

## Propositions de l'ANCRE pour une programmation de l'ANR soutenant le développement d'une énergie propre, sûre et durable.

---

En réponse à la sollicitation de la Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche de propositions de programmation pour l'ANR dans le domaine de l'énergie, l'ANCRE formule les propositions ci-après visant à répondre au défi de société identifié comme prioritaire et intitulé "une énergie propre, sûre et efficace", mais contribuant aussi à des titres divers et d'importances variables aux défis intitulés "mobilité et systèmes urbains durables", "stimuler le renouveau industriel", "gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique", "sécurité alimentaire, défi démographique et bio-économie", "société de l'information et de la communication".

L'ANCRE prend en compte dans ses propositions la nécessité de concentrer les efforts de recherche, année après année, sur un nombre limité de priorités thématiques et de stabiliser pour une durée suffisante le cadre de référence de ces priorités. **L'ANCRE propose de fixer un cadre de programmation pour les 4 prochaines années.**

Au regard des priorités nationales en matière économique et environnementale et des enjeux de la politique énergétique, les thématiques retenues **s'articulent autour des cinq grandes priorités** que l'ANCRE met en avant dans sa contribution à l'élaboration de la Stratégie Nationale de Recherche dans le domaine de l'énergie:

- P1:** Accélérer les efforts de R&D sur les invariants des scénarios de transition énergétique,
- P2:** Capitaliser sur les atouts compétitifs des filières actuellement majoritaires dans le bouquet énergétique national et sécuriser l'approvisionnement en ressources stratégiques,
- P3:** Préparer les ruptures technologiques à fort impact potentiel sur la transition énergétique,
- P4:** Mieux comprendre les comportements et développer des modèles de marché, favorables à la mise en œuvre des investissements nécessaires,
- P5:** Favoriser l'émergence de concepts innovants pour l'énergie.

Concernant la priorité "Mieux comprendre les comportements et développer des modèles de marché, favorables à la mise en œuvre des investissements nécessaires", l'ANCRE suggère qu'un travail de programmation approfondi sur ce thème soit conduit avec l'alliance Athena, mais aussi avec l'alliance Allenvi.

Pour ce qui concerne les priorités P1-P3, l'ANCRE a identifié 14 thématiques à soutenir. Il est proposé que 50 à 60% de la programmation de l'ANR dans le domaine de l'énergie, cible plus particulièrement

chaque année un nombre restreint (4 à 5) de thèmes parmi cette liste **en se focalisant sur les verrous identifiés par ANCRE:**

- **en utilisant les outils appropriés en complémentarité** : Appels à projet, Défis, Ateliers de Recherche prospective, et éventuellement Projets intégrés si ceux-ci peuvent être mis en place à l'ANR,
- et en considérant que le positionnement de l'ANR l'amène essentiellement à contribuer sur des niveaux de maturité technologique bas (TRL 1-4).

A côté de cet effort ciblé, 20 à 25% de la programmation pourrait être utilisée pour traiter des verrous ne relevant pas des thèmes prioritaires de l'année.

**La programmation des thématiques pour les années 2014 à 2017 (voir tableau ci-après) découle de la hiérarchisation des priorités, proposée dans le document ANCRE sur la Stratégie Nationale de recherche dans le domaine de l'énergie.**

Cette proposition de programmation est étroitement articulée avec les priorités connues du programme H2020, et par-là, vise à favoriser le lancement d'appels à projets communs au sein de l'Union.

La priorité "favoriser l'émergence de concepts innovants" est destinée, à l'instar d'initiatives similaires mises en place aux Etats-Unis par le DOE/ Basic Energy Sciences ou, au niveau communautaire, par l'EERA (programme AMPEA), à faciliter la mobilisation des meilleurs chercheurs, quelle que soit leur discipline, pour l'apport potentiel de leurs connaissances aux problématiques énergétiques. Cette priorité vise à augmenter l'apport de la recherche fondamentale aux problématiques de l'énergie et complète le nécessaire soutien, dans la durée, à la recherche fondamentale couverte actuellement par les appels blancs. **Elle se traduit par la proposition de créer un programme « concepts en rupture pour l'énergie» (20-25% de la programmation).**

