

ÉTUDES ÉCONOMIQUES

PROSPECTIVE

Enjeux et perspectives des filières industrielles
de la valorisation énergétique du sous-sol profond

Rapport final

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME)
Association des Professionnels de la Géothermie (AFPG)
Direction générale des Entreprises (DGE)
Direction générale de l'Énergie et du Climat (DGEC)
Groupement des Entreprises et des Professionnels
des Hydrocarbures et des Énergies connexes (GEP-AFTP)
Pôle Avenia


Pôle interministériel de Prospective et d'Anticipation
des Mutations économiques

Date de parution : 2016
Couverture : Hélène Allias-Denis, Brigitte Baroin
Édition : Martine Automme, Nicole Merle-Lamoot

ISBN : 978-2-11-139395-0
ISSN : 2491-0058

Enjeux et perspectives des filières industrielles de la valorisation énergétique du sous-sol profond



Rapport final

Le Pôle interministériel de Prospective et d'Anticipation des Mutations économiques (Pipame) a pour objectif d'apporter, en coordonnant l'action des départements ministériels, un éclairage de l'évolution des principaux acteurs et secteurs économiques en mutation, en s'attachant à faire ressortir les menaces et les opportunités pour les entreprises, l'emploi et les territoires.

Des changements majeurs, issus de la mondialisation de l'économie et des préoccupations montantes comme celles liées au développement durable, déterminent pour le long terme la compétitivité et l'emploi, et affectent en profondeur le comportement des entreprises. Face à ces changements, dont certains sont porteurs d'inflexions fortes ou de ruptures, il est nécessaire de renforcer les capacités de veille et d'anticipation des différents acteurs de ces changements : l'État, notamment au niveau interministériel, les acteurs socio-économiques et le tissu d'entreprises, notamment les PME. Dans ce contexte, le Pipame favorise les convergences entre les éléments microéconomiques et les modalités d'action de l'État. C'est exactement là que se situe en premier l'action du Pipame : offrir des diagnostics, des outils d'animation et de création de valeur aux acteurs économiques, grandes entreprises et réseaux de PME/PMI, avec pour objectif principal le développement d'emplois à haute valeur ajoutée sur le territoire national.

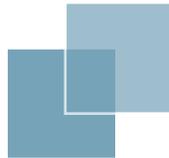
Le secrétariat général du Pipame est assuré par la sous-direction de la Prospective, des Études et de l'Évaluation Économiques (P3E) de la direction générale des Entreprises (DGE).

Les départements ministériels participant au Pipame sont :

- le ministère de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique/Direction générale des Entreprises ;
- le ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer ;
- le ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt ;
- le ministère de la Défense/Direction générale de l'Armement ;
- le ministère du Travail, de l'Emploi, de la Formation professionnelle et du Dialogue social/Délégation générale à l'Emploi et à la Formation professionnelle ;
- le ministère des Affaires sociales, de la Santé et des Droits des femmes/Direction générale de la Santé ;
- le ministère de la Culture et de la Communication/Département des Études, de la Prospective et des Statistiques ;
- le ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche ;
- le ministère de la Ville, de la Jeunesse et des Sports ;
- le Commissariat général à l'Égalité des territoires (CGET), rattaché au Premier ministre ;
- le Commissariat général à la stratégie et à la prospective (CGSP), rattaché au Premier ministre.

Avertissement

La méthodologie utilisée, ainsi que les résultats obtenus, relèvent de la seule responsabilité des prestataires (Consortium de valorisation thématique, ANCRE, ENEA Consulting et BRGM) qui ont réalisé cette étude. Ils n'engagent ni le Pipame, ni l'ensemble des organismes l'ayant demandée (*). Les parties intéressées sont invitées, le cas échéant, à faire part de leurs commentaires à la Direction générale des entreprises (DGE) qui a coordonné le groupement de commandes de cette étude.



