

ANNEXE

STRATÉGIE NATIONALE DE LA RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE DÉCEMBRE 2016

SYNTHÈSE

La problématique énergétique s'inscrit dans un cadre complexe qui doit répondre à plusieurs défis majeurs : garantir et sécuriser l'accès à l'énergie des populations et des organisations à un coût abordable et compétitif, éviter la précarité énergétique, s'inscrire dans l'atténuation du changement climatique et l'adaptation à ce changement, préserver la santé humaine et l'environnement, offrir un mix énergétique durable. La France s'engage résolument, *via* la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte et la ratification de l'accord de Paris, tant pour orienter les choix technologiques et sociétaux que pour soutenir un effort de recherche et développement (R&D) nécessaire à l'amélioration continue des filières existantes et à l'émergence des filières nouvelles, permettant de répondre à ces grands défis.

L'article 183 de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) prévoit l'élaboration d'une stratégie nationale de la recherche énergétique (SNRE), arrêtée par les ministres de l'énergie et de la recherche et prenant en compte la stratégie nationale bas carbone (SNBC) et la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE). Cette stratégie, qui précise le volet énergie de la stratégie nationale de recherche (SNR), vise à identifier les enjeux de R&D et les verrous scientifiques à lever à différents horizons temporels et tout au long de la chaîne d'innovation dans le domaine de l'énergie pour permettre la bonne réalisation des objectifs de la loi, tout en s'inscrivant dans une perspective internationale plus large. L'élaboration de la SNRE, menée conjointement par la direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) et la direction générale de la recherche et de l'innovation (DGRI) s'est appuyée sur un comité de suivi réunissant les parties prenantes.

La stratégie est organisée selon quatre grandes orientations, comportant chacune des propositions d'actions structurantes.

Orientation 1 : cibler les thématiques transformantes clés pour la transition énergétique

L'orientation 1 permet de refléter les objectifs fixés par la loi et par le scénario de référence de la SNBC (diversification du mix énergétique et développement des énergies renouvelables [ENR], renforcement de l'efficacité énergétique dans tous les secteurs d'activité, réduction de l'utilisation des ressources fossiles, etc.) en listant les défis scientifiques et technologiques associés (flexibilité des systèmes pour l'intégration des ENR, décentralisation et gouvernance multi-échelles des systèmes énergétiques, rôle accru des consommateurs, amélioration continue du nucléaire, etc.)

Dans cette perspective, il est proposé :

- d'accroître le caractère interdisciplinaire de la R&D (lien entre transition énergétique et révolution numérique, enjeux environnementaux et inscription dans l'économie circulaire, enjeux économiques et sociaux pour associer les consommateurs et accompagner la décentralisation des systèmes), par des travaux conjoints des alliances de recherche et des entreprises de chaque domaine, par une programmation adaptée des financements et des appels à projets spécifiques et par un travail accru de coordination interministérielle ; ces dimensions transverses devront par ailleurs être prises en compte systématiquement dans les feuilles de route de R&D des filières énergétiques ;
- de mener, dans une approche systémique, des analyses comparatives des différentes solutions de flexibilité en cours de développement (effacements, pilotage de la production, stockage, couplage de réseaux et de vecteurs, etc.) afin de disposer pour les futures itérations de la SNBC et de la PPE d'une vision consolidée des options technologiques à court, moyen et long terme. Ces recherches viendront compléter les nombreux efforts en cours sur les différents moyens innovants de production (par exemple les énergies marines) ou de maîtrise de la demande (par exemple les matériaux et procédés pour la rénovation énergétique des bâtiments).

Orientation 2: développer la R&D et l'innovation en lien avec les territoires et le tissu industriel, en particulier les PME-ETI

L'orientation 2 souligne les enjeux économiques de maintien et d'amélioration des filières matures les plus compétitives et de développement de nouvelles filières, qui s'inscrivent dans un cadre international, au-delà des besoins de la transition énergétique en France. Afin d'accélérer le transfert de technologies depuis les centres de R&D vers le marché, une approche collaborative entre les secteurs public et privé et une démarche d'expérimentation sont nécessaires. Il est notamment proposé :

- d'amplifier la démarche de soutien à la démonstration des nouvelles technologies et solutions, en particulier dans les territoires, en lien avec les collectivités (par exemple, à travers l'action du prochain PIA3, ou les appels à projets (AAP) tels que ceux déjà menés pour les territoires pilotes sur les réseaux intelligents ou l'hydrogène), et en utilisant tous les instruments financiers (aides d'État ou fonds propres) ;
- de soutenir le développement des PME/ETI, non seulement par un accompagnement financier (par exemple avec des AAP tels que les initiatives PME de l'ADEME, en partenariat avec les pôles de compétitivité) mais aussi par un accompagnement au positionnement sur les marchés (mise en relation avec les industriels). Les grands groupes énergétiques, les grands organismes de recherche et les instituts Carnot ou les instituts de la transition énergétique (ITE) pourront jouer un rôle à cette fin ;
- de structurer les filières françaises, en renforçant les initiatives existantes au niveau français (cf. plans de la Nouvelle France industrielle, comités stratégiques de filières), en menant des analyses régulières du positionnement des acteurs français sur la scène internationale et mobilisant ces acteurs pour participer aux initiatives européennes ou mondiales (programme européen Horizon 2020, initiative Mission innovation lancée lors de la COP21...)

Orientation 3: développer les compétences et connaissances pour et par la R&D&I

L'orientation 3 vise le développement des compétences, tant pour la consolidation d'une communauté de recherche sur l'énergie que pour la formation et l'information des différents publics intéressés (professionnels, société civile, décideurs). Un accent fort est mis sur le caractère pluridisciplinaire (cf. orientation 1) et la constitution d'une communauté des sciences de base pour l'énergie, y compris les sciences humaines et sociales. Il est proposé à cet effet :

- de renforcer les collaborations internationales et la visibilité mondiale des acteurs de la R&D française dans le domaine de l'énergie ;
- de développer des réseaux thématiques de chercheurs, comme celui sur le stockage électrochimique de l'énergie (RS2E), permettant de constituer des masses critiques autour des laboratoires d'excellence existants, par exemple dans le domaine des matériaux pour l'énergie ; de s'appuyer également sur les grandes infrastructures de recherche pour développer des programmes pour l'énergie ;
- de développer la capacité de modélisation et de prospective, en vue d'élaborer des scénarios intégrant les différentes dimensions des systèmes énergétiques et permettant de caractériser et orienter les choix du bouquet énergétique ;
- de développer des nouvelles formations pour les métiers de la transition énergétique, avec l'appui des établissements d'enseignement supérieur ou des instituts tels que les ITE ;
- d'associer la société civile aux projets de démonstration dans les territoires et au retour d'expérience de ces démonstrations, afin de faciliter les débats et choix de société et l'adoption des technologies apportant les meilleurs services.

Orientation 4: créer une gouvernance légère et performante permettant d'assurer le pilotage opérationnel dynamique de la SNRE

Cette dernière orientation souligne le besoin de coordonner la mise en œuvre de la SNRE avec les initiatives existantes aux différentes échelles géographiques, du local (en particulier au niveau régional) à l'international (en particulier au niveau européen avec le programme Horizon 2020 et le

SET Plan) et de consolider la gouvernance pour une mise en œuvre efficiente au-delà de la phase d'élaboration de la stratégie (conformément aux recommandations de l'OPECST). Dans ce but, il est proposé :

- de réunir le comité des parties prenantes sur un rythme annuel après l'adoption de la SNRE, pour impulser et en suivre la mise en œuvre et préparer sa future révision, selon un cycle de cinq ans, coordonné avec ceux de la SNBC, de la PPE et de la SNR ;
- de prévoir une évaluation ex post de la SNRE par l'OPECST, qui avait déjà évalué en 2009 la précédente SNRE de 2007 ;
- de mettre en place un échange régulier avec les régions sur les actions de soutien à la R&D, les priorités et les données de financement, afin de permettre une évolution coordonnée des stratégies respectives, de dégager des synergies et de consolider les retours d'expérience de démonstration dans les territoires au sein d'un « observatoire national des expérimentations » ;
- de suivre le respect par la France de l'engagement de doublement des financements de la R&D dans les énergies vertes par l'État, pris dans le cadre de l'initiative Mission innovation à la COP21 ;
- de s'assurer de la bonne complémentarité des dispositifs de financement de la R&D au niveau français et international. Par exemple, la France pourra défendre au niveau européen le renforcement des financements du programme Horizon 2020 sur la recherche amont (TRL bas) et s'assurer que le futur fonds de soutien à l'innovation mis en place dans le cadre de la réforme du marché carbone (directive ETS) apporte une source supplémentaire et des instruments adaptés de financement de l'innovation bas carbone pour des projets de grande envergure.

Compte tenu de la spécificité du secteur de l'énergie, la levée de l'ensemble des verrous scientifiques, technologiques et systémiques, ne pourra se faire qu'au travers d'actions supportées à la fois par la recherche publique et par la recherche privée et d'une démarche collaborative. La mobilisation de l'ensemble des acteurs pour la mise en œuvre de cette stratégie nationale de recherche énergétique est donc cruciale.

SOMMAIRE

1. Introduction et contexte

- 1.1. *Une vision mondiale et européenne de la transition énergétique*
- 1.2. *Des objectifs nationaux ambitieux appelant une stratégie volontariste et visant l'ensemble du système énergétique*

2. Processus d'élaboration de la SNRE

- 2.1. *Une stratégie s'appuyant sur un socle de documents existants*
- 2.2. *Un travail en concertation avec les parties prenantes*
- 2.3. *Un processus d'adoption prévu par la loi*

3. Orientations stratégiques de la SNRE

ORIENTATION STRATÉGIQUE 1 : CIBLER LES THÉMATIQUES ET DYNAMIQUES TRANSFORMANTES CLÉS POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

- 1.1. *Priorité aux économies d'énergie et de ressources stratégiques*
- 1.2. *Évolution des systèmes pour diversifier le mix énergétique*
- 1.3. *Actions structurantes proposées*

ORIENTATION STRATÉGIQUE 2 : DÉVELOPPER LA R&D ET L'INNOVATION EN LIEN AVEC LES TERRITOIRES ET LE TISSU INDUSTRIEL, EN PARTICULIER LES PME-ETI, POUR LA RÉUSSITE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

- 2.1. *Enjeux internationaux*
- 2.2. *Conforter la performance des actuelles filières énergétiques déjà leaders et/ou à fort potentiel à l'export sur le marché mondial*
- 2.3. *Permettre l'émergence de filières industrielles performantes (nationales et européennes) pour accélérer la transition énergétique*
- 2.4. *Actions structurantes proposées*

ORIENTATION STRATÉGIQUE 3 : DÉVELOPPER LES COMPÉTENCES ET CONNAISSANCES POUR ET PAR LA R&D&I

- 3.1. *Conforter une communauté nationale de la recherche de très haut niveau sur l'énergie*
- 3.2. *Contribuer, à partir des compétences et connaissances développées par les activités de recherche et d'innovation, à l'information et la formation*
- 3.3. *Actions structurantes proposées*

ORIENTATION STRATÉGIQUE 4 : CRÉER UNE GOUVERNANCE LÉGÈRE ET PERFORMANTE PERMETTANT D'ASSURER LE PILOTAGE OPÉRATIONNEL DYNAMIQUE DE LA SNRE

- 4.1. *Mise en place d'une gouvernance dédiée pour assurer le déploiement et l'évaluation périodique de la SNRE dans une démarche prospective*
- 4.2. *Recensement et mise en cohérence des différents outils de financement, de soutien et de suivi de la R&I*

ANNEXES

- Annexe 1. – Organismes de recherche
- Annexe 2. – Liste des participants au comité de suivi et d'élaboration de la SNRE
- Annexe 3. – TRL
- Annexe 4. – Principaux dispositifs nationaux de soutien à l'innovation
- Annexe 5. – Liste des fiches thématiques utilisées comme documents préparatoires

1. Introduction et contexte

Les perspectives d'un développement durable sont dépendantes d'un approvisionnement en énergie pérenne, sécurisé et compétitif avec un impact sur l'environnement réduit, tant à l'échelle locale qu'à l'échelle globale. La problématique énergétique s'inscrit dans un cadre complexe qui doit répondre à plusieurs défis majeurs : garantir l'accès à l'énergie des populations et des organisations à un coût abordable, éviter la précarité énergétique, s'inscrire dans l'atténuation et l'adaptation au changement climatique, préserver la santé humaine et l'environnement, offrir un mix énergétique durable.

Ainsi, la forte croissance de la demande attendue d'ici 2030 au niveau mondial devrait être satisfaite par une diversification large des sources d'énergie, par l'augmentation de la production et de l'intégration au système d'une énergie défossilisée, notamment pour contrôler les émissions de gaz à effet de serre ou pour limiter la dépendance à des stocks irrégulièrement répartis et par nature limités. Pour répondre aux besoins de diversification d'approvisionnement et aux grands enjeux climatiques, le *xxi*^e siècle sera donc celui de la transition énergétique et la France s'engage résolument, *via* la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) et la ratification de l'accord de Paris, tant pour orienter les choix technologiques et sociétaux que pour soutenir une recherche nécessaire à l'amélioration continue des filières existantes et à l'émergence des filières nouvelles.

La maîtrise du mix énergétique à l'horizon 2050 et au-delà est un défi majeur d'envergure internationale qui conduit à de gros besoins en recherche et en équipements spécifiques. Les systèmes énergétiques du futur, quelle qu'en soit la forme, requièrent d'importants investissements, d'importants travaux de recherche et développement (R&D) avec un fort besoin en infrastructures de recherche dédiées. Cela implique également de gérer les incertitudes (prix, considérations géostratégiques, courbes d'apprentissage des différentes technologies, comportements des acteurs...), pour prendre les décisions qui soient les moins coûteuses à long terme.

1.1. Une vision mondiale et européenne de la transition énergétique

1.1.1. Une mobilisation mondiale de la R&D est nécessaire pour lutter contre le changement climatique

L'accord de Paris conclu à l'issue de la COP21, en décembre 2015, a reconnu la nécessité pour les pouvoirs publics, comme pour les entreprises et autres parties prenantes, de soutenir l'accélération de l'innovation en faveur des technologies bas carbone, dans la perspective d'une limitation de la hausse des températures moyennes mondiales bien en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et d'une poursuite des efforts pour limiter cette hausse à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels.

À cet effet, la communauté internationale a notamment lancé en 2015 la Mission innovation et la Breakthrough Energy Coalition pour susciter et orienter les investissements, en appui à d'autres stratégies et mesures de politiques énergie-climat (réduction des subventions aux énergies fossiles...). Les membres¹ de Mission innovation se sont ainsi engagés à doubler sur 5 ans leurs dépenses gouvernementales annuelles en RD&D² en faveur des énergies propres (« *clean energy* ») pour atteindre les 30 milliards de dollars US en 2021.

L'édition 2016 du rapport annuel *Energy Technology Perspectives* (ETP2016)³ de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) analyse l'ampleur des évolutions nécessaires pour lutter contre le changement climatique. Ainsi, il modélise le système énergétique mondial de façon à présenter, notamment aux décideurs politiques, des projections quantitatives jusqu'en 2050, sur la base de trois grands scénarios⁴:

- « 2DS » (*2 Degree Scenario*), scénario privilégié par l'AIE et sur lequel se focalise le rapport précité ; ce scénario, qui envisage une transformation radicale du système énergétique mondial de façon efficace et économique (« *cost-effective* »), est compatible avec une limitation (à au

¹ 20 pays membres ainsi que la Commission européenne, voir <http://www.mission-innovation.net/>.

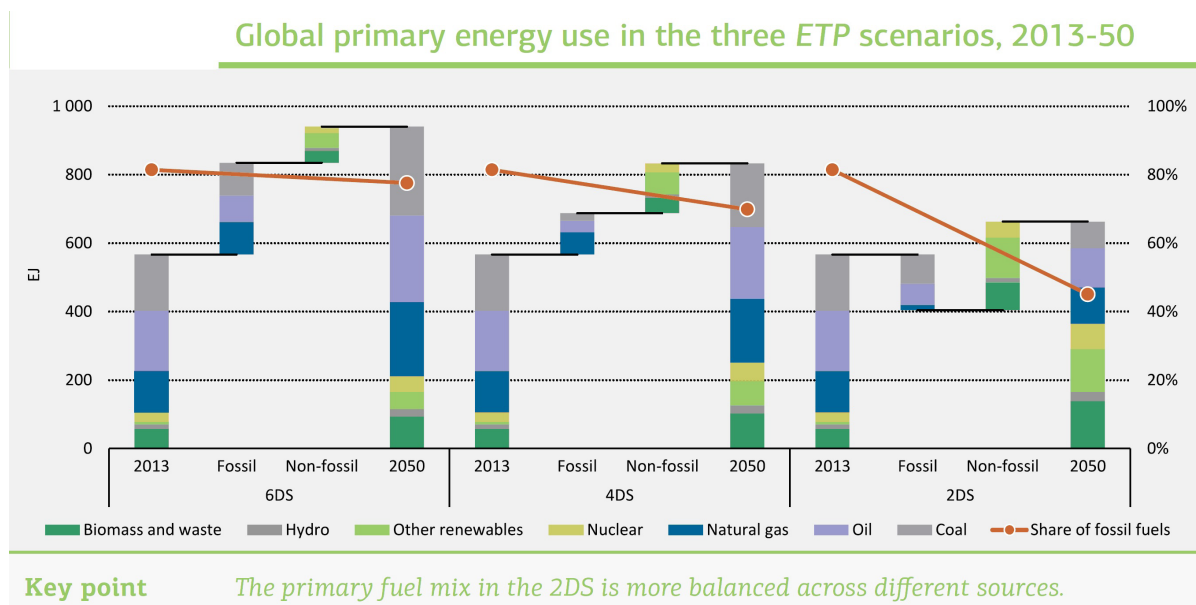
² Recherche, développement et démonstration.

³ *Energy Technology Perspectives 2016*, voir <https://www.iea.org/etp/>.

⁴ Ceux-ci sont complémentaires d'une autre étude prospective annuelle de l'AIE, à moins long terme, désignée par « WEO » ou *World Energy Outlook*.

- moins 50 % de probabilité) d'une hausse de température ne dépassant pas 2 °C, grâce à une baisse des émissions mondiales de GES de près de 60 % en 2050 par rapport à 2013; en cumulé de 2013 à 2050 ces émissions atteindraient malgré tout 1 000 milliards de tonnes de CO₂ ;
- « 4DS », qui tient compte des promesses récentes faites par les pays pour limiter leurs émissions et améliorer leur efficacité énergétique, dans le but de limiter la hausse de température à 4 °C, ce qui occasionnerait cependant des dégâts considérables à la planète ;
 - « 6DS », qui est un scénario tendanciel d'ici 2050. Sans efforts supplémentaires à ceux déjà mis en œuvre, les émissions augmenteraient de 60 % d'ici 2050 pour atteindre, en cumulé sur la période, 1 700 milliards de tonnes de CO₂, ce qui aurait un effet dévastateur en termes de réchauffement et de dérèglement climatique.

Les graphiques de la figure 1 ci-dessous mettent en évidence, d'une part, pour chacun des trois scénarios, la transformation du système énergétique mondial, en distinguant les évolutions des énergies fossiles et des énergies non fossiles et d'autre part, la réduction par secteur des émissions de CO₂ dans le scénario 2DS.



Note: 1 EJ (exajoule) vaut 23,88 Mtep.

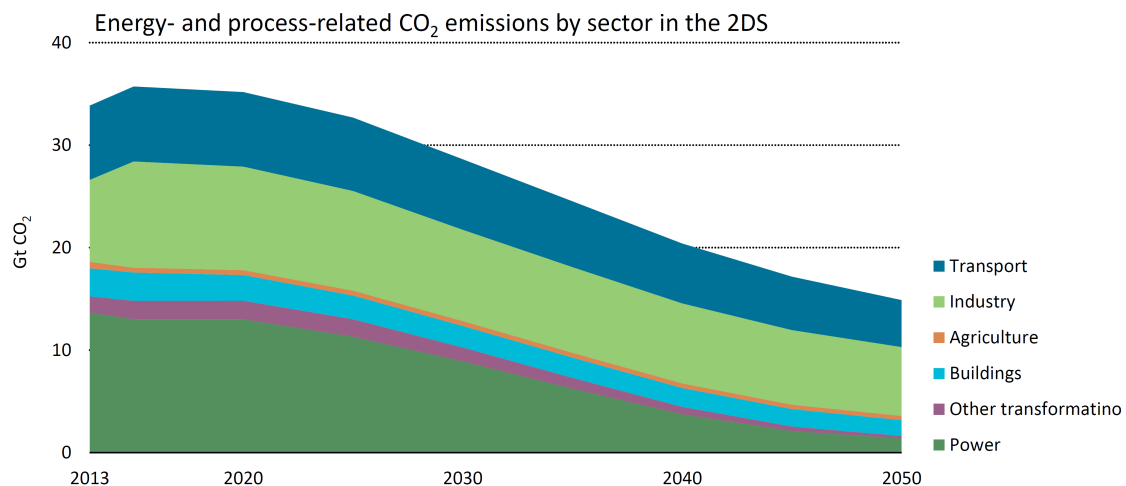


Figure 1: Projections des scénarios AIE jusqu'en 2050 (Source: AIE, ETP 2016).

Le scénario 2DS nécessite d'investir⁵ environ 40 000 milliards de dollars US (valeur 2014), en cumulé sur 2016-2050, par rapport à 6DS, soit un total d'investissements (additionnels et incontournables) de 360 000 milliards de dollars pour l'ensemble du système énergétique mondial, couvrant les secteurs du bâtiment, de l'industrie, des transports et de la production d'électricité. Par exemple, la décarbonation du système électrique – qui joue un rôle central au niveau mondial dans la quête de la transition énergétique – nécessite des investissements cumulés, additionnels dans 2DS par rapport à 6DS, qui s'élèvent sur la période 2016-2050 à 8 900 milliards de dollars ; pour le secteur des transports, ce même montant atteint 18 000 milliards de dollars.