Concernant les thèmes de l'efficacité énergétique dans les transports et de l'efficacité énergétique dans le bâtiment, il est proposé de mettre en place **des ateliers de réflexion prospective dans la mesure où l'articulation recherche-industrie nous semble devoir être renforcée.**

## Proposition de programmation de l'ANR pour 2014-2016

	2014	2015	2016	2017
<b>Thèmes prioritaires</b>  (environ 60% des moyens)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stockage de l'énergie, inter-conversion et interopérabilité entre vecteurs, réseaux intelligents (P1)</li> <li>• Ressources énergétiques non conventionnelles (P2)</li> <li>• Métaux stratégiques (P2)</li> <li>• Gestion de la chaleur fatale (P3)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efficacité énergétique « Green IT » (P1)</li> <li>• Biomasse Gen2/Gen3 (P1)</li> <li>• Solaire (P1)</li> <li>• Géothermie (P1)</li> <li>• Captage, stockage, valorisation du CO2 –CSCV (P3)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efficacité énergétique « bâtiment-ville » (P1)</li> <li>• Efficacité énergétique « mobilité » (P1)</li> <li>• Nucléaire (P2)</li> <li>• Energies Marines Renouvelables (EMR) (P1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stockage de l'énergie, inter-conversion et interopérabilité entre vecteurs, réseaux (P1)</li> <li>• Ressources énergétiques non conventionnelles (P2)</li> <li>• Métaux stratégiques (P2)</li> <li>• Gestion de la chaleur fatale (P3)</li> </ul>
<b>Autres thèmes relevant des autres priorités P1 à P3 non adressés spécifiquement l'année N</b>				
+ Couplages <ul style="list-style-type: none"> <li>• TIC &amp; Energie,</li> <li>• SHS &amp; Energie</li> </ul> <p style="text-align: center;">(environ 20% des moyens)</p>				
<b>Ateliers de réflexion prospective (1-2%)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efficacité énergétique « bâtiment-ville »</li> <li>• Efficacité énergétique « transport »</li> </ul>		A définir	A définir
<b>Programmes « concepts en rupture pour l'énergie »</b>				
(environ 20 % des moyens)				

NB : P1, P2, P3 renvoient aux priorités thématiques sectorielles proposées dans la contribution de l'ANCRE à la stratégie nationale de recherche dans le domaine de l'énergie et rappelées ci-dessus.

## Description synthétique des priorités et verrous correspondants

---

### 1 Accélérer les efforts de R&D sur les invariants des scénarios de transition énergétique

#### 1.1 Optimiser le système énergétique

##### 1.1.1 Réseaux intelligents

Le développement de réseaux intelligents constitue un pilier d'une transition énergétique visant à accroître l'intégration d'énergies renouvelables intermittentes (photovoltaïque et éolien) dans le mix électrique tout en tenant compte de la variabilité de la demande, et à favoriser des comportements vertueux de consommation électrique. Les thématiques retenues constituent des verrous importants pour optimiser le système énergétique par le développement de réseaux intelligents.

**Sûreté et sécurité des réseaux intelligents** : il apparaît essentiel de contribuer, par la recherche et le développement, à répondre aux exigences en matière de sécurité (notamment cybersécurité) et de sûreté (résilience, fiabilité) du réseau électrique à toutes ses échelles (temporelles et géographiques), en prenant notamment en compte leurs couplages et interdépendances avec les réseaux de communication.

**Développement des micro-réseaux** : outil destiné à favoriser la consommation locale d'une énergie produite localement, dont l'autoconsommation, dans la perspective de l'accroissement de la production diffuse d'énergies renouvelables souvent intermittentes, en particulier solaire, photovoltaïque et thermique ; les micro-réseaux pourront contribuer à alléger les contraintes liées à l'intermittence et à la multiplicité des sources de production sur le réseau principal. Ils doivent s'accompagner d'évolutions dans l'architecture et la conduite des réseaux et d'un développement du stockage.

