissus.
- La compréhension de ces mécanismes dans le cadre de l'évolution des espèces, et de l'adaptation aux conditions de l'environnement.

L'appel à des technologies innovantes de génétique, de génie tissulaire *ex-vivo*, de microscopie, et de biologie quantitative et modélisation permettant de mettre en évidence des principes biologiques originaux est encouragé.

B.4 – Axe 4 : Physiologie et Physiopathologie

Cet axe concerne :

- La compréhension de l'assemblage hiérarchique des composants moléculaires et cellulaires des tissus et des organes, ainsi que des voies de signalisation (y compris métaboliques) sous-jacentes, de leurs interactions et des propriétés physiologiques que ces interactions génèrent,
- La compréhension de ces interactions et propriétés au sein des organismes dans leur entier et à l'interface de l'environnement, y compris le microbiote,
- La compréhension des mécanismes de leur altération dans les processus pathologiques,

- Le soutien des projets abordant l'ensemble des déterminants (biologiques, comportementaux, psychologiques et sociaux), sous-tendant un fonctionnement physiologique et/ou pathologique (en particulier dans le domaine des pathologies métaboliques et de la nutrition).

B.4 – Axe 5 : Immunologie, infectiologie et Inflammation

Face à l'incidence croissante des pathologies immunes, inflammatoires, allergiques, de rupture de tolérance, l'objectif de cet appel à projet est de caractériser les acteurs moléculaires et cellulaires impliqués dans les défenses de l'organisme et réactions inflammatoires au cours des réponses adaptatives et innées, de manière à établir une analyse intégrée du système immunitaire en situations normale et pathologique. Les travaux visant à caractériser les bases moléculaires et les voies fonctionnelles impliquées dans les pathologies relevant d'un mécanisme immunologique, à améliorer l'efficacité vaccinale et à prévenir l'organisme des réponses immunes délétères seront également soutenus. Le développement de nouveaux modèles animaux et les études permettant de mieux appréhender l'évolution des pathologies auto-immunes, immuno-allergiques, inflammatoires, la réponse aux infections et l'implication du microbiote, ainsi que d'approches informatiques aidant à la modélisation des réponses sont inclus dans cette action.

Les nouvelles stratégies d'immunothérapie active ou passive et leur modélisation peuvent être adressées à l'axe « Technologies pour la santé » (§ B.4 – Axe 9).

B.4 – Axe 6 : Neurosciences moléculaires et cellulaires / Neurosciences du développement / Neurosciences intégratives

Cet axe couvre trois domaines de recherche :

Neurosciences Moléculaires et Cellulaires / Neurobiologie du Développement

Compréhension de la logique de l'assemblage hiérarchique de milliers de composants moléculaires, cellulaires et tissulaires du système nerveux et des organes des sens, comment leur dynamique et leur plasticité génèrent les propriétés fonctionnelles du système nerveux (par exemple code neural).

Ensemble des études menées aux échelles moléculaires et cellulaires destinées à comprendre les mécanismes régissant la mise en place, le fonctionnement, la dynamique et la plasticité du système nerveux et des organes des sens normaux ou pathologiques

Compréhension des mécanismes et identification des déterminants moléculaires et cellulaires impliqués dans les maladies psychiatriques, l'addiction et les maladies neurodégénératives. Les composantes neurovasculaires et neuroinflammatoires de ces pathologies sont également incluses, à l'exception des aspects non neuronaux.

Dans ce comité sont considérés l'ensemble des modèles animaux invertébrés et vertébrés (hors primate non humain), ainsi que les approches expérimentales et technologiques afférents à ces études et leur développement (imageries, computation et modèles, comportement, électrophysiologie, pharmacologie, optogénétique etc..).

Neurosciences Intégratives

Ce sous-axe concerne l'ensemble des études menées à l'échelle intégrative, destinées à comprendre les propriétés cérébrales de haut niveau, ainsi que des aspects spécifiques au

cerveau de l'être humain, y compris dans ses dimensions sociales et pathologiques.

Il s'agit aussi de comprendre les différents niveaux de hiérarchie et d'interactions propres au fonctionnement du cerveau (par exemple, ensembles neuronaux, réseaux d'ensembles, actions intégrées), sans quoi il est impossible d'aborder les propriétés cérébrales de haut niveau (par exemple, intégration multi-sensorielle, reconnaissance des objets et des actions, prise de décision, mémoire, comportement, cognition), ainsi que des aspects spécifiques au cerveau de l'être humain, y compris dans sa dimension sociale (par exemple, conscience de soi, prise de perspective, pensée délibérée, langage, relations avec autrui).

Projets abordant l'ensemble des expressions de la santé mentale, de la psychiatrie et de l'addiction. L'objectif est de favoriser les complémentarités et les synergies entre la recherche fondamentale et les recherches précliniques et cliniques dans le domaine de la santé mentale, de la psychiatrie et des addictions. L'approche épidémiologique des inégalités de santé en matière de santé mentale relève du comité d'évaluation inter-défi « *Santé Publique* » commun aux défis « *Vie, santé et bien-être* » et « *Sociétés innovantes, intégrant et adaptatives* », leur analyse sociologique ou économique (accès aux soins, couverture assurantielle, vulnérabilités, déterminants liés au capital social, à la prise en charge) relève du défi « *Sociétés innovantes, intégrant et adaptatives* » les dispositifs connectés relèvent du comité d'évaluation du défi « *Société de l'information et de la communication* » (Axe 9).

Ce domaine concerne également les pathologies du système nerveux, y compris les pathologies cérébrovasculaires et les pathologies des organes des sens, à l'exception des aspects non neuronaux.

Les modèles étudiés pourront donc être les rongeurs, le primate non humain et l'Homme ; les approches expérimentales incluent les imageries fonctionnelles et multi-modales in vivo (IRM, IRMf, PET, photonique), l'électrophysiologie, les analyses computationnelles, le comportement, l'optogénétique, la psychophysique etc..).

Santé mentale, psychiatrie et Addictions

Projets abordant l'ensemble des expressions de la santé mentale, de la psychiatrie et de l'addiction. Il a pour objectif de favoriser les complémentarités et les synergies entre la recherche fondamentale et les recherches précliniques et cliniques dans le domaine de la santé mentale, de la psychiatrie et des addictions. L'approche épidémiologique des inégalités de santé en matière de santé mentale relève du comité d'évaluation inter-défi « *Santé Publique* » commun aux défis « *Vie, santé et bien-être* » et « *Sociétés innovantes, intégrant et adaptatives* », leur analyse sociologique ou économique (accès aux soins, couverture assurantielle, vulnérabilités, déterminants liés au capital social, à la prise en charge) relève du défi « *Sociétés innovantes, intégrant et adaptatives* » ; les dispositifs connectés relèvent de l'axe 9 « *Technologies pour la santé* » du défi « *Vie, santé et Bien-être* ».

B.4 - Axe 7 : Recherche translationnelle en santé

L'objectif de cet appel à projet est de soutenir des projets collaboratifs concernant des questions scientifiques situées à l'interface entre la recherche fondamentale et la recherche clinique. L'action incitative sur la recherche translationnelle vise à financer des études qui se situent en aval des projets exploratoires des laboratoires de recherche et en amont des projets cliniques soutenus par le Programme Hospitalier de Recherche

Clinique (PHRC) de la DGOS.

Cet axe de recherche translationnelle a pour vocation le décloisonnement de l'amont et de l'aval, en particulier, dans le domaine de la physiopathologie. Les résultats de la mise en oeuvre des projets doivent permettre la formulation de nouvelles hypothèses susceptibles d'être testées dans le cadre d'une recherche clinique. Les déposants qui souhaiteront solliciter un cofinancement ANR-DGOS de leur projet dans le cadre d'une action commune possible de type « *Programme de Recherche Translationnelle en Santé* » (PRTS), devront soumettre leur projet dans cet axe.

B.4 – Axe 8 : Innovation médicale (nanotechnologies, médecine régénérative, thérapies et vaccins innovants, méthodes diagnostiques et biomarqueurs)

Cet axe cible s les projets de recherches biologiques et biomédicales finalisés, comme indiqué dans l'intitulé. Trois typologies de projets sont tout particulièrement concernés : (i) les projets associés au développement de concepts technologiques émergents (y compris les nouvelles cibles thérapeutiques); (ii) les projets de conception ou de maturation technologique pertinents dans l'objectif d'un transfert industriel (« preuve de concept »); (iii) les projets visant le développement et le transfert de connaissances entre des partenaires industriels et académiques dans le domaine de la santé, ceci afin de renforcer la compétitivité française dans le secteur biomédical.

B.4 – Axe 9 : Technologies pour la santé

Cet axe concerne es secteurs de la santé et de l'autonomie déterminants pour le progrès de la médecine. Il intègre également les dispositifs médicaux associés au diagnostic, aux soins, à la prévention, et à la compensation du handicap ou la perte de l'autonomie. Les projets dont la dominante concerne le développement d'outils mathématiques, informatiques pour une finalité biomédicale ou clinique dépendent seront évalués par le comité inter-défi commun aux défis « Vie, santé et Bien-être » et « *Société de l'information et de la communication* » (§ B.11 – Axe 1).

Deux typologies de projet seront favorisées : (i) les projets à fort potentiel d'innovation associés à l'acquisition de connaissances, de conception ou de maturation technologique, pertinents dans l'objectif d'un transfert industriel ; (ii) les projets visant le développement et le transfert de connaissances entre des partenaires industriels et académiques dans le domaine de la santé, afin de renforcer la compétitivité française dans le secteur des technologies pour la santé. Les projets concernant les méthodes et outils de recherche pour un développement industriel sont également pertinents pour cet axe.

B.5 - Les recherches à mener pour répondre au défi : Sécurité Alimentaire et Défi Démographique : ressources biologiques, exploitation durable des écosystèmes et bioéconomie.

Introduction

Les recherches menées dans le cadre de ce défi sont relatives à la sécurité alimentaire, à la durabilité des écosystèmes agricoles, forestiers, aquacoles et marins et à la bioéconomie. Elles s'inscrivent notamment dans la perspective de l'atteinte de l'objectif 2 de développement durable de l'ONU « *Zéro faim* » et des termes et de l'ambition de l'accord de Paris sur le climat.

La sécurité alimentaire consiste à assurer pour la population mondiale l'accès à une alimentation saine, équilibrée, nutritive et en quantité suffisante, permettant à chacun de satisfaire ses besoins et préférences alimentaires. Assurer la sécurité alimentaire ne doit pas se faire au détriment des autres objectifs de développement durable interdépendants : réduction des inégalités, accès à l'énergie et à l'eau, préservation de la biodiversité, lutte contre la dégradation des terres et lutte contre le changement climatique.

Face aux changements globaux, les systèmes alimentaires et non alimentaires d'utilisation de la biomasse subissent ou doivent entreprendre d'importantes transformations. Cela concerne autant la réduction de l'empreinte écologique des productions agricoles, forestières, animales, aquacoles et halieutiques et de leur transformation, que leur adaptation aux changements globaux en cours : changement climatique et dégradation de la biodiversité, mais aussi l'augmentation de la population mondiale, l'évolution des pratiques de consommation de la biomasse et la mondialisation des échanges. Tous ces facteurs exercent des pressions croissantes sur les systèmes de production. Ils engendrent des risques sanitaires accrus et ont des répercussions possibles sur la santé humaine.

Le développement de la bioéconomie, telle que définie dans la stratégie française correspondante, peut constituer une contribution importante pour faire face à ces enjeux : complémentarité entre valorisations non alimentaires et alimentaires, nouveaux modèles de valorisation conjointe, optimisation et réutilisation dans une perspective d'économie circulaire, nouveaux modes d'organisation et de gouvernance économique et territoriale...

Les ressources biologiques, éléments fondamentaux du fonctionnement de ces systèmes, doivent être étudiées tant pour déterminer leurs propriétés intrinsèques que leurs capacités à répondre à ces objectifs.

Pour l'atteinte de ces objectifs, le défi 5 appelle des travaux de recherche et d'innovation systémiques, transversaux et finalisés et des travaux de recherche disciplinaires exploratoires pour la production de connaissances fondamentales. Les champs de recherche incluent les ressources biologiques, la biomasse, les écosystèmes productifs, les systèmes alimentaires et viseront notamment la production de nouvelles bioressources, de nouvelles pratiques, de nouvelles organisations sociales et de nouveaux marchés.

Différents niveaux d'organisation, d'échelles spatiales et temporelles sont concernés : du gène à l'individu, de l'individu à la population puis à l'écosystème ; des solutions locales à la coordination mondiale, des décisions à court terme aux objectifs à long terme. Les recherches pourront aussi s'intéresser à l'articulation entre ces échelles.

Ces domaines, complexes et imbriqués, mobilisent les sciences du vivant, les sciences du sol et l'agronomie, les sciences humaines et sociales et les sciences de la matière pour la transformation des bioressources.

B.5 - Axe 1 : Biologie des animaux, des organismes photosynthétiques, des microorganismes d'intérêt pour les ressources biologiques et leurs modèles dédiés

Assurer la sécurité alimentaire et l'approvisionnement en biomatériaux (bois, fibres, molécules à haute valeur ajoutée,...) pour une population en croissance et dans un contexte de changements globaux, tout en participant à l'amélioration de l'environnement ou à l'atténuation des impacts des activités agricoles, forestières, halieutiques et aquacoles sur l'environnement et le climat, requiert de développer des organismes vivants productifs, contribuant à la triple performance économique, environnementale et sociale et adaptés à ces changements, en valorisant la biodiversité.

B.5 - Axe 1 - Sous-axe 1.1 : Socle de connaissances en biologie des organismes d'intérêt pour les ressources biologiques, de leurs modèles dédiés et des organismes associés

Afin de faire progresser le front de science pour répondre à ces enjeux, sont attendus des travaux de biologie fondamentale sur les **animaux d'élevage ou les espèces exploitées**, sur les **organismes photosynthétiques d'intérêt, leurs modèles dédiés et les organismes associés** (microorganismes, microbiotes, ravageurs, auxiliaires...).

Les travaux pourront s'inscrire dans un continuum d'échelles d'organisation, du gène à la population, et explorer tous les niveaux de régulation (génomique, transcriptomique, épigénétique, traductionnel, post-traductionnel, métabolique, physiologique...).

Des développements méthodologiques pour l'intégration des données, l'édition du génome et des approches de modélisation sont concernés. Les travaux pourront faire appel à des approches complémentaires parmi lesquelles la biologie des systèmes et la biologie synthétique.

Pour la biologie animale, il pourra s'agir notamment :

- de mieux comprendre la **construction des phénotypes et des comportements**, y compris par comparaison génotypes/phénotypes d'espèces voisines et les mécanismes neurologiques impliqués dans le bien-être animal ;
- d'étudier les **mécanismes régulateurs des compromis** entre les différentes fonctions d'intérêt ainsi que développer **une approche systémique des interactions**.

Pour la biologie végétale, il pourra s'agir notamment :

- **d'étudier les processus d'assimilation du CO₂ et d'adaptation** aux contraintes environnementales y compris les combinaisons de stress ;
- d'identifier des **réseaux métaboliques**, les gènes impliqués et leur régulation et les voies de transduction des signaux, y compris hormonaux ;

- d'étudier **les interactions entre organismes et les relations croisées** entre variations environnementales abiotiques et développement d'interactions biotiques favorables ou défavorables.

B.5 – Axe 1 - Sous-axe 1.2 : Biologie des animaux, des organismes photosynthétiques et des microorganismes d'intérêt pour les ressources biologiques : adaptation et réduction des intrants

Sont attendus des projets finalisés, visant à :

- Caractériser la biodiversité, développer, structurer et préserver **les ressources génétiques** (naturelles et induites), sélectionner des variétés et des races plus efficaces dans l'utilisation des ressources, favorables à l'environnement ou limitant les impacts environnementaux, y compris par l'étude des microbiotes associés, en s'appuyant notamment sur la **sélection génomique** ;
- Favoriser chez les espèces élevées et exploitées la diversité inter et intra espèces pour améliorer l'efficacité alimentaire, la résistance aux maladies, la robustesse, la résilience aux changements environnementaux et limiter les impacts environnementaux ;
- Définir les **caractéristiques d'adaptation nécessaires aux organismes vivants exploités en réponse aux évolutions globales** sur le long terme et/ou les conditions d'atténuation ;
- Intégrer **des variétés et des races aux caractéristiques particulières** (protéines, sucres, lipides, métabolites...) dans des systèmes productifs renouvelés (agroécologie, agroforesterie, nouveaux systèmes d'élevage, aquaculture...) ;
- Mettre en œuvre la **biologie translationnelle** pour transférer les connaissances accumulées sur les espèces modèles aux organismes vivants exploités ou à d'autres espèces valorisables ;
- Développer et évaluer **des modèles de production renouvelés ou alternatifs**, plus adaptés aux conditions locales, soucieux d'éthique et de durabilité et assurant le bien-être animal ;
- Optimiser **les méthodes** qui permettent de faire **évoluer les génomes**, leur expression et leur sélection ;
- Recourir à la **modélisation pour une biologie plus intégrative et prédictive**.

B.5 – Axe 2 : Biologie de la nutrition, alimentation, systèmes alimentaires sains et durables, et sécurité alimentaire mondiale

Les systèmes alimentaires font face à des changements qui éprouvent leur durabilité. Une alimentation plus durable doit satisfaire une demande croissante en développant des systèmes productifs s'inscrivant dans les objectifs des trois piliers du développement durable. Il s'agit de proposer une offre alimentaire répondant aux besoins des consommateurs (sanitaires, nutritionnels, hédoniques, culturels, éthiques...), accessible à tous et favorable au bien-être, à la santé et l'environnement. Les approches transversales et/ou systémiques spécifiques aux enjeux de la bioéconomie relèvent de l'axe interdéfini « *Bioéconomie : technologies spécifiques et approches système* ».

B.5 – Axe 2 - Sous-axe 2.1 : Biologie de la nutrition et sciences des aliments

Les projets fondamentaux attendus dans ce sous-axe pourront concerner notamment les

disciplines et thématiques suivantes :

- **Biologie de la nutrition** (épidémiologie, intervention chez l'homme, biomarqueurs précoces de risques, nutrition préventive et nutriginétique, interactions entre aliments et tube digestif, microbiotes humains, régulation de la balance énergétique...);
- **Microbiologie, virologie, mycologie, parasitologie** dans les aliments et l'eau (pouvoir pathogène des microorganismes, relations hôtes-microorganismes, microbiotes et écosystèmes complexes, fonctions et services, bénéfiques ou risques associés et leur évaluation...);
- **Physico-chimie de la matrice alimentaire** (interactions moléculaires, transfert de matière et de chaleur...);
- **Sensorialité** (neurobiologie de la perception...).

B.5 – Axe 2 - Sous-axe 2.2 : Évolution des technologies, des comportements, des filières et des politiques publiques pour une alimentation saine et durable

Cette évolution concerne l'ensemble des pratiques depuis la production agricole, halieutique et aquacole jusqu'à la fabrication et la distribution des aliments, ainsi que les comportements de consommation. Afin de répondre aux rapides évolutions de leur contexte, et aux exigences de systèmes alimentaires durables, les entreprises agro-alimentaires sont dans la nécessité d'innover, tout en maîtrisant les qualités des aliments fabriqués, ainsi que leur compétitivité.

Les recherches porteront sur la conception de l'offre alimentaire, en particulier sur les étapes de transformation, de formulation et de conservation des aliments, sur leurs impacts sur la santé et sur l'environnement, sur l'analyse des comportements de consommation, sur les modalités d'intervention des politiques publiques et les stratégies d'entreprises. Des approches pluridisciplinaires sont attendues sur les thèmes suivants :

- **Technologies et procédés innovants pour la fabrication des aliments** : flexibilité des procédés adaptés à la variabilité des matières premières ; automatisation ou robotisation pour améliorer les performances et réduire les TMS ; maîtrise des coûts ; outils d'aide à l'expertise ;
- **Ressources optimisées au niveau industriel** : valorisation de la biodiversité ; réduction des pertes et des consommations (eau, énergie, matières premières, emballages...) ; écoconception des procédés ; emballages actifs, éco-conçus et fonctionnels ; optimisation des cycles de vie ; valorisation des coproduits et des déchets (économie circulaire) ;
- **Sécurité sanitaire de la chaîne alimentaire** : organismes pathogènes et d'altération ; dangers chimiques et immunochimiques; méthodes d'évaluation des dangers et d'appréciation des risques ; conservation des aliments ;
- **Interactions entre aliment et microbiotes** : maîtrise des microbiotes alimentaires accompagnant la transformation des aliments, notamment pour les qualités conférées à ces aliments, ainsi que les effets des microbiotes introduits sur le microbiome intestinal ;
- **Déterminants des préférences alimentaires et des pratiques de consommation**, visant à faciliter un mode de vie plus sain et plus respectueux ou

en faveur de l'environnement. Les expérimentations de terrain seront considérées en priorité. Des travaux sur les modalités d'actions des politiques publiques incitatives sont attendus ;

- **Aliments et régimes alimentaires favorisant une nutrition préventive** : la priorité sera donnée aux projets qui concerneront les personnes âgées, les nouveaux nés et les enfants, ainsi que les populations en vulnérabilité. Les approches de biologie intégrative, ainsi que des projets intégrant plusieurs déterminants de la nutrition (sensoriels, nutritionnels, sanitaires, sociaux, économiques) seront considérés en priorité ;
- **Aliments et régimes alimentaires favorisant une nutrition préventive** : la priorité sera donnée aux projets qui concerneront les personnes âgées, les nouveaux nés et les enfants, ainsi que les populations en vulnérabilité. Les approches de biologie intégrative, ainsi que des projets intégrant plusieurs déterminants de la nutrition (sensoriels, nutritionnels, sanitaires, sociaux, économiques) seront considérés en priorité ;
- **Conception et performance des politiques publiques** : analyse d'impact et leviers d'action pour des politiques publiques ciblant les acteurs des systèmes alimentaires (entreprises, consommateurs, nouveaux acteurs...).