Cependant les économies d'énergie compensent largement ces dépenses d'investissements et, selon l'AIE, le scénario 2DS entraînerait une réduction de coûts de combustibles d'environ 115 000 milliards de dollars sur 2016-2050, offrant ainsi au monde un « bénéfice » de 75 000 milliards de dollars.

Bien que le solde soit positif, la transition énergétique selon un scénario 2DS requiert de mobiliser des ressources financières considérables que les pouvoirs publics à eux seuls ne seront pas en mesure d'assurer. Divers modèles de financement public et de fonds de soutien à la RD&D doivent être mobilisés pour tirer parti des capitaux privés de façon innovante. Des instruments réglementaires ou législatifs doivent aussi être mis en place pour lever les inquiétudes des investisseurs privés suscitées par les risques financiers et politiques élevés en matière d'investissements énergétiques.

Pour l'ensemble des pays membres de l'AIE, les dépenses publiques consacrées à la RD&D dans le secteur énergétique (cf. figure 2) ont crû en valeur absolue depuis le creux de la fin des années 1990, leur part dans la RD&D totale s'est stabilisée autour de 3 % à 4 % depuis 2000 bien loin du pic de 11 % atteint en 1981.

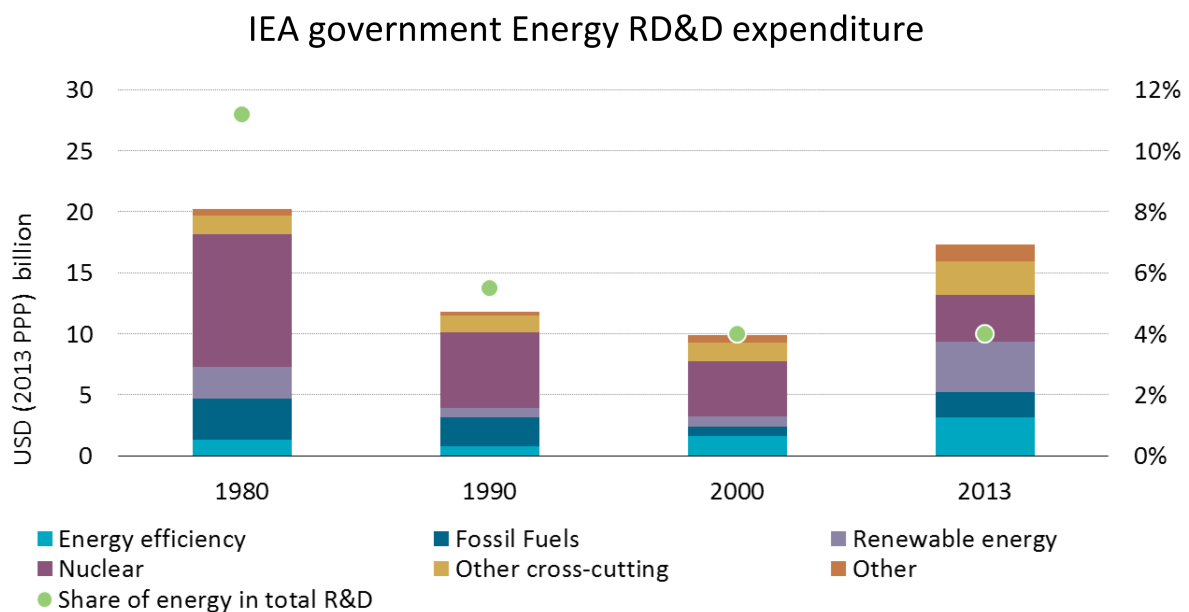


Figure 2: Dépenses publiques de RD&D dédiées à l'énergie dans les pays membres de l'AIE.

⁵ Energy Technology Perspectives 2015, pages 64-65.

La France reste dans le peloton de tête des pays qui investissent le plus dans la RD&D pour l'énergie, à hauteur de 0,5% du PIB, selon l'AIE (cf. figure 3).

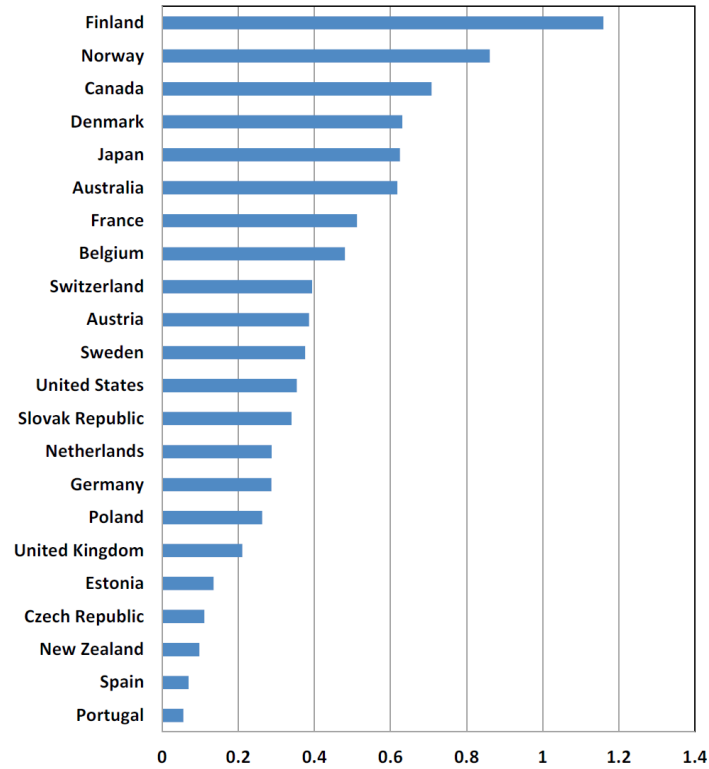


Figure 3: Part des dépenses publiques de RD&D pour l'énergie en % du PIB en 2013 (AIE).

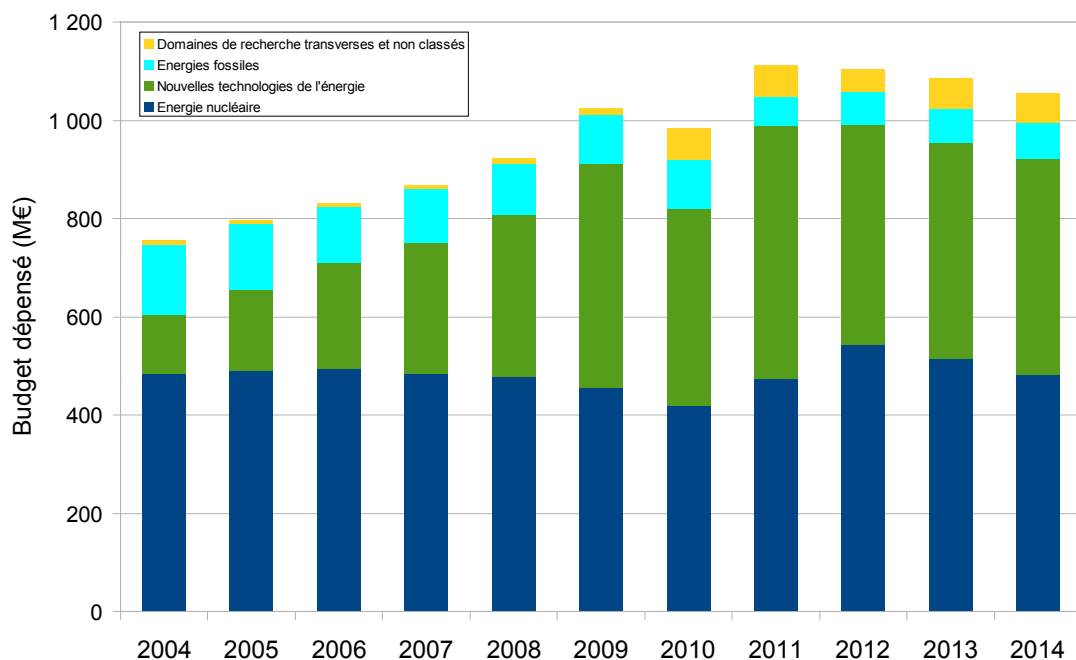


Figure 4: Financements publics (subventions) de R&D pour l'énergie en France (2004 à 2014).

1.1.2. Une SNRE forte d'une vision intégrée et systémique de l'énergie en cohérence avec le cadre européen

La Commission européenne a fait de l'énergie une de ses priorités et a publié en février 2015 une communication présentant l'Union de l'énergie (COM[2015]80) assise sur cinq dimensions :

- la sécurité énergétique ;
- la pleine intégration du marché européen de l'Énergie ;
- l'efficacité énergétique comme moyen de modérer la demande ;
- la « décarbonisation » de l'économie ;
- la recherche, l'innovation et la compétitivité.

La R&D sur les technologies énergétiques est donc non seulement explicitement une des cinq dimensions mais elle est en outre aussi nécessaire pour la mise en œuvre des quatre autres.

Pour cette cinquième dimension, qui constitue le SET Plan européen⁶, quatre priorités européennes communes sont identifiées :

- être au premier rang mondial dans la mise au point de la prochaine génération de technologies liées aux énergies renouvelables ;
- faciliter la participation des consommateurs à la transition énergétique grâce aux réseaux et systèmes intelligents ;
- mettre en place des systèmes énergétiques efficaces et maîtriser la technologie requise pour que le parc immobilier accède à la neutralité énergétique ;
- mettre en place des systèmes de transport plus durables.

En plus de ces quatre priorités communes, les États membres désireux d'utiliser les technologies en question peuvent s'engager à collaborer activement au niveau européen pour les deux priorités optionnelles suivantes :

- développer le captage/stockage du carbone (CCS) et le captage/utilisation du carbone (CCU) pour les secteurs industriels et la production d'électricité ;
- conserver l'avance technologique dans le domaine nucléaire (fission et fusion), notamment grâce à ITER.

Dix actions clés précisent les priorités dégagées et constituent la base d'un plan d'actions concret.

La R&D française s'insérant dans ce cadre européen ainsi défini doit mettre l'accent sur les questions systémiques que posent les défis énergétiques de demain liés aux nouveaux modes de production (sources d'énergies renouvelables variables et distribuées), de consommation (rôle proactif des consommateurs, efficacité énergétique...) de transport et de stockage (réseaux intelligents...) de l'énergie. Elle contribuera ainsi aux défis systémiques de la vision européenne exprimée dans le paquet Union de l'énergie⁷.

1.2. Des objectifs nationaux ambitieux appelant une stratégie volontariste et visant l'ensemble du système énergétique

1.2.1. Une SNRE en cohérence avec la loi TECV et ses outils de mise en œuvre

1.2.1.1. Rappel des objectifs de la loi TECV

Outre des objectifs qualitatifs comme l'émergence d'une économie compétitive et riche en emplois grâce à la mobilisation de toutes les filières industrielles, la sécurité d'approvisionnement, la réduction de la dépendance aux importations tout en assurant la préservation de la santé humaine et l'environnement, la loi TECV fixe notamment les grands objectifs quantifiés suivants :

- réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 % entre 1990 et 2030 et diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050 ;
- réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à la référence 2012, en visant un objectif intermédiaire de 20 % en 2030 ;

⁶ Le SET Plan (Strategic Energy Technologies) est une initiative conjointe des États et de la Commission européenne pour stimuler la mise en œuvre des nouvelles technologies de l'énergie (<https://setis.ec.europa.eu>).

⁷ Le paquet Union de l'énergie souligne dans sa page introductive combien la vision proposée est « celle d'une Union de l'énergie focalisée sur le citoyen – dans laquelle ce dernier prend à son compte la transition énergétique [...] », cf. COM(2015) 80 final, p. 2.

- réduire la consommation énergétique primaire des énergies fossiles de 30 % en 2030 par rapport à l'année de référence 2012 ;
- porter la part des énergies renouvelables à 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % de cette consommation en 2030 ; à cette date, pour parvenir à cet objectif, les énergies renouvelables doivent représenter 40 % de la production d'électricité, 38 % de la consommation finale de chaleur, 15 % de la consommation finale de carburant et 10 % de la consommation de gaz ;
- diversifier les sources de production d'électricité et réduire la part du nucléaire dans la production d'électricité à 50 % à l'horizon 2025 ;
- contribuer à l'atteinte des objectifs de réduction de la pollution atmosphérique prévus par le plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques défini à l'article L. 222-9 du code de l'environnement ;
- disposer d'un parc immobilier dont l'ensemble des bâtiments sont rénovés en fonction des normes « bâtiment basse consommation » ou assimilées, à l'horizon 2050 ;
- parvenir à l'autonomie énergétique dans les départements d'outre-mer à l'horizon 2030, avec, comme objectif intermédiaire, 50 % d'énergies renouvelables à l'horizon 2020 ;
- multiplier par cinq la quantité de chaleur et de froid renouvelables et de récupération livrée par les réseaux de chaleur et de froid à l'horizon 2030.

Pour atteindre ces objectifs, la loi TECV propose d'associer les efforts de l'État, des collectivités territoriales et de leurs groupements, des entreprises, des associations et des citoyens. Elle positionne ainsi les territoires au carrefour de l'innovation.

L'article 183 de la loi TECV précise que la France se dotera d'une politique de recherche et d'innovation en matière d'énergie, en cohérence avec la stratégie nationale de recherche (SNR) et prenant en compte les orientations de la politique énergétique et climatique définies dans la stratégie nationale bas carbone. Par ailleurs, la stratégie nationale de recherche énergétique est élaborée, selon les termes mêmes de la loi, en concertation avec les régions.

1.2.1.2. Rappel des orientations de la SNBC

La stratégie nationale bas carbone (SNBC) instaurée par la loi TECV définit la marche à suivre pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et mettre en œuvre la transition vers une économie bas-carbone et durable.

La première SNBC et les budgets carbone afférents ont été fixés par le décret n° 2015-1491 du 18 novembre 2015. La SNBC vise l'objectif de division par quatre des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050, en respectant la trajectoire définie par les budgets carbone fixés pour les périodes 2015-2018, 2019-2023 et 2024-2028, ainsi que l'engagement de la France auprès de l'Union européenne, de réduire de 40 % ses émissions de GES en 2030, par rapport à 1990.

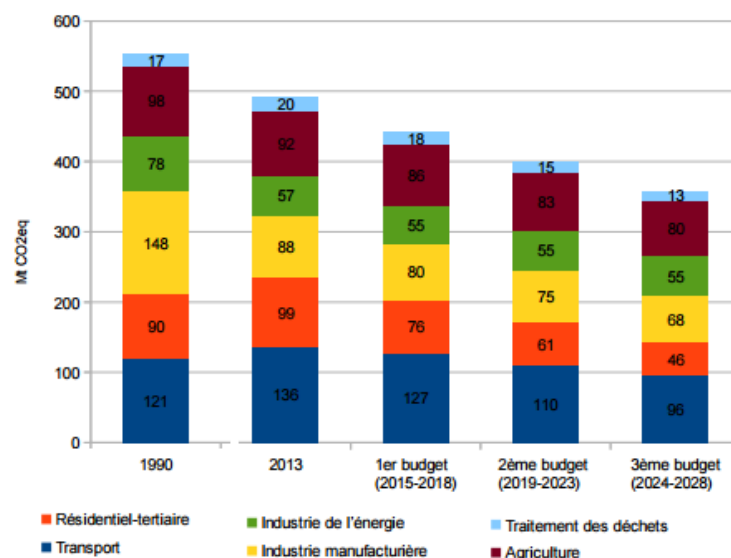


Figure 5: Déclinaison sectorielle indicative des trois premiers budgets carbone.

La première SNBC souligne la nécessité, pour mener à bien la transition vers une économie bas carbone, de renforcer de manière très importante les efforts d'économie d'énergie et de baisser l'intensité carbone de l'énergie utilisée. Durant les 10 prochaines années, la France veillera ainsi à réduire son empreinte carbone notamment par :

- une baisse de l'intensité carbone de l'économie, en développant les énergies renouvelables (ENR), en mobilisant les matériaux biosourcés (par exemple, le bois dans la construction), en encourageant une mobilité maîtrisée et moins polluante, notamment grâce aux technologies bas carbone et à l'information des consommateurs ;
- un développement majeur des économies d'énergie dans l'ensemble des secteurs, en particulier l'industrie, les bâtiments, les transports ;
- le développement de l'économie circulaire, *via* l'écoconception, le réemploi, le recyclage.

Le scénario de référence de la SNBC n'est pas normatif mais présente une trajectoire possible pour l'atteinte de nos objectifs. Il illustre l'ampleur des efforts à accomplir et les cobénéfices attendus et a permis de dégager des recommandations sectorielles de court/moyen terme. Parmi ces recommandations sectorielles, un certain nombre de celles concernant l'énergie sont susceptibles d'avoir une influence sur les orientations de la R&D.

La maîtrise et régulation de la demande :

- développer l'efficacité énergétique, en focalisant autant que possible les efforts sur les sources carbonées ;
- promouvoir l'électrification des usages tout en atténuant les pointes de consommation électrique saisonnières et journalières afin de limiter le recours aux sources carbonées, par exemple *via* l'effacement, le pilotage de la demande et la maîtrise des transferts d'usage vers le vecteur électrique (pilotage des recharges des véhicules électriques, limitation de la thermosensibilité de la consommation...).

La décarbonation et la flexibilité du mix énergétique :

- prévoir le déploiement de systèmes de capture et stockage du carbone pour les centrales fossiles qui auront vocation à fonctionner à l'horizon 2050 (au besoin en retrofit) ;
- améliorer la flexibilité des systèmes énergétiques et assurer la sécurité d'approvisionnement sans augmenter les émissions, en intégrant une part croissante d'ENR, en développant les capacités de flexibilité à différentes échelles – production de pointe, pilotage intelligent de la demande, transferts entre systèmes (électricité/gaz/chaleur), stockage et interconnexions sont à combiner et optimiser ;
- orienter la production de chaleur vers les sources renouvelables (biomasse, géothermie...) et la récupération de chaleur fatale (processus industriels ou inertie des bâtiments) et développer les réseaux de chaleur (en lien avec les dispositifs de planification urbaine) afin de mieux mutualiser et utiliser ces sources.

1.2.1.3. Rappel des orientations de la PPE

La programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) fixe, en application de l'article 176 de la loi TECV, les priorités d'actions des pouvoirs publics dans le domaine de l'énergie afin d'atteindre les objectifs de la loi. L'ensemble des piliers de la politique énergétique (maîtrise de la demande d'énergie, énergies renouvelables, sécurité d'approvisionnement, réseaux, etc.) et l'ensemble des énergies sont traités dans une même stratégie, contrairement aux programmations pluriannuelles des investissements précédentes (PPI électricité, gaz, chaleur), afin de tenir compte du lien fort entre les différentes dimensions de la politique énergétique et de développer une vision transversale de l'énergie plus efficace pour atteindre nos objectifs. La PPE doit être compatible avec les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre fixés par les budgets carbone, en particulier pour le secteur de l'énergie, ainsi qu'avec la stratégie bas carbone plus généralement.

Conformément à la loi, la PPE se fonde sur différents « scénarios de besoins énergétiques associés aux activités consommatrices d'énergie, reposant sur différentes hypothèses d'évolution de la démographie, de la situation économique, de la balance commerciale et d'efficacité énergétique ». Elle tient compte notamment pour le développement des énergies renouvelables des incertitudes techniques et économiques et fixe des options hautes et basses en fonction des hypothèses envisagées.

Deux scénarios ont ainsi été retenus :

- le « scénario de référence » avec une évolution basse des besoins énergétiques associés à la fourchette haute de développement des énergies renouvelables, qui place la France sur la trajectoire lui permettant d'atteindre les objectifs de la loi à l'horizon 2030 ;
- une « variante » avec une évolution haute des besoins énergétiques associés à la fourchette basse de développement des énergies renouvelables, qui illustre la prise en compte des incertitudes associées à la consommation d'énergie, et la nécessité si ce scénario se réalise de modifier radicalement la trajectoire d'évolution de la consommation et de la production après 2023 pour atteindre les objectifs de la loi en 2030.

La PPE, adoptée par le décret n° 2016-1442 du 27 octobre 2016, fixe des objectifs quantifiés sur la période 2016-2023. Ces objectifs quantifiés s'accompagnent des orientations d'action suivantes sur l'ensemble de la période :

- améliorer l'efficacité énergétique et baisser la consommation d'énergies fossiles en préservant le pouvoir d'achat des consommateurs et la compétitivité des prix ;
- accélérer le développement des énergies renouvelables et de récupération ;
- maintenir un haut niveau de sécurité d'approvisionnement dans le respect des exigences environnementales ;
- préparer le système énergétique de demain, plus flexible et décarboné, en développant les infrastructures.

La PPE propose également des actions transverses, comme la mise à jour régulière des études technico-économiques portant sur les synergies entre vecteurs énergétiques et leurs usages, ou la publication de la stratégie nationale de recherche énergétique.

1.2.2. Rappel des orientations de la SNR concernant l'énergie

Les travaux réalisés lors de l'élaboration de la stratégie nationale de recherche (SNR), parue en 2015, ont conduit à identifier cinq orientations stratégiques pour le défi 2, intitulé « une énergie propre, sûre et efficace ».