**Modélisation-simulation en appui à l'évolution des réseaux** : comme pour tous les systèmes complexes (aéronautique par exemple), l'optimisation de la conception, de l'architecture et de la conduite des réseaux passent par des progrès en matière de modélisation/simulation, afin de prendre en compte les nombreuses contraintes auxquelles les réseaux doivent satisfaire (contraintes temporelles, géographiques, économiques, de stabilité, sûreté et de cybersécurité, du nombre d'acteurs intervenant, ...), ainsi que l'interdépendance entre réseaux physiques et réseaux de communication.

H2020 invite au développement de réseaux intelligents à l'échelle européenne et traite la cybersécurité comme une thématique transverse.

### 1.1.2 Stockage de l'énergie, transferts entre énergies et inter-conversion entre vecteurs énergétiques

**Stockage réversible et inter-conversion entre vecteurs énergétiques :** la montée en puissance des ENR intermittentes dans les bouquets énergétiques appelle le développement de solutions de stockage de l'électricité de haut rendement, de durée de vie suffisante et de coût acceptable. Des technologies variées sont susceptibles d'être développées –sur la base d'une analyse comparative de leurs potentiels - pour répondre aux différents besoins des réseaux et d'assurer leur stabilité . Les développements nécessaires vont concerner les matériaux et la conception de ces stockages, mais l'adéquation et l'optimisation de leur gestion en fonction de l'application est aussi un point critique pour leur durée de vie et leur sûreté de fonctionnement.

Les conversions de l'électricité en hydrogène ou en méthane constituent également des voies prometteuses compte tenu des multiples possibilités d'utilisation ultérieures (stockage, injection dans le réseau de gaz, valorisation du CO<sub>2</sub>...).

**Le vecteur hydrogène présente un intérêt particulier si on considère son utilisation via les piles à combustible (PAC)** et sa faible empreinte carbone. La réduction des coûts et des solutions de stockage sûres, constituent des défis majeurs pour l'utilisation large de ce vecteur.

Les principaux verrous technologiques concernent la compréhension des phénomènes de vieillissement des composants -en vue d'en accroître la durabilité- des PAC et électrolyseurs, notamment en conditions de fonctionnement discontinu, la réduction des coûts et l'optimisation de leur contrôle-commande pour optimiser leur couplage avec les besoins du réseau (adaptation offre/demande). D'autre part, la diversité des options en matière d'interconversion entre énergies pour optimiser leur gestion requiert le développement d'outils d'aide à la décision.

Le développement des possibilités de transfert entre énergies invite en outre à élargir la question du stockage de l'électricité à celle du stockage de l'énergie, en particulier celui de la chaleur.

Hydrogène et pile à combustible sont des sujets prioritaires pour H2020.

## 1.2 Utilisation efficace et sobre de l'énergie

### 1.2.1 Bâtiment- ville intelligente

**Maquette numérique :** Parmi les thématiques d'intérêt, il est proposé de privilégier le développement de maquettes numériques, dans un premier temps pour le bâtiment (voir projet SYMBIO) (court/moyen terme) et à plus long terme en étendant ce concept à l'échelle du quartier et de la ville, voire de ses transports. Ces développements permettront également de contribuer à optimiser l'insertion d'activités industrielles dans leurs éco-systèmes (Ecoparc) en les interfaçant avec les villes à proximité. Les différentes maquettes numériques viseront, sur chaque niveau et globalement, l'amélioration de l'efficacité énergétique, tout en tenant compte des différentes fonctionnalités de l'habitat.

**Développement de matériaux et technologies constructives** efficaces sur le plan énergétique, facilitant l'intégration de moyens de production d'énergie renouvelable à l'échelle locale (solaire thermique...) environnemental, comme de leur mise en œuvre, et bas coût, tant pour la rénovation que le bâti neuf.

**L'amélioration de la métrologie de l'efficacité énergétique** du bâtiment et des sites industriels (rejets thermiques, co-produits) apparaît comme un élément indispensable pour accroître la fiabilité des audits énergétiques, les garanties de performances ou les synergies territoriales et donner des éléments d'informations adaptés pour l'optimisation de la gestion technique du bâtiment en vue de réduire sa consommation d'énergie.

Ces thématiques sont mises en avant à travers les défis « Communautés et villes intelligentes » et « Efficacité énergétique » dans le programme stratégique H2020.