B.5 – Axe 2 - Sous-axe 2.3 : Sécurité alimentaire mondiale

La sécurité alimentaire recouvre les quatre dimensions essentielles définies par la FAO : (i) disponibilités agricoles, halieutiques et aquacoles et alimentaires ; (ii) utilisations alimentaires et situations nutritionnelles des populations ; (iii) accès économique et physique des aliments ; (iv) stabilité des disponibilités et de l'accès dans le temps. Il convient d'y ajouter une dimension relative aux politiques publiques et aux modes de gouvernance de la sécurité alimentaire. Ces différentes dimensions sont à (ré)examiner au regard des changements globaux en cours : changement climatique, épuisement de ressources naturelles, transitions (démographiques, nutritionnelles, énergétiques, socio-politiques). Les recherches porteront en particulier sur les :

- **Equilibres quantitatifs/qualitatifs des demandes et offres alimentaires** : modélisations permettant l'intégration des effets des changements globaux (productivité agricole, systèmes et technologies de production, usages des sols et état des ressources en sol, effets des transitions nutritionnelles, stratégies industrielles, politiques publiques, urbanisation, aléas environnementaux, instabilité des marchés agricoles) ;
- **Politiques publiques et gouvernance de la sécurité alimentaire** : politiques et instruments de gouvernance favorisant la sécurité alimentaire aux différentes échelles ; conditions d'émergence de ces politiques ; organisations visant la sécurité alimentaire ; cohérence et articulation des politiques publiques relatives à la sécurité alimentaire et à la préservation des ressources naturelles,
- **Déterminants de l'accès à l'alimentation** : stratégies alimentaires des ménages, liens entre systèmes d'activités et de revenus et accès à l'alimentation, sécurisation de l'alimentation dans des contextes d'instabilités ; situation alimentaire et état nutritionnel des populations vulnérables ; formes d'organisation innovantes permettant de faciliter la sécurité d'approvisionnement ; circuits de commercialisation locaux ;

- **Transitions alimentaires** : changements des régimes alimentaires sous l'effet des évolutions des modes de vie : offre alimentaire, croissance économique, migrations, urbanisation ; prise de conscience environnementale et sanitaire ; impacts économiques, sociaux, sanitaires et environnementaux des transitions nutritionnelles ; instruments de politique publique limitant les effets néfastes des transitions et adaptés aux contextes économiques, sociaux et culturels.

B.6 - Les recherches à mener pour répondre au défi : Mobilité et systèmes urbains durables

Introduction

Les recherches attendues dans le défi « Mobilité et systèmes urbains durables » doivent explorer les voies par lesquelles les systèmes urbains, les transports, l'habitat, et leurs usagers, s'adaptent aux exigences d'un développement durable. Y sont notamment attendues des approches intégrées et systémiques, qui permettent d'analyser les processus sociétaux et environnementaux dans leurs interactions et leur complexité. La mobilité, l'habitat et plus généralement le vivre ensemble sont à mettre en regard des pressions sur l'environnement mais aussi des services écosystémiques, de la réduction des nuisances et des changements globaux en cours ou pressentis à moyen et long termes. Tout en prenant en compte les vulnérabilités et les inégalités sociales potentielles, les recherches doivent permettre d'évaluer et d'améliorer les performances des bâtiments et des transports, ainsi que l'organisation des systèmes urbains. Une attention particulière est portée aux avancées de la société numérique pour accompagner, développer et promouvoir une mobilité plus durable et gérer plus « intelligemment » la ville tout en assurant la pérennité et l'adaptation des infrastructures et des réseaux aux besoins existants et émergents. Les modalités de la gouvernance et l'évolution des politiques publiques qui interviennent dans la gestion, l'évolution et la promotion des systèmes urbains doivent être analysées en fonction de ces objectifs.

Les travaux développés dans ce cadre doivent répondre à plusieurs objectifs scientifiques :

- Constituer de nouveaux savoirs relatifs à l'efficacité énergétique, aux impacts environnementaux et à la qualité d'usage, pour les composants tels que les véhicules et les bâtiments, et ce aux différentes échelles, en s'intéressant aussi aux interactions entre ces critères et ces échelles ;
- Développer la modélisation des objets physiques et sociaux et de leurs interactions ainsi que la gestion des données, en appui à la conception, l'aide à la décision et l'évaluation des performances ;
- Explorer comment les technologies du numérique peuvent induire des changements sur la mobilité, l'habitat, les systèmes urbains et les comportements des usagers ;
- Participer au développement d'une offre méthodologique et technologique pour concevoir, construire, réhabiliter et adapter les systèmes urbains aux nouvelles exigences énergétiques et environnementales, mais aussi aux usages
- Participer à la réflexion et au développement d'approches innovantes en planification (*cf.* les thématiques *nature based solutions* ou *integrated cities* d'Horizon 2020).

B.6 – Axe 1 – sous axe 1.1 : Connaissances fondamentales, recherche exploratoire, concepts en rupture

Ce premier sous-axe, transversal aux autres sous-axes thématiques, vise à produire des **connaissances fondamentales utiles pour le défi** ou à permettre l'exploration **d'idées ou d'approches radicalement nouvelles et de concepts en rupture** par rapport à des

travaux de recherche plus incrémentaux. En effet, des recherches fondamentales ou très amont sont nécessaires pour contribuer à la constitution d'un socle de connaissances sur lequel baser les politiques publiques ou préparer les technologies du futur.

A titre d'exemples, sont attendues des contributions :

- Sur les approches conceptuelles (notion de ville durable, théories urbaines...)
- En sociologie des systèmes sociotechniques, sur les dynamiques de changement
- En théorie des systèmes et de l'optimisation, en mathématiques appliquées, modélisation avancée, algorithmique, calcul intensif, exploitation des données massives
- Sur les méthodes, outils et technologies de collecte, d'analyse des données urbaines et territoriales
- Adoptant des approches biomimétiques ou bio-inspirées, tant pour le développement de produits que pour la modélisation du métabolisme urbain et de son empreinte environnementale et énergétique, ou la gestion de la mobilité

Sur l'intégration interdisciplinaire entre SHS et sciences de l'ingénieur et de l'environnement et les rapports entre déterminismes techniques et politiques de la ville.

Pour les projets déposés dans cet axe, on attend que les objets de recherche, les applications ou les finalités (même à long terme) soient positionnés par rapport à au moins un des sous-axes qui suivent et indiquent comment ils peuvent contribuer à des enjeux décrits ci-dessous.

B.6 – Axe 1 – sous axe 1.2 : Villes et territoires durables

La ville étant un système complexe et intégré, pouvoir agir le plus efficacement possible sur ce système demande à la fois des travaux ciblés sur des lacunes de connaissances et des approches intégrées multisectorielles et transdisciplinaires.

Approches socio-spatiales de la durabilité (mobilités, aménagements, pratiques)

Les **dynamiques urbaines**, les **transitions**, les interactions entre temps courts et temps longs, les échelles locales et globales, sont encore mal appréhendées, alors qu'elles sont au cœur des enjeux de durabilité urbaine. Il s'agit de mieux comprendre les **facteurs d'évolution des villes** (croissance, déclin, attractivité économique et sociale...) qui contribuent à consolider ou à fragiliser des systèmes de villes, à renouveler les relations entre métropoles, villes moyennes et espaces de faible densité, reposant la question de la localisation des populations et des activités économiques (centres, périphéries urbaines, ruralité, petites ou grandes agglomérations...). Dans cette perspective, il s'agit aussi de revisiter les liens entre **formes urbaines, organisations du tissu urbain, localisations des activités, offres de services de transport et d'infrastructures, mobilités et impacts sur l'environnement**. Les recherches doivent notamment permettre d'éclairer les controverses, frictions et rapports de forces, sur la **densification**, la **compacité**, la **mixité** (de fonction, sociale, générationnelle), la **multipolarité**, etc., dans la construction de la durabilité urbaine. S'agissant de phénomènes pour lesquels les échelles spatiales et temporelles s'imbriquent, le défi méthodologique est ardu. Si la modélisation est une voie intéressante à développer, d'autres méthodes (scénarios, comparaisons internationales...) sont à explorer ou à revisiter.

Les **pratiques des usagers urbains** se transforment progressivement, sous l'effet, notamment, d'une plus grande sensibilité aux **enjeux environnementaux** et avec **l'appropriation du numérique**. A l'instar des crises économiques, d'autres facteurs contribuent à ces transformations. Cependant, des écarts, voire des contradictions subsistent entre des représentations davantage éco-centrées et des pratiques qui demeurent souvent intensives en usage des ressources. La connaissance, la compréhension et la régulation des tensions inhérentes à l'avènement de pratiques durables de mobilité, d'habitat, d'utilisation des espaces publics... définissent un champ de recherche à part entière.

Faisant écho aux questions sur le **bien-être** et la **qualité de vie**, la recherche sur la durabilité urbaine appelle à une convergence des travaux sur les transformations des modes de vie urbains et des rapports qu'entretiennent les sociétés à leur environnement. Elle nécessite les contributions croisées de l'écologie, de la géographie, de l'histoire, de la sociologie, de l'anthropologie, de la psychologie, de l'économie, du droit et des sciences politiques.

Qualité de l'environnement, services écosystémiques et utilisation optimale des ressources

Les villes consomment de grandes quantités de matières et d'énergie, dont elles rejettent les effluents sous forme d'émissions dans l'eau, l'air, les sols. Il apparaît essentiel de mieux comprendre les processus de ce **métabolisme urbain**. Les enjeux sous-jacents concernent non seulement la compréhension, la gestion et le contrôle du fonctionnement des villes, de leurs **interactions avec la biosphère** et de leur **impact sur l'environnement et l'homme** (pollutions, déchets, conflits d'usage de l'espace...), mais interrogent aussi des questions telles que le bouclage des flux, les symbioses urbano-agro-industrielles, les circuits courts, la sobriété...

Les questions de la **qualité de l'environnement urbain** en lien avec la santé et le bien-être des habitants demandent notamment de bien caractériser les multi-expositions des populations aux différentes **pollutions** et **nuisances** (particules, bruits, odeurs, paysages dégradés...), dans tous les compartiments de la ville (milieux ouverts ou confinés) – et leurs conséquences.

Les éléments de qualité de vie et de qualité environnementale doivent être questionnés en articulation avec les développements techniques, notamment dans le domaine énergétique.

Si certains des rôles joués par la **nature en ville** commencent à être mieux appréhendés, des travaux de production de connaissances nouvelles relatives à la **biodiversité** et au fonctionnement des **socio-écosystèmes urbains**, y compris l'agriculture urbaine, demeurent nécessaires afin de constituer le socle d'une **ingénierie écologique urbaine**. Ces écosystèmes « naturels » artificialisés et socialisés rendent en effet de nombreux services : approvisionnement, régulation, services à caractère social et culturel, aménités, atténuation des nuisances. Enfin, on éclairera la relation de double causalité entre le fonctionnement et qualité des écosystèmes urbains et le **bien-être humain**. Trois champs d'investigation sont à considérer : la valeur des biens et services non marchands et leur évaluation monétaire (**services écosystémiques**), le rôle de la qualité et de l'accès à l'information dans la valeur attribuée aux biens et services écosystémiques par la société ; la faisabilité sociale et les dispositifs participatifs à considérer dans une gouvernance urbaine durable. On pourra évaluer en particulier le potentiel de résilience ou d'adaptation associé au maintien d'une certaine biodiversité, tant sur le plan

environnemental que sur celui de l'activité économique et du bien-être.

Ces études pourront amener à considérer la pertinence d'indicateurs de développement humain et leur caractère opérationnel.

Vulnérabilités et résilience des systèmes urbains

Les questions de **vulnérabilité** des villes, aux événements soudains (inondations, effets d'une canicule, émeutes...) ou à des changements progressifs (impacts lents du changement climatique, vieillissement de la population...), de **résilience** et d'**adaptation**, doivent être abordées sous un angle systémique. Il s'agit d'une part d'identifier, qualifier et quantifier la fragilité des systèmes urbains et d'autre part, de développer des approches permettant d'évaluer globalement leur vulnérabilité. Un enjeu important, tant en termes de connaissances qu'en termes opérationnels, concerne la mise en place de solutions résilientes ou mieux, d'adaptation. Cette question de la vulnérabilité et de la résilience d'un système urbain prendra en compte les politiques d'occupation des sols et d'aménagement des territoires, leurs héritages et leurs inerties, leurs capacités d'adaptation, les conflits d'usage actuels et à venir.

On s'intéressera également aux facteurs de vulnérabilité et de résilience du **dynamisme économique** et de l'**attractivité** d'un système urbain et plus généralement d'un territoire : type et diversité des activités, exposition aux risques, promotion d'une économie circulaire, politique d'accueil et d'hébergement de nouvelles entreprises, politiques touristiques et culturelles...

B.6 – Axe 1 – sous axe 1.3 : Construction durable

Du bâtiment à l'îlot ou quartier bas-carbone et à faible impact environnemental

Les objectifs d'amélioration de l'**efficacité énergétique du parc de bâtiments** sont extrêmement ambitieux. Toutefois, des questions de recherche restent encore ouvertes sur les bonnes échelles d'espace et de temps pour réduire la consommation énergétique du bâti : l'**îlot** et le quartier sont notamment des échelles d'intégration à examiner.

Parallèlement, la réglementation dans le domaine du bâtiment va substituer à l'obligation de moyens une obligation de résultats. Si ce changement laisse davantage de liberté dans les choix, il devrait favoriser l'innovation technique et architecturale. Il va aussi demander la mise au point de méthodologies et d'instruments de **mesures physiques** indispensables aux audits énergétiques et aux suivis des performances. Beaucoup d'**outils** et de **modèles pour la conception des bâtiments** reposent sur des hypothèses que rendent caduques les nouvelles cibles de performances énergétiques, notamment parce que des phénomènes de second ordre, négligés jusque-là, deviennent importants dans ce nouveau contexte. Il s'agit de revoir ces outils destinés à la conception, la réalisation et la rénovation (maquette numérique). Ils doivent non seulement intégrer les questions d'énergie mais aussi de santé (qualité de l'air, bruit...), de confort (approches multi-physique, acoustique, éclairage ...) et les interactions/rétroactions entre systèmes techniques et utilisateurs. Ce qui nécessite une meilleure connaissance des **comportements**, des **qualités et valeurs d'usage** dans le cadre d'un dialogue renforcé entre sciences humaines et sociales et sciences de l'ingénieur et de l'environnement, pour mieux prévoir les performances réelles des bâtiments et des îlots. Il s'agit aussi de concevoir des bâtiments et des îlots plus facilement appropriables et robustes en termes de performance face à une grande diversité d'usages, en tenant compte, *ab initio*, des pratiques et des valeurs des usagers. Enfin, un champ important de recherche concerne

les **modèles économiques** ainsi que les mécanismes de diffusion et d'appropriation de ces innovations tant par les acteurs de la construction que par les utilisateurs, notamment pour le secteur de la réhabilitation/rénovation.

Génie civil, construction et gestion durables du patrimoine bâti et des infrastructures

Au-delà des enjeux strictement énergétiques, la **pérennité globale du cadre bâti** (constructions, infrastructures) reste un enjeu majeur du développement durable. Il s'agit tout d'abord d'améliorer les connaissances sur les mécanismes de **vieillesse**, de perte de performance et de **risque de défaillance** de ce patrimoine, mais aussi de proposer des méthodes et outils de **monitoring, d'inspection, de dimensionnement et de modélisation**. Il faut améliorer ou repenser les solutions d'**écoconception**, de **construction** et d'**entretien**, de planification, d'inspection et de gestion, de prévention et de protection contre les aléas naturels. Il est aussi nécessaire de revisiter l'origine et les qualités techno-environnementales des matériaux à utiliser, les **technologies de rénovation/réingénierie** à bas coût et haute performance, les modes d'intervention destinés aux bâtiments, aux infrastructures de transport et aux réseaux, en limitant l'immobilisation de ces aménagements, infrastructures et constructions, en tenant compte des contraintes de rareté de matières, d'espace ou foncières, présentes ou à venir, des impacts potentiels des changements climatiques et en prenant en compte les analyses de cycles de vie.

Une attention particulière doit être donnée à la préservation et à la mise en valeur du patrimoine culturel des villes, source de différenciation et d'attractivité, lors de projets de réhabilitation d'îlots ou de quartiers.

B.6 – Axe 1 – sous axe 1.4 : Véhicules propres, sûrs, connectés, automatisés

Efficacité énergétique des véhicules : groupes motopropulseurs et approches globales

La réduction des impacts environnementaux des transports repose en grande partie sur la levée de verrous scientifiques et technologiques qui permettront de généraliser les véhicules (individuels, collectifs, utilitaires) peu émetteurs de gaz à effet de serre et de polluants locaux. Ce développement se fera à travers des efforts de recherche focalisés sur les **groupes motopropulseurs à très haut rendement énergétique et faibles émissions de polluants**, les **systèmes de dépollution**, l'utilisation dans les moteurs à combustion interne de **carburants moins émetteurs de gaz à effet de serre** que les hydrocarbures issus du pétrole (dont les biocarburants, les carburants gazeux à haut rapport H/C, l'hydrogène...), **l'électrification et l'hybridation des véhicules**, le thermomanagement, la récupération d'énergie et la **gestion de l'énergie à bord**. Il faut aussi considérer des approches plus globales telles que **l'allègement**,³ la **réduction des frottements** ou l'amélioration de **l'aérodynamique des véhicules**.

Sécurité, sûreté et adaptation des véhicules

L'amélioration de la **sécurité routière** (réduction du nombre et de la gravité des accidents et de leurs conséquences) reste un enjeu important. Cela passe à la fois par le développement de nouveaux types de véhicules mieux adaptés à une demande en évolution, plus **accessibles** et **ergonomiques**, ou encore par l'intégration croissante des

³ Les projets qui portent sur la conception, la fabrication ou l'étude des propriétés physiques ou mécaniques des matériaux doivent être soumises dans le CES sur les matériaux associés au défi « Stimuler le renouveau industriel ».

technologies de sécurité passive et active des véhicules. Mais les connaissances en **accidentologie** doivent aussi être améliorées afin de rendre plus efficaces les politiques publiques en ce domaine. Certaines problématiques devraient être approfondies : impact du vieillissement de la population, usagers vulnérables, deux-roues, distracteurs au volant, irruption de nouveaux types d'engins de déplacement... La spécificité de la sécurité routière en ville est à prendre en compte dans un contexte nouveau marqué par l'accroissement des circulations « douces », la diversification des modes de mobilité et la complexification de la gestion des espaces publics.

Aides à la conduite, automatisation, connectivité et fiabilité

Le développement des **aides à la conduite** (interfaces homme-machine, capteurs...) et des systèmes de communication entre véhicules et avec l'infrastructure (véhicules connectés) allant jusqu'à la mise au point de **véhicules** autonomes s'inscrit dans ce contexte d'amélioration de la sécurité et de plus grande **efficacité des transports** (pour la route, le ferroviaire, le fluvial, le maritime, l'aérien). Ces avancées ne pourront avoir un réel impact que si sont comprises et prises en compte les attentes et comportements des utilisateurs et des conducteurs, les contraintes d'usage des véhicules et les interactions entre des véhicules plus ou moins automatisés et les personnes (utilisateurs mais aussi piétons). Sont notamment attendus sur ces sujets des approches interdisciplinaires entre SHS (psychologie, sociologie...) et sciences de l'ingénieur (ergonomie, robotique, intelligence artificielle...).

Enfin, la **fiabilité des systèmes intégrés** dans les véhicules, notamment de l'électronique et des technologies de l'information et de la communication, doit aussi être confortée, notamment dans un contexte des responsabilités engagées (constructeur, conducteur, usager ...).