(*) Les organismes ayant demandé cette étude sont :

- le ministère de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique (DGE)
- le ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (DGEC)
- l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe)
- l'Association française des professionnels de la géothermie (AFPG)
- le Groupement des entreprises et des professionnels des hydrocarbures et des énergies connexes (GEP-AFTP)
- le Pôle Avenia

MEMBRES DU COMITÉ DE PILOTAGE

Nicolas D'ARCO	Direction générale des entreprises (DGE)
Alice METAYER-MATHIEU	Direction générale des entreprises (DGE)
Carole MERCIER	Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC)
Gilles BITOUN	Pôle Avenia
Jérôme PORFIRIO	Pôle Avenia
Jean-Jacques GRAFF	Association des professionnels de la géothermie (AFPG)
Philippe LAPLAIGE	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe)
Aicha EL KHAMLICHI	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe)
Gérard MOMPLOT	Groupement des entreprises et des professionnels des hydrocarbures et des énergies connexes (GEP-AFTP)
Thierry ROUAUD	Groupement des entreprises et des professionnels des hydrocarbures et des énergies connexes (GEP-AFTP)

La rédaction du présent rapport a été réalisée par le groupement conjoint composé de :

CONSORTIUM DE VALORISATION THÉMATIQUE ANCRE

CEA - Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Ponant D – 25, rue Leblanc
75015 Paris
Tél. : +33 (0)1 64 50 12 35
<http://www.allianceenergie.fr>

Équipe CVT ANCRE :

Marie-Françoise CHABRELIE, représentante IFP Énergies nouvelles au BO CVT ANCRE
Emmanuel HACHE, chef de projet, IFP Énergies nouvelles
Franck CASTAGNA, chargé de veille, IFP Énergies nouvelles
Philomène PORTENART, économiste, IFP Énergies nouvelles
Constancio SILVA, chargé de veille, IFP Énergies nouvelles

ENEA CONSULTING

89, rue Réaumur
75002 Paris
Tél. : +33 (0)1 82 83 83 83
<http://www.enea-consulting.com>

Équipe ENEA Consulting :

David MERCEREAU, chef de projet
Pierre LELONG, consultant

BRGM

Bâtiment – 3, avenue Claude Guillemin
BP 36009 – Orléans 45 060 Cedex 2
Tél. : +33 (0)2 38 64 36 40
<http://www.brgm.fr>

Équipe BRGM :

Cécile CHERY, chargée de communication en géothermie
Didier BONIJOLY, géologue expert
Olivier GOYENECHÉ, ingénieur géothermicien
Philippe ROCHER, géologue géothermicien

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ensemble des personnes, acteurs des filières du sous-sol profond en France et à l'étranger que nous avons sollicités au cours de ces travaux, tant pour leur disponibilité pour répondre à nos questions enquête en ligne utilisée comme support d'information pour le présent rapport, entretiens, expertise scientifique et technique que pour la qualité des informations qu'ils nous ont délivrées lors des différentes interactions.

Nous tenons également à remercier spécifiquement les professionnels qui nous ont accordé du temps et mis à disposition leurs connaissances au service de l'étude lors des ateliers de travail.

Nos remerciements vont aussi aux membres du comité de pilotage pour leur implication tout au long de ce projet, témoignage de l'intérêt porté à cette étude.

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Cette étude vise à établir un diagnostic quantitatif et qualitatif des acteurs implantés sur le territoire français des filières de la valorisation énergétique du sous-sol profond et de la structuration de ces filières. **Ces filières comprennent l'exploration et la production pétrolières et gazières (E&P), le stockage géologique d'hydrocarbures liquides et gazeux, le stockage géologique de CO₂ et la géothermie profonde.** Réalisée entre mi-2014 et mi-2015, cette étude a été conduite dans une période de changements significatifs tant structurels – un contexte énergétique national dominé par le processus de transition énergétique – que conjoncturels, avec notamment un retournement marqué des prix des énergies fossiles. La conjonction de ces facteurs internes et externes amène les différents acteurs des filières – pouvoirs publics, associations professionnelles – à promouvoir des pistes innovantes d'accompagnement pour affirmer la compétitivité et l'expertise des entreprises des filières en France et sur les marchés à l'export, tout en construisant un modèle d'exploitation responsable et durable du sous-sol profond, vectrices d'emplois sur le sol national.

Repenser les filières énergétiques du sous-sol profond dans le contexte de transition énergétique en France

La France a pris des engagements énergétiques forts à moyen et long termes. **Le pays prévoit notamment de réduire sa consommation d'énergie finale de 20 % en 2030 et 50 % en 2050 par rapport à 2012, de baisser sa consommation d'énergies fossiles de 30 % en 2030 et d'augmenter la part des renouvelables à 23 % en 2020 et 32 % en 2030.** À l'heure actuelle, les hydrocarbures assurent encore 44 % de la consommation d'énergie primaire en France métropolitaine, avec une part croissante de la consommation de gaz naturel. Même si les énergies renouvelables sont en croissance, l'électricité est produite majoritairement à partir du nucléaire (74 % en 2013).