Gestion dynamique des systèmes énergétiques

Les sources d'énergie renouvelable de plus en plus nombreuses, diversifiées et localisées, nécessitent une recherche sur les moyens d'intégration efficace et dynamique de ces énergies dans les réseaux de distribution, grâce à des solutions techniques combinant de façon optimale les sources d'énergie « bas carbone », souvent irrégulières, avec des sources programmables. Cela suppose de développer différents vecteurs énergétiques, les technologies de stockage et de conversion, ainsi que des réseaux d'énergie intelligents et sûrs permettant de distribuer l'électricité au niveau local, comme de la transporter *via* les grands réseaux européens.

Gouvernance multi-échelles des nouveaux systèmes énergétiques

Il s'agira de s'interroger sur les besoins d'évolution des politiques locales, territoriales, nationales et européennes, sur l'évolution de la régulation des marchés, pour concevoir une gouvernance efficace et équitable prenant en compte un nombre croissant de petits producteurs. Pour cela, il sera nécessaire de travailler à l'optimisation des interfaces entre les différentes échelles, du local au global. Les modes de gouvernance prendront en compte la gestion des énergies au niveau du territoire et leur articulation avec le niveau national, ils devront inclure les coûts des systèmes énergétiques et anticiper les impacts sur les entreprises et les particuliers.

Efficacité énergétique

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

Réduction de la dépendance en matériaux stratégiques

Réduire le besoin et l'usage des matériaux stratégiques pour les systèmes énergétiques passe par la mise en place d'une réflexion sur la chaîne allant de leur extraction à leur recyclage en passant

par leur utilisation. Il faudra regrouper les compétences sur ces trois volets afin de soutenir l'émergence d'une filière durable (méthodes de production et de recyclage innovantes et propres). Cela supposera notamment d'étudier les comportements de ces matériaux sous sollicitations multiples, de trouver des matériaux de substitution, d'optimiser les rendements et les durées de vie.

Substituts au carbone fossile pour l'énergie et la chimie

La production de biocarburants et les applications issues de la chimie biosourcée n'en sont qu'à leur début. Pour que ces filières de substitution soient durables, il faudra rompre avec des raisonnements de spécialité et penser le procédé chimique ou le biocarburant à la lumière des applications concurrentes, de l'échelle (locale ou non) à laquelle la ressource et le produit sont mobilisés et utilisés, de leurs conditions d'obtention, des possibilités de recyclage du produit, de l'existence d'autres matériaux de substitution.

Les orientations liées au défi 2 « une énergie propre sûre et efficace » de la SNR sont également en lien avec les autres défis :

- la problématique « information pour l'énergie et énergie pour l'information » (Green-IT), avec les nouvelles consommations, l'instrumentation et l'efficacité, la flexibilité de la demande, les réseaux énergétiques intelligents, la gestion de l'intermittence et l'insertion des ENR variables, intéresse le défi 7 « société de l'information et de la communication » ;
- les questions autour des bioénergies, de la bioéconomie et de l'usage des sols font appel aux travaux du défi 1 « gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique » ;
- la thématique des matériaux stratégiques pour l'énergie, avec notamment les nouveaux matériaux pour la conversion des énergies renouvelables et le stockage électrochimique est connexe avec le défi 1 pour les questions de connaissance et extraction, et le défi 3 « le nouveau industriel » pour les questions de production-transformation, d'optimisation des rendements, et de recyclage. Le défi 3 est également lié aux technologies et matériaux pour l'efficacité énergétique, aux procédés industriels, à l'écologie industrielle et l'économie circulaire ;
- l'énergie est également partie prenante dans les travaux du défi 6 « mobilité et systèmes urbains durables » avec les thématiques des systèmes urbains et quartiers économes en énergie et à faibles émissions et des systèmes transports adaptés et durables ;
- enfin, le défi 2 partage avec le défi 8 « sociétés innovantes, intégratives et adaptatives » l'ambition d'ouvrir les processus d'innovation aux acteurs de la société, prenant en compte leurs bénéfices (économiques, sociaux, environnementaux) comme les inégalités et les risques dont ils peuvent être porteurs.

1.2.3. Une SNRE en cohérence avec les autres stratégies thématiques

La SNRE doit s'élaborer en veillant à la cohérence avec les autres grandes stratégies nationales plus thématiques qui contribuent à structurer une communauté de l'énergie. C'est notamment le cas de :

- la stratégie nationale bioéconomie (SNBE) ;
- la stratégie nationale de développement de la mobilité propre, annexée à la PPE ;
- la stratégie nationale de mobilisation de la biomasse.

Enfin, sont également à prendre en compte la stratégie nationale de l'enseignement supérieur (STRANES), la stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable 2015-2020 (SNTEDD), la stratégie nationale des infrastructures de recherche (SNIR).

1.2.4. Une SNRE couvrant l'ensemble de la chaîne de recherche, innovation et formation à différents horizons temporels

La réussite de la transition énergétique repose sur un effort de recherche important, pour constituer le socle de connaissances scientifiques et techniques et la gamme de solutions permettant de répondre aux objectifs fixés par la loi aux différents horizons temporels, en permettant à la fois des améliorations des systèmes énergétiques actuels et la préparation des révolutions technologiques futures.

Il s'agit donc de couvrir toute la chaîne de la recherche et de l'innovation, allant des bas TRL⁸ pour les actions de long terme (horizon 2050 et au-delà) qui requièrent une contribution significative de la recherche amont jusqu'aux TRL les plus élevés pour les recherches de moyen et court termes (horizons 2020-2030) dédiées aux phases de développement et déploiement des nouvelles technologies (cf. figure 6).

L'un des atouts importants de la filière française de l'énergie repose sur l'excellence à préserver et développer de sa recherche qu'elle soit fondamentale, appliquée ou finalisée. Il existe de grands opérateurs nationaux de la recherche spécialisés en énergie, notamment le CEA, l'IFPEN, le CNRS associant au sein d'une alliance dédiée (l'alliance ANCRE) les autres organismes concernés par l'énergie⁹ dont la liste est donnée en annexe.

Les efforts de recherche sur la transition énergétique sont soutenus par les agences de l'État ANR et ADEME, par la BPI¹⁰, et par le programme d'investissement d'avenir (PIA) depuis son lancement en 2010.

Sur ces bases, la SNRE s'attache à soutenir les grandes tendances des scénarios de la transition énergétique, et à promouvoir l'émergence de nouvelles filières bas carbone tout en permettant aux filières énergétiques actuellement majoritaires de s'insérer dans un bouquet énergétique diversifié. Il convient de souligner que la SNRE ne constitue pas un exercice de programmation détaillé par filière mais vise à identifier, au niveau stratégique, les enjeux principaux pour les acteurs de la R&D dans le domaine de l'énergie, à la fois en termes de thématiques et en termes de coordination.

Compte tenu de la spécificité du secteur de l'énergie dans lequel la démonstration préindustrielle est cruciale, la levée de l'ensemble des verrous scientifiques, technologiques et systémiques ne pourra se faire qu'au travers d'actions supportées à la fois par la recherche publique et par la recherche privée et d'une démarche collaborative.

Enfin, la SNRE intègre les enjeux de formation et de développement des compétences, afin d'assurer une bonne transmission des savoirs et des technologies vers le monde économique et de permettre un échange éclairé sur les innovations avec la société, tant au stade de leur conception que de leur déploiement.

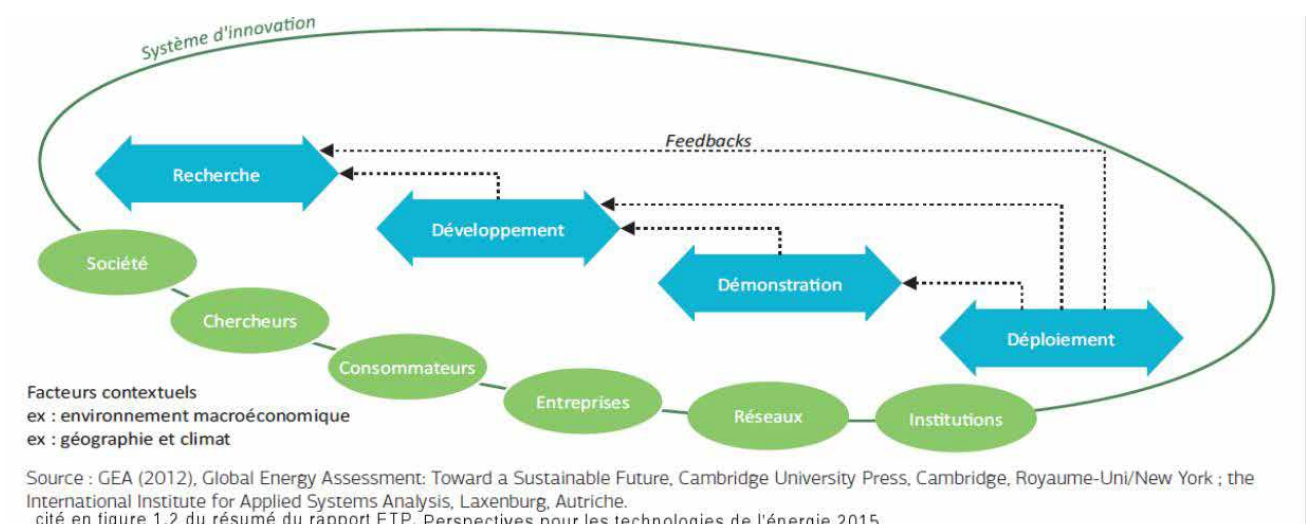


Figure 6 : Le système d'innovation.

⁸ TRL : niveau de maturité technologique (*Technological Readiness Level*). Voir en annexe l'échelle TRL.

⁹ Voir liste en annexe 1. – Organismes de recherche.

¹⁰ Voir annexe 4. – Principaux dispositifs nationaux de soutien à l'innovation.

2. Processus d'élaboration de la SNRE

2.1. Une stratégie s'appuyant sur un socle de documents existants

La prise en compte de l'exercice 2007 et de son évaluation

La loi de programme n° 2005-781 du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique (dite « loi POPE ») a prévu l'élaboration d'une stratégie nationale de recherche énergétique, arrêtée par les ministres en charge de l'énergie et de la recherche et rendue publique. Le rapport définissant la première SNRE a ainsi été transmis au Parlement en mai 2007. Il a ensuite fait l'objet d'une évaluation par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques (OPECST), publiée en 2009.

La présente SNRE tient compte de la première édition de 2007 et de son évaluation, qui a notamment souligné un besoin de structurer la gouvernance de la recherche énergétique et de se doter d'outils de suivi, d'appuyer le choix des priorités sur une grille d'analyse (atouts/faiblesses/opportunités/menaces) et a mis en avant quelques thématiques dans lesquelles l'effort de R&D devrait être renforcé ; c'est par exemple le cas des énergies marines renouvelables, qui ont reçu un fort soutien public depuis quelques années.

Le lien avec la SNR et les COP des organismes de recherche

La LTECV a modifié l'article L.144-1 du code de l'énergie pour préciser le lien entre la SNRE et la SNR, qui a été publiée en 2015 et dont les grandes orientations ont été rappelées au paragraphe 1.2.2. La présente SNRE a pour objet de détailler le volet énergie de la SNR, en proposant une granularité plus fine.

Il convient de rappeler par ailleurs que les contrats d'objectifs et de performances (COP) des organismes de recherche actifs dans le domaine de l'énergie doivent être compatibles avec la SNR, de même que la programmation de l'Agence nationale de la recherche (ANR).

Ainsi, la SNRE et les COP des organismes de recherche les plus marquants dans le domaine de l'énergie sont des démarches complémentaires, élaborées selon des calendriers et périodicités qui leur sont propres, mais il convient d'assurer leur cohérence dynamique. La SNRE s'appuie donc sur la gamme des COP pertinents et alimentera leur mise à jour en temps voulu.

Un ensemble de fiches relatives aux filières technologiques et usages de l'énergie

Un secrétariat permanent pour l'élaboration et le suivi de la SNRE a piloté les travaux de préparation depuis le début de l'année 2015. Il regroupe la direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) et le Commissariat général au développement durable (CGDD) pour le ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer (MEEM), la direction générale de la recherche et de l'innovation (DGRI) pour le ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche (MENESR), et s'appuie sur l'aide de l'ADEME et de l'alliance ANCRE.

Ce secrétariat permanent a notamment finalisé une série de fiches, établies sur la base d'un travail conjoint entre l'ADEME et ANCRE, et qui dressent un état des lieux des connaissances et identifient les verrous technologiques et non technologiques pour différentes filières¹¹. Cet ensemble de fiches, ainsi que les feuilles de routes existantes dans les différents domaines concernés, ont constitué un socle documentaire de référence pour l'élaboration de la SNRE, mis à disposition des parties prenantes dans le cadre de la concertation préalable.

2.2. Un travail en concertation avec les parties prenantes

La mise en place d'un comité de suivi

Afin de contribuer à la définition des orientations stratégiques, un « comité de suivi » a été mis en place en 2016. Il regroupe (voir la liste des organismes ayant participé à la phase d'élaboration de la SNRE en annexe) l'ensemble des parties prenantes de la recherche énergétique, avec notamment des représentants des organismes publics de R&D, des alliances, et plus généralement du monde scientifique, des représentants des entreprises actives dans la R&D et l'innovation dans l'énergie, et des représentants des organisations membres du Conseil national de la transition écologique –

¹¹ Cf. liste en annexe 5. – Liste des fiches thématiques utilisées comme documents préparatoires.

(CNTE) (fédérations professionnelles, organisations syndicales, ONG et associations de protection de l'environnement, collectivités territoriales, élus) et des administrations concernées. Le comité de suivi est coprésidé par le DGEC et le DGRI.

Le comité s'est réuni successivement le 29 mars, le 20 juin et le 30 septembre 2016, afin de définir la méthode et les axes de travail, de commenter et d'enrichir les orientations stratégiques proposées, et de finaliser le document soumis au processus formel de consultation et d'adoption par les ministres. Les membres du comité de suivi ont également transmis des contributions écrites.

Le travail en concertation avec les régions

Afin de prendre en compte l'activité croissante des régions dans l'animation de la R&D et de l'innovation au plan local et de garantir une bonne cohérence avec les actions menées au niveau national, la LTECV prévoit que la SNRE est élaborée en concertation avec les régions.

Par conséquent, en plus de leur représentation au comité de suivi, avec la présence de l'ARF en tant que membre du CNTE, les régions ont été associées à la préparation de la SNRE par des échanges directs avec le MEEM et le MENESR, en particulier sur le contenu et la mise en œuvre des stratégies régionales et sur les schémas régionaux de spécialisation intelligente, qui déterminent notamment l'utilisation des fonds européens.

Les régions sont désormais dans une phase de finalisation, voire de mise en œuvre des schémas régionaux de développement économique, d'innovation et d'internationalisation (SRDEII), prévus par la loi NOTRe du 7 août 2015. Ces processus de travail en parallèle aux niveaux local et national doivent être coordonnés pour s'enrichir mutuellement.

2.3. Un processus d'adoption prévu par la loi

La LTECV prévoit la consultation pour avis du CNTE sur le projet de SNRE et l'adoption de la stratégie conjointement par les ministres en charge de l'énergie et de la recherche.

Le CNTE a rendu un avis le 3 novembre 2016 (délibération n° 2016-10). Cet avis souligne notamment l'importance de disposer d'un outil de pilotage de la politique de recherche et d'innovation dans le domaine de l'énergie intégrant l'ensemble de la chaîne, de la recherche fondamentale à la démonstration préindustrielle, en vue de fournir des technologies et des solutions aux différents horizons temporels, permettant d'atteindre de manière efficace les objectifs fixés par la loi de transition énergétique pour la croissance verte. Le CNTE salue la démarche de concertation menée pour l'élaboration de la SNRE et souhaite un suivi régulier de la mise en œuvre de la stratégie avec les parties prenantes.

Le Conseil supérieur de l'énergie (CSE) a également été consulté le 9 décembre 2016 et a rendu un avis favorable sur le projet de SNRE.

3. Orientations stratégiques de la SNRE

La mise en œuvre de la SNRE se fait selon quatre orientations stratégiques qui se nourrissent des travaux d'élaboration de la SNR et sont rendues cohérentes avec les orientations de la SNBC et de la PPE, présentées ci-avant. Ces quatre orientations sont les suivantes :

1. Cibler les thématiques et dynamiques transformantes clés pour la transition énergétique.
2. Développer la R&D et l'innovation en lien avec le tissu industriel.
3. Développer les compétences et les connaissances pour et par la R&D et l'innovation.
4. Créer une gouvernance légère et performante pour assurer le pilotage opérationnel dynamique de la SNRE.

Chacune des trois premières orientations se termine, après une description ou un rappel des enjeux stratégiques sur le fond ou au niveau de l'organisation collective, par la définition d'actions structurantes. La quatrième orientation complète cette liste d'actions et propose un mode de suivi de la mise en œuvre de la SNRE dans le temps et avec les différentes parties prenantes.

ORIENTATION STRATÉGIQUE 1 : CIBLER LES THÉMATIQUES ET DYNAMIQUES
TRANSFORMANTES CLÉS POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

1.1. *Priorité aux économies d'énergie et de ressources stratégiques*

1.1.1. Renforcer l'efficacité énergétique et réduire la consommation de ressources

La France s'est engagée à réduire de 50 % à l'horizon 2050 (avec une étape à 20 % à l'horizon 2030) sa consommation énergétique finale par rapport à la référence 2012. L'atteinte de ce grand défi se fera en développant et diffusant :

- des produits et procédés innovants ;
- des services et solutions compétitifs et économes en énergie,

dans les secteurs du bâtiment, de l'industrie, des technologies de l'information et de la communication, du transport, de l'agriculture, du tertiaire, de la planification urbaine, et en disposant des outils de mesure et de modélisation pour la conception de systèmes économes.

1.1.1.1. Matériaux, équipements, procédés et systèmes

Dans le domaine du bâtiment, qui présente un potentiel majeur d'économies d'énergie, les objectifs de rénovation énergétique des constructions anciennes conduisent à rechercher des matériaux performants et à coût réduit pour l'isolation thermique par l'extérieur tout comme par l'intérieur, constituant en général deux des principales étapes de la rénovation énergétique. Un effort de recherche est ainsi à entreprendre sur les matériaux physiquement et économiquement efficaces, produits dans le respect des règles d'écoconditionnalité. Un effort sur les procédés d'installation des parois isolantes et la massification de leur production est également nécessaire. Enfin, la recherche sur les équipements de chauffage et de refroidissement doit se poursuivre vers une efficacité énergétique accrue et une plus grande intégration des EnR, comme la biomasse, le solaire thermique ou la géothermie, couplées à un dimensionnement et à un coût d'acquisition réduits.

Par ailleurs, un effort important doit être aussi consacré à l'optimisation des procédés industriels (cf. par exemple *infra* la récupération de chaleur fatale) en considérant une approche intégrée, allant de la conception à la sortie du produit manufacturé. Ce type de réflexion peut également être étendu à l'optimisation des procédés agricoles.

Zoom sur la récupération de chaleur dans l'industrie

Chaque opération industrielle dégrade en chaleur une partie de l'énergie utilisée. La récupération de cette chaleur perdue représente un enjeu stratégique :

- pour l'industrie, en termes de valorisation économique et de compétitivité ;
- à l'échelle des territoires, car la chaleur peut être utilisée localement ;
- au niveau national, en contribuant à l'indépendance énergétique et à l'atteinte des objectifs climatiques et énergétiques.

Les axes de R&D correspondants couvrent toute la chaîne de valorisation, depuis la collecte, en passant par le stockage, le conditionnement et le transfert de vecteur énergétique.

La récupération de chaleur s'effectue par l'intermédiaire d'un échangeur thermique pour lequel il s'agit, en particulier, de développer :

- les connaissances théoriques et outils de simulation numérique ;
- les connaissances dans le domaine des écoulements polyphasiques, du changement de phase, du transfert thermique dans les microstructures et sur le mécanisme de l'encrassement, etc.

Dans le domaine des pompes à chaleur, les recherches se concentrent sur les fluides de travail, pour augmenter les niveaux de températures, ainsi que sur les cycles thermodynamiques pour améliorer la performance des équipements, y compris ceux pour la transformation en électricité.

La question des procédés discontinus et du stockage de chaleur destiné à réduire les appels thermiques est également importante.

Dans le domaine du numérique, en très forte expansion, la sobriété des équipements électroniques, data centers et des réseaux de télécommunications constitue un enjeu important pour ne pas faire exploser la consommation d'énergie, ce qui peut d'ailleurs s'avérer crucial pour l'autonomie des objets nomades. L'optimisation des équipements ou des systèmes est donc à rechercher, avec en outre des opportunités à saisir concernant les énergies de récupération et le couplage avec des consommateurs de chaleur par exemple.

1.1.1.2. Gestion/régulation

L'efficacité énergétique ne sera effective que si les flux d'énergie internes au bâtiment (logements, bâtiments industriels ou tertiaires) et à l'îlot urbain sont gérés de façon optimale.

Les travaux de recherche actuels sur le bâtiment ou la ville numérique sont à développer dans cet objectif, à la fois sur la nature des informations/prédicteurs nécessaires, leur transmission à des centrales automatisées de gestion (Internet des objets), à l'habitant et à des opérateurs extérieurs. Le traitement des données, dans le respect de la vie privée et des contraintes de sécurité, constitue également un enjeu de recherche dans le cadre du domaine « Green IT ». Le développement de ces produits et systèmes nécessite, en parallèle, celui des logiciels de modélisation et de simulation, de l'échelle du bâtiment à celle de la ville, ce qui implique dans ce dernier cas d'y intégrer l'ensemble des fonctionnalités et services urbains autres qu'énergétiques et leurs interactions.

Enfin, si les technologies « durables » sont nécessaires à l'optimisation de l'efficacité énergétique, celle-ci ne se fera pas sans que l'habitant ne devienne un « consomm'acteur responsable », c'est-à-dire conscient des risques et enjeux économiques et environnementaux, se les appropriant avec les moyens mis à sa disposition. Un effort important de recherche en étroite synergie avec le monde des SHS est à engager dans ce secteur (*cf. infra* la section 1.1.2).