B.6 – Axe 1 – sous axe 1.5 : Réseaux et services

Réseaux et services de transport de personnes et de marchandises

La recherche doit contribuer à repenser globalement les **systèmes de transport** pour les rendre plus efficaces, mais aussi mieux adaptés aux besoins de mobilité des personnes et des biens. Il convient pour cela de s'appuyer sur les technologies de l'information, sur l'organisation des services favorisant la collaboration, la mutualisation, la multi-modalité et l'interopérabilité, sur une exploitation optimisée des infrastructures de transport, sur la gestion en temps réel du trafic et sur l'organisation et l'implication des opérateurs de transport. Mais si l'usager-client doit être au centre des préoccupations, il importe aussi de s'interroger sur la notion de besoin de mobilité et sur les modalités d'un équilibre de l'offre et de la demande s'inscrivant dans des limites financières adaptées au contexte économique et social. Il s'agit en particulier d'évaluer de nouvelles combinaisons de mesures de **régulation**, associant notamment réglementation, économie et psychologie ("nudges"), afin d'optimiser la mobilité, de réduire la congestion des réseaux et les atteintes à l'environnement (bruit, pollution, gaz à effet de serre, odeurs). Le développement et l'évaluation de **nouveaux services** reposant sur une bonne compréhension des dynamiques d'évolution à l'œuvre tant pour la mobilité des personnes (véhicule partagé, véhicule serviciel...) que dans l'approvisionnement des ménages et des entreprises (gains apportés par le concept d'**Internet Physique** - IoT) constituent des thèmes de recherche pour ce domaine.

Réseaux et services urbains adaptés aux besoins et résilients

Les villes fonctionnent sur la base de la mutualisation de **services urbains** mis en réseaux (assainissement, eau, énergie, déchets, Internet, transports...). Au-delà des outils nécessaires pour maintenir la pérennité de ces **patrimoines de réseaux** (inspection, stratégies de maintenance, de réparation...), se posent des questions autour de l'évolution de ces services et de la production de nouveaux services, mieux adaptés aux contraintes nouvelles (économies d'énergie, contraintes budgétaires...), aux besoins émergents (vieillesse de la population, inégalités territoriales...) et tirant parti du développement des STIC. La recherche doit susciter et accompagner le développement d'innovations en génie urbain. Parmi les défis à relever, signalons : la réalisation d'ouvrages en milieu urbain dense : l'articulation des réseaux d'échelle métropolitaine et de leurs terminaisons micro-locales ; l'interopérabilité des réseaux entre eux ; l'assouplissement des normes et le « sur mesure » pour une meilleure adéquation aux besoins des usagers ; l'adaptation des réseaux aux aléas, ou leur capacité de résilience en cas de perturbations sur le court terme (défaillances...) ou d'évolution à moyen-long terme (*shrinking cities*, générations futures, modifications climatiques).

« Smart-cities », nouveaux usages et services innovants

Depuis longtemps les TIC accroissent l'efficacité et la productivité des services urbains. La notion de **smart city** ou de ville connectée va plus loin en considérant pour ces services des modèles d'organisation différents, plus distribués, plus réactifs, plus immédiats. Les changements pourraient être considérables en ce qui concerne la mise en œuvre, l'exploitation, l'économie, l'ingénierie et la logistique mais aussi la réglementation, les comportements, la gouvernance. Par exemple, elles pourraient constituer des vecteurs essentiels pour le passage à des activités urbaines moins énergivores. Elles laissent ouverte la question des inégalités territoriales dans des quartiers moins connectés, anciens, sans réel retour sur investissement pour des entreprises du numérique. Par ailleurs les TIC permettent l'émergence de **nouveaux services**, par exemple dans le domaine des transports de marchandises et de la mobilité, et donnent aux citoyens de nouveaux moyens d'information et d'action qui peuvent les amener à contribuer à l'offre de nouveaux services (économie collaborative) et à modifier leurs pratiques dans de nombreux domaines (consommation, mobilité, participation à la gouvernance...). On attend sur ces questions des recherches réellement pluridisciplinaires, capables de cerner les impacts d'un passage à la **ville numérique** sur les **pratiques** des citoyens et sur le **métabolisme urbain**.

B.7 - Les recherches à mener pour répondre au défi : Société de l'information et de la communication

Introduction

Le défi « Société de l'information et de la communication » appelle des recherches fondamentales et finalisées en sciences et technologies du numérique. De par leur nature transverse, celles-ci sont également mobilisées dans une approche plus applicative et interdisciplinaire, pour répondre à tous les défis du plan d'action.

Les sciences et technologies du numérique se situent au cœur d'enjeux économiques, sociaux et humains majeurs. Les circuits intégrés et les processeurs sont devenus omniprésents : ils ont investi une large gamme d'appareils utilitaires, domestiques ou de loisir. La connectivité de ces appareils aux réseaux de télécommunication, et in fine à internet, devient la norme. Les systèmes d'information sont aujourd'hui des éléments critiques pour le fonctionnement des grandes infrastructures (transport, eau, énergie, ...), des entreprises, et des institutions, posant des questions de sûreté, de sécurité et de souveraineté. L'analyse de données issues ou non de ces systèmes pour le diagnostic, l'aide à la décision et l'automatisation de nombreuses tâches est en pleine expansion. La maîtrise des technologies matérielles, logicielles et de réseaux, est par conséquent un enjeu plus stratégique que jamais, pour notre autonomie comme pour notre compétitivité. Pour contribuer aux avancées de la science, plusieurs technologies numériques sont mobilisées : le traitement de grandes masses de données produites par l'observation scientifique en biologie, en physique, en astrophysique, etc. le calcul intensif pour la simulation dans la plupart des disciplines, les objets connectés pour l'observation scientifique, etc.

Par ailleurs, la convergence accélérée du monde numérique et du monde physique implique le développement de techniques d'interaction humain-machine dans une approche multi-sensorielle. Elle appelle aussi des recherches qui visent au développement d'une robotique professionnelle, de compagnie et de service autonome et fortement interactive.

Les avancées des sciences et technologies du numérique reposent également sur les progrès en micro- nanoélectronique, en informatique, en mathématiques, en automatique, en traitement de signal, etc. Pour couvrir les différents champs de recherche et d'applications, les chercheurs de toutes disciplines doivent nouer des collaborations rapprochées dans tous les secteurs d'activité.

Le défi « Société de l'information et de la communication » s'inscrit ainsi dans une double priorité : penser le numérique au service de la société et concevoir et développer le numérique de demain via l'évolution de concepts, de méthodes et d'outils. Il s'articule en 7 axes :

Axe 7-1 : Socle Fondements du numérique

Axe 7-2 : Sciences et technologies logicielles

Axe 7-3 : Interaction, Robotique - Intelligence Artificielle

Axe 7-4 : Données, Connaissances, Big Data, Contenus multimédias – Intelligence Artificielle

Axe 7-5 : Simulation numérique intensive pour comprendre, pour optimiser, pour

décider

Axe 7-6 : Infrastructures de communication hautes performances (réseau, calcul et stockage)

Axe 7-7 : Micro et nanotechnologies pour le traitement de l'information et la communication.

Enfin, dans le contexte de l'initiative France IA d'une part et d'autre part, dans celui du futur flagship que lancera bientôt la Commission Européenne, le défi « Société de l'information et de la communication » met en avant deux domaines scientifiques : l'Intelligence Artificielle (IA) et les technologies quantiques.

Le besoin de traiter les grandes masses de données (images, textes, musique, etc.), produites par l'ensemble de l'activité humaine et par l'observation scientifique, leur disponibilité à travers la connectivité sur internet et l'intérêt de leur exploitation commerciale, ont été des facteurs importants dans le renouveau de l'Intelligence Artificielle, en particulier à travers le développement de méthodes d'apprentissage et l'émergence du « data analytics ». Les impacts sur la société, par exemple en ce qui concerne l'emploi, ou la transformation de certains métiers, ont motivé une réflexion multidisciplinaire sur les conséquences éthiques, légales et sociétales ainsi que sur les enjeux scientifiques et ont amené à l'élaboration de nouveaux programmes et orientations de recherche ⁴. Au sein du défi « Société de l'information et de la communication », les problématiques de l'Intelligence Artificielle sont plus explicitement soulignées dans les axes 7-3 « *Interaction, Robotique - Intelligence Artificielle* » et 7-4 « *Données, Connaissances, Big Data, Contenus multimédias – Intelligence Artificielle* ».

Les technologies quantiques constituent un ensemble de technologies de ruptures, concernant d'une part le traitement, la communication et la sécurité des informations, et d'autre part la réalisation de mesures et de capteurs de très grande précision. Ces nouvelles technologies stimulent en retour des études fondamentales inaccessibles auparavant. On assiste à des investissements massifs sur les technologies quantiques dans le monde entier. L'exploitation technologique de concepts de la mécanique quantique comme la superposition ou l'intrication d'objets micro- et nanométriques et aussi de photons, promet de changer radicalement les capacités de calculs des futurs ordinateurs, surpassant les plus grands calculateurs actuels et de garantir la sécurité inviolable pour les communications. De nouveaux capteurs peuvent être conçus pour la prospection des richesses souterraines, l'amélioration du GPS, ou encore l'analyse de biomolécules individuelles.

Ces développements permettent de prévoir un impact économique et sociétal considérable pour les technologies quantiques. Pour qu'elles acquièrent leur pleine maturité, il est nécessaire de prévoir à la fois un approfondissement des connaissances de base par la recherche, et un développement des technologies et de l'innovation.

Les technologies quantiques sont abordées dans le défi « Société de l'information et de la communication » en particulier mais sont aussi présentes dans d'autres défis et dans la section hors défi. Les projets traitant des technologies quantiques seront évalués dans un comité dédié.

B.7 – Axe 1 : Socle Fondements du numérique

Cet axe sollicite des projets de recherche fondamentale visant l'excellence et la rupture dans les domaines de l'informatique, des mathématiques, ainsi que des sciences et ingénierie des systèmes et des communications. Les recherches fondamentales doivent être résolument encouragées car elles sont le vecteur d'avancées qui viendront susciter et irriguer les recherches dirigées vers les applications. Les recherches fondamentales attendues dans cet axe doivent : i) clairement être en adéquation avec le défi "Société de l'information et de la communication" et ii) ne doivent pas relever **explicitement** d'un autre axe du défi. Cet axe est complémentaire de l'axe « Mathématiques » de la section Hors défi (cf. §B.10 – Axe 1).

A titre d'exemples et de façon non exhaustive, il est attendu des projets de recherche fondamentale dans les domaines suivants :

- **Mathématiques et interactions** : aspects fondamentaux des modèles et méthodes mathématiques au sens large et en lien avec les défis du numérique (notamment EDP, contrôle, optimisation, analyse numérique, probabilités, méthodologies statistiques mais aussi certains aspects des mathématiques fondamentales comme la théorie des nombres) ;
- **Informatique théorique** : aspects fondamentaux notamment liés à l'algorithmique, la logique, la calculabilité, la décidabilité, la combinatoire, aux méthodes formelles, à la sémantique, la théorie des jeux, au calcul quantique, aux fondements de l'Intelligence Artificielle et de l'apprentissage ;
- **Automatique** : aspects fondamentaux de la commande et observation, de l'estimation et identification, de la théorie des systèmes et modélisation et du, optimisation et apprentissage ;
- **Traitement du signal** : aspects fondamentaux du traitement statistique du signal et de contrôle la détection-estimation, de l'analyse et représentation, de la théorie de l'information et de l'apprentissage et optimisation.

Les projets collaboratifs associant plusieurs des domaines de l'informatique, des sciences et ingénierie des systèmes et des communications et des mathématiques autour des aspects fondamentaux du défi "Société de l'information et de la communication" sont aussi attendus dans cet axe.

Les projets méthodologiques incluant, sans être exhaustif, le développement de modèles sur graphe, parcimonieux, incrémentaux, distribués, multimodaux, les modèles de co-conception qui n'ont pas d'application directe dans les autres axes du défi « Société de l'information et de la communication » sont attendus dans cet axe.

La modélisation mathématique, statistique et informatique est devenue indispensable dans de nombreux domaines applicatifs pour la compréhension du fonctionnement systémique et les réseaux d'interactions mis en œuvre. Sont donc également attendus dans cet axe, des projets qui développeront de nouvelles approches et méthodes conceptuelles (informatique, automatique, traitement du signal, mathématiques, statistique) pour modéliser ces systèmes.

En revanche, les projets qui mettent l'accent sur les domaines applicatifs mais qui ne visent pas des développements méthodologiques doivent être proposés dans les défis sociétaux correspondants.

Les problématiques relevant de la biologie et de la santé sont à positionner dans l'axe

interdéfis B.11 Axe 1 (cf. section interdéfis).

B.7 – Axe 2 : Sciences et technologies logicielles

Constituant essentiel des systèmes numériques, le logiciel leur donne puissance, intelligence, flexibilité, agilité, sécurité et robustesse. Il en permet une sophistication et une versatilité potentiellement sans limite, au prix toutefois d'une complexité qu'il faut maîtriser par une structuration et une élévation du niveau d'abstraction, aussi bien dans la conception (langages, paradigmes de programmation, architectures logicielles) qu'à l'exécution (intergiciels et plates-formes logicielles). Par ailleurs, la production de logiciels fiables, en termes de sûreté et de sécurité, est coûteuse d'où l'importance de principes d'architecture garantissant ces propriétés, et de méthodes prouvées et automatisées de conception, de validation et de débogage.

Cet axe soutient les recherches fondamentales et finalisées dans les technologies logicielles, concernant la conception et la validation des logiciels, ainsi que les plates formes logicielles nécessaires à leur exécution dans tous les domaines applicatifs (des objets connectés aux grands systèmes).

Les grands thèmes concernés sont les suivants :

- **Plates-formes logicielles d'exécution** satisfaisant des exigences spécifiques (temps-réel, performance, sûreté, sécurité, répartition, ...) : les systèmes d'exploitation, les supports pour la virtualisation, les systèmes embarqués, la gestion mémoire, l'exécution répartie ; les intergiciels spécifiques aux différents principes d'architecture (parallélisme, répartition, temps réel, etc.), et à certains types d'applications, notamment les objets connectés (protocoles, économies d'énergie, sécurité).
- **Méthodes et outils de conception de logiciels** : les langages de programmation et de spécification, la compilation optimisée vers des architectures centralisées ou parallèles ; les modèles de calcul spécifiques pour le parallélisme, la répartition, la distribution, la mobilité, la sécurité, l'embarqué, le temps réel et les systèmes cyber-physiques ; le génie logiciel, les méthodes de conception (conception basée sur les modèles, méthodes agiles, ...) ; les architectures logicielles et les composants.
- **Validation des logiciels** : les méthodes et outils d'analyse, de vérification et de preuve de propriétés (sûreté, sécurité) des algorithmes et des programmes, la vérification et l'optimisation de leurs propriétés quantitatives (temps, mémoire, énergie, ...), les méthodes de test et de débogage, de simulation du logiciel et du matériel, le prototypage virtuel.

Les propositions concernant les plates-formes d'exécution (à différentes échelles) sont particulièrement attendues.

L'attention des porteurs est attirée sur le besoin de positionner leur projet par rapport aux autres appels nationaux et européens dans le domaine et vis-à-vis des groupes de standardisation et alliances lorsque cela est pertinent.

B.7 – Axe 3 : Interaction, Robotique - Intelligence Artificielle

Au cœur d'une mutation technologique, la convergence accélérée du monde numérique et du monde physique sous toutes leurs formes à notre environnement quotidien

implique en particulier le développement 1) de techniques d'interaction utiles, utilisables voire plaisantes, qui soient donc conformes aux attributs de l'interaction humaine et aux contextes d'interaction et 2) d'une robotique industrielle (objet de l'axe 1 du défi « Stimuler le renouveau industriel »), professionnelle, de compagnie et de service, autonome et fortement interactive. Cet axe couvre les travaux contribuant aux recherches en Intelligence Artificielle dans le cadre de ces deux grands thèmes :

- **Interaction Humain-Machine** : L'interaction s'appuie sur des interfaces multi-sensorielles mêlant contact, geste, mouvement, parole, vision, capteurs oculaires, capture du contexte et de l'état psycho-physiologique de l'utilisateur.

Elle peut ainsi reposer sur des technologies du « wearable computing » ou des technologies d'augmentation ou d'extension de l'humain (lunettes et montres intelligentes, implants ou ICM par exemple). Des recherches sont aussi attendues en interaction humain-machine conforme aux attributs de l'interaction humaine mais aussi aux contextes d'interaction et d'usage : interaction graphique y compris la visualisation analytique (en relation avec l'axe 4 du défi « Société de l'information et de la communication ») mais aussi l'interaction au-delà du clavier-souris-écran, ou écran tactile : réalité augmentée, réalité virtuelle, interaction multimodale, gestuelle, tangible, mobile, physique, interaction avec des objets physiques augmentés et connectés (*internet of interactive things* en relation avec l'axe 6 du défi) ou encore interface multimodale et interface déformable. Cela inclut des recherches sur les techniques d'interaction mais aussi en ingénierie de l'interaction pour définir des outils de conception, de développement et d'évaluation. Ces travaux nécessitent d'intégrer les contextes d'interaction très variés ainsi que l'utilisateur dans sa diversité (âge, handicaps moteur, sensoriel, cognitif), dès la phase de conception et de prendre en compte la dimension interdisciplinaire de l'interaction humain-machine dans toute la filière de création des futurs produits numériques.

Les recherches attendues concernent également la communication humain-machine et incluent la mise en œuvre de systèmes de dialogue naturel humain-machine dans leurs dimensions de compréhension et de génération de langage (mono ou multimodal, y compris naturel, oral ou écrit), de représentation et d'inférence de connaissances, de modélisation et d'automatisation de comportements intelligents (à travers des modèles de raisonnement notamment sur des états mentaux, et de planification d'actes communicatifs, éventuellement combinés à des actions "physiques"). Dans la perspective d'agents cognitifs et en lien avec le sous-axe « Robotique autonome et interactive », des propositions se situant au croisement de la robotique cognitive communicante et des interactions intuitives humain-robot, traitant ainsi de sujets au cœur de problématiques d'Intelligence Artificielle, sont encouragées.

- **Robotique autonome et interactive** : La robotique pose des problématiques de recherche très diverses, relatives à la conception des robots, leur commande, la perception et l'interprétation de scènes, la planification et l'exécution d'actions de déplacement ou de manipulation, l'apprentissage ou l'interaction humain-robot. Elles se posent dans de nombreux contextes d'application avec un impact sociétal très large, comme les processus de production manufacturiers, objet de l'axe 1 du défi « Stimuler le renouveau industriel », les environnements hostiles, ou les services d'assistance. Le robot peut prendre différentes formes adaptées à son usage industriel ou grand public : de l'humanoïde au drone, en passant par les engins tout terrain mobiles, les robots de télé-présence, les exosquelettes, ou les robots manufacturiers (cf. axe 1 du défi « Stimuler le

renouveau industriel »). Des projets innovants sont ainsi suscités sur problématiques de l'autonomie opérationnelle, des capacités décisionnelles en lien avec l'Intelligence Artificielle, de la planification d'actions et la prise de décision autonome ou partagée avec les humains, de l'interaction multimodale physique et/ou cognitive humain-robot, des architectures cognitives ainsi que des capacités d'apprentissage, qui sont des sujets prégnants ouvrant de plus des champs de recherche interdisciplinaires avec les Sciences du Vivant et les Sciences Humaines et Sociales, y compris les Sciences Cognitives.

Des projets incluant des aspects éthiques sont encouragés – en particulier dans une approche interdisciplinaire – portant aussi bien sur l'éthique de la recherche, dans le contexte de la recherche responsable, l'éthique de l'usage pour le respect de règles éthiques dans la mise en œuvre dans les contextes applicatifs et les interactions sociales, ou l'éthique des systèmes, c'est à dire l'inclusion dans les algorithmes de règles ou comportements éthiques (agents moraux artificiels).

B.7 – Axe 4 : Données, Connaissances, Big Data, Contenus multimédias – Intelligence Artificielle

Cet axe s'organise en trois thèmes : la définition et l'étude des processus et des technologies permettant d'analyser, de lier et de raisonner sur des données, le traitement des données massives, et enfin le traitement des contenus multimédias. Les propositions attendues contribueront au développement de toutes les communautés s'appuyant sur la science des données - *Data Science* –.

Les propositions peuvent s'inscrire au cœur des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication, par exemple en traitement d'image, de vidéos, de la parole, du langage naturel, ou dans un contexte interdisciplinaire impliquant informaticiens, statisticiens ou spécialistes des humanités numériques. Elles doivent proposer, concevoir et analyser des méthodes permettant de stocker, indexer, annoter et analyser les données et les contenus pour en extraire des connaissances.