### 1.2.2 Transports

Etre en mesure de proposer **un véhicule particulier consommant moins de 2l/100 km d'hydrocarbure liquide ou moins de 10 kWh/100 km** permettrait de réduire la dépendance du transport aux énergies fossiles et l'impact environnemental du transport routier. En outre, l'objectif recherché est de favoriser le développement d'une offre industrielle française (constructeurs automobiles, équipementiers...) compétitive et répondant aux attentes des marchés internationaux.

Les verrous à lever concernent les motorisations hybrides et électriques et à plus long terme intégrant des piles à combustible, à travers une approche système et visant l'optimisation de la gestion de l'énergie embarquée. Ils supposent des efforts de R&D soutenus permettant le développement de groupes motopropulseurs à très haut rendement énergétique et faibles émissions de polluants, l'utilisation de carburants alternatifs au pétrole (dont agro-carburants), la récupération de chaleur, les batteries et infrastructures de rechargement la réduction des pertes et de la masse des véhicules par développement de solutions de sécurité active, les systèmes d'information et de pilotage et plus globalement l'optimisation énergétique du système véhicule dans son environnement (véhicules communicants).

Afin d'anticiper le développement de la mobilité à moyen-long terme, et d'y positionner les entreprises françaises, **le développement d'un concept-car autonome** constituerait un programme de recherche fédérateur à l'interface entre les acteurs de l'énergie, des transports et des TIC.

L'ANCRE, H2020 et l'ANR ont d'ores et déjà identifié cette thématique comme pertinente.

### 1.2.3 Green IT (en cours de préparation avec Allistène)

#### 1.2.4 Industrie (Pour mémoire)

La mise au point de matériaux isolants haute performance, la récupération et la valorisation des rejets thermiques (y compris après conversion pour les rejets à basse température) enfin, le développement d'outils d'aide à la décision permettant d'optimiser l'utilisation du rejet en fonction de ses caractéristiques (température, puissance) sont les principaux verrous technologiques à lever.

Il est proposé de retenir, pour la programmation de l'ANR, les verrous liés à la gestion de la chaleur fatale et la maquette numérique « écoparc » permettant d'optimiser les flux énergétiques. Ceux-ci sont développés aux points 2.1 et 4.2.

### 1.3 Maitriser une gamme de technologies permettant de produire de façon compétitive une énergie sûre et respectueuse de l'environnement

#### 1.3.1 Biomasse ligno-cellulosique

**Biocarburants à un coût de production de moins de 0,6€/l à court/moyen terme par la voie thermochimique, et à long terme par des voies biologiques :** La recherche internationale en matière de biocarburants se focalise sur les deuxième et troisième générations, qui n'entrent pas en compétition avec l'utilisation de la biomasse pour l'alimentation. Compte tenu des nombreux verrous dans ce domaine, il est proposé de fédérer les recherches autour d'objectifs formulés en termes de coût de production.

Développer une offre de biocarburants à la fois compétitive et sûre, contribuerait à un rééquilibrage de la balance commerciale, et à la création ou au maintien d'emplois sur le territoire national. La France dispose de ressources (biomasse), de compétences scientifiques et techniques de haut niveau et d'un tissu industriel particulièrement performant, qui pourraient lui permettre de prendre une large part dans le développement de nouvelles filières industrielles de production d'agro-carburants de seconde et de troisième génération, créatrices d'emplois et avec une composante potentielle forte à l'exportation.

Les verrous à lever concernent l'ensemble de la chaîne des procédés mis en œuvre, tant pour la voie biologique ( $\mu$ -algues, voies enzymatiques de transformation de la ligno-cellulose, cyanobactéries, ...) que thermochimique. Ils s'intègrent dans une démarche plus large et nécessaire visant à doter la France d'une feuille de route nationale dans le domaine de la bio économie (dont plate-forme collaborative bio-osmose) favorisant les approches systémiques (approvisionnement en ressources et concurrence entre usages de la biomasse, modes de consommations, synergies entre les territoires, synergies entre systèmes de production agricole et forestier, etc.).

Biocarburants et bioénergies figurent au rang des priorités H2020.