Zoom sur la planification territoriale et énergétique

L'articulation entre planification territoriale, dont urbaine, et planification énergétique aux différentes échelles est un véritable enjeu qui demeure à mieux organiser et gérer. La connaissance (offre, potentialités, demande), la gestion et l'élaboration de scénarii énergétiques doivent permettre de servir l'aide à la décision en tenant compte des potentiels impacts environnementaux, socioéconomiques et sanitaires.

Par ailleurs, les morphologies urbaines (pleins et vides, hauteurs, compacité) et les systèmes urbains ont un impact déterminant sur les systèmes énergétiques et leur performance, qu'il convient de mieux appréhender dans une approche intégrée de construction et de gestion des villes et des territoires. La forme bâtie en elle-même a des répercussions sur les consommations énergétiques, déperditions thermiques, potentialités de production, mutualisation à l'échelle de l'îlot, acheminement, mise en réseau au sein du système urbain. Les réflexions à conduire relèvent donc non seulement du système urbain dans son ensemble mais également de l'échelle micro-urbaine.

1.1.1.3. Systèmes de mobilité

Dans le domaine de la mobilité, premier émetteur de gaz à effet de serre (GES) en France (28 % en 2013), la priorité est à la réduction de l'impact des transports routiers¹², *via* une approche systémique intégrant l'organisation du transport, l'adaptation continue des offres de transport (de personnes comme de marchandises) à la demande des usagers et de leurs usages réels, et l'apport du numérique pour l'optimisation de ces usages et des consommations de l'énergie, y compris au travers de l'optimisation des flux et des trajets (tous modes confondus).

La cible des véhicules particuliers consommant moins de 2 l/100 km est structurante. Elle conduit au développement de groupes motopropulseurs à très haut rendement énergétique et faibles rejets de polluants atmosphériques (systèmes de dépollution avancée), à la réduction des masses des véhicules et des différentes pertes, etc. En outre, des motorisations optimisées sur le plan énergétique en conditions réelles seront étudiées (aide à la conduite, récupération de l'énergie thermique des moteurs...).

La cible de véhicules électriques avec un coût et une autonomie comparables à ceux des véhicules thermiques est également structurante. Elle conduit au développement de batteries à faible coût et à forte densité d'énergie et à des systèmes de recharge rapide ou optimisés¹³.

La stratégie nationale de développement de la mobilité propre promeut également le développement de nouveaux couples moteurs carburants permettant de réduire les émissions et d'améliorer l'efficacité énergétique du puits à la roue et l'utilisation de carburants alternatifs, moins émetteurs de GES et/ou de polluants : biocarburants avancés (2^e et 3^e générations), gaz naturel, hydrogène.

¹² En effet, le système routier permet le transport de 90 % des marchandises (en tonnes.kilomètres) et de 80 % des voyageurs (en voyageurs.kilomètres).

¹³ Les cibles retenues dans le cadre du SET Plan sont de 235 Wh/kg pour la densité d'énergie en 2020 et > 250 en 2030 pour les packs, et respectivement 350 et > 400 pour les cellules, avec des coûts cible de 90 €/kWh en 2022 et 75 en 2030. Voir https://setis.ec.europa.eu/system/files/action7_declaration_of_intent_0.pdf.

Au-delà des défis technologiques propres au développement de certaines motorisations (autonomie et compacité des batteries pour véhicules électriques, transmissions efficaces pour motorisation hybride des véhicules, moyens de stockage sûrs et performants de l'hydrogène pour la mobilité, électronique de puissance basse consommation et motorisation électrique à faible coût et haut rendement, etc.), les carburants alternatifs posent des défis plus systémiques, tels que la gestion des transferts d'usage vers le vecteur électrique, l'intégration au réseau et le pilotage des infrastructures de recharge, l'intégration de la mobilité hydrogène dans un panel d'usages multiples dépendant d'une même source décarbonée.

Par ailleurs, la révolution numérique, amenant des véhicules connectés et *in fine* autonomes, représente un axe de progrès potentiel pour l'efficacité énergétique des transports routiers à travers l'optimisation des flux de circulation et des consommations des véhicules.

Les mutations des infrastructures routières à venir ouvrent plus largement des perspectives intéressantes de contributions directes à la transition énergétique, à travers la production (par ex. route solaire, route solaire hybride), le stockage ou la redistribution d'énergie. Ainsi, la Route de 5^e génération favorise l'émergence de solutions techniques innovantes, visant à diminuer de manière importante les apports extérieurs d'énergie dans le système de transport et à positionner la route comme source d'énergie, à l'image des systèmes développés depuis longtemps dans le bâtiment. Cela ouvre un vaste champ de recherche à l'interface de disciplines multiples.

Enfin, s'agissant du ferroviaire, les questions de R&D pour l'optimisation des échanges entre infrastructures et matériels ou l'intermodalité sont également à prendre en compte. S'agissant des transports maritimes et aériens, fortement dépendant des échanges internationaux, la structuration de la recherche se fait en lien avec les organisations internationales, telles l'OMI et l'OACI, ou européennes, comme l'ACARE (Advisory Council for Aeronautics Research in Europe).

1.1.2. Observer et analyser les pratiques et modes de vie pour mieux accompagner les « consomm'acteurs »

Au-delà des seuls progrès techniques, la question du changement de comportement, et plus généralement, de l'évolution de nos modes de vie, est un enjeu clé de la transition énergétique. D'abord parce que l'adoption de nouvelles solutions techniques, de nouvelles organisations ne va pas de soi, elle se confronte à des systèmes d'acteurs en place qui y ont plus ou moins intérêt. D'autre part parce que plusieurs voies sont toujours envisageables pour atteindre des objectifs qui peuvent entrer en concurrence les uns avec les autres. Enfin parce que les changements souhaités doivent s'insérer dans des dynamiques sociales qui ne vont pas nécessairement dans la même direction.

On assiste à l'heure actuelle à de nombreuses initiatives visant le changement de comportement à tous les échelons territoriaux. Or, s'il existe un accord sur la nécessité de faire évoluer les pratiques des personnes physiques ou organismes, les actions à mettre en œuvre pour atteindre cet objectif sont plus complexes à définir. En effet, si la marge de manœuvre à l'échelle individuelle est réelle, elle n'en reste pas moins limitée et les exercices prospectifs mettent en évidence que seule l'articulation de leviers à l'échelle individuelle (fréquence des voyages en avion, taux d'équipement en biens électriques et électroniques, etc.) et à l'échelle collective (rénovation d'un bâtiment, organisation d'un quartier ou d'une entreprise, répartition des activités sur un territoire, offre en transports collectifs, etc.) permet d'atteindre des gains énergétiques à la hauteur des objectifs de la France.

Dans le cadre du pilotage de systèmes énergétiques, la maîtrise de la demande à l'échelle individuelle mais aussi collective représente un levier de flexibilité important, une attention particulière doit ainsi être portée aux services apportés aux usagers en matière de maîtrise de la demande d'énergie (MDE), avec le cas échéant la prise en compte dans les solutions développées du phénomène de précarité énergétique. Il s'agit par exemple de comprendre les motivations du passage à l'acte, en particulier pour la rénovation énergétique des logements.

Devant la multiplicité des outils disponibles (information et éducation, communication engageante, marketing individualisé et social, accompagnement au changement, *nudges*, etc.), sans oublier les incitations économiques, les obligations réglementaires ou juridiques et le développement de dispositifs, services ou produits), la question reste de savoir, pour une pratique sociale donnée, quels sont les outils les plus efficaces, pour quelle catégorie de personne ou d'organismes, à quel moment, à quelles conditions et à quels coûts. La question est aussi d'identifier quelle est l'articulation la plus efficace de ces outils entre eux et quel est le plan d'action, multi acteur, qu'il faut alors

mettre en œuvre pour les déployer. Il s'agit également d'identifier les verrous au changement et à la diffusion de nouvelles technologies bénéfiques en termes environnementaux et de caractériser les enjeux économiques, politiques, institutionnels et juridiques associés, ainsi que d'analyser les nouveaux modèles économiques pour identifier les conditions d'émergence, les facteurs clés de succès et les paramètres de leur faisabilité sociale.

L'essor du numérique (objets connectés, produits nomades, smartphones, boîtiers d'acquisition liés aux véhicules, compteurs communicants, etc.) apporte un accès nouveau et d'une dimension sans commune mesure (big data, data mining) par rapports aux outils antérieurs (panel, enquête papier/téléphonique), qu'il convient d'exploiter au mieux pour accompagner la transition énergétique. Pour autant cette technologie n'est pas toujours acceptée.

Il est donc encore nécessaire de faire progresser nos connaissances et notre compréhension des comportements dans la sphère individuelle et collective, en vue d'élaborer les méthodes et les outils afin d'accompagner l'évolution de ces comportements.

Zoom sur le phénomène de précarité énergétique

En 2016, les travaux de l'Observatoire national de la précarité énergétique (ONPE) évaluent à près de 6 millions les ménages victimes de précarité énergétique, soit 12,2 millions d'individus, soit plus de 1 Français sur 5. Il est inscrit dans la LTECV que la lutte contre la précarité énergétique est l'un des sept axes de la politique énergétique de la France.

Si l'évolution du phénomène de précarité énergétique est suivie depuis 1996, cette dernière constitue encore un enjeu de connaissance et de compréhension en soi. Des travaux de recherche et d'enquête auprès des parties concernées sont encore nécessaires pour définir des critères et indicateurs de précarité énergétique afin de caractériser de façon précise et rigoureuse le phénomène. Au-delà de l'habitat, les liens entre précarité énergétique et enjeux de mobilité des personnes ou encore entre précarité, dispositifs d'effacement, déploiement des technologies de l'information dans le domaine électrique doivent être étudiés. Enfin, il importe d'évaluer les questions de précarité en lien avec leurs conséquences dans le domaine sanitaire.

Zoom sur l'autoconsommation

L'autoconsommation peut se définir comme le fait de consommer sa propre production d'énergie. Elle est associée à la notion d'autoproduction, qui est le fait de produire sa propre consommation. Cette pratique se développe dans un contexte où les coûts de production des installations d'électricité renouvelable diminuent et où les prix de l'électricité augmentent.

Ainsi, alors que le déploiement des petites installations renouvelables était porté depuis 2006 quasi intégralement par les tarifs d'achat, les professionnels font état d'une multiplication des offres commerciales en « autoconsommation » auxquelles le public est très réceptif pour diverses raisons, parmi lesquelles : augmenter son taux d'indépendance énergétique, être acteur de sa consommation, réduire son impact environnemental, réduire sa facture énergétique. Une analyse de ces éléments déterminants les comportements est utile pour anticiper les impacts sur les niveaux de consommations, les systèmes énergétiques, les modèles économiques, etc.

Ces offres s'appuient sur et suscitent un certain nombre d'innovations, en lien notamment avec la recherche d'un optimum local de production et de consommation. Les innovations portent ainsi, à titre d'exemple, sur l'élaboration d'outils permettant le pilotage à distance ou automatique de ses équipements, sur la traçabilité de la production *via* de nouveaux outils numériques tels les blockchains, sur le développement de systèmes de type « plug and play », mais également sur l'amélioration des prévisions de production.

1.1.3. Développer de nouvelles ressources renouvelables et favoriser le développement de l'économie circulaire

1.1.3.1. Développer les connaissances sur les gisements et caractéristiques des matières renouvelables ou minérales et des produits usagés

Diversifier les sources de carbone et de matières minérales pour réduire le recours aux ressources fossiles et/ou critiques primaires est un enjeu majeur. Afin de s'engager dans une démarche optimale de substitution tant d'un point de vue économique que technique, il faut disposer d'une connaissance approfondie du gisement des ressources accessibles. Celles-ci ont diverses origines : la biomasse (bois, cultures dédiées, déchets végétaux), les matières premières secondaires, les

matières valorisables, les matières réutilisables. Les moyens permettant une connaissance précise et actualisée des différents gisements de matière, la prévision et la modélisation de leurs flux, en qualité et en quantité doivent être développés.

Zoom sur la criticité des matériaux stratégiques pour l'énergie

Certains matériaux de la famille des terres rares, tels le néodyme (Nd) ou le dysprosium (Dy), sont nécessaires pour la fabrication d'aimants permanents utilisés dans certaines éoliennes et dans des véhicules hybrides, par exemple. Bon nombre de ces matériaux sont indispensables à la fabrication de batteries ou de composants électroniques. Des quantités mondiales limitées ainsi que la concentration des capacités d'extraction, voire des réserves mondiales pour certaines substances, dans un nombre très réduits de pays (par exemple, à près de 90 % en Chine pour le néodyme) ainsi que l'impact potentiel de leur extraction, rendent opportuns l'examen et le déploiement des substituts possibles et des méthodes de recyclage de ces matières.

1.1.3.2. Développer les procédés de préparation et transformation de ces matières tout en limitant les impacts environnementaux et sanitaires

Des efforts de recherche ont été engagés, tant aux niveaux des procédés dans leur intégralité (prétraitements, transformation thermochimique, transformation biotechnologique) qu'au niveau des catalyseurs – étape déterminante – pour produire, à partir de sources renouvelables, des carburants, des matériaux, des synthons et des intermédiaires chimiques. Ces efforts sont portés notamment par des instituts de la transition énergétique (ITE) ainsi que par des appels à projets spécifiques du programme des investissements d'avenir (PIA) dans le domaine de la chimie verte et de l'économie circulaire. En matière de biocarburants, qui constituent un levier clé pour l'augmentation de la part des EnR dans les transports, la PPE donne la priorité au développement des biocarburants avancés (2^e et 3^e générations) tout en préservant les investissements réalisés.

Le développement de procédés permettant de récupérer, de purifier, d'utiliser des ressources issues du gisement des matières premières secondaires (métaux et terres rares dans les catalyseurs, recyclage chimique de déchets plastiques, recyclage des matériaux du BTP, combustibles solides de récupération...) représente un axe fort de travail pour proposer des systèmes économes en énergie, avec l'impact le plus faible possible sur l'environnement et offrant des rendements matières élevés.

Zoom sur les biocarburants

Avec une croissance de 7 % par an au niveau mondial sur la période 2010-2030, les biocarburants pourraient satisfaire près de 6 % des besoins en carburants et distillats intermédiaires en 2025. En termes de R&I, les efforts doivent notamment porter sur le développement de procédés flexibles et compétitifs adaptés à la biomasse cellulosique. Dans ce cadre, la France s'est particulièrement bien positionnée avec le projet Futurol (production, par voie biologique d'éthanol 2G) qui vise la commercialisation d'un procédé industriel français d'ici à 2017 et le projet BioTfuel qui vise une mise sur le marché d'ici à 2019 d'une chaîne complète de procédés permettant de produire, par voie thermochimique, des bases pour le transport routier et pour le transport aérien. En outre, ces projets, qui associent organismes de recherche et entreprises, devraient favoriser la mise en place de synergies industrielles et commerciales entre la filière biocarburants 2G et la filière des bioproduits comme les bio-alcools, bio-oléfines, bio-aromatiques.

Zoom sur les ITE de la chimie verte

Les instituts pour la transition énergétique (ITE) sont des plates-formes interdisciplinaires dans le domaine des énergies décarbonées, rassemblant les compétences de l'industrie et de la recherche publique dans une logique de co-investissement public-privé et de collaboration étroite entre tous les acteurs. Créés dès 2012, deux de ces instituts s'intéressent au carbone biosourcé.

L'ITE PIVERT (Picardie Innovations végétales enseignements et recherches technologiques) a pour objectif de créer un institut d'excellence de la chimie du végétal, des technologies et de l'économie des bioraffineries de 3^e génération dans le domaine de la biomasse oléagineuse et forestière.

L'ITE IFMAS (Institut français des matériaux agricoles biosourcés) est un outil au service de la création d'une filière française structurée complète de l'amont à l'aval, pour produire des plastiques végétaux éco conçus, durables et recyclables ou biodégradables et des peintures et revêtements biosourcés à partir de plantes locales abondantes et renouvelables.

1.1.3.3. Accompagner l'émergence d'une filière de valorisation du CO₂

L'utilisation de carbone de substitution provenant de rejets de CO₂ industriel est un enjeu important car c'est une voie susceptible de créer une filière industrielle locale pour l'énergie : moyen de stockage, interconversion entre les vecteurs, production de composés chimiques à valeur énergétique (carburant de synthèse), utilisation dans des procédés biologiques (microalgues, biocatalyse), en particulier en combinaison avec l'utilisation de sources d'énergie renouvelable ou bien encore utilisation dans les matériaux de construction (valorisation minérale).

Mettre en œuvre les conditions de création d'une filière de valorisation du CO₂ allant au-delà de l'utilisation industrielle classique que constitue, par exemple, la récupération assistée d'hydrocarbures requiert de traiter l'ensemble des interrogations inhérentes à la chaîne tant énergétique que socioéconomique.

1.1.3.4. Développer des outils et méthodes pour aider la société et les entreprises à intégrer l'éco-conception dans leurs décisions stratégiques

La mesure de la performance environnementale des filières est essentielle dans les choix à réaliser. Il faut, tant pour la société et les territoires que pour les stratégies industrielles, être capable d'évaluer et modéliser les flux de matière primaire et secondaire et les impacts potentiels des filières et de leur intégration dans les systèmes, du plus simple aux plus complexes. Des dispositifs d'observation et d'analyse des flux de matière et d'énergie (incluant la gestion au long terme des déchets) doivent être envisagés pour toutes les sources d'énergie. Ces dispositifs sont nécessaires pour valider les modèles de représentation et d'organisation des sociétés et des territoires, d'évolution des comportements et les choix industriels. Ces observations concernent autant les filières que les territoires, en considérant différents espaces géographiques, du plus urbain au plus rural, notamment les mégapoles, les territoires agricoles et forestiers et les milieux marins. Disposer de méthodologies d'analyse de cycle de vie et d'écoconception très largement améliorées et adaptées aux enjeux énergétiques ainsi que partagées est donc un objectif majeur.

1.2. Évolution des systèmes pour diversifier le mix énergétique

Les grands engagements de la France, autant en termes de réduction des consommations qu'en termes d'offre compétitive en matière d'énergies décarbonées intégrées dans les réseaux rendent nécessaire un nouveau modèle énergétique afin organiser la diversification des filières énergétiques et sortir de la dépendance à une source d'énergie, que cela soit dans le domaine de l'électricité, de la chaleur ou bien encore dans le domaine des carburants.

1.2.1. Gérer la diversification avec une approche systémique

1.2.1.1. Intégration des EnR variables

Le mix énergétique intègre progressivement aux côtés des ressources historiques une quantité croissante de sources énergétiques variables comme l'éolien (terrestre ou en mer) et le solaire, qui sont aussi caractérisées par le foisonnement des lieux de production. Ces particularités conduisent à de nombreux verrous qu'il faut lever pour permettre une intégration optimale dans les réseaux prenant en compte la variabilité de la production tout comme celle de la demande.

Cela rend en particulier nécessaire le développement d'outils, de méthodes, d'algorithmes et de modèles (par exemple, météorologiques) pour la prévision et l'anticipation des productions des sources multiples en vue de leur intégration, pour répondre aux besoins tout en assurant la fiabilité et la sécurité des réseaux et en veillant à maximiser les rendements de production dans des conditions économiques acceptables.

Il faut également chercher à développer la capacité de ces nouvelles installations de production à participer aux services systèmes (par exemple, réglage de fréquence ou de tension sur le réseau électrique) et à augmenter leurs durées de fonctionnement et facteurs de capacité et de flexibilité (tendance par exemple très forte pour les dernières générations d'éoliennes).

1.2.1.2. Stockage de l'électricité et de la chaleur

La maîtrise de la production, de la consommation et de la récupération d'énergie demande des moyens de stockage et de restitution efficaces et flexibles. Les formes de stockage encore peu compétitives et qu'il faut développer concernent principalement l'électricité et la chaleur. Quelles

que soient les technologies qui les sous-tendent, les modes de stockage à développer doivent en particulier correspondre aux besoins suivants pour l'électricité, qui s'échelonnent dans le temps et s'adaptent aux situations des territoires :

- stockage hebdomadaire pour faire face à l'intermittence de l'éolien à l'horizon 2030 en France continentale;
- stockage journalier pour gérer la production photovoltaïque après 2030 en France continentale lorsqu'elle atteindra des niveaux significatifs;
- stockage de longue durée ou intersaisonnier à plus long terme, pour accompagner de fortes proportions de sources intermittentes dans le mix énergétique;
- tout type de stockage dès aujourd'hui dans les zones non interconnectées pour participer à des services systèmes et augmenter le taux de pénétration des énergies renouvelables variables.

Plus généralement, la R&D sur les technologies de stockage doit envisager l'intégration dans des systèmes fonctionnels, qu'ils soient stationnaires, mobiles, nomades, etc. Par exemple, il s'agit d'étudier l'optimisation temporelle des flux entre production, stockage et restitution, et la pertinence de l'intégration des systèmes de stockage mobiles (véhicules électriques) au sein des réseaux d'énergie.

Parmi les différentes technologies en compétition à ce jour, le stockage de l'électricité sous forme électrochimique est un axe important de travail pour examiner les nouvelles technologies de batteries à haute performance (densité d'énergie stockée, tenue aux cycles charge/décharge) avec possibilités d'industrialisation en France, sans négliger les supercondensateurs. Il convient d'examiner les possibilités de la structuration d'une filière française et européenne de batteries pour rester dans la compétition mondiale.