Les grands thèmes concernés sont les suivants :

- **Des données aux connaissances** : Ce thème porte sur les processus et technologies faisant émerger la connaissance à partir de données, en particulier par l'apprentissage automatique, l'analyse sémantique (données structurées ou non, images, vidéos, etc.), la modélisation, l'agrégation de connaissances et le raisonnement. Ces processus mettent en œuvre des algorithmes et de leurs solutions (en particulier pour le *deep learning*) des chaînes de traitement complexes pour obtenir des produits informationnels à forte valeur ajoutée (règles, comportements, prototypes, motifs, détection d'événements rares, etc.) qui augmentent la compétence des utilisateurs (experts, décideurs, élèves) ou leur capacité de décision.

Un point clé consiste à produire des connaissances vérifiées, en assurant la robustesse des processus face aux données incomplètes, incertaines ou imprécises, en évaluant la confiance pouvant être accordée aux résultats, en développant des modèles prédictifs conforme aux connaissances disponibles, et des connaissances vérifiables, en proposant des processus favorisant la transparence du raisonnement, et des analyses améliorant la compréhension.

- **« Big Data »** : Le traitement des grandes masses de données est un domaine stratégique avec des enjeux économiques et sociétaux majeurs, faisant émerger de nouveaux concepts

économiques. Les enjeux principaux sont liés au passage à l'échelle, à la complexité, l'hétérogénéité, la vitesse, la validité, la véracité, la propriété intellectuelle, la protection et la confidentialité des données.

Les propositions attendues portent sur tout ou partie de la chaîne de valeur de la donnée : collecte (notamment avec prise en compte des flux en temps réel), organisation et traitement dans des bases distribuées ou dans des *data lakes*, stockage, indexation, analyse sémantique, construction automatique d'ontologies, intégration et croisement de sources de données hétérogènes, processus de recherche de sources de données ouvertes complémentaires significantes, génération automatique de variables additionnelles ou de représentations (*feature engineering, deep learning*), moteurs de recherche sur des données structurées et non structurées et traitement de requêtes parallèles, prise en compte de la protection des données individuelles et de la sécurité des données et de leurs traitements, algorithmes de fouille et d'analyse de masses de données multimédia structurées ou non, restitution et visualisation adaptées aux grands volumes ou aux données en réseau.

Les techniques proposées pourront faire appel à des outils existants ou apporter des contributions innovantes aux principales bibliothèques de logiciel libre ou propriétaire. Les chaînes de traitement de la donnée illustreront les mécanismes d'extraction et de structuration des connaissances dans des domaines applicatifs aux enjeux réels (web, banque/assurance, distribution, énergie, transport, santé, objets connectés, environnement, domotique, agriculture, sécurité, ...). La disponibilité d'ensembles de données de taille significative devra être précisée dans la proposition, ainsi qu'un agenda de leur mise à disposition et des conditions d'accès.

- **Traitement des contenus multimédias** : ce volet traite toute la chaîne des contenus numériques : création, capture, production, édition, accès, analyse, échange, préservation, etc. Il prend en compte les contenus pour tous types de média : cinéma, radio, TV, web, jeux vidéo, et tous documents dans leurs dimensions multimédia et multilingue. Les projets viseront à accompagner la transformation des pratiques, collaboratives, collectives et individuelles, liées aux industries créatives, culturelles et éditoriales et à répondre aux nouveaux modes d'écriture, de narration, de production, de diffusion et d'enrichissement des contenus numériques, avec les problématiques associées de droits d'usages et d'exploitation (tatouage, traçabilité). Il convient de concevoir les solutions technologiques adaptées aux nouveaux modes de consommation des contenus en termes de mobilité, d'usages multi-écrans, de navigation et de découverte dynamique, en considérant la diversité des utilisateurs. Les propositions pourront s'appuyer sur des corpus existants (par exemple celui fourni par l'INA (<http://dataset.ina.fr>) pour développer leurs travaux. Les projets portés par un consortium fortement interdisciplinaire STIC/SHS doivent être déposés dans l'axe conjoint B11 Axe 4 (cf. section interdéfis).

Les projets de recherche fondamentale sur le traitement d'images 2D/3D, de la vidéo, de la parole, de la musique, de l'audio, ainsi que sur le traitement automatique des langues (TAL) et la langue des signes sont attendus dans cet axe.

B.7 – Axe 5 : Simulation numérique intensive pour comprendre, pour optimiser, pour décider.

Si le calcul scientifique et la simulation numérique ont pris une place de plus en plus importante dans les 30 dernières années, force est de constater qu'il reste encore des verrous scientifiques et techniques pour tirer réellement parti de l'intégralité du potentiel des calculateurs et des algorithmes dans la plupart des domaines d'activité. Via l'axe 6 du Défi « Société de l'information et de la communication », l'ANR vise plus particulièrement les 3 objectifs suivants :

- Satisfaire le besoin de **réaliser des calculs intensifs exceptionnels** (en lien avec le challenge *exascale* par exemple) mais aussi favoriser de façon pragmatique les transitions nécessaires de l'existant disciplinaire vers les futures générations de calculateurs,
- Encourager et stimuler la « démocratisation » de l'accès aux algorithmes permettant à de nouveaux acteurs (PME et ETI par exemple) de **bénéficier du calcul intensif** (problématique de la montée en gamme des bibliothèques métiers sur les architectures de calcul dont les coûts sont accessibles),
- **Favoriser des ruptures disciplinaires** permettant de gagner des ordres de grandeur en performance ou en coût, grâce à des exploitations « nouvelles et astucieuses » des calculateurs intensifs à venir (architectures mixtes, famille d'ordinateurs quantiques).

De très nombreux domaines scientifiques (génomique, environnement, climat, sciences de l'univers, des matériaux, sociologie, ...) et technologiques (industries de l'énergie, du transport, pharmaceutiques, manufacturières, de la finance, ...) exploitent déjà les possibilités du calcul intensif et ont montré que des connaissances nouvelles et des avantages compétitifs en découlaient. Cependant, les avancées scientifiques ou socioéconomiques effectives varient d'un domaine à l'autre, essentiellement parce que les architectures des calculateurs évoluent principalement sous l'influence de secteurs économiques dont les besoins et critères sont parfois très spécifiques. Pour tirer vraiment parti des architectures en progrès constant, un effort significatif doit être fourni dans les domaines de l'algorithmie et des mathématiques.

Il est donc attendu des propositions impliquant experts disciplinaires, informaticien, analyste, mathématicien, statisticien, *data scientist*...et contribuant à l'émergence d'une communauté ayant les capacités à faire avancer les problématiques suivantes (liste non exhaustive) :

1. Les « codes historiques » ne bénéficieront pas de l'arrivée de « *l'exascale* » sans des évolutions majeures - voire en rupture - sur les **bibliothèques et les paradigmes de programmation** : on peut identifier des verrous liés à l'adéquation des bibliothèques de calcul scientifique intensif aux architectures à venir, au développement et à l'introduction de *runtimes* dans des simulations complexes, au besoin de visualisation in situ, de la tolérance aux fautes, *etc*,
2. Des challenges très exigeants en ingénierie demandent des avancées significatives en **méthodes numériques et algorithmiques** : on identifie des verrous liés d'une part au *logiciel* (parallélisme temps/espace, réduction du transfert des données, construction et exploitation de modèles dits *surrogate*, *etc*) et d'autre part au *matériel* (utilisation des mémoires NVM, consommation d'énergie, *etc*),

3. Des problématiques connues d'ingénierie ne se déploient pas assez rapidement dans certains secteurs, et **leur implémentation** n'est pas assez **efficace** : il reste des verrous pour que des analyses multi-échelles et multi-disciplinaires déjà posées depuis plusieurs années bénéficient pleinement des solveurs adaptés, des formulations de couplages forts et faibles, des approches inverses, des méthodes d'optimisation, de la quantification des incertitudes, etc.
4. Des architectures de calcul innovantes pourraient créer des **ruptures dans plusieurs problèmes difficiles** si certains verrous technologiques étaient levés ; plus génériquement, pour ce qu'on appelle la *Post Moore era*, les enjeux sont multiples, allant des architectures, modèles de programmation, jusqu'aux applications.
5. Des approches **mêlant la modélisation par la simulation numérique et la modélisation par les données** ajoutent de nouvelles attentes, par exemple quand le calcul doit venir compléter ou enrichir un manque de données collectées par ailleurs ; les verrous relèvent alors du flux de données, incluant la gestion du **déluge de données**, de nouveaux paradigmes, algorithmes, méthodes et outils.

Les propositions doivent être cohérentes avec les initiatives présentées dans les projets Européens, en particulier ceux adressant la plateforme européenne PPP ETP4HPC et les infrastructures HPC de PRACE.

Les problématiques relevant purement de l'ingénierie des systèmes complexes sont à positionner dans la partie « nouveau industriel ».

Les problématiques relevant des applications en lien avec les ordinateurs quantiques sont à positionner dans le Comité d'évaluation « Technologies quantiques ».

Les problématiques relevant des mathématiques et schémas numériques ne présentant pas un enjeu de type calcul intensif relèvent de l'axe 7-1 de ce défi.

Les problématiques relevant de l'interaction des résultats de simulation avec l'homme relèvent de préférence de l'axe 7-3 de ce défi.

B.7 - Axe 6 : Infrastructures de communication hautes performances (réseau, calcul et stockage)

Les infrastructures de communication, de traitement et de stockage constituent le socle du fonctionnement de nos sociétés numériques : elles ont un rôle central dans des domaines aussi divers et essentiels que le partage de connaissance, l'émergence des villes et des transports intelligents, la généralisation des transactions dématérialisées, l'optimisation énergétique, le traitement de données massives dans de nombreux domaines (industrie, environnement, santé, ...). La perspective d'un foisonnement d'objets connectés, si elle décuple la potentialité d'applications innovantes, impose de nouveaux paradigmes de communication, de traitement et de stockage de données (potentiellement massives).

Face à cette diversité d'applications et cette vitesse d'évolution, les infrastructures doivent être capables d'atteindre de hauts niveaux de performance et d'efficacité tout en étant ouvertes et agiles pour s'adapter à la fois aux questions de passage à l'échelle et aux exigences diversifiées et dynamiques des applications.

Pour répondre à ces objectifs, des projets de recherche sont attendus sur les grands thèmes suivants :

- **Infrastructures de communications à haut débit** : De nos jours, en optique comme en radio on approche des limites théoriques ultimes de capacité de transmission de sorte que des ruptures sont nécessaires pour absorber de façon pérenne la croissance soutenue de la demande en bande passante. Cette augmentation de la capacité des systèmes doit être conciliée avec sobriété énergétique, élasticité, flexibilité et programmabilité.
- **Réseaux d'objets** : La perspective de plusieurs dizaines de milliards d'objets connectés impose des mutations importantes aux réseaux. Les systèmes devront intégrer dynamiquement des équipements et dispositifs de plus en plus distribués et hétérogènes, nécessitant de mobiliser des approches d'auto-organisation. L'architecture et les interfaces réseaux doivent être repensées pour répondre à de fortes exigences : Augmentation massive de la capacité du plan de contrôle pour le traitement des transmissions sporadiques d'un grand nombre d'objets, changement important des caractéristiques du trafic avec la prolifération des communications de courtes rafales de données, consommation énergétique très contrainte des objets dont l'autonomie énergétique est limitée. Dans le même temps, il faut veiller à la maîtrise des coûts, de la fiabilité, de la réactivité, de la latence.
- **Architecture des grandes infrastructures (HPC, cloud, datacenters)** : L'émergence de l'Internet des objets, le déport des contenus et des traitements en périphérie de réseau, l'utilisation généralisée de processeurs multi-cœurs exige de repenser de manière globale l'architecture des infrastructures et la localisation des fonctions et des données. Les approches centralisées versus réparties doivent être reconsidérées dans ce contexte.

Les infrastructures HPC doivent évoluer pour répondre aux besoins croissants de traitement et de stockage de données. Sont concernés l'amélioration des performances des nœuds de calcul massivement parallèles ainsi que les performances des réseaux d'interconnexions entre nœuds. L'efficacité énergétique, la fiabilité, la tolérance aux fautes doivent être inhérentes aux solutions.

La virtualisation permet d'héberger nombre de fonctions réseaux sur des serveurs de cloud, en lieu et place d'équipements télécoms dédiés. A l'inverse, il est de plus en plus nécessaire de localiser les contenus et les applications proches des utilisateurs, en périphérie des réseaux, pour réduire la latence par exemple. Ces nouvelles architectures nécessitent des recherches sur les meilleurs compromis entre approches centralisées et réparties, sur l'optimisation dynamique du placement et de l'orchestration des fonctions.

- **Gestion, contrôle, optimisation, supervision, programmation des réseaux, du cloud, des systèmes et des services**

La complexité des infrastructures combinée à l'exigence d'agilité, d'optimisation des ressources et de fortes garanties de service, exige de doter les infrastructures d'une intelligence opérationnelle accrue, avec un fort degré d'automatisation. Des logiciels d'exploitation englobant les ressources réseau, de stockage et de calcul avec une gestion de bout-en-bout doivent être élaborés.

Une couche « Software Defined Networks » doit connecter et programmer dynamiquement différentes applications et équipements pour créer des « slices » de réseaux virtuels de bout en bout, optimisés pour les différents usages. On attend particulièrement sur cet appel des projets mobilisant des techniques d'apprentissage à des fins d'optimisation des infrastructures, ainsi que des projets intégrant des recherches sur la sécurité « by design », multicouches, de bout en bout.

Les infrastructures du futur devront être également être capables de supporter la création et l'optimisation de services innovants avec une grande dynamique. Il s'agit de concevoir des systèmes d'opérations permettant la création et l'orchestration rapide, automatisée, intuitive de services. Ils doivent être capables de construire un plan de connaissances (pouvant s'appuyer sur des approches d'Intelligence Artificielle) et de contextualiser l'offre de service pour l'adapter au mieux aux contextes des usagers. Les infrastructures devront intégrer nativement des transactions décentralisées et sécurisées (généralisation du paradigme « block chain »), rendant possible une multitude de marchés locaux et de nouveaux modèles économiques.

B.7 – Axe 7 : Micro et nanotechnologies pour le traitement de l'information et la communication

Cet axe couvre les technologies clés génériques que sont l'électronique et la photonique pour l'information et la communication, la question de l'intégration des dispositifs dans les systèmes, et l'exploration de nouveaux paradigmes reposant par exemple sur la maîtrise des propriétés quantiques ou sur la bio-inspiration. Tous Les projets, devront adresser des verrous scientifiques et technologiques bien identifiés des STIC et chercheront à démontrer soit des améliorations de performances quantifiables, soit des ruptures par rapport aux connaissances existantes. Ils s'inscriront dans l'un des trois domaines décrits ci-après.

Des projets ciblant principalement ou exclusivement des approches théoriques ou numériques (simulation et/ou conception des composants, matériaux, procédés, systèmes complexes) mais aussi des méthodologies génériques (conception, test, métrologie), ou encore l'étude de la fiabilité, la caractérisation avancée des matériaux ou des performances de nanodispositifs/composants élémentaires, sont pleinement légitimes. Ils seront inscrits dans l'un des domaines ci-après, en cohérence avec les sujets abordés.

• Matériaux micro et nanostructurés pour l'intégration dans des composants : élaboration-fabrication-procédés :

Ce thème couvre la brique technologique élémentaire, essentielle aux innovations futures, constituée par les matériaux micro- et nanostructurés allant des semiconducteurs (IV-IV, III-V, II-VI/ Nitrures) ou autres matériaux pour l'électronique et la photonique, aux matériaux pour la spintronique. Il couvre également les procédés de fabrication des matériaux artificiels et des métamatériaux.

Ce thème concerne spécifiquement l'élaboration de matériaux, ou les études fondamentales d'objets nanométriques, en vue de leur intégration dans des composants et dispositifs.

Les projets portant sur l'étude des matériaux massifs et de leurs propriétés relèveront

plutôt de l'axe 3.2 du défi « Stimuler le renouveau industriel », de même que les projets portant sur les matériaux pour l'électronique flexible relèveront plutôt de l'axe 3.5 du défi « Stimuler le renouveau industriel » si aucune perspective d'intégration n'est prévue dans le projet.

• **Composants et dispositifs élémentaires :**

Ce thème concerne les projets visant l'obtention de fonctions élémentaires pour la micro- et nanoélectronique, la spintronique, l'optique quantique ou non linéaire, le champ proche optique, le traitement de front d'onde, les domaines millimétriques et THz, la plasmonique et la nanophotonique, l'électronique et optoélectronique organique/flexible. Il couvre également les voies alternatives comme les technologies quantiques ou neuromorphiques.

Dans ce thème, et pour les projets où l'intégration à l'échelle micro ou nano reste au cœur des objectifs, peuvent s'ajouter des objectifs comme le développement de sources optiques, les fibres optiques ainsi que les nouveaux composants pour l'optique.

• **Ondes - Architectures - Intégration – Circuits – Systèmes :**

Les projets de ce thème traiteront la question de l'intégration des dispositifs ou des composants : intégration 3D, intégration hétérogène, architectures alternatives (bio-inspirées, neuromorphiques, ...).

Ils pourront adresser un verrou (ou une problématique) lié à la photodétection et aux imageurs associés, aux architectures et technologies liées à l'intégration de l'optique dans les systèmes, aux micro- et nanosystèmes, aux circuits et ou encore aux capteurs en tant qu'objets connectés, intelligents et/ou autonomes.

Les projets pourront également adresser l'optimisation de systèmes pour le traitement de l'information ou pour les communications (optique, RF...)

Les projets concernant les capteurs devront s'orienter vers l'axe 7.6 du défi « Société de l'information et de la communication » si l'objectif est de créer une infrastructure de capteurs en réseau, ou vers l'axe 3.6 du défi « Stimuler le renouveau industriel » si les objectifs de la recherche sont la transduction ou l'étude des propriétés physiques chimiques, biologiques des micro- et nano-détecteurs.

Les projets de l'axe seront mono, pluri- ou interdisciplinaires. Ils pourront proposer des développements expérimentaux et/ou instrumentaux, adopter une ambition intégrative en favorisant le transfert de technologies vers les entreprises ou relever d'une recherche plus fondamentale répondant à des défis des sciences et technologies de l'information et de la communication. La simulation numérique, la modélisation et la théorie pourront être une contribution à des projets essentiellement expérimentaux ou faire l'objet de projets spécifiques.

Les porteurs de projets situés dans le domaine des initiatives européennes FET Flagships « Graphène » ou « Human Brain Project », et ceux portant sur les enjeux de l'initiative européenne émergente sur les technologies quantiques, sont invités à présenter les liens potentiels avec ces initiatives.

B.8 - Les recherches à mener pour répondre au défi : Sociétés innovantes, intégrantes et adaptatives

Introduction

Conformément aux préconisations de la SNR, du MENESR, de la DGRI et de l'Alliance ATHENA, les orientations du défi « Sociétés Innovantes, intégrantes et adaptatives » rendent compte du **vaste spectre des champs disciplinaires regroupés sous la bannière des SHS** (sans exclusive), telles qu'elle sont inscrites dans la nomenclature de la *Stratégie Nationale de Recherche et de l'Innovation* (SHS1 à 6 : marchés et organisations / normes, institutions et comportements sociaux / espace, environnement et sociétés/esprit humain, langage, éducation/langues, littérature, arts, philosophie, culture/mondes anciens et contemporains) et de l'*European Research Council* (SHS 1 à 6 : *individuals, institutions and markets /institutions, values, beliefs and behaviour/Environment, space and population/the human mind and its complexity/Cultures and Cultural Production /the study of human past*).

Sur la base des recommandations du comité de pilotage scientifique de défi, nourri des préconisations susmentionnées, les grands axes thématiques ont été globalement conservés mais partiellement repensés et enrichis pour l'édition 2018. Ils s'organisent en 6 axes.

Dans le cadre de ces axes et inter-défis, le défi « Sociétés Innovantes, intégrantes et adaptatives » accueille tout autant les recherches fondamentales qu'appliquées. Toutes les méthodes (quantitative, qualitative, « quali-quantitative »...), toutes les techniques, toutes les démarches d'enquête directe ou sur la base de sources de données de seconde main, sont bienvenues. Un intérêt particulier sera accordé aux recherches relevant du **genre**, et à toutes ses déclinaisons théoriques ou thématiques dans le domaine des SHS : questions éthiques, d'identité, de représentation sociale, de parité dans les objets des sciences comme dans les institutions de la recherche.