#### 1.3.2 Solaire

**Ce secteur fait l'objet d'une très vive compétition internationale. Les technologies qu'il recouvre sont à des degrés divers de maturité.**

**Photovoltaïque : coût de production <0,06€/kWh en champ à court/moyen terme, puis < 0,04 €/kWh<sup>1</sup> au-delà :** une approche par la fixation d'objectifs de coût plutôt que de voie technologique est proposée. En effet, le développement massif du recours à l'énergie photovoltaïque suppose de poursuivre vers la réduction de son coût, afin de développer une offre compétitive et fiable qui permettra aux industriels français tant de répondre aux attentes du marché français que de se positionner sur la scène internationale. En sus des coûts de fabrication des composants et d'installation, la durée de vie des modules constitue un paramètre déterminant.

Les verrous technologiques portent sur le rendement des cellules, l'amélioration des procédés et l'optimisation de la chaîne de production, du matériau au module installé, la durée de vie, la prédictibilité du productible, la réduction des coûts et les conditions de recyclabilité.

**Solaire thermodynamique: optimisation du stockage de la chaleur et multi-usages de celle-ci :** ce thème renvoie plus particulièrement à la gestion de la chaleur co-produite (voir infra 3.2), appelant le développement de techniques de stockage innovantes et celui de composants et systèmes de production spécifiques aux usages potentiels (production de froid, dessalement, chimie, etc.) en fonction des besoins locaux.

H2020 met en exergue l'intérêt de cette source d'énergie (PV, solaire concentré)- tant pour la production d'électricité que de chaleur- et la nécessité d'en améliorer le coût, militant pour le lancement de projets communs.

### 1.3.3 Energies marines, éoliennes

Les thématiques retenues visent à favoriser le recours à ces énergies en réduisant significativement d'une part les coûts de production (et de maintenance) et d'autre part, les contraintes de leur intégration sur le réseau électrique. La situation française permet de disposer de gisements importants pour l'utilisation de ces ressources, atout pour l'émergence d'une offre industrielle (éolien offshore flottant, hydrolienne, ...). Pour ces technologies, la construction de démonstrateurs constituera une étape importante.

Il est proposé de travailler sur :

- **l'évaluation et la prédiction de la ressource** (modélisation numérique),
- **la réduction des coûts des différentes filières de production d'énergies marines** (hydrolien, éolien offshore flottant, énergie thermique des mers et énergie houlomotrice).

H2020 met l'accent sur l'intérêt de ces énergies renouvelables en invitant à mettre en place les efforts nécessaires pour en réduire les coûts et en favoriser le développement.

---

<sup>1</sup> Ces objectifs sont évalués pour des conditions d'ensoleillement très favorables (climat méditerranéen ou californien)



### 1.3.4 Géothermie

Au regard du potentiel que présente cette source d'énergie renouvelable, non intermittente, notamment pour les îles volcaniques, elle est proposée comme priorité dans la SNR(E).

Le développement de la filière géothermique suppose:

- la **connaissance du potentiel des bassins sédimentaires et des systèmes volcaniques et magmatiques,**
- **l'amélioration des procédés d'exploitation de la chaleur, à haute comme à basse température.**

A l'instar des autres énergies bas-carbones, la géothermie figure dans les axes prioritaires du défi « Une énergie bas-carbone compétitive » d'H2020.

## 2 Capitaliser sur les atouts compétitifs des filières actuellement majoritaires dans le bouquet énergétique national et sécuriser l'approvisionnement en ressources stratégiques,

### 2.1 Energies fossiles

#### 2.1.1 Evaluation et exploitation des ressources du sous-sol et optimisation des performances énergétiques et environnementales des filières concernées

Cette thématique répond à des défis économiques et sociaux, environnementaux et de réduction des importations et/ou consommation de produits pétroliers et autres ressources. Les verrous concernent :

- **L'évaluation des ressources nationales** (notamment pour les hydrocarbures de roche-mère) au moyen de procédés respectueux de l'environnement,
- **Le développement d'outils, méthodes et technologies permettant de proposer une exploitation économiquement performante des ressources nationales tout en minimisant l'impact sur l'environnement (surface et profondeur).**

Les actions relevant de cette priorité se déclinent en fonction des ressources concernées (hydrocarbures de roche compacte, hydrates de gaz et gaz biogénique, hydrogène naturel).