Les autres thèmes de R&D liés au stockage concernent :

- la production d'hydrogène par électrolyse, tout en se plaçant dans une perspective plus large liée aux multiples usages de l'hydrogène et à la constitution d'une filière sur l'ensemble de la chaîne;
- les volants d'inertie, le stockage sous forme d'air comprimé, le stockage magnétique;
- l'amélioration des performances des stations de stockage d'énergie par pompage et turbinage (STEP);
- les matériaux performants pour le stockage thermique;
- le stockage souterrain de la chaleur.

1.2.1.3. Flexibilité des systèmes et intégration des différents vecteurs (électricité, H₂, chaleur, gaz, etc.)

L'intégration des sources renouvelables variables, notamment à l'échelle territoriale, la montée en puissance de nouveaux usages de l'électricité (mobilité électrique, équipements de haute technologie des foyers...) et le développement de l'autoproduction/autoconsommation conduisent à un nombre de vecteurs énergétiques qui s'accroît avec une gestion des flux d'énergie qui va devenir beaucoup plus complexe.

Ces évolutions nécessitent d'adapter les systèmes énergétiques vers plus d'intelligence, au travers du développement équilibré des réseaux, du stockage et de la conversion des énergies et du pilotage de la demande. Toutes les flexibilités envisageables sont à exploiter : effacement, stockage, modulation de la consommation, foisonnement, couplage entre réseaux, etc. Les opportunités offertes par les divers usages de l'hydrogène, notamment la méthanation, doivent également continuer à être étudiées. L'interopérabilité entre équipements constitue un axe important de travail.

Il est par exemple important de préparer les interactions entre les réseaux d'électricité, de gaz et de chaleur (« *power-to-gas* » et « *power-to-heat* ») aux différentes échelles pour en optimiser le fonctionnement et les coûts en lien avec les technologies de stockage.

Dans ce contexte, tout comme l'émergence de nouvelles technologies plus flexibles, le développement de modèles prédictifs, intégrant différentes contraintes et fonctions d'entrée comme les performances énergétiques en temps réel, l'impact socio-économique, la performance environnementale, est déterminant.

1.2.1.4. Processus d'amélioration continue de la production d'électricité d'origine nucléaire

L'énergie nucléaire reste une composante importante du mix énergétique français, reposant sur une filière industrielle de grande ampleur et présente sur les marchés internationaux. Son évolution requiert de grands programmes de recherche et d'innovation qui doivent se focaliser en grande partie sur les trois défis majeurs que sont :

- la sûreté des installations ;
- la prolongation de la durée de vie des installations existantes et l'évolution du parc ;
- la maîtrise de la gestion des déchets radioactifs, en tenant compte de la politique de cycle fermé du combustible, réaffirmée par la PPE.

Le maintien des installations existantes, la prolongation de leur durée de vie et l'évolution du parc nucléaire, incluant les installations du cycle (*cf.* nouveaux combustibles), s'inscrivent à la fois dans une démarche de progrès continu pour les réacteurs à eau pressurisée (amélioration de la sûreté, fiabilité et capacités d'adaptation en termes de maîtrise des risques tenant compte des progrès des connaissances, flexibilité et suivi de charge afin de s'adapter à un mix électrique diversifié, compétitivité des filières, etc.) et dans une démarche de rupture technologique avec le développement des systèmes des générations futures (*i.e.* le projet ASTRID comme démonstrateur industriel de réacteur à neutrons rapides refroidi au sodium ; le projet international ITER visant à démontrer la faisabilité de l'utilisation à plus long terme de la fusion thermonucléaire). Les progrès scientifiques reposent sur une compréhension fine des phénomènes physiques multi-échelles et nécessitent donc des outils d'intégration des grands codes de physique des champs, des plateformes expérimentales instrumentées, avec leurs laboratoires associés et des moyens performants de calcul intensif. Les sciences humaines jouent également un rôle important pour le management des risques industriels et l'amélioration des performances des installations.

La gestion des déchets est un enjeu majeur dont le socle repose sur une meilleure connaissance de la nature des déchets radioactifs, le développement de solutions de conditionnement adaptées et sur des études du comportement à long terme des matières radioactives et des colis de déchets. Ces études reposeront principalement sur l'identification des phénomènes physico-chimiques, biologiques, mécaniques et thermiques intervenant de manière combinée lors du stockage.

1.2.1.5. Nouveaux modes d'organisation, nouveaux modèles économiques et nouvelles gouvernances multi-échelles

Habitants, associations, entreprises, collectivités territoriales, services publics... autant d'acteurs, autant d'intérêts, de logiques, de ressources et de contraintes réunis par un même territoire ou par un projet de développement. En interaction et liés entre eux par des rapports sociaux et économiques, ces acteurs participent tous au développement de territoires (par exemple, les territoires à énergie positive pour la croissance verte) ou de filières, pour lesquels le défi de la transition énergétique réside :

- non seulement dans la combinaison d'une offre de biens ou de services conduisant à maîtriser la consommation de matières et d'énergies ;
- mais également dans la compréhension des enjeux liés à la gouvernance, pour favoriser la construction d'un collectif et d'une dynamique.

Le défi de la transition écologique réside également dans l'articulation de différents niveaux de gouvernance pour mettre en place, avec la participation des différents acteurs, des actions adaptées, nécessitant alors la combinaison d'instruments politiques, voire plus radicalement d'instruments innovants.

Pour analyser et conforter les choix d'instruments de politiques publiques à mettre en œuvre, des travaux de prospective doivent être régulièrement conduits pour dessiner les grandes lignes d'un scénario soutenable parmi l'ensemble des futurs possibles, en s'appuyant sur des exercices de modélisation avec différentes approches (modèles macroéconomiques, modèles technico-économiques sectoriels et multisectoriels, modèles hybrides...) pour en évaluer la pertinence. De tels travaux contribuent à la mise en cohérence de visions du futur à différentes échelles spatiales (locale, nationale, globale) et temporelles (court, moyen et long termes) et doivent être articulés, de manière itérative, pour que l'impact des hypothèses puisse être confronté avec ce qui est pressenti, à ces différentes échelles, comme phénomènes émergents et évolutions sociales probables. Il s'agit

également d'améliorer et/ou de développer des méthodes multicritères d'évaluation des impacts environnementaux, sociaux et économiques pour mieux éclairer la décision dans un contexte d'incertitude.

L'objectif est donc d'améliorer, à l'aune des objectifs de la transition énergétique et écologique, la cohérence des choix politiques dans une double perspective d'espace local/global et de temporalité court terme/long terme, notamment en développant des outils de prospective, de compréhension des processus de coordination et de création de collectifs, et d'exploration des données par la construction d'indicateurs de formats variés et de modèles d'aide à la décision. Ces exercices formalisés doivent être complétés par un suivi, une analyse et une mise à contribution des multiples initiatives de territoires, pour certaines très innovantes dans les domaines du climat et de l'énergie.

Enfin, la mise en débat sociétal est une étape difficilement contournable et souhaitable dans le cadre d'une gouvernance multi-échelles. Elle appelle l'existence d'expertises contradictoires, ce qui nécessite un soutien actif à la constitution d'expertises sur les futurs, leurs technologies et leurs enjeux sociétaux, ainsi qu'un soutien à la compréhension des conditions d'émergence et du rôle d'une expertise citoyenne.

Ces éléments trouveraient à s'appliquer notamment dans les domaines suivants :

- la gouvernance de l'énergie et les politiques publiques (émergence de nouveaux acteurs, motivations de ces acteurs, nouveaux modes de gouvernance, territorialisation des politiques et gouvernance multi-échelles...);
- les marchés, régulations et modes de consommation (nouveaux marchés et nouveaux modes d'organisation, nouveaux modèles économiques).

Les SHS ont ici un rôle évident à jouer, non pas dans une simple logique d'accompagnement mais bien en mobilisant leurs problématiques de recherche au meilleur niveau pour anticiper les conditions de la transition énergétique.

1.2.2. Promouvoir de nouvelles productions nationales à coût économique et impact environnemental acceptable

1.2.2.1. En prenant en compte l'ensemble des ressources (solaire, éolien, hydraulique, géothermie, énergie marine, biomasse, etc.)

La diversification du mix énergétique nécessite la maîtrise de nombreuses sources renouvelables, variables ou non. Pour ce faire, il convient d'identifier précisément les ressources disponibles ou mobilisables (gisements de vents, biomasse, ensoleillement, etc.) ainsi que les enjeux liés à la variété des territoires considérés pouvant permettre la mise en place de démonstrateurs adaptés à leurs spécificités. C'est notamment le cas pour les territoires îliens ne bénéficiant pas d'interconnexion, pour lesquels l'enjeu consiste à déterminer une combinaison optimale entre ressources renouvelables disponibles selon les zones, par exemple les énergies marines (hydrolien, énergie thermique des mers), et stockages adaptés.

Les filières en développement comme l'énergie solaire, l'énergie éolienne, les énergies marines, la géothermie, qui sont à des stades différents de maturité, doivent chacune continuer à accroître leur compétitivité pour faire émerger des filières nationales : augmentation des ratios performances/coûts, industrialisation des équipements ou de l'exploitation, fiabilisation des systèmes, outils et méthodes de maintenance (y compris prédictive), réduction des impacts, etc.

Pour la biomasse, le développement de filières nationales (production d'énergie, chimie biosourcée, matériaux...) passe notamment par la mobilisation des ressources, d'une part, et par la gestion raisonnée des problématiques de concurrence d'usage, d'autre part. Dans ces conditions, outre les « ressources traditionnelles », il faut envisager des approvisionnements peu ou pas exploités jusqu'à présent : il peut s'agir de nouvelles ressources en vue de (re)valoriser certains espaces ou éléments du paysage (friches, zones de déprise agricole...), de proposer des systèmes de culture intégrant des productions nouvelles (cultures intermédiaires dans les rotations...) en lien avec le déploiement de l'agroécologie et en s'assurant de la préservation des sols, ou encore d'imaginer des valorisations énergétiques des biodéchets non utilisés et dont la production ne pourrait être évitée. Le bilan carbone des différentes options de gestion et de mobilisation de la biomasse doit être clairement évalué.

Zoom sur une énergie solaire photovoltaïque française et européenne compétitive

L'industrie photovoltaïque française, et plus largement européenne souffre d'un défaut de compétitivité devant ses concurrents asiatiques. À ce titre, la recherche et l'innovation ont un rôle majeur à jouer afin de faire gagner en compétitivité les produits français et européens.

Un premier levier d'action est de parvenir à réduire les coûts de production des produits, à travers notamment une amélioration des méthodes de production industrielle (plus grande automatisation, gain de temps dans les procédés de fabrication) ou encore un gain sur le coût des matières premières (économie des quantités de Si et In nécessaires). Un autre levier d'action est de faire gagner les produits en qualité et en durabilité en allongeant la durée de vie des systèmes et en améliorant leur recyclabilité.

Enfin, il convient également de poursuivre les efforts de recherche et développement sur l'amélioration des rendements des cellules et des modules et, plus en amont, d'explorer les concepts en rupture, tels que les perovskites, susceptibles de devenir les technologies de demain.

La France bénéficie d'un écosystème dynamique de laboratoires et d'entreprises innovantes, capable de relever ces défis. En particulier, les travaux des ITE IPVF (couches minces) et INES2 (silicium) pourront s'avérer déterminants pour répondre à ces enjeux.

1.2.2.2. En menant des recherches opérationnelles sur l'impact environnemental, l'évaluation et la gestion des risques des systèmes énergétiques

Il est indispensable de réaliser une analyse des impacts et des risques sur la santé et l'environnement (risques accidentels, risques chroniques) de toutes les sources d'énergies et de disposer à cet effet des méthodes, données et outils de mesures ou modélisation des indicateurs recherchés. Un monitoring de la performance environnementale des différentes sources sur chacune des catégories d'impact est ainsi nécessaire: émissions de GES, pollution de l'air, de l'eau, polluants dans diverses matrices, espèces et écosystèmes affectés, artificialisation des sols, usage des ressources, bruit... Une capacité d'analyse de la résilience des systèmes énergétiques eux-mêmes aux différents risques est également importante.

Ces évaluations *ex ante* concernent autant la production d'énergie que les réseaux de fourniture, leurs usages, les aménagements nécessaires et les impacts sur les sols. Ces études sont à construire sur la méthodologie des analyses environnementales et sociales du cycle de vie (ACV) des biens et services, des matériaux et produits. Il est également important d'ouvrir l'accès aux données nécessaires à ces analyses avec pour enjeu la coopération entre acteurs. Plus globalement, l'évaluation des impacts environnementaux, sociaux et économiques permettra en effet de faire des analyses coûts/bénéfices globales des technologies dans la perspective d'une évaluation de la durabilité de la transition. Par exemple, une analyse comparée des différents types de carburants, notamment de biocarburants de différentes générations, peut permettre d'éclairer les choix sur le développement des filières.

L'implication des SHS en amont, dès l'émergence des technologies concernées (*cf.* section 1.2.1.5) et non plus exclusivement en aval sur les questions d'acceptabilité sociales, est nécessaire. Les SHS ont ici tout leur rôle à jouer dans l'analyse des enjeux (par exemple équité, distribution des risques, justice environnementale) liés à l'accès aux ressources, à l'introduction de nouveaux procédés ou à l'émergence de nouvelles filières.

Zoom sur l'analyse de l'impact environnemental des énergies marines

Le développement des énergies marines (éolien en mer posé ou flottant, hydrolien, houlomoteur...) qui n'en est qu'à ses débuts ne doit pas empêcher d'identifier et de prévenir les conséquences potentielles de leur utilisation sur les espèces, les milieux, et, plus généralement tout l'environnement marin. Cela inclut notamment les conséquences du passage des câbles sous-marins, l'impact des opérations de construction et de maintenance mais également les effets du bruit et des champs électromagnétiques sur différentes espèces, ou encore sur les mécanismes qui sous-tendent les comportements d'évitement. Les recherches dans ce domaine encore nouveau pourraient s'appuyer, tout en les complétant, sur les informations concernant les perturbations environnementales ainsi que les modes d'atténuation déjà identifiés par exemple dans les secteurs du pétrole et du gaz offshore ou de l'extraction de granulats.

1.3. Actions structurantes proposées

Le déploiement d'une stratégie nationale énergétique demande des actions précises sur un ensemble de thèmes identifiés, qui font toutefois apparaître des axes transverses constituant un socle commun et introduisant des liens avec des domaines connexes à l'énergie. Si les objectifs majeurs que sont la recherche de l'efficacité énergétique, d'une part, et la transition vers une économie bas carbone, d'autre part, conduisent à cibler des thématiques prioritaires telles que le développement d'énergies renouvelables compétitives, de techniques performantes et abordables de rénovation énergétique des bâtiments, de moyens de mobilité à faibles émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques, de substituts au carbone fossile par la chimie verte ou de procédés industriels plus efficaces, la stratégie de R&D doit veiller à intégrer une gestion dynamique des systèmes énergétiques et à se placer dans une vision large de ces systèmes.

1.3.1. Placer la R&D énergétique dans un contexte élargi

Il est proposé, d'une part, de poursuivre et renforcer les coopérations entre acteurs de la R&D de l'énergie et d'autres domaines, d'autre part, d'inclure ces approches transverses dans les programmes d'animation et de soutien. Plusieurs dimensions sont à prendre en compte dans cette perspective.

Conjuguer les transitions énergétique et numérique

Le numérique a un rôle clé à jouer à chaque étape de la chaîne, de la production jusqu'à la consommation de l'énergie en passant par la distribution :

- capacité de transmission et de traitement de données massives, à court terme (diagnostics et gestion en temps réel des réseaux ou équipements) comme à moyen et long termes (simulation, analyse et optimisation des systèmes) ;
- interopérabilité et sécurité des systèmes (prévention des cyber attaques sur des infrastructures essentielles de plus en plus connectées et protection des données) ainsi que protection de la vie privée (en lien avec les SHS) ;
- émergence de nouveaux modèles de services intégrant le numérique et les enjeux de la transition énergétique (domotique, mobilité...);
- réduction des coûts et maîtrise de la consommation, de la flexibilité et de la non-intrusivité des capteurs communicants.

Respecter un degré élevé d'exigences environnementales

Étant donné les enjeux environnementaux actuels, de lutte contre la pollution et le réchauffement climatique, de gestion sobre des ressources ou encore de préservation des écosystèmes (y compris des écosystèmes producteurs de ressources énergétiques comme la biomasse), il est nécessaire d'analyser systématiquement l'impact environnemental des technologies et solutions pour l'énergie sur l'ensemble de leur cycle de vie.

Par exemple, dans le cas des matériaux pour l'énergie, pour lesquels de nombreux défis émergent (besoin de nouvelles générations de matériaux plus légers, plus isolants, plus résistants, y compris en conditions extrêmes, pour couvrir les besoins du transport, du bâtiment, du stockage et de la conversion de l'énergie, etc.), l'anticipation des perspectives de réemploi ou de recyclage ou, le cas échéant, la recherche de matériaux biosourcés doivent devenir un réflexe et supposent un effort particulier pour s'inscrire dès la phase de conception dans une logique d'économie circulaire.

Intégrer les enjeux économiques et sociétaux dès la phase de R&D

Les enjeux d'accompagnement des consommateurs (modification des comportements, nouveaux rôles plus interactifs avec les systèmes énergétiques) et les défis de la gouvernance multi-échelles des systèmes énergétiques (multiplication des acteurs locaux et des échelles territoriales, bouleversement des marchés et des modèles économiques ou des cadres réglementaires) font apparaître un besoin accru de recherches combinant le domaine de l'énergie avec celui des sciences humaines et sociales.

Actions pour coordonner et animer la R&D sur les dimensions transverses identifiées

Afin d'assurer une coordination renforcée entre ministères sur l'ensemble des domaines en lien avec l'énergie, on vise à établir un groupe de travail interministériel qui permettrait de prendre en compte par un échange régulier l'ensemble des besoins de recherche et de mettre en place ou de coordonner les outils de recherche adaptés.

Il s'agit en outre de favoriser des projets de R&D plus transverses par le biais :

- de critères d'éligibilité ou de sélection dans les appels à projets du domaine énergétique, cf. notamment le critère d'écoconditionnalité du PIA ;
- de programmes ou d'appels à projets spécifiques nécessitant des efforts de recherche pluridisciplinaires et du travail collaboratif sur des questionnements scientifiques mobilisant les acteurs de divers domaines, cf. notamment l'initiative Greentech lancée en 2016 par le MEEM à la frontière entre numérique et transition énergétique.

Par ailleurs, en lien avec les actions de structuration de la communauté de recherche proposées dans l'orientation 3, il s'agit de poursuivre les rapprochements entre les alliances concernées, notamment ANCRE, ATHENA, ALLENI et ALLISTENE, par exemple par des groupes ou travaux/études en commun sur chaque dimension transverse, regroupant une ou plusieurs de ces alliances et, le cas échéant, d'autres acteurs pertinents (entreprises...).

Il est enfin proposé :

- d'introduire dans toutes les feuilles de route nationales relatives à la R&D énergétique une projection spécifique concernant l'apport du numérique, une démarche de développement de l'analyse environnementale et d'anticipation des enjeux économiques et sociaux ;
- d'identifier explicitement l'application au champ de l'énergie dans le programme d'action big data mis en place au titre de la SNR ;
- de développer les applications au champ de l'énergie dans les actions de R&D mises en place au titre de la dynamique Digitising European Industry impulsée par la Commission européenne.

1.3.2. Préparer les outils pour gérer la flexibilité et la complexité du système énergétique à différents horizons temporels

De nombreux efforts de R&D sont en cours et doivent se poursuivre sur le développement de moyens durables et performants (techniquement et économiquement) de production d'énergie. L'accent a également été mis depuis quelques années sur une prise en compte accrue de l'ensemble des usages et sur l'exploitation des potentiels d'économies d'énergie. Dans un contexte de complexification croissante, la consolidation de connaissances et d'outils pour la maîtrise des systèmes énergétique devient une priorité appelant des actions nouvelles ou renforcées.

Analyser les différents types de flexibilité

Dans la perspective de systèmes énergétiques plus flexibles à moyen et long termes et en parallèle des efforts de R&D en cours pour développer une large gamme de moyens de flexibilité à des échelles variées (stockage, pilotage de la demande, effacement, pilotage de la production, etc.) qui pourront être complémentaires ou en compétition à l'avenir, il serait utile de mener une comparaison de ces différents moyens, sur le plan technique (performances attendues et services potentiels rendus aux systèmes), économique (coûts cibles et délai de maturation pour arriver sur le marché), environnemental, pour faciliter les choix futurs et alimenter, lors de chaque nouveau cycle les exercices stratégiques à venir (SNBC/PPE/SNRE).

Action proposée : mener une analyse comparative des solutions de flexibilité et des conditions de stabilité des systèmes, en impliquant l'ensemble des acteurs concernés.

Cibler la valeur ajoutée des acteurs français de la R&D

Au-delà de la capacité d'intégration et de pilotage des différentes solutions de flexibilité aux différents horizons temporels, pour les solutions les plus prometteuses, il est important d'identifier les segments à forte valeur ajoutée sur lesquelles les acteurs – chercheurs et entreprises – français peuvent se positionner et de consolider ou développer la capacité de production des composants clés (par exemple, pour l'électronique de puissance).

Action proposée : en lien avec l'orientation 2 sur la R&D en partenariat public/privé, mener une analyse continue sur les forces/faiblesses/opportunités/risques dans le cadre des efforts de structuration en filières.