Il est attendu que les dispositifs méthodologiques soient explicités et au service d'un questionnement théorique. Dans la mesure du possible, les chercheurs sont encouragés à tirer bénéfice des grandes bases de données, archives, enquêtes longitudinales issues des Très Grandes Infrastructures de Recherche (TGRI), et des banques de données de consortiums européens (type DARIAH). Dans les limites financières disponibles, le Défi 8 peut contribuer à **financer en partie la collecte d'enquêtes ou la constitution de corpus** (textes, images, archives orales) à trois conditions : 1/ qu'y soit associé un vrai **projet de recherche** ; 2/ que soit garanti le **libre accès** aux données et 3/ qu'un dispositif permette de les **pérenniser**. Les projets faisant appel à des traitements de données personnelles devront porter une attention particulière à la protection de ces données, ce point étant pris en considération dans l'évaluation.

B.8 – Axe 1 : Innovation sociale et progrès

Cet axe est destiné à accueillir les projets de recherche relevant des thématiques centrées sur le processus même de l'innovation, susceptibles d'éclairer ses dimensions sociales, économiques, culturelles ou organisationnelles. (*Les défis « Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique », « Stimuler le renouveau industriel » et « Mobilité et systèmes urbains durables » ont vocation à accueillir les projets à dominante technique qui traitent de ces domaines*).

Cet axe se divise en 4 grands thèmes :

- Théories et pratiques de la conception innovante ;
- Innovation et rapport à la prise de risque ;
- Mouvements sociaux autour de l'innovation ;
- Modèles d'adoption et formes d'appropriation.

A travers l'innovation, il est question ici de créativité sociale, de ses conditions (d'urgence ou de prospérité), de ses processus, ses acteurs, ses expériences, ses modalités (voies de l'innovation technique, culturelle, idéologique, économique). Les contraintes qui pèsent sur elle sont à prendre en compte mais aussi le rapport à l'opportunité, la création de valeur par la rupture, les règles émergentes de la conception innovante ainsi que le désir d'innovation et ses imaginaires et représentations. Les chercheurs sont invités à explorer les trajectoires de l'innovation, les domaines concernés (habitat, ville, transports, industrie, économie, usages numériques, comportements et représentations socioculturels...). Les politiques de l'innovation, les cadres législatifs et réglementaires (la propriété intellectuelle, les brevets, la protection des données personnelles...) et enfin, les normes et mécanismes de l'expertise sont à considérer. Le rapport à la prise de risque ouvre également sur tous les travaux en neuro-cognition, en théorie de l'investissement et en théorie de l'entrepreneuriat.

L'innovation portée et/ou impulsée par des **mouvements sociaux**, des systèmes de valeurs, des conditions (économiques, politiques, sociales, culturelles, académiques, religieuses, familiales, démographiques...) pourra être abordée, sans limite de période historique ou de découpage géographique et culturel. L'attention se portera aussi sur les mouvements sociaux innovants, dans tous les domaines (droit, santé, alimentation, médias, croyances, éducation, économie...), ainsi que sur les processus de génération et/ou de diffusion des innovations. Qui sont les acteurs sociaux de l'innovation ? Comment s'organisent-ils ? Avec quelles ressources ? Pour quel impact social ou culturel ? Les comportements démographiques, familiaux et sociaux pourront aussi être abordés, en prenant en compte leurs vecteurs, leurs effets économiques ou sociaux et les grands débats qui les font évoluer.

Sont à considérer en particulier les modes d'appropriation, les résistances, la pluralité des connaissances et expertises ainsi que les formes d'interactions entre porteurs d'innovation et sociétés, sans oublier les relations de genre. Peuvent être considérés les sources et les impacts de l'innovation, en termes de **persuasion** ou d'**influence**, dans des perspectives ouvertes (psychologiques, sociologiques, philosophiques, politiques, économiques ...), en incluant la rhétorique et les sciences du comportement. Peuvent également être envisagés les nouveaux paradigmes de l'innovation dans la mondialisation et leur impact sur les sociétés.

B.8 – Axe 2 : Inégalités, discriminations, migrations, radicalisations

Ce second axe accueille les projets qui abordent la question des **inégalités, des discriminations et des migrations**. S'y ajoute un volet sur les **radicalisations extrêmes**.

Il se structure en cinq grands thèmes analytiques :

- Inégalités socio-économiques, inégalités des nations ;

- Nouveaux indicateurs socio-économiques du bien-être ou de l'intégration ;
- Discriminations et diversité ;
- Migrations internationales : des facteurs de migration aux politiques d'asile et de réception des migrants ;
- Radicalisations violentes.

Le traitement scientifique des inégalités (sauf celles de santé, traitées dans l'interdéli axe 8) pourra prendre en compte leur perception subjective en parallèle de leur réalité objective. Il s'agit d'étudier les logiques de repli et d'exclusion, telles qu'elles s'expriment sous des formes différentes (économiques ou sociales), et ce qu'elles révèlent en termes de **stratégies** (de **mobilité** ou de **reconnaissance** sociales, par exemple) ou de **dynamiques** (de réseaux, de positionnements individuels, mais aussi de ségrégation). Les politiques publiques à l'égard des inégalités ainsi que les relations internationales pourront également être convoquées.

Les recherches sur les inégalités trouveront un prolongement dans l'étude des **indicateurs** de « développement », de « bien être » ou d'« intégration ». En tenant compte des nouvelles approches, théories ou trames méthodologiques qui motivent ces **mesures**, la construction même de ces indicateurs devra être analysée et évaluée.

Dans la continuité théorique, et jusqu'à un certain point, méthodologique de l'étude des inégalités, l'axe 2 accueillera aussi les projets traitant de la **discrimination**, ses formes, sources et critères. Des projets se focalisant sur le ressenti subjectif et les effets sur la reconnaissance sociale, l'emploi, la formation, le logement et les services sont également envisageables.

Un champ aussi vaste peut être l'occasion de mettre en œuvre **des méthodes** (étude de sources d'archives, observations directes, étude des relations interindividuelles ou de milieux sociaux singuliers...) adaptées à la compréhension des préjugés individuels ou des discriminations statistiques (affectant des catégories sociales plus larges), avec la possibilité d'associer à la recherche des acteurs privés ou des administrations. Quel usage ceux-ci font-ils du guide méthodologique publié en 2012 par la CNIL et le Défenseur des droits sur « la mesure de la diversité » ?

Les projets pourront également porter sur les **théories de l'intégration** et ses corrélats (intégration économique, **insertion** sociale et culturelle) et leur impact sur les **appartenances** collectives (affiliations, identifications). Ils maintiendront au cœur de leurs réflexions la question des exigences légales imposées aux individus, ainsi que l'analyse critique de la portée et des limites des **instruments de mesure** de leur « intégration », une notion qui mériterait d'être historicisée.

Quant à la thématique des **migrations**, elle pourra faire l'objet de recherches sur les causes, modalités, processus et impacts (sur les migrants, comme sur les sociétés de départ et d'accueil), l'extension spatiale et culturelle (rémigrations, mouvements historiques, voire préhistoriques...), tout en s'intéressant aux cadres juridiques parfois multiples dans lesquels ces mobilités s'inscrivent, notamment en matière de diversité culturelle.

Si l'actualité du fait migratoire mérite de nouvelles enquêtes, orientées notamment sur l'asile et la crise conjoncturelle qu'il connaît en Europe et dans le monde depuis 2015, ces recherches pourraient aussi être enrichies par des analyses – nationales ou comparatives – sur les arrière-plans historiques et juridiques des mobilités contraintes. Les recherches

pourront se focaliser sur les cadres et conditions de l'expatriation, les itinéraires migratoires, le genre des migrations, la rencontre des migrants et des demandeurs d'asile avec les sociétés d'accueil, sans exclure l'étude des ressorts émotionnels qui font basculer, soit vers le rejet de ces populations, soit vers des formes de compassion et de solidarité.

Les projets relatifs aux violences extrêmes et aux **radicalisations** violentes pourront aussi s'inscrire dans cet axe (les questions de sécurité étant conjointes avec le défi « Liberté et sécurité de l'Europe, de ses citoyens et de ses résidents »). Les propositions issues de différents horizons disciplinaires, analysant les ressorts, motifs, formes de socialisation et de désocialisation, itinéraires, réseaux, cadres idéologiques et processus de radicalisation violente notamment (mais pas uniquement) en rapport avec le terrorisme ou les pensée totalitaires, religieuses ou politiques, sont attendues. Les modalités de gestion ou de **prévention**, les contextes **géopolitiques**, qui comprennent les réseaux transnationaux de toutes sortes (réseaux sociaux, filières de terrorisme...) et les **conditions** mondiales seront aussi à prendre en compte. Une attention particulière sera portée aux sorties de violence et résolutions de conflit, y inclus les *études sur la paix (peace studies)*.

B.8 - Axe 3 : Mutations du travail et de l'emploi

L'**emploi** et le **travail** mobilisent des approches dans le large spectre des disciplines intéressées par cet axe, également associé au changement des organisations.

Il regroupe 3 grandes lignes thématiques :

- Marché du travail et de l'emploi et transformation des entreprises ;
- Travail et société ;
- Le défi de l'égalité professionnelle.

Les projets pourront porter sur le **marché** du travail et de l'emploi, les **parcours** professionnels, les **mutations de l'emploi** et de ses **politiques publiques**, avec une mise en perspective critique liée à des **contextes** changeants (notamment le développement du numérique), aux **transformations des entreprises** et de leurs interactions avec leur **environnement** ainsi qu'à la modification des liens entre emploi et prise en charge des risques sociaux.

Les projets pourront reprendre l'analyse des modes de **régulation** du travail (droit, responsabilité sociale, *soft law*) et les **évolutions des entreprises** (en termes de **gouvernance, d'objets, d'organisation**, de structuration interne et externe, de réseaux...).

Le rapport au travail lui-même peut faire l'objet d'analyses : sa **qualité**, le rapport des individus à cette activité, la place qu'il occupe dans la société, restent au cœur des préoccupations majeures pour les sciences, à l'heure d'une division (à grande échelle) et d'une fragmentation (au plan des individus) des pratiques professionnelles et des modes de management.

Les recherches pourront porter sur les **évolutions du travail**, sa **mesure** (durée, performance, intensité) et ses **évaluations**, sa rémunération, son management, ses risques, la qualité de l'activité et les modes d'engagement personnel et émotionnel dans celle-ci, et, partant, les **paramètres de la santé au travail** (qui peut aussi être traitée dans l'axe « santé publique » conjoint au défi « Vie, Santé et Bien-être », sous réserve que la santé soit l'objet premier de la recherche).

Le défi des inégalités professionnelles (égalité de temps, de genre, de pression sociales ou à la performance) offre aux projets de recherche une entrée féconde pour l'étude, à plus large focale, de la place du travail dans la société. Enfin la mondialisation et son impact sur l'emploi et le travail pourront également faire l'objet de recherches, notamment sur les nouvelles entreprises du numérique et de l'Intelligence Artificielle, ou sur l'actualité de phénomènes comme la robotisation, l'automatisation, l'« ubérisation » ou le développement de la cybersurveillance au travail. Les enjeux sociétaux et les débats autour de la perte des emplois pré-numériques et de la fin du travail pourront être abordés, en lien avec des comparaisons internationales et géo-stratégiques (en lien également avec le défi « Stimuler le renouveau industriel » et son axe 2 « Usine du futur » pour des perspectives industrielles).

B.8 – Axe 4 : Cognition, Éducation, Formation tout au long de la vie

Cet axe a pour questionnement central les questions d'éducation, de formation et d'apprentissage telles que revisités par les capacités cognitives, les usages sociaux et les mutations sociales et développementales des personnes tout au long de la vie.

Il se structure autour de 4 lignes de développement théorique et méthodologique :

- Capacités cognitives aux divers âges de la vie ;
- Innovations et pratiques pédagogiques ;
- Lutte contre l'échec scolaire ;
- Les mutations de l'enseignement supérieur.

Il s'agit d'étudier les **conditions** et **techniques** d'apprentissages, qui évoluent tout au long de la vie et des moyens de s'approprier les **objets culturels** qui donnent forme et sens à la vie psychologique et sociale. Tout le champ des sciences humaines et sociales et des sciences cognitives (allant des neurosciences et la psycholinguistique, jusqu'à la sociologie et l'histoire) est ici invité à proposer des projets de recherche traitant des modèles et **processus d'apprentissage**, et les modes et conditions de **constitutions de savoirs**, de tous ordres (pratiques, linguistiques, théoriques, disciplinaires.). Il est aussi question des **sources** de savoirs et de **l'accès** à celles-ci (en particulier via les technologies du numérique), dans un champ thématique et des approches méthodologiques ouvertes qui peuvent porter sur tous les aspects de l'apprentissage, y compris en cas de **déficience, de handicap** et de **vieillesse**, ou des approches en termes d'ergonomie cognitive.

Les recherches questionneront non seulement les outils mais également les innovations pédagogiques, en particulier (mais pas seulement) dans un contexte d'inégalités scolaires et universitaires mais aussi de besoins croissants de formation tout au long de la vie. Des recherches sont attendues sur la fonction d'enseignant, ses conditions d'exercice, les **relations enseignant – élève/étudiant**, la nature des **méthodes pédagogiques** et des compétences acquises. Les mesures expérimentales (ou pas) évaluant leur **efficacité** (et leur **transposition** en situation concrète, i.e. en contexte de pédagogie pratique) s'inscrivent dans ce périmètre théorique.

Adoptant une approche d'ingénierie des apprentissages, des travaux pourront s'attacher à mettre au point, à expérimenter et à valider **des outils pédagogiques (MOOC, SPOC,...), en présence et à distance, adaptés à la diversité des publics** (âge, expérience, acquis antérieurs, environnement social, modèles économiques,...), sans oublier *l'analyse des*

données d'apprentissages (Learning Analytics) et autres traces numériques d'apprentissage à l'école et à l'université. **Apprendre avec le numérique** doit permettre de bénéficier des avancées des techniques numériques et de celles des sciences de l'information-communication et de la cognition. Comment définir des parcours d'apprentissage intelligents, adaptés aux besoins de l'apprenant ? Comment suivre l'avancement individuel de chaque apprenant ? Comment évaluer les solutions d'apprentissage médiatisé proposées ? Comment prendre en compte ceux souffrant de difficultés ou de déficits d'apprentissage ? Quels sont les risques sous-jacents liés notamment à l'exploitation des données ? Les chercheurs pourront également travailler sur la **modélisation** des apprentissages et de la **socialisation**.

Dans le prolongement de ces travaux un volet de cet axe est réservé à **la lutte contre l'échec**, à tous les niveaux de formation, en s'appuyant sur l'analyse de ses **facteurs psychologiques** (motivations, ressorts psychiques ou émotionnels) et sociaux (influence des institutions, du genre, des représentations collectives, pression familiale...). Des projets peuvent s'inscrire dans l'étude des **scolarisations précoces**, des **décrochages**, des **réorientations**, pour réfléchir aux moyens de valoriser les différentes formes d'intelligence, compétences sociales et psychologiques. On pourra, sur ces bases, évaluer la spécificité des **systèmes scolaires, universitaires et d'orientation** français (par comparaison avec d'autres réalités socioéducatives et culturelles) et s'interroger sur la désaffection des filières d'apprentissage et le lien à l'employabilité, à la socialisation et à l'intégration.

Les projets sur les **mutations de l'enseignement supérieur et de la recherche**, concernant l'ensemble des lieux, établissements ou organismes où ils se déploient sont également à prendre en compte. Ce domaine reste encore peu travaillé par les SHS, malgré une situation de concurrence accrue, des réformes régulières et nombreuses, et une pression toujours plus forte (à l'interdisciplinarité et à l'internationalisation) dont les formes, manifestations et conséquences nécessitent d'être mieux saisies.

B.8 - Axe 5 : Cultures, création, patrimoines

Cet axe s'intéresse à l'étude des cultures, de la création et des patrimoines en tant qu'elle éclaire la diversité des sociétés, les transformations des pratiques culturelles, économiques et politiques, ainsi que les mécanismes d'intégration, d'adaptation et d'innovation.

Il regroupe quatre thèmes :

- Approches interdisciplinaires des cultures et du fait religieux ;
- Préhistoire et histoire des phénomènes culturels et cognitifs, destin des langues ;
- Création, œuvres et créateurs ;
- Transformations du patrimoine et politiques culturelles.

Toutes les sciences humaines et sociales sont conviées dans des recherches originales portant sur la diversité et les modalités d'émergence des sociétés. On étudiera en particulier les compétences cognitives expliquant l'apparition des comportements socioculturels (langages, croyances, structures sociales, etc.) ou, d'un point de vue théorique, les pratiques sociales et communicationnelles ainsi que les processus d'évolution. Des approches culturelles, linguistiques, biologiques et/ou environnementales sont aussi bienvenues.

Sur cette échelle diachronique longue et dans une démarche comparative, un volet est réservé aux **peuplements humains**, au cours de leur évolution jusqu'à aujourd'hui, et à leur variabilité en fonction des milieux d'habitat, des climats, des langues et autres variables déterminantes.

La diffusion et la transformation des cultures (matérielles, écrites, orales, sonores ou visuelles), les pratiques artistiques, les styles et les œuvres culturelles, philosophiques ou littéraires de même que la circulation des concepts et des idées seront abordés **de la préhistoire au contemporain, dans toutes les aires culturelles**, à l'échelle des individus ou des groupes. Sont concernés tous les champs disciplinaires, y compris les *études mondiales (global studies)*, les *études culturelles (cultural studies)* et les **humanités environnementales**, ainsi que, si nécessaire, les relations entre savoirs, sciences et littératures.

C'est aussi ici que sera traité le **fait religieux dans sa diversité** : formation, transmission et usage des textes sacrés, rites et croyances, *revivals* et conversions, réseaux d'institutions culturelles ou éducatives, relations entre art sacré et art profane, place du religieux dans l'espace public, enjeux relatifs à la laïcité, rôle de l'identité religieuse comme force de clivage ou de consensus, rhétoriques identitaires, etc. en France et dans tout autre contexte historique et culturel.

Tous les phénomènes d'évolution des humains (et des animaux), du développement des civilisations, des sociétés, des langues et des cultures seront abordés. L'accent pourra être mis sur les compétences cognitives et linguistiques : contextes, périmètres et enjeux des usages pour les langues véhiculaires, mais aussi anciennes, régionales ou en péril, rapport aux nouveaux langages informatiques, nouvelles pratiques de l'écrit et de la lecture, etc.

Ce volet intéresse les processus de création à toutes les époques : **genèse, circulation, réception et interprétation** des œuvres (artistiques, littéraires, musicales, théâtrales, cinématographiques, télévisuelles, vidéoludiques), mais aussi les textes, **œuvres**, et **auteurs** (leurs trajectoires comme leurs réseaux) sur la base d'anciens ou de **nouveaux corpus**. **Sont à considérer également la circulation de modèles et d'idées entre les arts comme entre les aires culturelles**, ainsi que la migration, les métamorphoses et les hybridations des formes. Les conséquences pratiques (didactiques, polémiques, idéologiques) que peuvent produire ou susciter les œuvres pourront être analysées également.

L'étude du rapport entre émotion et création, chez les artistes comme au sein du public, pourra bénéficier des efforts conjoints des SHS et d'autres domaines scientifiques, y compris dans des projets interdisciplinaires en *études visuelles (visual studies)* ou *études sonores (sound studies)*. On proposera des projets associant artistes et chercheurs travaillant dans les champs de la création contemporaine, ou focalisés sur les **évolutions conceptuelles**, les **techniques** et le **sens** dans la création, les formes artistiques **collectives**, le rôle des **institutions** académiques et du **marché**, ainsi que **l'économie et le droit de la création**. Ces dimensions peuvent être envisagées sous l'angle des **innovations**, dans une perspective contemporaine ou historique : **enseignement des arts**, transmission et renouvellement des pratiques et des techniques, expressions marginales, rôle des interprètes, et aussi rapports de **genre**.

Enfin, dans le cadre de projets pouvant réunir chercheurs et professionnels, l'étude des processus de patrimonialisation et de valorisation du patrimoine permettra de cerner leurs **enjeux politiques et sociaux**, les revendications identitaires dont ils font l'objet et

le rôle des acteurs publics, privés ou parapublics. Elle ouvre la voie à un questionnement sur les **enjeux de définition**, les critères, les formes et champs d'application de la notion de « patrimoine », son rayonnement (national et international), son rapport à l'économie et au tourisme : paysages culturels, monuments, sites archéologiques, **patrimoine muséographique, organisations et entreprises, institutions culturelles (y compris les bibliothèques) et leurs publics (dont les politiques de la lecture et les liens avec l'enseignement)**. On justifiera par un enjeu de protection patrimoniale ou de recherche originale la place particulière qu'on accordera à la **documentation numérique des patrimoines**, sous forme de SIG ou de corpus d'archives écrites, orales, visuelles et audiovisuelles, dès lors qu'ils sont liés à des questions de recherche, aux **patrimoines en danger** du fait des conditions (politiques, environnementales, démographiques ou touristiques), aux **méthodes de sauvegarde** (simulations en 3D, mise en récit, appropriation par les populations), ou à leur réhabilitation en vue de nouveaux usages.