#### 2.1.2 Ressources minérales stratégiques pour une énergie propre et durable

Les métaux stratégiques partagent plusieurs caractéristiques avec les hydrocarbures (ressources limitées, concentration géographique, impacts environnementaux, etc.) et joueront un rôle majeur dans l'essor des énergies renouvelables. Il s'agit souvent de métaux rares (production mondiale annuelle < 100 000 t), dont beaucoup sont des sous-produits de métaux « porteurs » tels que l'aluminium, le cuivre, le fer, le nickel, les phosphates, le plomb ou le zinc.

La connaissance des conditions de formation de leurs concentrations, **leur recensement** sur le territoire national, **l'amélioration de leur exploitation et de leur recyclage (économie circulaire)** par la connaissance des processus d'extraction, de concentration et d'enrichissement, le développement de technologies sûres et propres, ainsi que la recherche de substitutions pour les matières premières critiques et stratégiques pour l'économie française, sont des verrous essentiels à lever. Le développement de l'intelligence minérale est primordial pour éclairer les politiques publiques, la programmation des efforts de recherche et les acteurs économiques.

La programmation de la recherche française en appui au domaine énergétique devrait soutenir et contribuer à l'effort européen engagé dans le cadre de l'ERA-NET « ERA-MIN » (feuille de route « recherche » disponible), et du Partenariat Européen pour l'Innovation « matières premières » (feuille de route « recherche » à un stade avancé d'élaboration), en fédérant et mobilisant les acteurs français.

## 2.2 Energie nucléaire

L'amélioration des conditions d'exploitation du parc nucléaire actuel, y compris l'amélioration continue de la sûreté, et la préparation du futur invitent à retenir les thématiques d'intérêt suivantes, d'applicabilité à la fois pour le nucléaire de fission et le nucléaire de fusion :

- **la modélisation et la simulation numérique des réacteurs et du cycle,**
- **la recherche sur les matériaux (vieillissement sous irradiation, nouveaux matériaux, modélisation).**

Les enjeux liés sont la poursuite de l'exploitation, dans les meilleures conditions de sûreté, du parc existant (prolongement de la durée de vie des réacteurs, solutions sûres pour la gestion des déchets radioactifs), le développement de nouveaux réacteurs de quatrième génération et, à très long terme, le recours à la fusion. L'instrumentation pour l'exploitation (contrôle commande), la conduite accidentelle, et la gestion post-accidentelle constituent également des thèmes importants au regard de ces enjeux.

Une troisième thématique (qui pourrait être intégrée dans la problématique de l'optimisation du système énergétique) consiste en **l'optimisation de la production nucléaire dans un bouquet énergétique bas carbone** (interfaçage avec les énergies renouvelables, cogénération de chaleur, d'hydrogène ou encore d'hydrocarbures de synthèse).

H2020 retient parmi ses priorités les thèmes de la sûreté et de l'efficacité du parc existant, la gestion des déchets radioactifs, la radioprotection ainsi que le programme ITER.

## 3 Préparer les ruptures technologiques à fort impact potentiel sur la transition énergétique

### 3.1 Captage, stockage et valorisation du CO<sub>2</sub>

L'objectif est de développer une offre compétitive couvrant l'ensemble de la chaîne du captage-transport et stockage du CO<sub>2</sub> permettant de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, et donc de contribuer ainsi

à la lutte contre le changement climatique des grands sites industriels (centrales thermiques, aciéries, raffinage, etc.) pour le temps où elles seront encore utilisatrices de combustibles fossiles et de contribuer à l'émergence d'une nouvelle filière industrielle, surtout orientée vers l'exportation. Par ailleurs, au-delà de l'enjeu environnemental, l'utilisation du CO<sub>2</sub> comme matière première et sa transformation par voie chimique, ou biologique/biotechnologique, est un enjeu mondial et offre également des opportunités de développement de nouvelles filières industrielles.