ORIENTATION STRATÉGIQUE 2 : DÉVELOPPER LA R&D ET L'INNOVATION EN LIEN AVEC LES TERRITOIRES ET LE TISSU INDUSTRIEL, EN PARTICULIER LES PME-ETI, POUR LA RÉUSSITE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Le transfert technologique des résultats de la R&D aux entreprises participe à la création de richesse et d'emplois et la réindustrialisation du territoire national. Ce transfert emprunte des voies multiples allant de la recherche collaborative avec l'industrie à la création de sociétés, en passant par la prise de participations dans des jeunes entreprises innovantes ou la mise en œuvre de politique de soutien aux ETI et PME. Constituer des filières d'excellence sur les thèmes spécifiques de l'énergie en faisant converger les efforts de R&D publics et les stratégies industrielles permet de favoriser ce type d'innovation. Il faut tirer parti des atouts nationaux que constituent la communauté de recherche académique, les organismes de recherche et les filières énergétiques menées par des industriels dont certains sont des leaders mondiaux (sur l'ensemble de la filière ou sur un segment particulier) : amplifier ces atouts en renforçant l'articulation entre recherche, innovation, industrie et usages et en s'appuyant sur les dynamiques de filières et de territoires.

2.1. Enjeux internationaux

La R&D en énergie doit permettre de favoriser le développement d'un tissu d'entreprises innovantes, notamment en encourageant la création de start-up et le développement d'entreprises de taille intermédiaire à vocation exportatrice. Il s'agit de mettre en œuvre les moyens qui permettront de conserver la compétitivité technologique et économique dans les domaines énergétiques fortement exportateurs et pour lesquels la France occupe une position de leader au plan international et de contribuer à l'émergence de nouvelles filières industrielles dans le domaine des nouvelles technologies de l'énergie.

Ces actions visent à répondre aux besoins nationaux mais également internationaux de la transition énergétique. En effet, les besoins nationaux sont prioritaires mais ne suffisent généralement pas seuls à consolider une filière industrielle et à lui fournir des débouchés satisfaisants. Le marché des technologies de l'énergie est très mondialisé. En outre, certaines technologies présentent peu d'intérêt du seul point de vue du mix énergétique français, en raison d'un faible gisement local, ou d'une faible demande, au-delà de quelques possibilités de démonstration, mais peuvent répondre à des besoins importants d'autres pays et représenter des opportunités à l'export. Il convient donc résolument de se placer dans ce contexte international.

2.2. Conforter la performance des actuelles filières énergétiques déjà leaders et/ou à fort potentiel à l'export sur le marché mondial

Les acquis nationaux dans les technologies de l'énergie sont importants. Il faudra capitaliser sur les atouts compétitifs des filières énergétiques matures et pour lesquelles la France compte des acteurs industriels d'envergure internationale (champions nationaux ou européens) générant une activité économique importante. Ces filières qui contribuent fortement à la sécurité énergétique nationale et disposent d'une capacité exportatrice doivent être préservées. Leur expertise reconnue mondialement doit être accentuée par des actions de R&D soutenues et un ressourcement des équipes de recherche pour leur permettre le maintien au meilleur niveau.

Dans le domaine des ressources énergétiques et minérales stratégiques ou dans celui du nucléaire, les recherches sur les technologies doivent permettre de renforcer cet avantage concurrentiel en s'orientant vers une exploitation économiquement performante dans des conditions respectueuses de l'environnement et en poursuivant l'amélioration de la sûreté. Les efforts seront aussi poursuivis pour les énergies renouvelables dans lesquelles la France a atteint un haut niveau de maîtrise, comme pour l'énergie hydraulique ou la géothermie.

Ces différentes filières sont de poids économiques variés mais présentent de réelles perspectives de développement à l'international chacune à leur échelle.

Zoom sur les hydrocarbures responsables

Satisfaire la demande de carburants et d'intermédiaires chimiques à faible impact environnemental issu d'une production assurée dans les meilleures conditions de durabilité et de performance est une priorité. Elle répond à l'absolue nécessité d'une industrie dont le mode de développement se doit d'être exemplaire et respectueux de l'environnement, en étant à la fois sobre et efficace en énergie. En outre, en cohérence avec les renforcements des législations existantes pour réduire les émissions de polluants atmosphériques (soufre, oléfines, polyaromatiques, benzène, etc.), les technologies et produits développés doivent offrir les moyens de lutter contre l'aggravation de

l'effet de serre et de réduire l'exposition des citoyens à la pollution de l'air. En termes de R&D, les efforts devront porter sur les logiciels de caractérisation et de modélisation de bassins et réservoirs, sur les technologies éco-efficientes de production d'hydrocarbures et sur les procédés et catalyseurs de transformation et conversion des hydrocarbures. Les programmes de R&D sont majoritairement portés par IFPEN, auxquels le plus souvent sont directement associés les grands industriels français leaders du domaine.

Zoom sur le nucléaire

L'industrie nucléaire française est un des leaders mondiaux avec une particularité unique : des savoir-faire éprouvés et reconnus dans tous les secteurs de cette industrie (conception et exploitation de réacteurs, production d'uranium, fabrication de combustible, gestion des combustibles usés, gestion des déchets et une expertise en sûreté). Les marchés à l'export concernent en particulier les réacteurs nucléaires, la gestion du combustible usé (usine de recyclage et système d'entreposage à sec de longue durée), la décontamination d'effluents et de terres en situation post-accidentelle, l'expertise sur l'assainissement/démantèlement d'installations nucléaires anciennes, dont le marché est considérable, l'expertise sur la gestion des déchets, allant de leur conditionnement jusqu'à leur stockage en surface ou en grande profondeur, et l'expertise en sûreté nucléaire. La globalité de l'expertise française, qui s'étend du contrôle des installations jusqu'à l'information des populations et la prévention des risques, est ainsi un atout à l'export. Ce leadership s'appuie sur des programmes de R&D portés majoritairement par le CEA, l'IRSN et l'ANDRA, auxquels sont le plus souvent directement associés les industriels français EDF et Areva. Au titre des missions que lui confie la loi TECV en matière de recherche pour la sûreté nucléaire et la radioprotection, l'ASN contribue également à l'orientation de la recherche dans le domaine.

En ce qui concerne le développement de réacteurs à l'export, la compétition intense demande aux acteurs français de mener des actions de recherche en rupture (nouvelles méthodes de fabrication, intégration des outils et des objets de la révolution numérique, réacteurs de nouvelle conception) pour conserver leur leadership et leur attractivité. Malgré la sensibilité industrielle de la R&D menée dans ce domaine, de nombreuses collaborations internationales existent, concourant à accroître la sûreté des réacteurs actuels, à développer des réacteurs innovants (SMR: Small Modular Reactor, réacteurs de 4^e génération) et les connaissances dans le domaine du stockage et du démantèlement. Ces collaborations sont menées avec les plus grands pays nucléarisés (Russie, Chine, Japon, États-Unis...), ainsi qu'avec de nombreux États membres européens dans le cadre des programmes soutenus par la Commission européenne.

Zoom sur la géothermie

La géothermie, énergie renouvelable non intermittente, offre un potentiel important à mettre en regard de la faible occupation foncière nécessaire à son exploitation, à son potentiel de compétitivité à l'échelle du territoire et à la garantie qu'elle offre en matière de sécurité d'approvisionnement. Les différents types d'exploitation des ressources géothermiques : électricité, réseau de chaleur pour le tertiaire et l'industrie, production de chaleur et rafraîchissement pour le bâti offrent un large spectre de possibilités de valorisation mais il faudra accomplir de nombreux progrès pour réussir le développement massif de la géothermie, qu'elle soit profonde ou superficielle. Cependant, les freins et verrous de la géothermie profonde concernent plutôt la maîtrise de la ressource en sous-sol tandis que les progrès à accomplir pour valoriser au mieux la géothermie superficielle nécessitent principalement des avancées sur les équipements et leur mise en œuvre. La France dispose d'un réseau d'industriels reconnus pour la géothermie haute, basse et très basse énergie qui, associé au potentiel de la recherche publique, a les moyens de lever tous les grands verrous pour offrir une offre industrielle à l'international, au moment où une alliance internationale (la Global Geothermal Alliance [GGA]), créée lors de la COP21, promeut le développement de cette énergie.

2.3. Permettre l'émergence de filières industrielles performantes (nationales et européennes) pour accélérer la transition énergétique

Outre la transition énergétique, l'émergence de telles filières participe à la création d'emplois non délocalisables et à l'amélioration de l'équilibre de la balance commerciale, en réduisant les importations de solutions technologiques et en développant l'export (énergies renouvelables, solutions de flexibilité, etc.). Il s'agit de trouver un bon équilibre entre des filières qui paraissent d'ores et

déjà incontournables pour les futurs systèmes énergétiques, comme les réseaux intelligents, et des paris technologiques plus risqués mais offrant un fort potentiel si la maturité industrielle peut être atteinte, comme les énergies marines.

Assurer le transfert de technologies innovantes pour favoriser la création de nouvelles activités économiques est au cœur du programme des investissements d'avenir (PIA). C'est tout particulièrement le cas des initiatives du type de celles des instituts de la transition énergétique (ITE), qui visent à constituer des campus d'excellence rassemblant recherche académiques, grands groupes et tissus de PME sur des thèmes spécifiques de la transition énergétique et favoriser l'innovation en faisant converger les efforts publics de R&D et les stratégies industrielles.

Plus en aval dans la chaîne d'innovation, des appels à projet spécifiques (actions du PIA pour la transition écologique et énergétique ou pour les véhicules et transports du futur) aident à réaliser les démonstrateurs permettant de tester et mettre au point « en vraie grandeur » des technologies, des services ou des organisations innovantes, préalablement à leur possible déploiement.

Zoom sur les énergies renouvelables en mer (EMR)

Les EMR (éolien en mer posé ou flottant, hydrolienne, énergie houlomotrice, énergie thermique des mers...) constituent un atout pour la France du fait de ses nombreuses façades maritimes qui disposent de gisements potentiels, tant en métropole qu'en outre-mer, et d'un potentiel à l'export, notamment pour des zones îliennes.

Les principaux enjeux d'innovation pour ces filières consistent en particulier, outre la caractérisation des sites (gisement...), en la modélisation et la mesure des impacts, l'identification et le développement des technologies les plus prometteuses. Des démonstrateurs et des fermes pilotes visent à confirmer, en conditions réelles, des méthodes de construction, d'installation, d'exploitation, de raccordement, de maintenance et de démantèlement des technologies avant d'envisager le développement de filières industrielles structurées et compétitives et le déploiement de parc commerciaux.

Zoom sur les réseaux intelligents s'insérant dans les « Smart Cities »

Les réseaux intelligents (électricité, gaz, eau) permettent de répondre à quatre défis de la transition énergétique : l'efficacité énergétique, l'optimisation des investissements dans les réseaux, l'insertion massive des énergies renouvelables et du véhicule électrique sur les réseaux électriques. Ces défis mettront les réseaux énergétiques sous contrainte. De nouvelles « flexibilités » sont appelées à se développer (effacement de consommation ou de production en fonction des besoins, lissage des charges et décharges des appareils connectés au réseau électrique) tout comme les moyens de stockage d'énergie. Les technologies numériques devraient également jouer un rôle clé au sein des réseaux intelligents (design, gestion, contrôle) dans la (re)construction de la ville de demain et l'orientation des politiques publiques locales.

Zoom sur le captage et stockage du CO₂

En complémentarité avec la valorisation du CO₂, telle qu'évoquée au 1.1, le captage, le transport et le stockage du CO₂ constituent, selon le GIEC et les modélisations de l'AIE, un levier important d'action au regard des cibles de réduction des gaz à effet de serre de son scénario 2DS. L'enjeu est de développer des technologies compétitives pour capter et stocker le CO₂ et de lever les freins sociétaux vis-à-vis du stockage et de caractériser au mieux et à moindre coût les sites de stockage potentiels. Ainsi, les principaux verrous que représentent la baisse du rendement énergétique liée au processus du captage, la prise en compte des capacités de stockage en y incluant une dimension locale (proximité des sites émetteurs) sont à traiter en priorité. Sur tous ces thèmes, des opérations de démonstration sont nécessaires pour pouvoir proposer des solutions. Par ailleurs, il faut intégrer le captage et le stockage du CO₂ dans un processus global de contrôle des émissions de CO₂.

2.4. Actions structurantes proposées

2.4.1. Amplifier et coordonner les actions de démonstration ancrées dans les territoires

Poursuivre et amplifier les actions de soutien à la R&D, à l'innovation collaborative et territoriale et à la démonstration industrielle, telles que celles mises en place dans le cadre du programme

des investissements d'avenir (PIA) ou des plans de la Nouvelle France industrielle, en particulier *via* des appels à projets « territoriaux » sur le modèle de celui des territoires « réseaux électriques intelligents » ou « hydrogène » associant entreprises et collectivités.

Expérimenter de nouveaux modes de production/consommation en lien avec le régulateur national et les opérateurs locaux afin de tester les nouvelles technologies « à l'échelle » en complémentarité et en situation réelle (« *living labs* »).

Utiliser la palette des instruments financiers pour accompagner les solutions vers la maturité industrielle (*cf.* aides d'État pour démonstrateurs mais aussi fonds propres pour premières à grande échelle, expérimentés dans le PIA2 et renforcés prochainement *via* le PIA3).

2.4.2. Soutenir le développement des PME/ETI innovantes

Favoriser la création de start-up en encourageant la prise de risque et en développant les mesures d'accompagnement financier, scientifique et technique, et institutionnel. S'appuyer notamment sur le réseau des pôles de compétitivité et sur les organismes de recherche, pour :

- amplifier les actions de soutien financier du type des appels à projets « initiatives PME » de l'ADEME sur des thèmes ciblés concernant l'énergie (stockage, efficacité énergétique, EnR, réseaux intelligents...), en préservant leur simplicité et leur rapidité ;
- développer les mesures d'accompagnement non financières des start-up leur permettant notamment de se positionner sur les marchés prometteurs, en prévoyant par exemple des dispositifs d'incubation, de test, de validation et de démonstration des innovations des PME/ETI. S'appuyer à cette fin sur les écosystèmes existants, tels que les instituts Carnot et les instituts de la transition énergétique, et également sur les grandes entreprises du secteur de l'énergie.

2.4.3. Structurer les filières françaises

La mobilisation des acteurs français doit s'effectuer, tant au niveau national que dans le cadre des programmes collaboratifs européens (programme Horizon 2020 et son successeur) ou internationaux :

- en lien avec les acteurs des filières de la Nouvelle France industrielle et de ses neuf initiatives, particulièrement les suivantes : Nouvelles Ressources, Villes durables, Mobilité écologique et Transports de demain. Dans ce cadre, et/ou dans le cadre de comités stratégiques de filières, il faudra mener des analyses régulières du positionnement (atouts et faiblesses, opportunités et menaces) des acteurs français, publics et privés, et élaborer des feuilles de route partagées entre ces acteurs, permettant de donner une visibilité sur les programmes de R&D à mener à moyen et long terme et sur l'accompagnement nécessaire ;
- autour des « groupes miroirs » associés aux structures européennes de la RD&D (SET Plan par exemple) : des groupes de travail structurés autour de la dizaine d'actions clés du SET Plan se prêtent particulièrement au rapprochement avec des acteurs européens (organisations de recherche ou entreprises) intervenant dans le même domaine et peuvent faciliter la mise en réseau et l'élaboration de consortiums susceptibles de répondre aux appels à projets collaboratifs européens ;
- en lien avec les groupes de coopération de l'AIE (Technology Collaboration Programmes) dans lesquels la France est active : de la même manière qu'au plan communautaire mais avec des perspectives d'ouverture au plan international, cette mise en réseau permet de mettre en valeur les compétences des acteurs français, de bénéficier de l'expertise des partenaires internationaux et de préparer des coopérations futures.

ORIENTATION STRATÉGIQUE 3: DÉVELOPPER LES COMPÉTENCES ET CONNAISSANCES POUR ET PAR LA R&D&I

Face aux défis de la transition énergétique et à une compétition économique exacerbée, disposer d'un tissu de recherche, développement et innovation (R&D&I) au meilleur niveau mondial apparaît comme indispensable. Il s'agit d'un enjeu reconnu comme clé par toutes les nations. Le lancement de l'initiative internationale « Mission innovation » à l'occasion de la COP21, qui prévoit le doublement de l'effort de recherche et développement sur les énergies décarbonées à l'appui de la transition énergétique souligne l'importance de la R&D&I dans l'atteinte des objectifs de cette dernière.

Comme l'indique le rapport 2015 de la SNR, la France dispose dans le domaine de l'énergie d'un tissu académique, d'organismes de recherche et d'innovation et de structures de formation souvent au meilleur niveau mondial. Par ailleurs, le secteur de la recherche et développement est bien structuré avec une alliance nationale, ANCRE, qui coordonne spécifiquement les efforts de recherche dans le secteur de l'énergie et au niveau territorial, cinq pôles de compétitivité et des instituts Carnot dédiés ainsi que les instituts pour la transition énergétique (ITE) créés dans le cadre du PIA. Des liens forts ont également été établis avec les grands acteurs industriels internationaux du secteur de l'énergie mais aussi avec des PME et ETI, par exemple à travers le Syndicat des énergies renouvelables (SER), les comités stratégiques de filières, ou encore l'action démonstrateurs de la transition énergétique et écologique du PIA. De fait, l'effort de R&D-énergie par unité de PIB est relativement élevé en France.

La SNRE doit renforcer l'excellence de notre recherche en énergie, conforter les atouts du tissu de R&D&I, augmenter l'intensité des interactions entre recherche publique et entreprises et favoriser l'interdisciplinarité afin de lever certains verrous identifiés, notamment grâce aux travaux de l'atelier Energie de la SNR.

3.1. Conforter une communauté nationale de la recherche de très haut niveau sur l'énergie

3.1.1. En maintenant l'excellence de la recherche nationale, en identifiant des disciplines clés pour l'énergie autour de concepts en rupture

Développer un socle de connaissances fondamentales et génériques au meilleur niveau mondial constitue un enjeu majeur pour renforcer la capacité française à faire émerger des concepts en rupture susceptibles d'aboutir à des produits et services innovants. L'approche disciplinaire qui structure actuellement le monde académique doit nécessairement, pour aborder un thème comme l'énergie, conduire à des associations, des entités, des projets, voire des structures pluridisciplinaires. L'énergie solaire, par exemple, fait appel à la physique pour la conversion, à la chimie pour les matériaux, aux sciences de la vie pour la photosynthèse, à la thermique et à la mécanique pour la durée de vie des dispositifs, aux STIC pour l'intégration au réseau, aux SHS pour l'auto-consommation... Cette constitution d'entités pluridisciplinaires autour de l'énergie peut s'appuyer sur des éléments existants comme la cellule énergie et les GdR du CNRS, ou bien encore sur les dynamiques initiées par les sites universitaires (IDEX et Isite) : plusieurs sites ont en effet identifié l'énergie comme une initiative de recherche transverse. De même plusieurs LABEX couvrent des domaines ayant trait à l'énergie. Il convient de suivre ces dynamiques avec attention et d'en favoriser les réussites.

La structuration en défis sociétaux de la programmation annuelle de l'ANR, dans laquelle un défi est consacré à l'énergie (défi 2 « une énergie propre, sûre et efficace »), est un outil qui favorise cette pluridisciplinarité tout en s'appuyant sur les orientations stratégiques issues de la SNR. Toute initiative qui renforce cette pluridisciplinarité, en alliant des sciences de base pour l'énergie, des sciences sociales, et en constituant dans la durée une véritable communauté scientifique, doit être encouragée, à l'instar des initiatives similaires mises en place par le DOE aux États-Unis et par l'EERA dans le cadre européen et en interaction avec elles.

S'il apparaît nécessaire d'intégrer plusieurs disciplines pour traiter la thématique énergie, il est également nécessaire de considérer que l'énergie peut aussi être un élément d'une approche encore plus large ; ces approches holistiques doivent être encouragées en permettant que soient traités des enjeux globaux systémiques dans lesquels l'énergie joue un rôle important, tels que la problématique intégrée « énergie-climat » ou celle « énergie-eau-alimentation ».

Pour favoriser cette approche plus systémique, il faut s'appuyer sur les alliances de recherche qui structurent le paysage français en accentuant les travaux entre l'alliance dédiée à l'énergie

(ANCRE) et les autres alliances représentant d'autres composantes, telles que l'environnement ou les sciences humaines. Il convient de soutenir la communauté de la recherche en sciences sociales dans sa volonté de structuration autour des enjeux d'énergie, initiée en 2012.

De même, au-delà du paysage français, il existe sur le plan international plus d'une quarantaine de campus universitaires qui ont structuré des initiatives pluridisciplinaires sur l'énergie ayant un impact significatif sur les relations avec l'industrie, l'émergence de thématiques originales, transverses et porteuses de ruptures et le rayonnement international de ces sites¹⁴. Ces exemples de démarches pluridisciplinaires doivent inspirer des mises en œuvre analogues sur notre territoire.

3.1.2. En veillant à la coordination nationale des acteurs publics

Les opérateurs publics de recherche ayant une mission principale dans le domaine de l'énergie sont le CEA et l'IFPEN. Le CNRS et les universités mobilisent également des moyens importants sur le domaine de l'énergie. La complémentarité des actions de ces acteurs entre eux d'une part et avec les acteurs spécialisés d'autre part (INRA, INRIA, IFSTTAR, CSTB, INERIS, IFREMER, IRSN, BRGM, etc.) est indispensable. Cette complémentarité de l'action des opérateurs de recherche publics s'opère grâce à l'existence d'une stratégie de recherche pour chacun d'eux, déclinée au travers des démarches de contractualisation avec l'État. Des groupes programmatiques par filière et par usage des énergies existent déjà au sein de l'alliance ANCRE : la complémentarité des acteurs doit permettre de coordonner les efforts mis en œuvre pour lever les verrous technologiques et économiques sur la base de feuilles de route technologiques. Il est souhaitable de viser une structuration systématique des filières en intégrant un groupe de travail recherche à côté des comités de filières déjà en place sur l'aspect industriel et de s'organiser systématiquement au plan national en miroir de la structuration européenne lorsque celle-ci existe.