Le patrimoine et sa conservation se prêtent aussi à des **projets avec des partenaires privés, publics ou associatifs en lien avec les SHS**. Les transformations du patrimoine rural, urbain, industriel, paysager ou religieux pourront être étudiées à travers les formes de valorisation ou les processus de « dépatrimonialisation », les **politiques culturelles** et leur histoire (classement, labellisation, préservation, financement, gestion, mais aussi éducation culturelle, interculturelle et artistique, et politiques de médiation). Le rôle des organismes internationaux, des États et des collectivités territoriales ainsi que leurs relations pourra être analysé, de même que celui **des administrations culturelles et patrimoniales**.

B.9 - Les recherches à mener pour répondre au défi : Liberté et sécurité de l'Europe, de ses citoyens et de ses résidents

Introduction

Les recherches relatives à ce défi « Liberté et sécurité de l'Europe, de ses citoyens et de ses résidents » reposent sur une approche intégrée de la gestion du risque dans le monde physique et dans le cyberspace. Il s'agit de caractériser les menaces et les vulnérabilités, développer la prévention et la protection des biens et des personnes, gérer les crises et analyser les instruments, y compris juridiques, participant à l'exercice des droits et libertés des personnes.

Dans un contexte où la sécurité est associée à la perception et à la gestion des risques, aux responsabilités sociales et à leurs impacts, le défi « Liberté et sécurité de l'Europe, de ses citoyens et de ses résidents » s'attache donc **aux enjeux et aux conséquences** pour les organismes et institutions publics ou privés en charge de la sécurité, les professionnels des risques et les populations et ce, quels que soient les **risques envisagés**.

Ce défi mobilise donc les enseignements de la sociologie, de la science économique ou des disciplines juridiques aussi bien que ceux des recherches technologiques. Il concerne la sécurité des personnes et la lutte contre le terrorisme et la criminalité, le secours aux personnes et la protection humaine, ainsi que les modalités multiformes de la recherche et de l'administration de la preuve. Il porte aussi sur la protection des infrastructures vitales et des réseaux ainsi que sur la protection des espaces maritimes, terrestres et aériens et de leurs frontières. Tous ces aspects intègrent les impératifs du respect de la vie privée, la protection des données à caractère personnel et de la dignité humaine.

Des **recherches fondamentales ou très amont** sont nécessaires pour contribuer à la constitution d'un socle des connaissances selon une **démarche intégrée** associant les sciences de la nature et de l'environnement, les sciences du numérique, l'ingénierie, et toutes les sciences humaines et sociales. Ces recherches sont accueillies dans l'axe 1.

Pour les autres axes, l'implication d'utilisateurs concernés, prescripteurs ou opérateurs est encouragée, ainsi que la prise en compte des priorités exprimées par le CoFIS (comité de la filière française des industries de sécurité)⁵ et activités d'importance vitale (énergie, réseaux, transport...).

B.9 – Axe 1 – sous-axe 1.1 : Recherches fondamentales en lien avec le défi

L'axe 1 est consacré aux recherches fondamentales et à la constitution d'un socle de connaissances d'excellence, ouvrant vers une évolution sociale et technologique en matière de sécurité. **Il accueille les projets qui n'ont donc pas pour visée première des applications directes dans le champ de thématiques couvertes par les autres axes mais dont les objets de recherche sont néanmoins clairement positionnés par rapport à au moins un des axes plus applicatifs (axes 2 à 5) du défi.** Les recherches sont encouragées dans les trois grands domaines : les sciences humaines et sociales, les sciences du numérique et les sciences et technologies autres que les STIC.

Les **sciences humaines et sociales** sont fortement encouragées : propositions

⁵ <http://www.gouvernement.fr/comite-de-la-filiere-industrielle-de-securite-cofis>

innovantes au profit de la composante humaine de la sécurité, recherches fondamentales avec un impact significatif sur les politiques publiques, sur des possibilités d'évolutions et de changements de comportements collectifs et individuels y compris dans le but d'améliorer les politiques de sécurité et la fiabilité des technologies associées, sur l'investigation de nouveaux terrains dans une approche intégrée.

Les **sciences et technologies** sont aussi au cœur des problématiques de prévention, de surveillance, de détection, d'identification, de gestion de crise et de résilience. Les propositions visant des ruptures technologiques (ainsi que la remédiation à leur utilisation potentiellement détournée) et de nouveaux concepts d'emploi sont particulièrement sollicitées.

Les recherches pluridisciplinaires et interdisciplinaires sont encouragées.

B.9 - Axe 1 - sous-axe 1.2 : Risques, gestion de crise quelle que soit son origine, résilience des systèmes

L'enjeu de cet axe est de proposer des approches, méthodes et outils pour identifier et évaluer les situations à risque et leurs évolutions, prévenir les crises, être à même de les gérer pour limiter leurs effets, et empêcher qu'elles ne se reproduisent. Les réflexions doctrinales en matière de gestion de crise sont hors champ de cet axe. On s'intéressera en priorité aux crises de grande ampleur en termes d'impact sur la société. Cependant, des crises plus locales pourront être considérées si leur étude comprend une extrapolation des résultats au-delà de la situation considérée.

Connaissance et anticipation des risques et des menaces

On s'intéresse ici, dans une approche globale, à des systèmes ou organisations techniques ou socio-techniques, dans tout leur cycle de vie, qui, s'ils sont perturbés, sont susceptibles de générer une crise qu'il s'agit d'éviter ou de limiter l'ampleur.

Dans le but de renforcer une capacité d'anticipation, les études doivent s'intéresser aux méthodologies, modes d'organisation et outils d'aide à la décision. Elles peuvent être fondées sur des modélisations, des scénarios prospectifs et exploratoires ou encore sur l'exploitation des données massives (signaux faibles ou indices prémonitoires, prise en compte de facteurs invisibles ou de phénomènes négligés, éléments introduisant de la variabilité...). Les études attendues impliquent : 1) l'analyse des facteurs humains à toutes les échelles incluant la psychologie sociale et les sciences du comportement, des organisations et de gestion ; 2) l'analyse de l'impact juridique et économique sous l'angle des coûts des défaillances évitées et/ou des gains d'efficacité apportés (directs ou indirects) de la mise en place de solutions de sécurité ; 3) l'intégration d'indicateurs rénovés et en particulier de facteurs humains et sociaux dans les processus ; 4) des approches pour la garantie de fonctionnement sûr des systèmes interconnectés.

Approche intégrée de la gestion de crise

Les recherches ont pour but de minimiser l'impact et la durée de la crise par la **préparation, l'équipement** et la coordination des personnes et des organisations en charge de répondre à une crise dès son déclenchement, depuis la détection des signaux d'alerte jusqu'à la résolution. Les études peuvent concerner : les systèmes de partage d'information et d'aide à la décision ; la modélisation des évolutions probables – par exemple les effets « domino » – et la prise en compte des capacités de réaction des acteurs ; la modélisation et la simulation des phénomènes critiques (naturel ou d'origine humaine), et la capacité d'acquiescer et de transformer en temps réel en informations

pertinentes des données hybrides et multi-sources, avec une interaction humains/système appropriée ; la communication de crise vers le grand public, la diffusion et la transparence de l'information, l'organisation et les processus collaboratifs de secours, d'évacuation ou d'intervention.

La mise en situation des approches socio-techniques dans des expérimentations et des exercices opérationnels réalistes permettra d'évaluer la pertinence et la validité de ces modélisations et simulations, ainsi que de les corriger. L'utilisation de « jeux sérieux » pourra être envisagée en support à la modélisation des crises et pour l'entraînement des personnels concernés. Un effort important sera porté sur les compétences nécessaires pour gérer l'effet de surprise, pour décider sous forte pression temporelle, pour comprendre la dynamique du système et de l'organisation socio-technique, y compris quand ils sont en dehors du domaine de fonctionnement connu.

Résilience des systèmes, retour à la normale et analyse ex-post

On s'intéresse ici à la gestion de la fin de crise, de l'après-crise et des conséquences. À court terme, les enjeux sont d'ordre logistique, d'accompagnement et de suivi des personnes impliquées dans les désastres, en termes psychologiques, sanitaires, sociaux, juridiques ou financiers. Ces conséquences pourront être étudiées dans la durée. Pour le moyen à long terme, on s'intéressera au développement de méthodes et d'outils d'analyse *ex post* (retour d'expérience de crises résolues et de crises évitées), à leur mise en œuvre pour prévenir l'occurrence d'autres crises ou atténuer leurs effets, ainsi qu'aux processus juridiques d'élaboration des normes et à tout ce qui contribue à la robustesse du cadre juridique. On s'intéressera au développement des capacités de résilience, en particulier dans le cadre des systèmes complexes interconnectés, mais aussi des moyens et organisations mis en œuvre dans la gestion des crises et retour à la normale.

B.9 - Axe 1 - sous-axe 1.3 : Lutte contre le crime organisé, le terrorisme et la radicalisation violente

Cet axe concerne la lutte contre les menaces majeures envers les biens et les personnes, la société et l'environnement. Il recouvre l'anticipation la prévention et le traitement des phénomènes de crime organisé de terrorisme et de radicalisation violente.

Il encourage aussi la mise en place des expérimentations juridiques ou techniques, permettant la collection et le traitement de données en prévention ou en élucidation et peut comprendre des aspects techniques organisationnels et un encadrement légal ou réglementaire.

Technologies innovantes d'équipements des forces de sécurité

La recherche attendue recouvre la préparation et l'équipement des personnes et organismes qui interviennent dans la prévention des risques et dans le rétablissement des conditions de sécurité, la protection des intervenants, et le contrôle effectif des personnes en liberté de circulation restreinte (dans l'espace ou dans le temps).

Sécurité des établissements et lieux recevant du public

On cherchera à proposer des solutions, de préférence non intrusives, pour détecter, diagnostiquer, contrer tous types de menaces à caractère terroriste ou en lien avec le crime organisé. La sécurité des infrastructures d'importance vitale est traitée dans l'axe 5.

Lutte contre la radicalisation violente

Tous les types de radicalisation, connues ou émergentes, menant à des actions violentes sont à prendre en compte. On s'intéresse ici à tous les dispositifs qui permettent de prévenir, surveiller, analyser et contrer la radicalisation violente d'individus ou de groupes d'individus. On peut citer par exemple l'analyse des contextes sociaux, culturels et géopolitiques favorisant les trajectoires de radicalisation, l'analyse des discours et argumentaires, les stratégies et politiques de prévention et de déradicalisation. Il s'agira de développer des méthodes générales pour la détection de comportements potentiellement à risques ou extrêmes y compris par la perception et l'analyse des signaux faibles.

Lutte contre le crime organisé et le terrorisme

L'objet de recherche concerne la lutte contre le crime organisé et les activités terroristes. Les recherches pourront s'orienter vers :

- La détection fiable, rapide et économique des menaces, leur identification et leur neutralisation incluant le développement de systèmes autonomes ou télépilotes pour la détection ; des moyens de contrôles des flux (personnes, marchandises, véhicules) permettant aussi d'automatiser les processus de contrôle et de vérification sans forcément les systématiser ; la détection et l'analyse des signaux faibles dans le monde physique et sur internet (données textuelles, visuelles, sonores, signalements, faux documents...); de nouvelles techniques de surveillance et d'alerte. Les échanges avec les citoyens tels que des appels à témoins ou des signalements peuvent être pris en compte ;
- La mise en évidence et la sauvegarde de traces et d'indices pour l'administration et la recevabilité de la preuve lors d'enquêtes judiciaires incluant l'analyse des flux financiers cachés ; les dispositifs qui permettent l'identification des auteurs et leur poursuite ainsi qu'aux réparations des dommages aux personnes et matériels ; les technologies analytiques des échantillons permettant une caractérisation fine NRBC-E ;
- Le renforcement de l'organisation et du fonctionnement des forces de l'ordre (équipements). Des recherches sur les politiques publiques relatives à la surveillance et à la protection, sur leurs conséquences juridiques et sur la comparaison socio-économique de l'impact des atteintes à la sécurité et de l'impact des solutions sont aussi nécessaires.

B.9 - Axe 1 - sous-axe 1.4 : Cybersécurité : liberté et sécurité dans le cyberspace, sécurisation des systèmes d'information, lutte contre le cyberterrorisme

Cet axe considère les risques, menaces et vulnérabilités liés aux technologies numériques de nos sociétés très interconnectées. Sont concernées les recherches en cryptologie, biométrie, virologie, sécurité des données multimédia, sécurité des systèmes logiciels et matériels, Intelligence Artificielle et traitement des données massives pour la sécurité, mais aussi en droit, économie, sciences du comportement, sociologie, etc... La transparence des solutions innovantes est encouragée (code source libre vérifiable) pour accroître la confiance et réduire les vulnérabilités par effet de mutualisation. La prise en compte de la sécurité et de la protection de la vie privée dès la conception sont nécessaires.

Protection des dispositifs et systèmes d'information

Il s'agit de proposer des approches innovantes afin de couvrir les besoins en protection des systèmes d'information et de tous les dispositifs qui produisent, traitent et stockent des informations sensibles. L'objectif est d'assurer la protection des citoyens, des institutions, des infrastructures, des réseaux et des patrimoines matériels et immatériels. Les projets pourront aller de la sécurité du composant élémentaire (y compris cryptographique) aux politiques de sécurité d'un système de systèmes interconnectés, en passant par la protection des données numériques et les facteurs humains et organisationnels. Le périmètre inclut aussi la cybersécurité des instruments de l'e-administration (démarches administratives, carte vitale ou identité numérique, etc.), l'e-démocratie (vote électronique), les technologies de sécurité pour les composants et systèmes de l'internet des objets, et la prise en compte de la menace liée à l'émergence du calcul quantique.

Les projets pourront concerner la sensibilisation, la formation pluridisciplinaire des acteurs de la cybersécurité, ainsi que les outils d'assistance à la maîtrise des solutions de sécurisation.

Cybersécurité des infrastructures, des réseaux physiques, des équipements et objets

La part croissante des technologies numériques dans le fonctionnement des systèmes, équipements, infrastructures et réseaux physiques génère de nouvelles vulnérabilités. Ici, le risque considéré n'est pas le simple vol de données, mais la modification des codes ou l'injection d'informations erronées, le re-paramétrage d'automates pouvant mener à des situations critiques. Ce risque est augmenté par les interconnexions avec, par exemple, des dispositifs d'optimisation (compteurs intelligents), des systèmes industriels, des véhicules connectés ou de façon plus générale par les applications autour des objets connectés.

Lutte contre la cybercriminalité et le cyberterrorisme

Sont ciblés ici les usages des technologies numériques au profit d'activités illicites ou portant atteinte au fonctionnement régulier des institutions publiques, à celui des entreprises et aux personnes. Les recherches traiteront des méthodes, moyens et outils permettant de lutter contre les cyberactivités criminelles ou terroristes. Les projets peuvent concerner la détection des signaux faibles dans un flux de données massives, l'analyse comportementale, le traitement des contenus du web, des réseaux sociaux, la virologie, la lutte contre les malwares, dans le strict respect de l'éthique et des règles juridiques applicables. La recherche sur les enjeux de l'informatique offensive pourra être envisagée, particulièrement en sciences humaines et sociales, dans le strict respect de l'éthique et des règles juridiques applicables. On s'intéressera aussi aux moyens de lutter contre des comportements contraires au droit et à l'éthique qu'un usage anonyme du web permet.

Protection des droits et libertés fondamentales dans le cyberspace

La recherche doit être au service de la définition d'un cadre de confiance qui permette aux entreprises et aux organisations d'innover et d'offrir des produits et services qui répondent aux besoins des consommateurs et de la société, en prenant en compte les évolutions des réglementations nationales et européennes. Ce cadre de confiance doit passer par l'intégration des enjeux éthiques et juridiques dans les projets de recherche ayant une visée sécuritaire (évaluation éthique, intégration de la protection de la vie

privée dès la conception) et par des projets consacrés au pouvoir d'agir des citoyens (information, maîtrise et contrôle des données).

En particulier, on encouragera des recherches, combinant les savoirs technologiques et les savoirs des sciences humaines et sociales sur les moyens de faire en sorte que la personne garde la maîtrise de ses données et de ses échanges (décentralisation des données, chiffrement, techniques d'anonymisation, outils de maîtrise et de portabilité des données).

B.9 - Axe 1 - sous-axe 1.5 : Protection des infrastructures et des réseaux d'importance vitale ; surveillance des espaces souverains

La vulnérabilité des infrastructures d'importance vitale des réseaux et des espaces souverains a considérablement augmenté sous l'effet conjugué de l'accroissement des capacités de nuisance, de la multiplication des cibles potentielles, de la médiatisation des attaques. Il importe donc de fournir une réponse de sécurité globale et organisée autour d'une appréciation précise et prospective des risques et menaces et de leurs conséquences, des vulnérabilités et des mesures de prévention et de protection à mettre en œuvre.

Cet axe s'intéresse donc à des propositions de briques technologiques mais aussi de travaux (méthodologie, outils de modélisation, métriques) pour : la formalisation, en termes de définition et/ou de vérification de respect des exigences Sureté/Sécurité de telles cibles, à des fins de conception ou d'évaluation des systèmes à risques ; le diagnostic des situations (sites ou flux) et des impacts potentiels pour les acteurs concernés ; l'évaluation coût/performance de solutions socio-techniques, pour l'aide au choix d'un système de prévention/protection « raisonnable » ; l'analyse de données (massives ou non) d'exploitation pour identifier des signaux faibles dans une démarche préventive, les représentations adaptées (IHM) des situations et des signaux d'alerte gradués pour une surveillance et une aide à la décision opérationnelles efficaces.

Dans un souci de développement de solutions économiquement performantes, les projets proposant des solutions répondant aux besoins conjoints de sureté et de sécurité seront appréciés. Le fruit de ces travaux pourra le cas échéant mener, en particulier, au développement non seulement de briques technologiques plus abouties mais aussi de bonnes pratiques, de référentiels voire de normes à développer dans d'autres cadres de recherche intervenant à un stade plus applicatif.

Protection des infrastructures d'importance vitale et des réseaux

Cette thématique concerne l'étude et la réduction de la vulnérabilité des infrastructures critiques et des réseaux physiques (ainsi que des services associés), notamment liés à l'énergie, à l'approvisionnement en eau, aux transports, aux télécommunications. On s'intéressera aussi à la prévention et la gestion des sinistres en cascades (effets dominos) impliquant de telles infrastructures. Cette thématique concerne également les recherches sur la combinaison des risques naturels et technologiques (natech).

L'objectif est d'anticiper les menaces et les vulnérabilités, de proposer des solutions de prévention des situations de risques ou de protection contre leurs conséquences. La gestion de crise résultant de l'occurrence de telles situations est à traiter dans l'axe 2 du défi. Les projets de recherche peuvent concerner la caractérisation et l'évaluation des effets des scénarii de risques ou de menaces et de la protection contre tout type de risques ou de menaces dans une démarche d'intégration de la sécurité dès la conception. Les

cibles potentielles doivent être entendues au sens large et doivent intégrer les patrimoines matériel, immatériel et humain. Enfin l'adaptation des socles juridiques et normatifs liée aux enjeux de sécurité contemporains et futurs doit aussi enrichir les recherches effectuées dans le cadre de cet axe.

Quels que soient les sites concernés, il importe de contrôler, localiser et protéger les personnes et les biens dans un environnement réel ou numérique. Il y a lieu de considérer l'environnement de l'infrastructure pour optimiser la solution en termes de complexité dans une démarche d'équilibre entre les moyens techniques, les moyens humains et les doctrines. A ce titre, l'analyse intégrée des risques, naturels, technologiques et humains ainsi que leur combinaison doit être un champ privilégié de recherche pour des propositions de réponses préventives ; de même des recherches concernant des approches ou outils d'évaluation de scénarii qu'elles soient d'ordre organisationnel ou technologique pourront être proposées.

Surveillance des espaces maritimes, terrestres et aériens

Cette thématique concerne l'étude des menaces et la gestion de la sécurité liée à des flux humains, matériels (chaîne logistique) et immatériels, dans les espaces maritimes, terrestres et aériens et via les interconnexions entre ces différents espaces. En particulier, elle traite des systèmes socio-techniques de surveillance permanente à distance, avec éventuellement des moyens automatiques (analyse d'images, de scènes ou de mouvements), des robots ou des drones, Elle concerne aussi les outils permettant d'améliorer le suivi et la traçabilité des mouvements des personnels au sein des différentes zones y compris à l'intérieur des bâtis (de sites privés ou publics), et la détection de déplacements suspects de personnes, véhicules, navires, aéronefs et drones au sein des zones, dans le respect des règles juridiques en vigueur (notamment pour le respect de la vie privée et l'information du public). Les recherches peuvent couvrir des problématiques technologiques (tout type de capteurs y compris spatiaux et algorithmes associés, corrélation d'événements, moyens d'intervention...) et/ou relevant des sciences humaines et sociales (droit, sciences politiques et de gestion...).