Les principaux verrous dans le domaine du captage (précombustion, postcombustion, oxy-combustion) sont liés au changement d'échelle, à l'amélioration du rendement énergétique et à la réduction des coûts (Capex et Opex). Dans le domaine du stockage, au-delà de la problématique de l'acceptabilité sociétale, les principaux verrous technologiques sont la faisabilité technique et la sécurisation des systèmes de stockage à long terme, (recherches dans les domaines de la caractérisation des sites, de la modélisation de l'injection de CO<sub>2</sub> et de son devenir dans le temps, du suivi de sites et de gestion des risques).

Le captage, le stockage et l'utilisation du carbone (compétitivité et sûreté) figurent dans les priorités H2020.

### 3.2 Gestion de la chaleur fatale

**La gestion et l'exploitation de la chaleur fatale dans les procédés industriels (métallurgie, verre, raffinage, gestion des déchets, chimie, etc.)** constitue un thème important, avec des enjeux en termes de réduction des consommations d'énergie et d'impact environnemental. Elle s'intègre dans une démarche plus globale visant l'amélioration de l'efficacité énergétique aux différentes échelles, du composant au territoire en passant par le lieu de production.

Un second volet concerne **le stockage et l'utilisation de la chaleur co-produite dans les systèmes de production d'électricité ou de convertisseur électrochimique** (pile à combustible par ex.), qu'il s'agisse de centrales conventionnelles thermiques, nucléaires ou solaires thermodynamiques à concentration.

## 4 Approche des comportements, des modèles de marché

Les défis relevant de cette problématique sont transverses. Ils comprennent l'ensemble des sujets auxquels des réponses de nature autre que technologique (prospective, SHS, ACV, etc.) doivent être apportées pour soutenir la diffusion de l'innovation par le déploiement d'une offre industrielle, ainsi que les questions de formation (diplômante, continue, par la recherche), en phase avec les perspectives de marché. Il est à noter que la stratégie H2020 prend également en considération ces verrous non technologiques.

Par ailleurs, ils requièrent -notamment pour ce qui concerne la sécurisation de l'accès à des matériaux stratégiques, le développement de l'économie circulaire ou encore la bio-économie, mais aussi pour les questionnements portant sur les comportements des acteurs économiques, les politiques publiques, les aspects normatifs et réglementaires, etc.- une approche dépassant les

questions énergétiques. Ils doivent relever dès lors de programmes communs définis avec les différentes alliances....

## 5 Soutien à l'émergence de concepts innovants pour l'énergie

La genèse des ruptures technologiques nécessaires à la transition énergétique devra s'appuyer sur la création de connaissances fondamentales et génériques au meilleur niveau international. L'un des enjeux majeurs est de mobiliser les chercheurs en sciences fondamentales sur les applications liées à l'énergie, tout en maintenant leur excellence dans leur discipline à travers des thèmes tels que :

- Modélisation et simulation multi-échelle et multi-physique des matériaux et systèmes énergétiques, et des processus d'échange d'énergie,
- Matériaux et surfaces innovants et caractérisations avancées pour les systèmes énergétiques,
- Modélisation des phénomènes de transferts aux interfaces complexes
- Maîtrise des phénomènes quantiques pour l'énergie,
- Systèmes bio-inspirés et catalyse,
- Sciences des systèmes complexes et dynamiques des systèmes à finalité énergétique.

Cette thématique est en ligne avec le volet « excellence scientifique » du programme spécifique d'exécution du programme-cadre H2020 et en particulier de ses objectifs de « renforcement de la recherche aux frontières de la connaissance, dans le cadre des activités du Conseil européen de la recherche, du renforcement de la recherche dans le domaine des technologies futures et émergentes et de renforcer les compétences, la formation et l'évolution de carrière dans le cadre des actions Marie-Sklodowska-Curie. Elle fait également écho à la dynamique mise en place au sein du programme AMPEA de l'EERA.

**Dans le cadre de cette programmation, l'ANCRE propose de mettre en place un programme faiblement thématiqué, dit « concepts en rupture pour l'énergie », afin de mobiliser les chercheurs de sciences fondamentales sur des projets ayant une finalité potentielle liée au domaine de l'énergie.**

Ce programme apparaît comme un complément à mettre en place en aval du nécessaire soutien aux recherches fondamentales permettant de faire avancer le front des connaissances, au sein des thèmes retenus.