3.1.3. En favorisant la mise en réseaux des acteurs de la recherche

La mobilisation des masses critiques et coordonnées de chercheurs sur chaque thématique prioritaire est indispensable. Dans cette optique, la mise en œuvre opérationnelle de réseaux sera renforcée, en s'inspirant à la fois de l'expérience du Réseau sur le stockage électrochimique de l'énergie (RS2E), des réseaux de recherche et d'innovation technologiques (R2IT) et des expériences des réseaux d'excellence européens. Ces réseaux positionnés sur des TRL 1-4 doivent être thématiques, multidisciplinaires et avoir une vision préprogrammative, en mobilisant tout le spectre de la recherche, de sorte qu'une osmose entre recherche fondamentale et finalisée se réalise. Ils peuvent faire émerger des projets exploratoires allant jusqu'à une preuve de concept (approche *bottom-up*), voire la création de start-up, ou répondre à des commandes de recherche s'intégrant dans les objectifs finalisés, destinés notamment à accompagner les révolutions technologiques (approche *top-down*). Il est donc nécessaire de favoriser les collaborations étroites entre EPIC, recherche académique et R&D des entreprises.

3.1.4. En inscrivant la démarche nationale dans un cadre cohérent avec les actions de structuration locale et avec les programmes européens

Les régions sont désormais dans une phase de finalisation, voire de mise en œuvre des schémas régionaux de développement économique, d'innovation et d'internationalisation (SRDEII), prévus par la loi NOTRe du 7 août 2015. Les processus de travail menés en parallèle aux niveaux local et national doivent être coordonnés.

De même, dans le cadre du programme-cadre européen H2020, et de l'outil de R&D dédié à l'énergie qu'est le SET Plan, 10 actions clés ont été identifiées : les efforts de la France et de ses acteurs de recherche doivent être considérés également selon cette cartographie afin de les optimiser. L'organisation nationale doit tenir compte de la structuration européenne lorsque celle-ci existe (alliance européenne EERA, Eranet-co-funds, JPI, JTI, Association sur le stockage de l'énergie, etc.). Le bénéfice d'une organisation miroir – alignée au plan national – est, d'une part, de faciliter les interactions public-privé et, d'autre part, d'améliorer les résultats au plan européen. L'exemple de la JTI Hydrogen and Fuel Cells appuyée sur le *research grouping* N-Hergy et au plan national sur l'AFHYPAC illustre très clairement le gain qui peut être attendu d'un tel montage.

¹⁴ Cf. MIT Energy Initiative, USA; BEARS et BECI – Berkeley, USA; le Centre de l'énergie – Lausanne, CH; DEMAND, UK; Global Climate and Energy Project & Precourt Institute – Stanford, USA.

S'agissant des sciences sociales, l'initiative européenne de constitution d'une plateforme européenne SHS sur les enjeux d'énergie (Energy-related Social Sciences and Humanities platform - LCE-32-2016) milite pour un soutien à la structuration dans ce sens au niveau national.

3.1.5. En développant la prospective énergétique et la connaissance des marchés et en anticipant le positionnement des usagers et acteurs au cœur des questions énergétiques

Il faut maintenir, développer et utiliser les compétences de recherche en matière de modélisation et réalisation de scénarios prospectifs de déploiement de la maîtrise de la demande d'énergie et d'évolution du mix énergétique. Ces compétences pourront être utilisées tant pour aider le déploiement que pour quantifier les impacts et pour éclairer la décision publique au plan national et européen. Par ailleurs, un effort systématique de structuration des SHS et de collaborations avec le domaine des SHS sur les projets de recherche amont doit être engagé. Ceci permettra de suivre les processus de recherche en rupture et de mieux comprendre les délimitations et l'hybridation des enjeux politiques, économiques et techniques au fil de ces processus, et de gagner en connaissance, en réflexivité et en pratique sur la manière d'accompagner les technologies de leur émergence à leur mise en projet.

3.1.6. En s'appuyant sur la stratégie nationale des infrastructures de recherche

Les grands enjeux scientifiques, et notamment pour le milieu, de l'énergie posent le défi de disposer des moyens expérimentaux et des outils de recherche à la pointe des connaissances scientifiques et technologiques. L'observation, la mesure, le stockage et le partage de données supposent de grands instruments portant les capacités techniques au-delà de l'existant et intégrant la porosité interdisciplinaire source d'innovation. Ces outils sont les conditions des futures découvertes tout autant que le produit des dernières avancées scientifiques et technologiques.

Des grands équipements ont ainsi été créés, pilotés par des organisations nationales nécessitant une instrumentation de premier plan. Parallèlement à ces grands programmes, se sont développés ces dernières années des instruments partagés entre de nombreux acteurs sur des sites divers pour répondre aux grands enjeux et défis technologiques à venir et notamment pour le domaine de l'énergie.

La stratégie nationale des infrastructures de recherche parue en 2016 a retenu des grands équipements et infrastructures de recherche pour permettre à ces nouvelles filières de disposer de moyens expérimentaux dédiés. Le domaine de l'énergie a ciblé, d'une part, l'énergie solaire photovoltaïque et thermodynamique, les énergies marines, la fission et la fusion nucléaire et, d'autre part, le stockage du CO₂. De plus, ces nouvelles technologies de l'énergie conduiront à développer de nouveaux matériaux qu'il faudra être en mesure de caractériser et cette stratégie nationale des infrastructures de recherche a inscrit plusieurs équipements adaptés à ces caractérisations. De même les infrastructures associées au calcul numérique seront particulièrement utiles pour la validation des modèles de plus en plus complexes et pour le traitement de volume de données en forte croissance.

3.1.7. En renforçant les interactions entre recherche publique et recherche privée

La France dispose d'atouts qui résultent de l'organisation des filières énergétiques, décrite dans les fiches de la SNRE. Les actions menées au sein des filières ont permis l'émergence d'un tissu de recherche national performant.

Les actions de coordination, menées par l'ANCRE sur le plan académique (en lien avec l'alliance européenne EERA dans le cadre européen), par le réseau des instituts Carnot pour ce qui concerne la recherche technologique et par les pôles de compétitivité (Capenergies, Tennerdis, Derbi, S2E2, Mer, Energivie, PNB, Trimatec) pour le développement avec les entreprises, doivent être poursuivies. L'articulation de ces pôles avec les neuf solutions économiques de la Nouvelle France industrielle doit être renforcée.

Dans le domaine de l'énergie, avec le développement des sources de production locales, il est important de pouvoir amplifier et coordonner les actions territoriales sur les démonstrateurs. Ces démonstrateurs préindustriels jouent un rôle clé pour valider les options technologiques retenues et évaluer le coût associé. À cet égard, les initiatives des campus mondiaux leaders pourraient utilement servir d'inspiration à quelques initiatives poussées par ces réseaux et déployées au sein des sites universitaires ayant fait de l'énergie un thème fort. La promotion active des démonstrateurs est également confiée au Commissariat général à l'investissement, qui s'appuie sur l'ADEME dans

le cadre du PIA. Dans le PIA3, ces actions ont vocation à être amplifiées en intégrant la dimension « territoires de démonstration ». Un effort particulier doit être fait pour consolider le retour d'expérience pour permettre la comparabilité des résultats obtenus dans les différentes expériences.

De même, le recours accru à des vecteurs de collaboration européens – comme les Eranet Cofund – qui permettent des collaborations public-privé, ou le déploiement de lignes pilotes pour la production de composants du système énergétique permettent de favoriser ces interactions entre recherche académique et recherche appliquée et préindustrielle.

La création d'entreprises par les jeunes diplômés et les chercheurs est également un outil qui permet ce rapprochement. Cette démarche est un facteur d'attractivité et contribue au développement de l'activité économique. Pour promouvoir ces initiatives, il s'agit, d'une part, de disposer d'une enveloppe suffisante pour des interventions en fonds propres dans le domaine de l'énergie (ce qui est prévu dans le cadre du PIA3, avec l'action consacrée aux démonstrateurs et territoires d'innovation) et, d'autre part, de spécialiser des équipes de business développeurs-conseils sur les sites universitaires pour lesquels l'énergie est un thématique phare.

Enfin, une sensibilisation, voire une formation des chercheurs à l'entrepreneuriat et au monde de l'entreprise permettrait de faciliter le rapprochement des cultures académiques et entrepreneuriales.

3.2. Contribuer, à partir des compétences et connaissances développées par les activités de recherche et d'innovation, à l'information et la formation

L'un des objectifs de la SNRE est de permettre à l'économie française de tirer le meilleur parti de la transition énergétique, grâce aux efforts de R&D&I, à travers la création et le renforcement de filières nationales visant les marchés mondiaux. Certains secteurs doivent faire face à un renouvellement de leurs effectifs, de leurs métiers et des compétences requises. On estime à plusieurs centaines de milliers d'emplois les gisements correspondant à des niveaux de compétence variés, qu'il s'agisse du maintien et du renforcement des filières industrielles ou des activités liées au déploiement de nouveaux produits et services sur le territoire national. L'enjeu pour la France est de veiller à la cohérence entre les objectifs de politique énergétique, le rythme de maturation des technologies et le maintien et le déploiement de filières industrielles. Il s'agit, à travers les savoirs, savoir-faire et compétences acquis par le public formé, de développer leur employabilité en leur permettant d'être bien sûr opérationnels pour les postes et activités actuels des industries concernées mais également d'être préparés aux évolutions de ces industries et donc formés aux métiers associés à la transition énergétique.

3.2.1. À l'attention des professionnels

Les préconisations de la SNRE en matière de R&D invitent à une réflexion sur les compétences requises et à un renforcement du développement de certaines aptitudes. Pour ce faire il est judicieux, tant pour les cursus dédiés à l'énergie que pour les cursus en connexion avec le monde de l'énergie (urbanismes, transports, industrie, etc.):

- d'accroître l'interdisciplinarité des programmes (en particulier dans les formations de niveau master dans le domaine de l'énergie) afin de permettre une compréhension profonde des transformations induites par la transition énergétique, en y incluant une formation en sciences humaines et sociales; et être ainsi en mesure de conférer une vision systémique permettant une intégration optimale des technologies et intégrant l'humain et l'environnement dans le système;
- d'adapter les programmes de formation à des champs disciplinaires spécifiques (électronique de puissance, matériaux en conditions extrêmes, réseaux de télécommunications, ingénierie système, etc.) et de créer de nouvelles formations (e.g. adaptation aux nouveaux types de marchés induits par la pénétration accrue des énergies renouvelables, normalisation, sensibilisation à la propriété intellectuelle);
- d'inscrire les programmes de formation dans une vision dynamique, avec une aptitude à s'adapter aux nouveaux besoins en compétences; ainsi, au regard des délais requis en matière de formation, l'évaluation des besoins devrait être conduite dès maintenant, notamment en s'appuyant sur les initiatives européennes en la matière (ex.: programme UNI-SET coordonné par l'European University Association [EUA] en association avec la KIC Inno-énergie). Ce travail doit associer les entreprises qui seront *in fine* amenées à intégrer les implications en termes de formation professionnelle, d'apprentissage et de stages (ouvriers, techniciens, ingénieurs). Dans le même esprit, les formes d'apprentissage devront être développées;

- de mettre en place (ou développer) les outils et structures de formation diplômante et continue en favorisant le développement de la formation par la recherche, notamment le doctorat (tout en poursuivant l'effort de reconnaissance de ce diplôme) et en favorisant la création de chaires d'enseignement et de recherche ;
- d'accroître l'interaction entre les étudiants et la société (rôle de diffusion de l'information scientifique et technique (*cf. infra*), participation à des formations dans des expériences de démonstration territoriale) ;
- d'accroître l'esprit entrepreneurial des étudiants et, d'une manière générale, développer les relations entre formations académiques et secteur concurrentiel ;
- de promouvoir des démarches d'innovation pédagogiques ambitieuses, en renforçant le recours aux technologies numériques et en rendant davantage l'élève acteur de sa formation.

Sur le plan international, l'existence de formations d'enseignement supérieur préparant à des métiers de haut niveau, en capacité de s'adapter aux transformations du secteur de l'énergie, constitue un vecteur de compétitivité indéniable pour la France, mais aussi un facteur d'attractivité pour les entreprises étrangères innovantes concernées. C'est également un vecteur de diffusion de l'ingénierie. Un système de formation dans le domaine de l'énergie, fort, ambitieux, intégratif et ouvert à l'international devra rendre disponibles les compétences à destination des entreprises et ainsi adapter les cursus de formation aux nouveaux paradigmes de la transition énergétique, que ce soit en formation initiale (techniciens, ingénieurs ou chercheurs) ou en formation professionnelle.

3.2.2. À l'attention de la société civile

L'apparition de consommateurs-producteurs d'énergies (énergies renouvelables, cogénération, etc.), le développement des réseaux énergétiques intelligents, la nécessité de modérer la demande, d'une part, en adaptant les comportements vis-à-vis de l'énergie et, d'autre part, en adoptant des technologies ayant une meilleure efficacité énergétique, placent de plus en plus le citoyen, consommateur (ou producteur d'énergie) en situation de responsabilité et de choix (consomm'acteur). Sur le plan européen, l'une des dix actions clés du SET Plan concerne le « consommateur au centre du système ».

Les transformations induites par la transition énergétique nécessitent plus largement des grands choix politiques et de société, qui impliquent et mobilisent les citoyens, dans le cadre d'un débat démocratique tel que le débat national sur la transition énergétique mené en 2012 en amont de la LTECV. Un tel débat peut être facilité par des éclairages scientifiques.

Plusieurs objectifs doivent donc être poursuivis pour favoriser la structuration d'expertises multiples, scientifiques et citoyennes, sur les options et processus de transition :

- développer de nouvelles technologies ou services liés à l'énergie, en prenant en compte, *via* les disciplines des SHS, le client final, citoyen et consomm'acteur ;
- favoriser la diffusion de l'information scientifique et technique en direction de la société civile (médias et grand public), par l'organisation de manifestations scientifiques destinées à un public large permettant une sensibilisation accrue du grand public, en s'appuyant notamment sur les universités et les écoles d'ingénieurs. L'utilisation des réseaux sociaux, aujourd'hui devenue incontournable, doit aussi être développée ;
- bénéficier des expériences de démonstration dans les territoires en impliquant autant que possible le citoyen et les associations aux côtés des entreprises, des acteurs de la R&D et des pouvoirs publics, dont les collectivités locales, dans les retours d'expérience.

3.2.3. À l'attention des décideurs publics et privés

Appuyer la décision publique sur des bases scientifiques, que ce soit au niveau international, européen, national ou régional est une nécessité. Le développement rapide des nouvelles technologies de l'énergie contribue en effet à une complexité croissante des systèmes énergétiques et met en jeu un nombre important d'acteurs, de l'échelle territoriale à l'échelle nationale, voire européenne. Cette multiplicité des décideurs fait aussi écho aux sources potentielles de financement des investissements (programmes régionaux, nationaux ou européens). Cette nécessité apparaît de manière particulièrement marquée au niveau des nouvelles régions aux compétences économiques accrues, qui aspirent à transformer la transition énergétique en opportunité économique favorisant la création d'emplois (l'un des objectifs de la LTECV).

Dans ce contexte, les acteurs de la R&D&I, présents régionalement au sein des universités (COMUE, IDEX, ISITE), d'établissements nationaux structurant les activités de R&D&I d'une ou plusieurs filières (EPST, EPIC), disposent de l'expertise nécessaire pour appuyer les décideurs publics à plusieurs échelles. À l'échelle territoriale, il faut par exemple poursuivre les initiatives développées sur des campus universitaires, qui associent l'ensemble des acteurs pertinents de l'écosystème, et tirent le meilleur parti de ces démonstrations en vraie grandeur de la transition énergétique et écologique.

Il faudra également que les acteurs de la R&D&I soient impliqués, autant que faire se peut, dans les travaux de réflexion de prospective énergétique et technologique, dont les conclusions participent activement à structurer la politique énergétique nationale, ou dans les groupes de travail mis en place pour les grands projets nationaux. Ils pourront aussi être consultés sur les projets de démonstration, permettant ainsi un retour d'expérience précieux vers la R&D, ainsi que sur les projets de développement de nouvelles filières ou investissements interrogeant le domaine de l'énergie.

3.3. Actions structurantes proposées

3.3.1. Renforcer les collaborations internationales, la visibilité mondiale des acteurs de la R&D française dans le domaine de l'énergie

Établir un état des lieux des accords internationaux de collaboration avec les opérateurs de recherche publics et avec les agences ou instances de programmation étrangères¹⁵, afin de rechercher une cohérence et de dynamiser ces accords.

Promouvoir, dans le cadre de l'initiative internationale Mission innovation les priorités françaises de R&D sur les énergies décarbonées et rechercher des coopérations en ce sens avec les pays membres.

Renforcer la participation et le leadership de la communauté française de R&D dans la construction de l'Espace européen de la recherche, avec notamment une meilleure participation au dispositif européen ERA-NET Cofund, permettant la mise en synergie des moyens de la R&D des États participants et l'alignement des politiques de R&D.

Développer des initiatives pluridisciplinaires autour de l'énergie sur des campus universitaires à l'échelle française, à l'instar de certains campus ayant amorcé une structuration dans ce sens, pour permettre une mobilisation forte, structurée autour de la communauté académique de la problématique énergie et une mise en réseau avec leurs homologues étrangers.

3.3.2. Favoriser une approche systémique

S'agissant de communautés de recherche couvrant des champs variés, l'ensemble des alliances de recherche doit être sollicité. On précise ci-dessous quelques initiatives conjointes envisageables :

- l'action de rapprochement entre les communautés des sciences dites dures et des SHS sera poursuivie grâce à une animation scientifique au travers de programmes interdisciplinaires incitatifs que les alliances ANCRE et ATHENA mettront en œuvre. L'alliance ATHENA a déjà transmis des éléments de position des sciences humaines et sociales ainsi que des thèmes à potentiel structurant à court terme sur lesquels cette communauté émergente peut se mobiliser¹⁶ ;
- il existe des actions convergentes entre les transitions numérique et énergétique : il est nécessaire de poursuivre l'action de rapprochement entre les alliances ANCRE et ALLISTENE avec pour objectif l'élaboration d'une feuille de route commune sur ces actions, en associant les entreprises du secteur ;
- les alliances ANCRE et ALLENI collaborent déjà sur la thématique de la bioéconomie : il convient de développer un nouveau thème de collaboration avec pour objectif la quantification des impacts environnementaux de la transition énergétique.

¹⁵ Telles que DFG, BMBF, EPSRC, DOE, NSF, NEDO...

¹⁶ Cf. Le GPRO énergie-sciences sociales de l'alliance ATHENA a publié en 2015 un agenda scientifique *L'énergie des sciences sociales* afin de partager avec les autres communautés scientifiques leurs fronts de recherche.

3.3.3. Poursuivre la mise en réseau de l'ensemble des acteurs

À l'instar du Réseau sur le stockage électrochimique de l'énergie (RS2E), qui s'appuie sur le labex Store-Ex, d'autres réseaux pourront être développés en conduisant des réflexions par exemple dans un premier temps, à partir des labex existants dans le domaine de l'énergie et des matériaux: l'idée est d'élargir ces réseaux qui relient déjà les acteurs académiques majeurs en y associant EPIC et entreprises.

3.3.4. Développer la capacité de modélisation et de prospective

Du fait de la complexité croissante du système énergétique (nombre grandissant d'acteurs, décentralisation, incertitudes multiples et variées...), disposer d'outils adaptés et de compétences de recherche dans le domaine de la modélisation des systèmes complexes permet d'aider à la décision, notamment pour caractériser et orienter les choix du bouquet énergétique. Pour obtenir *in fine* un modèle intégré, il sera nécessaire de traiter tout d'abord toutes les briques technologiques constituant le système énergétique (et ses impacts) puis de réaliser leur intégration progressive, dans un modèle prédictif robuste adapté à l'élaboration de scénarios. Ce constat s'applique à la fois au plan national ainsi que dans un cadre européen ou international où il est opportun de disposer de données et de capacités de modélisation en propre pour espérer jouer un rôle de premier plan dans les décisions d'ampleur.

3.3.5. S'appuyer sur les infrastructures de recherche

Les TGIR existantes dans le domaine de l'énergie sont au nombre de cinq (ECCSEL, FR Solaris, Sophira, Theorem et West), couvrant des thématiques distinctes et toutes sont les « nœuds français » d'infrastructures européennes futures ou existantes. Il est primordial pour les équipes françaises de conforter la présence française au sein de réseaux d'excellence européens: concernant l'énergie de fission, le réacteur de recherche Jules Horowitz (RJH) constitue une infrastructure de recherche primordiale à l'échelle nationale comme à l'échelle européenne. Ces actions autour de ces infrastructures doivent être une priorité des organismes qui les conduisent (BRGM, CNRS, CEA...).

Le PIA3, et notamment l'action « équipements structurants pour la recherche », pourra également être l'occasion de soutenir le renforcement du maillage des grandes infrastructures de recherche associées au domaine de l'énergie.

3.3.6. Développer la formation et l'information

La dynamique de la transition énergétique doit conduire à la création de nouvelles formations, en tenant compte des besoins associés aux nouveaux types de marchés (expertise technique, normalisation, propriété intellectuelle...). L'appui peut se faire à partir des établissements d'enseignement supérieur, notamment ceux spécialisés dans l'énergie (comme IFP School ou INSTN) ou ceux qui appartiennent à un site ayant privilégié la thématique de la transition énergétique (Paris-Saclay, Grenoble, Lyon - Saint-Étienne, Lorraine, Nancy, Aix-Marseille...), ou encore au travers des actions de formation que les instituts pour la transition énergétique mènent, conformément à leurs missions initialement définies par le PIA.