Ces études peuvent également permettre de définir les besoins technologiques pour répondre aux concepts de frontières intelligentes et de sécurité invisible.

B.10 - Les recherches situées hors du cadre d'un défi de société

Trois axes viennent en complément des 36 précédents. Ils ont pour objectif de soutenir des projets de recherche fondamentale et de recherche appliquée dans des champs scientifiques qui n'entrent pas dans les priorités affichées des grands défis de société.

Le périmètre scientifique de ces axes englobe un ensemble de disciplines et sous-disciplines des sciences exactes bien identifié au sein de trois grands champs disciplinaires du plan d'action : sciences de l'environnement et sciences de l'Univers, sciences de la matière et de l'énergie, mathématiques et sciences du numérique. Il n'est pas ouvert aux sciences de la vie et aux sciences humaines et sociales déjà identifiées dans les axes précédents.

Ces axes ont vocation à rassembler des projets qui s'appuient sur des concepts existants ou explorent de nouvelles voies en rupture ou à risques. Ils sont ouverts aux applications, à l'interdisciplinarité, et aux sujets relevant de disciplines rares dont le faible nombre de chercheurs ou la désaffection pourrait entraîner la perte d'un savoir.

L'espace scientifique hors-défis est décliné en trois axes :

- Mathématiques
- Physique de la matière condensée et de la matière diluée
- Physique subatomique, Sciences de l'Univers, Structure et Histoire de la Terre

Les projets de recherche en dehors de ces axes devront impérativement trouver leur place dans ceux des neuf défis de société. Il appartient aux porteurs de faire le choix d'orientation le plus pertinent pour leur projet. L'évaluation des projets relève de quatre CES dont les périmètres sont définis précisément dans le texte de l'AAP générique.

B.10 - Axe 1 : Mathématiques (Axe hors-défi)

Il englobe essentiellement le champ des mathématiques pures (secteur ERC PE01) : logique, algèbre, théorie des nombres, géométrie, topologie, algèbre et groupes de Lie, analyse, algèbres d'opérateurs et analyse fonctionnelle, aspects théoriques des EDP...

Les projets de mathématiques appliquées, à caractère théorique, ne relevant pas des défis sociétaux, sont aussi attendus dans cet axe.

B.10 - Axe 2 : Physique de la matière condensée et de la matière diluée (Axe hors-défi)

Cet axe recouvre un champ large de la physique à travers essentiellement les secteurs ERC PE02 (à l'exception des sous-disciplines PE02_01 à 04) : « Constituants fondamentaux de la matière : plasma, atome, molécule, gaz et optique » et PE03 (à l'exception des sous-disciplines PE03-05 et 07) : « Physique de la matière condensée : structure, propriétés électroniques, fluides, nanosciences, biophysique ».

B.10 - Axe 3 : Physique subatomique, sciences de l'Univers, structure et histoire de la Terre (Axe hors défi)

Cet axe s'adresse à l'ensemble des projets de recherche fondamentale du domaine de la physique subatomique et théorique, l'astrophysique, la cosmologie, l'astronomie, la planétologie, l'exobiologie, la structure et histoire de la terre (incluant les paléo-

environnements lointains sans analogues avec l'ère actuelle). Il comprend trois sous-axes bien identifiés :

- **Sous-axe 3.1** - Constituants fondamentaux de la matière (sous-disciplines ERC PE02_01 à 04)
- **Sous-axe 3.2** - Sciences de l'Univers : (toutes les sous-disciplines du secteur ERC PE09)
- **Sous-axe 3.3** – Structure et histoire de la Terre (sous-disciplines du secteur ERC PE10)

B.11 - Les recherches à mener en appui de grands enjeux transverses

B.11 - Axe 1 : Mathématique, informatique, automatique, traitement du signal pour répondre aux défis de la biologie et de la santé

Axe transverse aux défis « Vie, Santé, Bien-être » et « Société de l'information et de la communication »

Cet axe concerne l'élaboration de concepts et le développement de nouvelles méthodes utilisant les outils mathématiques, informatiques et biostatistiques pour :

- L'analyse des masses de données issues de la biologie omique à haut débit. Cet axe recouvre la récolte et la gestion de données massives, l'interopérabilité entre données hétérogènes, le développement d'algorithmes (méthodes d'apprentissage, fouille de données, etc) permettant le traitement et l'interprétation de ces données. Cet axe concerne aussi l'exploitation des données massives pour l'aide à la prise de décision, les échanges de données, l'accès, la sécurité, la réglementation, et l'éthique de la gestion de données en recherche préclinique, clinique, populationnelle, et épidémiologique.
- la microscopie cellulaire et tissulaire afin de développer : l'acquisition de données complexes multimodales multi-échelles et de fort contenu, la microscopie de super-résolution, la microscopie dynamique rapide, les algorithmes d'analyse et de quantification des données notamment la segmentation et la reconnaissance automatisée des objets biologiques dans les cellules et tissus, l'archivage et la restitution des données brutes et des analyses liées, la modélisation mathématique des données issues de la microscopie cellulaire et tissulaire quantitative et la visualisation virtuelle et augmentée des données.
- Le traitement du signal et des images biologiques et médicales : le développement d'outils méthodologiques en segmentation, extraction et caractérisation de l'information contenue, ainsi que la fusion d'informations multi-modalités, multi-échelles, spatio-temporelles (morpho-fonctionnelle). La modélisation hiérarchique des phénomènes multi-échelles observés (de la molécule à l'organe, à l'organisme) s'inscrit également dans cet axe.
- L'analyse prédictive de processus biologiques ainsi que les méthodes permettant leur confrontation aux données expérimentales. Ceci intègre le développement de modèles morphologiques et fonctionnels, de modèles des systèmes biologiques complexes permettant une compréhension dynamique et quantitative de phénomènes complexes, de modèles biomécaniques, de modèles multi-paramétriques associés à des données cliniques, phénotypiques et environnementales à partir de bases de données massives, de modèles pour une médecine numérique personnalisée.
- Le développement de la simulation des systèmes biologiques complexes, la simulation numérique, le calcul intensif et l'optimisation associée, la simulation immersive (virtuelle et augmentée) pour l'intégration et la représentation de données multimodales et multi-échelles.

B11 - Axe 2 : Santé Publique

Axe transverse aux défis « Vie, Santé et Bien-être » et « Sociétés innovantes, intégrantes et adaptatives »

Cet axe est commun aux défis « Vie, Santé et Bien-être » et « Sociétés innovantes, intégrantes et adaptatives », et les projets qui y seront soumis seront évalués conjointement par un comité unique et interdisciplinaire.

Cet axe vise à encourager des recherches intégrées et multidisciplinaires dans le domaine de la santé publique. Ces recherches doivent permettre d'appréhender l'état de santé des populations, les états et comportements de santé des individus, ainsi que leurs rapports aux professions, aux institutions, ou aux acteurs de santé, qu'ils soient publics ou privés.

L'objectif est d'analyser et de comprendre le rôle des facteurs sociaux, économiques, comportementaux, environnementaux, et leurs interactions, sur le bien-être, la santé, la constitution et la réduction des inégalités de santé. Il s'agit de proposer un cadre de travail pour aborder de façon intégrée et interdisciplinaire l'impact de multiples déterminants sur les maladies et la santé, évaluer les risques, proposer des méthodes de surveillance et d'anticipation, de prévention, de prise en charge et de traitement des pathologies (y compris en soins primaires), de compensation des handicaps, et d'adaptation des politiques et systèmes de santé à ce contexte. Un intérêt particulier sera porté aux méthodologies permettant d'analyser ces déterminants sociaux, comportementaux et environnementaux de la santé au cours de la vie et dans les espaces d'activités (résidentiel, professionnel...). Une réponse appropriée des pouvoirs publics suppose en particulier des analyses préalables sur les dimensions sociales, comportementales, psychosociales, économiques et biologiques et les effets de certains déterminants sociaux sur la santé, comme sur l'ampleur et la nature des phénomènes. L'action concerne également l'étude des interventions possibles autour des causes et expressions d'expositions et d'inégalités sociales ou de vulnérabilité liées à la santé, des biopolitiques, et des interrogations relatives aux mesures et normes (définition, mise en œuvre et évaluation).

B.11 - Axe 3 : Bioéconomie : technologies (chimie, biotechnologie, procédés) spécifiques et approches système

Axe conjoint aux défis « Une énergie propre, sûre et efficace », « Stimuler le renouveau industriel » et « Sécurité alimentaire et défi démographique »

Comme définie dans « La stratégie Bioéconomie pour la France », la « bio-économie englobe l'ensemble des activités liées à la production, l'utilisation et la transformation des bio-ressources. Celles-ci sont destinées à répondre de façon durable aux différents besoins (alimentaires, énergétiques, en matériaux, en produits chimiques...) et à lui fournir des services écosystémiques ». Cet axe est ouvert aux **approches transversales et/ou systémiques répondant aux enjeux de la bioéconomie**, ainsi qu'aux **méthodes et aux technologies** spécifiquement ou principalement liées à ce domaine, dont les **biotechnologies et les procédés de transformations**, y compris au sein des bioraffineries. Cet axe concerne **l'ensemble des bioressources** (exploitées, cultivées, d'élevages, forestières, déchets, ...) des systèmes **continentaux et marins**.

La production et la mobilisation des bioressources,

Le champ des recherches concerne ici notamment :

- L'exploration et la caractérisation de la **biodiversité continentale et marine**, y compris les consortia microbiens, pour le développement de bioressources d'intérêt. Tous les clades sont concernés ;
- L'innovation variétale sur des traits définis pour l'aptitude aux usages, aux procédés de transformation et à la durabilité des systèmes de production ;
- La conception de systèmes de culture durables sous contrainte d'usage des bioressources produites ;
- L'exploitation de bioressources traditionnelles ou nouvelles pour la valorisation des surfaces marginales, dégradées, les mutations d'usage des surfaces agricoles et industrielles ;
- La modélisation à l'échelle des territoires potentiels de production de bioressources, tous usages confondus sous contraintes (agroécologie, sécheresse, ...);
- La production de bioressources destinées aux applications alimentaires (protéines microbiennes, métabolites secondaires) énergétiques et chimiques où il s'agit de mieux comprendre et améliorer les rendements « énergétiques » de certains micro-organismes (production de lipides, sucres, hydrogène...).

Les transformations des bioressources (y compris les bioraffineries)

Dans le contexte de recherche de matières premières alternatives, la montée en puissance du carbone renouvelable et de l'économie circulaire, y compris des usages en cascade, constitue un élément de réponse. Les voies de conversion et de valorisation, spécifique ou conjointe (concept de bioraffinerie), de la biomasse en vecteurs énergétiques (hydrogène, hydrocarbures...), produits chimiques, matériaux, sont importantes à considérer. Les recherches viseront notamment :

- Le développement des procédés biotechnologiques utilisant des micro-organismes et/ou des enzymes pour convertir la biomasse en composés énergétiques et/ou en molécules d'intérêt. Ces procédés pourront éventuellement être couplés à la voie chimique. Les recherches doivent intégrer les capacités accrues de modification des microorganismes (édition du génome, criblage haut-débit, biologie de synthèse...). La capacité d'utilisation d'un nombre croissant d'enzymes, allant jusqu'à celle d'enzymes non naturelles, est aussi un facteur de rupture important.
- La conception, l'optimisation et la maîtrise des procédés de transformation des bio-ressources (chimiques, physico-chimiques, thermiques, prétraitement, empoisonnement des catalyseurs, séparation, purification ...) incluant des combinaisons de technologies, les changements d'échelle (dont les bioraffineries à la ferme), leurs valorisations multiples et l'adaptation à l'hétérogénéité de la biomasse (variabilité, volumes, spécifications, prix...).
- La conception des usages en cascade depuis les usages premiers (*food first*) jusqu'aux usages secondaires et tertiaires aboutissant à un bouclage des cycles N et P.

- La modélisation des bioressources et leurs dérivés (représentation de la biomasse) et de leurs propriétés (par exemple thermodynamiques) y compris les organisations supra-moléculaires (bois, matériaux).

Externalités et leviers pour le développement de la bioéconomie :

Il s'agira ici de développer des recherches notamment sur :

- L'amélioration des outils d'évaluation, d'aide à la décision et de suivi de la performance environnementale, économique et sociale de la bioéconomie en particulier dans les usages en cascade (ACV, évaluation des risques et des incertitudes, écologie industrielle, prise en compte des changements directs et indirects d'usage des sols...).
- Des méthodes d'évaluation de la performance sociale, économique et environnementale des modèles pour la bioéconomie y compris les processus de transition, valables quelle que soit l'échelle d'évaluation ;
- La mesure de l'impact de la transition énergétique sur la production primaire ;
- Des méthodes d'élaboration et de comparaison de scénarios pour la prospective et l'aide à la décision (publique et privée) ; l'identification et l'articulation des échelles géographiques, économiques et administratives pertinentes ;
- La spatialisation et l'organisation des acteurs de la bioéconomie : métabolisme des mégapoles en lien avec les usages en cascade et les bioraffineries environnementales, synergies dans des schémas d'écologie industrielle, articulation entre les acteurs, modalités de déploiement de la bioéconomie dans les territoires et accompagnement des reconversions liées aux drivers externes (climat...) ou internes (transitions alimentaires, nouveaux usages) de la bioéconomie, durabilité des services écosystémiques, résilience d'un schéma territorial de bioéconomie face à des perturbations internes (maladies, ...) ou externes (instabilités climatiques).

B.11 - Axe 4 : La Révolution numérique : rapport au savoir et à la culture

Axe transverse aux défis « Société de l'information et de la communication » et « Sociétés innovantes, intégrantes et adaptatives »

Les projets qui y seront soumis seront évalués conjointement par un comité unique et interdisciplinaire. Il appelle des projets où s'articulent disciplines des sciences humaines et sociales et disciplines des sciences du numérique pour lever des verrous scientifiques de l'un et/ou l'autre domaine.

Éducation et formation

Le développement du numérique pour l'éducation et la formation concerne tous les niveaux de scolarité, toutes les formations, et nécessite de prendre en compte des enjeux éthiques et juridiques liés au respect de la vie privée. **Apprendre avec le numérique** doit permettre de bénéficier des avancées des techniques numériques et de celles des sciences de la cognition. Comment définir des parcours d'apprentissage intelligents, adaptés aux besoins de l'apprenant ? Comment suivre l'avancement individuel de chaque apprenant ? Comment évaluer les solutions d'apprentissage médiatisé proposées ? On pourra travailler sur la modélisation des apprentissages, le rôle des communautés et réseaux et, plus généralement, explorer comment le numérique peut permettre de généraliser et de

potentialiser des phénomènes contribuant aux apprentissages tout au long de la vie. **Apprendre le numérique** devient une compétence clé pour l'éducation, tant la capacité de participer à une société qui utilise la technologie des communications numériques dans les milieux du travail, le foyer, l'espace civique, est facteur d'inclusion sociale. On mettra l'accent sur la littératie numérique (notamment l'apprentissage du codage informatique) dès le plus jeune âge, sur le développement d'une culture numérique chez l'enseignant. On identifiera les difficultés rencontrées dans la transmission, la compréhension et l'utilisation des concepts informatiques. **Apprendre à l'ère numérique**, c'est disposer de la promesse permanente d'un équipement massif, nomade et connecté, qui modifie les valeurs et les comportements. L'autoproduction de contenus, l'ubiquité ou l'extension des réseaux sociaux ont-elles démocratisé le savoir ? Ont-elles renouvelé ses formes d'expression ? Les cours massifs en ligne et les cours pour effectifs réduits méritent un examen. Des recherches s'imposent sur les expériences lancées, leur aptitude à atteindre les publics-cibles, ainsi que sur les possibilités d'amélioration mobilisant analyse des forums, correction automatique d'exercices ou personnalisation à partir d'interactions. Ces innovations pédagogiques peuvent aussi mettre en jeu de nouveaux dispositifs de réalité mixte, virtuelle ou augmentée, des robots ou des agents conversationnels.

Création et partage des savoirs

Le numérique affecte la production, l'exploitation et le partage des savoirs scientifiques. On pourra étudier comment les disciplines révisent leurs **pratiques scientifiques**. Par exemple, l'analyse du discours étendue aux controverses et aux argumentations grâce aux techniques de fouille des contenus textuels, ou encore l'économie financière avec le traitement de données en temps réel. On pourra s'intéresser à la concurrence ou à la complémentarité entre écrit-numérique et écrit-papier, entre expérimentation et simulation, entre observation directe et travail sur des représentations construites à partir des données. Autour des sciences et technologies du numérique peuvent ainsi être mobilisées l'épistémologie, les sciences cognitives, l'éthique, les humanités et les sciences sociales. La **construction même des savoirs** pourra faire l'objet de recherches sur les procédés d'édition et de partage dans le contexte du libre accès aux publications scientifiques et aux données de la recherche : modes d'éditorialisation, rapports entre les chercheurs ou entre les chercheurs et le public (p. ex., sciences participatives). Une meilleure connaissance de soi (et des autres) peut émerger si les organisations partagent les données personnelles qu'elles détiennent avec les individus concernés. Face à l'inquiétude que génèrent la collecte et l'usage de multiples données personnelles (données administratives, de consommation, d'énergie, de navigation sur Internet, de santé, ...), il faudrait explorer les opportunités offertes par le **partage des données personnelles** entre individus et organisations. L'individu peut alors exploiter les données à ses propres fins, à l'aide d'applications et de services tiers : pour évaluer ses décisions passées, prendre de meilleures décisions, pour mieux se connaître. Ainsi, le recours aux données (Big Data, Small Data, Self Data) a des implications sociales qui renvoient à la question de **l'innovation par les usages**.

Culture et patrimoine

L'introduction du numérique dans le champ patrimonial (archives, archéologie, musées, inventaire, ...) ouvre des perspectives pour l'identification, la documentation, la conservation-restauration et la médiation, induisant un renouvellement des méthodologies mobilisables pour connaître le patrimoine et pour le faire

connaître. **Connaissance des patrimoines.** Afin d'introduire des supports d'analyse, d'interprétation, de classification plus appropriés aux regards pluridisciplinaires portés aujourd'hui sur les objets patrimoniaux, de nouveaux moyens d'acquisition et de suivi temporel des formes et des matériaux sont nécessaires, ainsi que de nouvelles approches d'intégration de données et informations. Le numérique augmente aussi les possibilités de représentation et transmission des connaissances. Comment préserver la reproductibilité d'un résultat (ex : sauver les procédures ayant conduit à l'image plutôt que l'image elle-même) ? Comment formaliser et documenter les parcours d'interprétation des données en confrontant les procédés techniques aux processus cognitifs humains ? **Accès aux patrimoines.** Les technologies intégrées aux locaux des musées, à leurs portails web ou à leurs applications mobiles révolutionnent le rapport du public aux collections. Le numérique entraîne la création de nouveaux « objets », nés numériques, qui constituent la réalité culturelle des nouvelles générations. Les musées et sites doivent repenser la gestion des collections. Sous quelle forme les mettre à la disposition du public ? Comment les organiser et les documenter ? L'État peut-il appliquer ses normes de labellisation, d'inventaire ou de classement aux patrimoines matériels ou immatériels proposés par les usagers ? Comment les rapports entre experts et amateurs évoluent-ils dans ce contexte ?

*Les porteurs de projets sont invités à se rapprocher de la **TGIR Huma-Num** (Très grande infrastructure de recherche des Humanités numériques), qui mobilise les réseaux de chercheurs en quête de bonnes pratiques (systèmes d'information géographique, reconstitution 3D de monuments, analyse de textures, etc.), entité elle-même affiliée au niveau européen à l'**ERIC DARIAH**. Sont concernés ici au premier chef les **musées** et les **archives audiovisuelles**, comme celles que l'**Institut national de l'audiovisuel (INA)** met désormais à la disposition des chercheurs : leur exploitation requiert une collaboration étroite entre chercheurs en SHS et chercheurs en sciences et technologies du numérique ; elle offre l'occasion de renouveler les méthodes de traitement, d'annotation et d'indexation. Il est recommandé que le fruit de ces travaux (annotations, enrichissement, métadonnées) soit en **libre accès** et mobilisables pour d'autres recherches. Les chercheurs intéressés par ce vaste corpus sont invités à se rapprocher de l'INA.*

Les porteurs de projets sont également invités à considérer la place et le rôle des professionnels du patrimoine dans la recherche, depuis l'élaboration des programmes, des méthodologies partagées, leur mise en œuvre jusqu'à l'appropriation et la diffusion des résultats.

B.11 - Axe 5 : Dynamiques des écosystèmes et de leurs composants en vue de leur gestion durable.