Le processus de transition énergétique doit être envisagé sur une longue période et l'évolution des filières énergétiques du sous-sol profond doit être repensée en synergie avec ce processus et au vu des questions de dépendance énergétique et de réindustrialisation du territoire français. **Dans le contexte actuel de promotion de la transition énergétique, l'État n'intègre pas la filière de l'E&P alors qu'elle a un rôle certain à y jouer à l'horizon 2050**, par exemple au travers de transferts technologiques, d'une utilisation propre des énergies fossiles ou encore du rôle du gaz naturel dans ce processus. **Plus globalement, l'ensemble des filières répond à l'objectif de transition énergétique** vers un mix moins carboné par l'utilisation de la géothermie profonde pour la production de chaleur et d'électricité, à l'exigence de sécurité énergétique par une exploitation des énergies fossiles raisonnée et respectueuse de l'environnement et, enfin, à la nécessité de proposer des solutions de stockage d'énergies propres pour compenser l'intermittence des énergies renouvelables.

Enfin, les filières énergétiques du sous-sol profond constituent des éléments structurants du tissu industriel français et contribuent au rééquilibrage de la balance commerciale par leurs exportations. L'intérêt de maintenir le dynamisme et la compétitivité de ce tissu industriel est réel dans une optique d'attractivité globale de l'ensemble de l'industrie française et de maintien de l'emploi sur le territoire.

Des filières historiques, au cœur de la politique énergétique française, tirées par des champions agissant sur la scène internationale, générant de l'emploi et un fort chiffre d'affaires principalement à l'export

Les filières du sous-sol profond emploient plus de 66 000 salariés en France pour un chiffre d'affaires d'environ 36 milliards d'euros dont plus de 60 % est réalisé à l'export. Les filières sont caractérisées par un fort taux d'exportation ainsi que par une production par emploi très élevée, notamment en raison du positionnement des activités sur les segments de la chaîne de valeur à forte valeur ajoutée.

Tableau 1 : Les grands chiffres des filières énergétiques du sous-sol profond

	CA (Mds €)	Emplois directs
Filières énergétiques du sous-sol profond	36	66 000
E&P	35	64 000
Stockage	1,3	1 000
Géothermie profonde	0,177	1 320

Toutefois, de grandes disparités existent au sein des filières du sous-sol profond. Ainsi, avec un chiffre d'affaires estimé à environ 35 Mds €, **la filière exploration et production de pétrole et de gaz (E&P)** est constituée d'un vaste réseau d'entreprises rassemblant environ 64 000 emplois. On dénombre ainsi une centaine

d'entreprises spécialisées qui réalisent l'essentiel de leur chiffre d'affaires à l'export (environ 75 %¹) ainsi qu'un très grand nombre d'entreprises (environ 700) non spécialisées qui réalisent, en moyenne, 20 % de leur chiffre d'affaires et 40 % de leurs exports dans le secteur E&P. **La filière est composée de champions nationaux de taille internationale** (et d'entités françaises de groupes étrangers) pétroliers, gaziers, parapétroliers ou paragaziers (TOTAL, ENGIE, Technip, CGG...) extrêmement compétitifs à l'export **et d'un vaste écosystème d'entreprises de toutes tailles présentes sur toute la chaîne de valeur.**

Né de la prise de conscience des pouvoirs publics français du rôle stratégique du pétrole et du gaz, le développement de la filière de l'E&P a été encouragé par une politique volontariste de l'État après la première guerre mondiale. Toutefois, depuis le milieu des années 1990, et même si des actions ponctuelles ont été menées pour la promotion de la filière, l'État français a renoncé à son rôle de catalyseur en France, assumant plutôt un rôle de gestionnaire de la filière. L'absence d'un véritable chef d'orchestre de la filière de l'E&P a eu pour conséquence une perte de la connaissance générale de son écosystème de la part de l'ensemble de ses acteurs, y compris les acteurs industriels, et donc une moindre efficacité.

Aujourd'hui, **les acteurs se fédèrent autour des associations professionnelles (GEP-AFTP, UFIP) et de structures territoriales, telles que le pôle de compétitivité Avenia**, ce dernier ayant un rôle transversal entre les trois filières de l'étude au niveau des géosciences. Ces structures sont aujourd'hui essentielles dans la mesure où ce sont des lieux de rassemblement des différents acteurs.