Les instances en charge du retour d'expérience des démonstrateurs territoriaux, mises en place par les collectivités locales ou avec leur appui, pourront faire dialoguer le citoyen avec les acteurs technico-économiques, et ainsi participer à l'association de la société civile.

ORIENTATION STRATÉGIQUE 4 : CRÉER UNE GOUVERNANCE LÉGÈRE ET PERFORMANTE
PERMETTANT D'ASSURER LE PILOTAGE OPÉRATIONNEL DYNAMIQUE DE LA SNRE

4.1. *Mise en place d'une gouvernance dédiée pour assurer le déploiement
et l'évaluation périodique de la SNRE dans une démarche prospective*

4.1.1. Appui sur une structure dédiée de gouvernance

Comme l'a souligné l'OPECST en 2009 dans son rapport d'évaluation de la SNRE précédente, une gouvernance adaptée doit être mise en place, tant pour la définition de la stratégie que pour sa mise en œuvre.

En conséquence, il est proposé de continuer à réunir de manière régulière, et dans le même format que lors de la phase d'élaboration de la stratégie menée en 2016, le comité de suivi regroupant l'ensemble des parties prenantes (*cf.* partie 2 – processus d'élaboration) de la R&D dans le domaine de l'énergie. Ce comité, coprésidé par le directeur général de l'énergie et du climat et le directeur général de la recherche et de l'innovation, regroupera des représentants des administrations concernées, des organismes publics de R&D dans le domaine de l'énergie, des alliances, et plus généralement du monde scientifique, des représentants des entreprises actives dans la R&D et l'innovation dans l'énergie, et des représentants des organisations membres du CNTE (fédérations professionnelles, organisations syndicales, ONG et associations de protection de l'environnement, collectivités territoriales, élus). En particulier, les régions, qui tiennent une place prépondérante (voir section 4.2.1 *infra*), seront ainsi représentées à ce comité, *a minima* par l'association Régions de France. Il conviendra de conserver le caractère informel et ouvert du comité, notamment afin de permettre une bonne association des entreprises de toutes les tailles, de manière régulière ou plus ponctuelle.

Ce comité aura pour objet de suivre, sur un rythme annuel ou bisannuel, l'état de mise en œuvre des orientations de la présente SNRE et de préparer progressivement sa future révision, voire anticiper des réorientations éventuellement devenues nécessaires par des ruptures du contexte énergétique, politiques, économiques ou technologiques.

Sans être un comité de programmation financière, le comité pourra permettre des échanges sur la manière de prendre en compte concrètement les orientations de la SNRE dans les dispositifs de soutien à la R&D&I (par exemple, appels à projets, portage de sujets au niveau européen, etc.).

4.1.2. Évaluation et suivi des actions engagées

Un certain nombre d'indicateurs pourront être suivis par le comité, en cohérence avec les indicateurs liés à la SNBC, la PPE et la SNR, relatifs à la R&D et l'innovation dans le domaine de l'énergie. Des indicateurs détaillés correspondant aux actions structurantes définies dans la présente stratégie pourront compléter cette première liste. Ils pourront être proposés par le secrétariat permanent en concertation avec le comité.

Le secrétariat permanent pourra alors présenter au comité sur une base annuelle ou bisannuelle, un rapport synthétique d'avancement de la mise en œuvre de la stratégie et d'état des indicateurs.

Par ailleurs, à l'instar de la SNRE de 2007, la présente SNRE fera l'objet d'une évaluation externe par l'OPECST, en cours de cycle, afin d'alimenter les réflexions sur le cycle suivant.

4.1.3. Révision de la stratégie

De la même manière que pour la SNBC, la PPE et la SNR, la révision périodique de la SNRE sera effectuée tous les cinq ans et permettra la prise en compte de l'évolution progressive des politiques énergétiques et de recherche. Ce rythme de révision est également en moyenne celui des COP des établissements et organismes de recherche publique, ce qui facilitera des processus cohérents de mise à jour.

Le travail de révision de la stratégie pourra s'appuyer, comme cela a été le cas en 2016 (*cf.* annexe 5), sur une analyse filière par filière, mais également selon les axes transverses et les dimensions systémiques, de l'impact des actuelles orientations stratégiques et des forces/faiblesses/opportunités/menaces pour les acteurs de la R&D en France. Ces travaux pourront être menés par le secrétariat permanent et être alimentés notamment par les réflexions des alliances.

4.2. Recensement et mise en cohérence des différents outils de financement, de soutien et de suivi de la R&I

4.2.1. Au niveau local

Les régions ont défini ces dernières années des stratégies de spécialisation intelligentes, notamment pour l'utilisation des fonds communautaires, qui ont fait apparaître pour la plupart d'entre elles des priorités thématiques et des axes structurants pour la R&D&I énergétique. Les nouvelles régions ont mené un processus de révision de ces stratégies et définissent désormais plus globalement des schémas régionaux de développement économique, d'innovation et d'internationalisation (SRDEII).

Pour permettre une meilleure visibilité globale sur l'action consolidée des régions et faciliter la bonne coordination entre les actions régionales et l'action nationale, il est proposé de mettre en place un échange systématique et régulier d'informations entre l'État et les conseils régionaux :

- collecte annuelle de données par les services de l'État sur les financements régionaux par thématiques et inversement diffusion des données consolidées et des données nationales ;
- échange sur les priorités et sur les plans d'actions des différents acteurs, par exemple à l'occasion des réunions du comité de suivi.

Cette mise en commun pourrait permettre d'identifier à la fois les éventuelles synergies possibles, les sujets nécessitant un soutien renforcé, à une échelle adaptée, et les opportunités de financements complémentaires à rechercher au niveau supranational, en particulier européen.

Au-delà de la vision consolidée des priorités et des financements respectifs des collectivités et de l'État, un partage peut être envisagé dans ce même cadre, et avec l'ensemble des acteurs concernés, sur les initiatives émergentes et sur les projets de démonstrations menés dans les territoires, qu'ils soient de grande envergure (*cf.* par exemple les territoires pilotes pour les réseaux électriques intelligents ou les futurs territoires d'expérimentation d'usages multiples de l'hydrogène) ou plus localisés. Un tel échange permettra ainsi de constituer un véritable « observatoire national des expérimentations » afin de consolider et d'optimiser les retours d'expériences.

4.2.2. Au niveau national

Si le PIA a notamment pour objectif de mobiliser le dernier maillon de la chaîne de valeur de l'expérimentation préindustrielle, notamment à travers l'action « démonstrateurs de la transition écologique et énergétique », en associant entreprises, laboratoires et organismes publics de recherche, le soutien à recherche est présent en France sur l'ensemble de la chaîne de valeur de la R&D, à commencer par l'amont.

L'annexe 4 donne un aperçu de la gamme des dispositifs nationaux de soutien et de leurs caractéristiques en termes de cibles (montants, TRL), qui appellent l'utilisation d'instruments financiers variés et adaptés. Il est nécessaire pour l'État de continuer à veiller à la cohérence et la complémentarité de ces dispositifs, dans un souci de lisibilité, d'attractivité et de limitation de la complexité de gestion. L'architecture du PIA3 illustre par exemple la volonté de rationaliser l'action en limitant le nombre d'opérateurs (ANR, ADEME, CDC, BPI). Il conviendra de poursuivre le travail conjoint des ministères concernés (en particulier MEEM, MENESR, ainsi que les ministères en charge de l'économie, de l'industrie et de l'agriculture) pour assurer durablement cette cohérence. La mise en place d'un groupe de travail interministériel tel que proposé à l'orientation 1 pourra y contribuer. Ce groupe pourra associer à ses réflexions, en tant que de besoin, les agences de financement, les alliances, voire l'ensemble du comité de suivi. Il pourra également contribuer à définir les positions à porter aux niveaux européen et international pour la bonne articulation des dispositifs de financement français avec les dispositifs de financements existants à ces échelons (voir *infra*).

Le MEEM continuera en outre d'assurer la production annuelle du reporting à l'AIE sur le financement par l'État de la recherche publique nationale sur l'énergie (moyens des agences de financement + dotations aux établissements) en veillant à son degré de précision. Ces données pourront être confrontées aux données des collectivités locales, mais également contribuer à la mesure de l'engagement français dans l'initiative Mission innovation, lancée à la COP21 fin 2015. Cet engagement de doublement du financement en cinq ans dans les énergies vertes (EnR, stockage et réseaux intelligents, efficacité énergétique) s'appuie sur la montée en puissance du PIA (engagement complet du PIA1&2 et lancement du PIA3).

Un travail sera par ailleurs mené par les ministères pour obtenir une meilleure vision, actuellement peu consolidée, sur les financements des entreprises pour la R&D et l'innovation dans le domaine de l'énergie, en tenant compte notamment de l'apport du crédit impôt recherche.

4.2.3. Aux niveaux européen et international

L'Union européenne mobilise des moyens importants pour la R&D énergétique, en particulier à travers le programme Horizon 2020: un budget de 5 931 millions d'euros a été alloué à la recherche sur l'énergie (hors nucléaire) pour la période 2014-2020 (dont 200 millions dédiés aux activités de l'Institut européen de l'innovation et des technologies) et fait l'objet d'une évaluation à mi-parcours.

La France participe à H2020 à hauteur de sa contribution au budget de l'Union, soit environ 16 % en 2014. L'augmentation du taux de retour des crédits vers les projets portés par des acteurs français (qui se situait aux alentours de 10 % en 2014 et 2015) constitue donc un enjeu important et des actions sont menées pour organiser la communauté de R&D française dans cette optique, par exemple à travers l'animation des groupes et des points de contacts nationaux pour influencer la définition des programmations et stimuler la réponse aux appels à projets. Ces actions devront être poursuivies ou renforcées.

Les autorités françaises devront par ailleurs œuvrer pour obtenir une bonne complémentarité entre les outils de financement français et européens et un bon alignement des objectifs, tant en ce qui concerne les thématiques que les types d'aides (instruments financiers) et les niveaux de TRL visés. En particulier, la France pourra promouvoir un rééquilibrage du programme H2020 pour ne pas négliger les TRL bas dans le domaine de l'énergie. Il faudra également s'assurer que les fonds de soutien à l'innovation financés par les crédits issus des marchés carbone, tels que le NER300 et les futures actions similaires, pourront permettre d'apporter un soutien complémentaire au PIA pour les projets de démonstration de grande envergure de technologies bas carbone.

La définition du plan d'actions détaillé du SET Plan devra autant que possible permettre la mise en valeur des capacités françaises de R&D et fournir des opportunités de collaborations avec les autres pays européens sur les priorités nationales notamment au travers de l'alliance européenne EERA (European Energy Research Alliance) et de sa quinzaine de programmes conjoints couvrant l'ensemble des thématiques de l'énergie. À cet égard, il conviendra d'aligner, si nécessaire, les modalités et calendrier des programmes nationaux, y compris de financement, avec nos partenaires européens, afin de faciliter le lancement de nouvelles initiatives, tels que des ERA-NET, encore trop peu utilisés par la France dans l'énergie à ce stade, malgré des opportunités réelles et une participation dans les réseaux intelligents, la géothermie, le solaire et la biomasse forestière.

Au niveau mondial, la participation des acteurs français au «energy technology network» de l'AIE ou aux travaux collaboratifs lancés dans le cadre de la Mission innovation¹⁷ devra être coordonnée pour cibler les thématiques clés, bénéficier des échanges avec les pays les plus avancés et assurer une bonne diffusion des connaissances.

¹⁷ Un ensemble de défis («*innovation challenges*») a notamment été lancé dans le cadre de Mission innovation en novembre 2016 lors de la COP22, à Marrakech. Voir sur le site <http://www.mission-innovation.net/>.

ANNEXE 1

ORGANISMES DE RECHERCHE

Tableau 1 : Organismes de recherche dans le domaine de l'énergie membres de l'alliance ANCRE

ANDRA	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs.
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières.
CDEFI	Conférence des directeurs d'écoles françaises d'ingénieurs.
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives.
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.
CNRS	Centre national de la recherche scientifique.
CPU	Conférence des présidents d'université.
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment.
IFPEN	IFP Énergies nouvelles.
IFREMER	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer.
IFSTTAR	Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux.
INERIS	Institut national de l'environnement industriel et des risques.
INRA	Institut national de la recherche agronomique.
INRIA	Institut national de recherche en informatique et en automatique.
IRD	Institut de recherche pour le développement.
IRSN	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.
IRSTEA	Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (ex-CEMAGREF).
LNE	Laboratoire national de métrologie et d'essais.
ONERA	Office national d'études et de recherches aérospatiales.

ANNEXE 2

LISTE DES PARTICIPANTS AU COMITÉ DE SUIVI ET D'ÉLABORATION DE LA SNRE

Les organismes suivants ont participé aux réunions du comité de suivi organisées en 2016 et/ou ont fourni des contributions.

Administrations (hors MEEM et MENESR)

Ministère de l'économie et des finances (MEF) : direction générale des entreprises (DGE).

Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la Forêt (MAAF) : direction générale de la performance économique et environnementale des entreprises (DGPE), direction générale de l'enseignement et de la recherche (DGER).

Commissariat général à l'investissement (CGI).

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME).

Agence nationale de la recherche (ANR).

Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

France Stratégie.

Organismes membres du CNTE

Association Régions de France (ARF).

Conseil des entreprises, employeurs et groupements de d'économie sociale (CEGES).

Conseil économique, social et environnemental (CESE).

Confédération française de l'encadrement-Confédération générale des cadres (CFE-CGC).

Confédération française des travailleurs chrétiens (CFTC).

Confédération générale du travail (CGT).

Fédération nationale des syndicats d'exploitants agricoles (FNSEA).

Force ouvrière (FO).

Ligue pour la protection des oiseaux (LPO).

Mouvement des entreprises de France (MEDEF).

Réseau action climat (RAC).

Union professionnelle artisanale (UPA).

Autres participants

Académie des technologies.

Alliances ALLENI, ALLISTENE, ANCRE, ATHENA.

Assemblée permanente des chambres de métiers et de l'artisanat (APCMA).

Association nationale de la recherche et de la technologie (ANRT).

Areva.

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA).

CLER – Réseau pour la transition énergétique.

Centre national de la recherche scientifique (CNRS).

Conférence des présidents d'université (CPU).

EDF.

General Electric.

GRT gaz.

IFP Énergies nouvelles (IFPEN).

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

NegaWatt.

Pôles de compétitivité énergie.
Syndicat des énergies renouvelables (SER).
Total.

ANNEXE 3

TRL

Le TRL (ou niveau de maturité) est un système de mesure permettant d'évaluer le niveau de maturité d'une technologie, avant de l'intégrer dans un système. Le TRL se fait sur une échelle de 1 à 9.

Source : <http://www.horizon2020.gouv.fr/cid72762/les-technologies-cles-generiques-ket-dans-horizon-2020.html>.

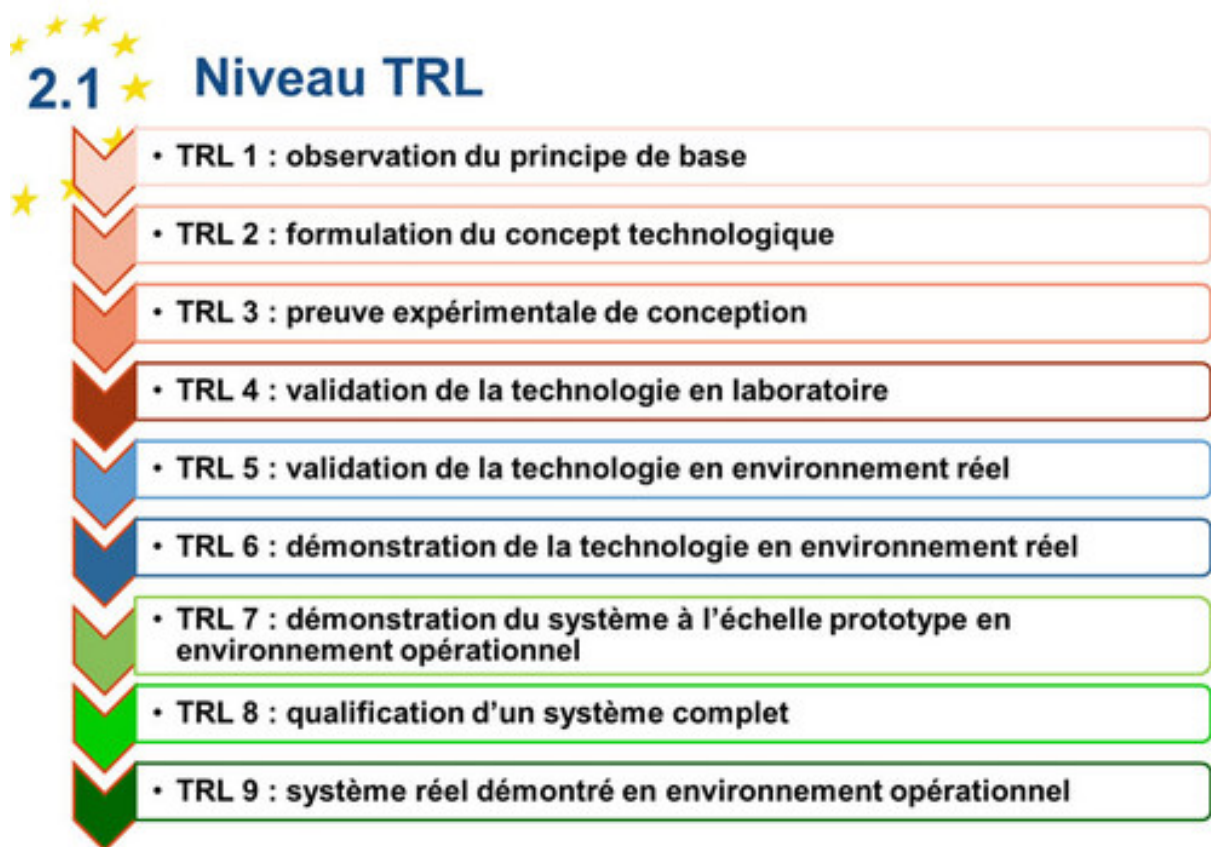
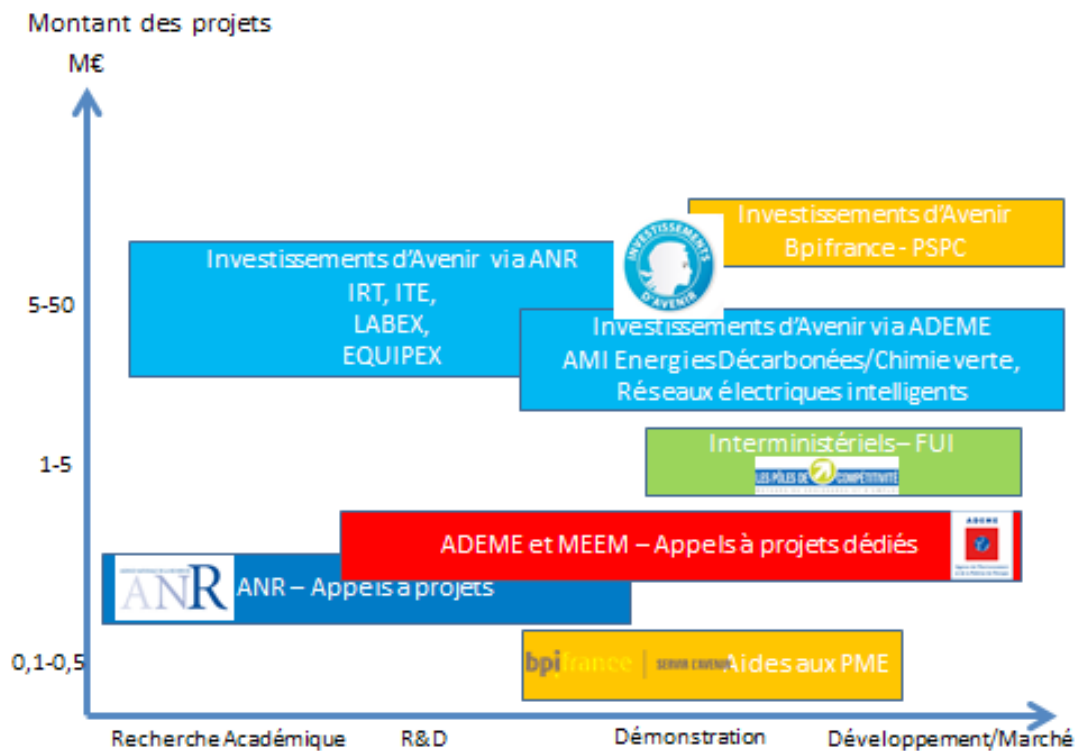


Figure 7: Liste des TRL (niveaux de maturité).

ANNEXE 4

PRINCIPAUX DISPOSITIFS NATIONAUX DE SOUTIEN À L'INNOVATION

La figure ci-dessous illustre le positionnement des principaux dispositifs nationaux actuels d'incitation tout au long de la chaîne de l'innovation dans le domaine de l'énergie.



ANNEXE 5

LISTE DES FICHES THÉMATIQUES UTILISÉES COMME DOCUMENTS PRÉPARATOIRES

Les filières de production d'énergie

Géothermie.
Énergies solaires.
Énergies marines.
Énergies fossiles.
Eolien.
Captage, stockage, valorisation du CO₂.
Hydraulique.
Nucléaire.
Hydrogène et piles à combustible.
Mobilisation et transformation de la biomasse.

Les filières de gestion et d'usages de l'énergie

Réseaux électriques intelligents.
Stockage d'énergie.
Énergies et sociétés.
Efficacité énergétique des procédés industriels.
Efficacité énergétique des transports terrestres.
Efficacité énergétique des bâtiments.