Axe transverse aux défis « Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique » et « Sécurité alimentaire et défi démographique »

Il s'agit de mieux comprendre comment les changements globaux, qu'ils concernent l'utilisation des terres, l'exploitation des ressources océaniques et terrestres, la biodiversité, ou le climat, vont interagir pour affecter le devenir des écosystèmes d'intérêt agricole, forestier, halieutique et aquacole en relation ou non avec les écosystèmes peu ou pas anthropisés. Il s'agira, sur cette base, d'élaborer des stratégies de gestion et d'adaptation dans des situations économiques, sociales et culturelles différenciées et de répondre à des questions importantes : Quel sera l'impact de modes de gestion des milieux et des ressources sur l'environnement et les services écologiques ? Comment les faire évoluer vers des modes de gestion durables ? Quelle complémentarité rechercher

entre écosystèmes naturels et écosystèmes à vocation de production pour favoriser la disponibilité de services écosystémiques (approvisionnement en ressources, régulation de l'environnement, biens communs...) ?

Fonctionnement, adaptation et gestion durable des écosystèmes de production

Le fonctionnement, l'évolution et la capacité de résilience et d'adaptation des écosystèmes exploités – continentaux et marins – restent mal compris. C'est vrai en particulier pour les dynamiques éco-évolutives des espèces, les interactions entre espèces et entre niveaux trophiques, la biodiversité fonctionnelle, et la contribution aux grands cycles (C, N, P, eau). Il s'agit de mieux comprendre les interactions, les continuités et les interfaces entre les écosystèmes de production et les systèmes peu ou pas anthropisés.

Ces recherches permettront d'appréhender l'évolution des écosystèmes de production, leur adaptation, leur résilience, et leur capacité à procurer une multiplicité de services écosystémiques. Elles permettront de faciliter la transition écologique et agro-écologique par l'aide à la conception ou la re-conception de systèmes de production reposant sur une meilleure connaissance des interactions biotiques et de l'écologie fonctionnelle, afin d'améliorer leur durabilité. Les objectifs poursuivis sont une meilleure résilience et une meilleure gestion et utilisation des ressources renouvelables, une amélioration de la qualité environnementale (eau, sols, air), une mobilisation de la biodiversité, y compris les ressources génétiques, préservant sa dynamique évolutive. Il s'agit aussi de promouvoir une gestion intégrée des systèmes à vocation de production dans les paysages, les territoires, les zones côtières et hauturières en incluant les infrastructures écologiques, les milieux semi-naturels et naturels dont les espaces protégés.

Sont concernés la gestion des ressources et le maintien des fonctions et des services des écosystèmes continentaux et marins ainsi que la transition de l'agriculture, l'élevage, la forêt, la pêche et l'aquaculture vers des systèmes productifs intégrés et durables (plan agro-écologie, initiative quatre pour mille, plan Ecophyto, gestion durable des forêts, approche écosystémique des pêches, aquaculture durable...).

Trajectoires d'évolution et stratégies d'accompagnement politique de la transition écologique dans les écosystèmes de production

La transition vers des écosystèmes de production durables suppose d'identifier des trajectoires pertinentes afin de favoriser cette évolution par des actions, des stratégies et des politiques. Elle suppose d'en analyser tous les verrous et les leviers majeurs. Elle nécessite de comprendre les déterminants des comportements de l'ensemble des acteurs face aux évolutions biotechniques et socio-économiques, le rôle que peut jouer la co-conception, avec ces acteurs, de pratiques et systèmes productifs intégrés et durables. Les processus d'apprentissage de ces acteurs, considérés eux-mêmes comme des innovateurs, sont à favoriser. Cela suppose de concevoir de nouvelles trajectoires d'innovation et des modèles intégrés couplant dimensions éthiques, socio-économiques, biotechniques et écologiques avec l'élaboration de scénarios⁶ préfigurant l'évolution et l'adaptation des écosystèmes en réponse aux changements globaux.

Ces recherches devraient informer la société et les décideurs dans leur orientation de la gestion des écosystèmes de production et dans l'élaboration de politiques publiques

⁶ Les travaux de l'IPBES sur les scénarios pour la biodiversité, tout comme ceux du GIEC, pourront être une inspiration utile pour l'élaboration des projets ; voir ainsi l'appel à projets BiodivERSA-Belmont Forum « Scenarios de la biodiversité et des services écosystémiques ».

permettant d'accompagner une transition écologique répondant aux exigences environnementales, économiques et sociales. L'analyse des politiques publiques possibles devrait inclure une évaluation des impacts des transitions environnementales prenant en compte la protection de la biodiversité, l'atténuation du changement climatique, la gestion intégrée des risques sanitaires et l'étude des interactions avec les stratégies de bio-économie.

Ces travaux devraient stimuler le processus d'innovation pour la gestion des écosystèmes, des territoires et des filières.

B.11 - Axe 6 : Contaminants, écosystèmes et santé

Axe transverse aux défis « Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique » et « Sécurité alimentaire et défi démographique »

Cet axe concerne les domaines à l'interface entre les défis, ou des approches particulièrement transdisciplinaires.

Cet axe est fondé sur une vision intégrée et non morcelée du champ environnement et santé et s'appuie donc sur le concept d'exposome. L'étude des effets des facteurs environnementaux sur les espèces vivantes et sur la santé humaine et de la place de l'environnement et des écosystèmes parmi les différents déterminants de santé, concerne les impacts des contaminants (physiques, chimiques et biologiques) en prenant en compte les différents milieux et les différentes expositions.

Il s'agit à la fois de mieux comprendre les phénomènes, les mécanismes, d'évaluer les risques, de proposer des méthodes de surveillance, de lutte et des politiques adaptées. Des coopérations sont donc attendues entre différentes disciplines : sciences biologiques, sciences médicales, écotoxicologie et écologie, physique, chimie, mathématiques et modélisation, sciences humaines et sociales.

Les approches encouragées sont :

- Comprendre les mécanismes de toxicité par l'étude des voies ou réseaux de toxicité, de la biologie systémique, de l'épigénétique et des phases vulnérables du cycle de vie des individus, des effets transgénérationnels, des effets des mélanges notamment à faibles doses, ou des traits d'histoire de vie clés pour la dynamique des populations dans l'environnement. Un accent particulier sera porté sur les contaminants émergents et les perturbateurs endocriniens.
- Etudier l'interaction entre différents facteurs environnementaux et différents contaminants et leurs effets cumulatifs éventuels à toutes les échelles d'organisation biologique dans le cadre de la notion d'exposome.
- Comprendre l'écodynamique et modéliser les transferts de contaminants dans les différents milieux et les réseaux trophiques, leurs remontées dans les chaînes alimentaires animales et humaines, et leurs impacts sur les écosystèmes et leurs composantes.
- Caractériser les risques émergents pour les écosystèmes et les populations et établir des systèmes adéquats de surveillance.
- Améliorer les capacités prédictives d'évaluation des dangers et des risques sur les écosystèmes et les populations grâce à des approches systémiques.

- Analyser les relations entre changements environnementaux et maladies chroniques non transmissibles et/ou allergiques, y compris dans le cadre de la santé au travail.
- Comprendre les facteurs environnementaux, économiques et sociaux qui déterminent ou modulent les expositions et les vulnérabilités des populations humaines.
- Analyser les conditions sociales d'évaluation de ces risques environnementaux, de débats, de mobilisation des acteurs sociaux et de prise de décision.

B.11 - Axe 7 : Santé – environnement comprenant le concept « One Health », pathogènes et maladies infectieuses émergentes ou ré-émergentes, résistance aux antimicrobiens

Axe transverse aux défis « Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique », « Vie, Santé et Bien-être » et « Sécurité alimentaire et défi démographique »

Les approches « One Health et Eco Health » constituent un cadre de travail fonctionnel pour aborder de façon intégrée et interdisciplinaire i) les interactions entre environnement, santé animale et santé humaine, et ii) le rôle de l'environnement dans la dynamique d'apparition et de persistance des agents pathogènes, l'émergence ou la réémergence de maladies infectieuses, et le développement des résistances aux agents anti-infectieux.

Dans le premier volet (qui concerne uniquement les défis « Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique » et « Sécurité alimentaire et défi démographique »), il s'agit de mieux comprendre les phénomènes, les mécanismes, d'évaluer et d'anticiper les risques, d'établir leurs niveaux de perception par les acteurs sociaux concernés, afin de mettre en place des politiques adaptées (actions de surveillance, de lutte et de traitement). Des coopérations sont attendues entre les différentes disciplines des sciences biologiques et médicales, des sciences de l'environnement et de l'écologie, des sciences physiques et chimiques, des mathématiques et de la modélisation, de l'écologie évolutive, des sciences humaines et sociales.

Le deuxième volet (communs aux 3 défis) concerne plus particulièrement les modalités de diffusion des pathogènes et les mécanismes d'émergence des maladies infectieuses (humaines, végétales ou animales, y compris zoonoses) en lien avec les facteurs environnementaux et anthropiques : réservoirs, vecteurs, niche écologique, conditions de persistance et de développement, virulence, dynamique spatio-temporelle, transmission, risque de transfert inter-espèces, multi-résistances, méthodes de lutte et de surveillance, prévention, identification des populations et des zones à risque, préparation au risque épidémique voire pandémique, conditions sociales des dispositifs de prise en charge des épidémies. Sont concernés l'ensemble des pathogènes quels que soient leur origine et leurs produits, les résistances aux traitements antimicrobiens, antiparasitaires, antifongiques, insecticides et biocides. Sont encouragées la modélisation des paramètres d'émergence, de diffusion, d'exposition ou d'élimination, les analyses rétrospectives ainsi que la constitution de bases de données pouvant contribuer à la définition d'indicateurs pour une approche prédictive de l'évolution des épidémies dans le cadre de la veille sanitaire.

B.11 - Axe 8 : Interactions Homme - environnement : sociétés, changements

climatiques, développement durable des territoires, sécurité alimentaire

Axe transverse aux défis « Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique », « Sécurité alimentaire et défi démographique » et « Sociétés innovantes, intégrantes et adaptatives »

Les évolutions sociales, culturelles, économiques ou politiques, les modes d'organisation des sociétés, de gouvernance, les conditions de développement constituent des dimensions essentielles de l'adaptation aux changements environnementaux, de la prise en compte des vulnérabilités et de la gestion des milieux, des risques et de la sécurité alimentaire. L'ensemble des disciplines des sciences humaines et sociales (sociologie, anthropologie, droit, histoire, économie, gestion, archéologie, géographie, philosophie...), des sciences de l'environnement (écologie, hydrologie, climatologie, agronomie, géographie physique, aménagement...) sont notamment concernées. Cet axe transverse comprend 3 sous-axes

- ***Les sociétés face aux changements environnementaux***

Réduire l'empreinte environnementale des activités humaines implique des modes de développement et de gouvernance adaptés, prenant en compte les vulnérabilités et les évolutions sociales, culturelles, économiques ou politiques affectant les conditions d'adaptation, mais aussi les risques naturels et technologiques ou l'épuisement des ressources. Les travaux peuvent aborder différentes échelles temporelles et spatiales, des approches sectorielles ou multisectorielles et sur différents terrains. Les analyses comparatives ou celles fondées sur les recherches participatives (*community based research*) sont bienvenues.

Politiques et acteurs, actions et instruments

Comment les acteurs publics et privés contribuent à construire les problèmes environnementaux – notamment les urgences et les risques -, prescrire et diffuser leurs solutions ? Comment se reconfigurent les rapports de pouvoir, les coalitions, les controverses et mécanismes de légitimation ? Quel rôle joue la connaissance scientifique aux interfaces entre décision/action ?

L'action publique peut être appréhendée à travers les modèles, les instruments mobilisés ou les modes d'apprentissage et de coopération qu'elle implique. Il convient de repérer et évaluer les innovations dans ce domaine, par exemple, le recours aux paiements pour services écosystémiques. La recherche doit être amplifiée sur la place des acteurs territoriaux, leur rôle dans le changement, sur l'articulation des différents échelons politico-administratifs.

Les interconnexions entre les politiques posent la question de leurs effets cumulés, leurs contradictions et la possibilité d'une mise en cohérence, notamment sous contrainte, des objectifs de l'Accord de Paris. Ces impératifs appellent plus de travaux sur les mécanismes innovants et sur l'évaluation des politiques publiques et des actions.

Conflits, coopération, gouvernance

Facteurs potentiels de conflits et de nouveaux rapports de force, les changements environnementaux peuvent être amplifiés par l'effet de certains conflits. Les connexions entre modes de développement, environnement, vulnérabilité et relations internationales méritent d'être davantage explorées.

Suite à l'adoption des objectifs mondiaux de développement durable et de l'Accord de Paris, quel rôle les organisations et agences des Nations Unies pourront-elles jouer à l'avenir ? Une nouvelle articulation entre souveraineté nationale et gouvernance transnationale impliquant des acteurs non étatiques est-elle en voie d'émerger pour gérer les biens communs mondiaux ? Quel rôle pour les juridictions dans ce dispositif ? La fragmentation croissante des régimes juridiques internationaux peut-elle être surmontée ?

Vulnérabilités, inégalités, résilience et adaptation des sociétés

Le changement climatique incite à dépasser les approches par aléa pour élaborer des scénarios multirisques, intersectoriels, intégrant des effets inédits. La notion de résilience pointe les capacités inégales, de résistance et d'adaptation des sociétés. Quels facteurs favorisent l'adaptation à des événements extrêmes, soudains ou graduels ? Comment s'articulent représentations sociales, réalité des risques et stratégies de gestion et d'adaptation ?

L'analyse historique des dynamiques contribue à la compréhension des risques environnementaux, notamment par l'étude des périodes de ruptures culturelles, environnementales et climatiques, ainsi que par celle des catastrophes passées. Quel rôle jouent la mémoire et les savoirs dans la compréhension/appréhension du risque environnemental dans les différentes aires culturelles ? Comment la prise en compte du long terme modifie-t-elle la perception des actions à mener et s'articulent-elles avec les autres temporalités ? Les travaux pourront porter sur les zones vulnérables (intertropicale, insulaires, etc.).

Les différentes formes d'expression culturelle peuvent être analysées du point de vue de leur rôle dans la mémoire collective, dans les représentations des risques et des catastrophes, des visions de l'avenir et des mondes possibles.

Production et consommation, innovation et croissance

L'adaptation passe par des modes de gestion, de production et de consommation sobres en ressources, notamment énergétiques. Comment favoriser les acteurs innovants, les nouveaux produits et filières, les circuits courts et l'économie circulaire, les nouvelles formes d'organisations économiques ? Quels « verrous » - y compris dans la formation - freinent la diffusion des technologies et services innovants, l'évolution des modes de consommation et quels outils pour y remédier ? La technologie peut être abordée à travers ses objectifs, ses modes de légitimation ou les controverses qu'elle suscite, ses modalités de diffusion, son articulation avec les infrastructures existantes, mais aussi ses effets sur l'organisation sociale, l'environnement et la santé. Quelles nouvelles formes de développement et de croissance intégrant les exigences environnementales et la raréfaction de certaines ressources peuvent être envisagées ? Comment concilier aménagement du territoire, respect de l'environnement et efficacité économique ?

Justice et responsabilité

Sociétés et groupes sociaux sont inégaux face aux risques comme aux exigences de l'adaptation. Les enjeux d'équité et d'injustice environnementale méritent d'être approfondis s'agissant de l'accès aux ressources et aux aménités, de l'appropriation des biens communs par des intérêts privés ou de l'exposition aux externalités négatives des modes de développement. Quels indicateurs utiliser et quelle importance accorder à cette dimension dans la mise en œuvre des politiques publiques ? Comment penser et

mettre en œuvre une « justice intergénérationnelle » ?

- *Approches intégrées pour un développement durable des territoires*

Il s'agit ici de promouvoir **des démarches scientifiques intégrées** qui mettent l'accent sur les interactions complexes entre écosystèmes et systèmes socioéconomiques.

La caractérisation et l'analyse des interactions entre milieux, usages et pratiques des acteurs selon des approches intégrées ou systémiques constituent les bases attendues pour (i) aborder des modifications de pratiques, de comportements, de gestion des ressources et des territoires, et (ii) anticiper, détecter, faciliter et amplifier les transitions. Ces recherches doivent contribuer à une adaptation et/ou une plus grande résilience des socio-écosystèmes face aux changements.

Les projets seront fondés sur des approches multi-échelles, spatiales ou temporelles, explicitant les interactions internes et les forçages externes au socio-écosystème ciblé. Une attention particulière sera portée aux projets co-construits avec des acteurs du monde socio-économique⁷ engagés comme partenaires. Il pourra s'agir de projets exploratoires courts aidant à construire des consortiums innovants, comme de grands projets intégratifs sur des questionnements déjà avancés.

Services écosystémiques : évaluation, concurrences et arbitrages

Identifier les services écosystémiques, et plus largement les services environnementaux, en caractériser les fonctions, les quantifier et les évaluer, notamment économiquement, relève d'un domaine de recherche en plein essor, stimulé par différentes initiatives nationales et internationales (Convention internationale sur la diversité biologique, IPBES, Ministère chargé de l'environnement, ...). Ces services pourront être analysés, si besoin, par compartiments du milieu en tenant compte des multifonctionnalités offertes et aussi des limites d'approches mono-services. Ces questions pourront faire l'objet le cas échéant d'études rétrospectives portant sur les processus d'identification de ces services.

Gestion durable et résilience des territoires à fort enjeu environnemental

Le développement durable des territoires passe autant par une réduction ou une atténuation des impacts environnementaux cumulatifs des activités humaines, que par une adaptation des sociétés pour renforcer leur résilience. Ceci implique d'évaluer les potentiels des territoires à des fins de meilleure gestion à moyen et long terme, et à une échelle spatiale « intermédiaire » (typiquement de l'échelle du paysage ou d'un petit bassin à celui d'une grande région, de 1 à 100 000 km²). Des retro-analyses pourront fournir des pistes d'adaptation et d'atténuation transposables. Autour d'une problématique partagée et d'un territoire commun, les projets attendus rassembleront chercheurs, acteurs locaux du monde socio-économique et/ou porteurs de politiques publiques. Scénarisations et modélisations pourront nourrir des méthodes de planification et d'accompagnement de projets de territoires. Les problématiques et les méthodologies seront attentives à la prise en compte des facteurs sociaux et politiques, notamment les perceptions différenciées de ce qui fait problème et des solutions socialement acceptables.

Dans le cadre du volet recherche du PNACC, des travaux de recherche pourront redéfinir les politiques d'adaptation au changement climatique et les conditions de leur mise en

⁷ Associations, entreprises, collectivités, gestionnaires publics, ...

œuvre, notamment dans les territoires particulièrement vulnérables et/ou insuffisamment étudiés tels que les zones littorales, les zones intertropicales, l'espace méditerranéen et les villes.

Chaîne intégrée de l'évaluation des risques, intégrant aléas, vulnérabilités et impacts sur les territoires

Les changements globaux impactent l'ampleur et la portée des risques environnementaux pour les populations. Il s'agit de mieux prévoir les risques et d'augmenter les capacités de résilience des socio-écosystèmes. Les forçages climatiques, les mécanismes contrôlant les aléas, l'identification des zones exposées, la vulnérabilité inégale des acteurs socio-économiques, sont autant d'éléments qui entrent dans l'évaluation des risques environnementaux.

Des projets évalueront les effets induits, tels que les composantes multi-aléas, les effets cascades, les points de bascule, les interactions entre risques naturels, industriels et technologiques, et les rétroactions. Le traitement de cette chaîne du risque dans des bassins de risque, identifiés géographiquement devra aller jusqu'aux questions d'évaluation économique, de perceptions et de représentations du risque, mais aussi le degré d'adéquation des dispositifs d'action publique et les conséquences de la non prise en compte du risque (ex : poursuite de l'urbanisation en zone inondable ou de glissements de terrain).

- *Socle de connaissance en SHS pour la sécurité alimentaire et la durabilité des écosystèmes*

Un certain nombre de thématiques génériques et transversales à ces enjeux nécessitent des travaux exploratoires concernant notamment :

- **Les comportements des acteurs** et des socio-écosystèmes face aux innovations, aux changements de systèmes et au risque, le rôle des croyances et des représentations dans les comportements : économie et sciences comportementales, psychologie sociale, anthropologie, histoire, sociologie (comportements individuels et collectifs) ;
- **Les dynamiques de mobilisation collective**, tant pour la gestion d'un écosystème ou d'une ressource exploités en commun, que dans une dynamique de formation, d'innovation et de changement collectif ;
- **Les politiques publiques** : tant pour leur élaboration, que leur mise en œuvre et leur évaluation, y compris les processus d'expérimentation ;
- La modélisation intégrée sciences sociales-sciences biotechniques à différentes échelles spatiales.