Les autres filières énergétiques du sous-sol profond se caractérisent par une bien plus petite taille (1,3 Md € pour le **stockage géologique d'hydrocarbures**, 0,177 Mds € pour la **géothermie profonde**) ou sont émergentes (**stockage du CO₂**).

La filière du stockage comporte ainsi un nombre d'acteurs inférieur à 30 entreprises. Elle est **organisée autour des deux acteurs pivots opérateurs des sites de stockage en France** (Storengy et TIGF) dont l'un est un acteur de référence au niveau international, ainsi que d'une société d'ingénierie et de services à l'exploitation (Géostock), des deux principaux foreurs français (SMP et Entrepose Drilling) et d'une quinzaine de sous-traitants. **La particularité des acteurs pivots réside dans la possession de compétences fortes aussi bien sur le développement des projets de stockage que sur leur exploitation.** Cette particularité est propre aux acteurs français et joue un rôle différenciant sur les marchés à l'export (développement de sites de stockage). **Les initiatives de structuration des filières de stockage se concentrent autour des activités de l'Association française du Gaz (AFG).** La filière du stockage de gaz naturel est donc intégrée dans la filière plus large du gaz en France et à ce titre **ne possède pas de dispositifs structurants spécifiques.**

Les industriels intéressés au stockage géologique de CO₂ sont aujourd'hui principalement regroupés au sein du Club CO₂ piloté par l'Ademe. Le faible niveau de structuration et d'interactions entre les acteurs est lié au faible nombre d'acteurs présents sur **ce marché qui reste très largement en devenir.**

La filière de la géothermie profonde, en cours de structuration, est quant à elle constituée par des acteurs très variés, spécialisés sur la chaîne de valeur et de taille restreinte. **Des opérateurs historiques adossés à de grands groupes sont présents sur cette filière, complétés par de nouveaux entrants ayant une stratégie basée sur l'innovation.** Si les perspectives de la filière de la géothermie sont prometteuses grâce aux performances techniques réalisées, **la filière reste toutefois dépendante des soutiens de l'État** et ne peut sans ces derniers être économiquement viable à l'heure actuelle. **L'Association française des Professionnels de la Géothermie (AFPG)**, les syndicats des énergies renouvelables et les pôles de compétitivité concourent à donner à la filière l'impulsion nécessaire à son développement.

Des filières présentant de fortes similarités

Les filières de l'étude présentent de **grandes disparités en matière de taille, de maturité, d'organisation collective et de structuration économique.** Cependant elles peuvent d'ores et déjà **s'appuyer sur un socle commun** autour de la technologie, de la R & D et de la formation et partagent également des problématiques communes quant à leur développement à long terme.

En effet, en tant qu'industries du sous-sol, **les trois filières présentent une structuration similaire de leur chaîne de valeur, des compétences partagées, une recherche conjointe et des technologies largement communes sur le sol national.** Elles restent en outre **soumises aux mêmes types d'aléas géologiques et techniques.** Sur les phases amont des projets notamment, les compétences sont communes à l'ensemble des filières du sous-sol profond et peuvent, de fait, être sollicitées indépendamment du domaine. Aussi, pour développer leurs activités, les industriels sont parfois en compétition pour recruter les ressources qui leur sont nécessaires.

¹ Source : enquête en ligne réalisée au cours de cette étude.

En outre, elles partagent des problématiques communes à l'heure actuelle : **un manque de visibilité sur leur marché national, des opportunités de développement limitées et extrêmement encadrées sur le territoire français avec notamment une législation commune** (en particulier le Code minier) **et une forte concurrence sur leur marché à l'export**. Dans le contexte règlementaire actuel de la loi sur la transition énergétique, le développement de long terme des filières énergétiques du sous-sol profond françaises reposera en large partie sur leurs capacités à gagner des parts de marché à l'export, même s'il existe des opportunités sur le territoire national, notamment pour la géothermie. Le positionnement technologique, clé de la compétitivité de l'ensemble des filières est à l'heure actuelle considéré comme élevé et de qualité à l'étranger. **L'évolution de l'activité de ces filières reposera donc sur un processus constant à la fois d'innovation technologique et de structuration**.

Enfin, les filières du sous-sol profond sont confrontées toutes trois, à différents degrés, à des problématiques d'acceptabilité sur le sol national. **Au niveau global, les filières énergétiques du sous-sol profond présentent la caractéristique commune d'être mal connues de l'opinion publique et des décideurs politiques, quand elles ne sont pas l'objet, a priori, de procédures d'opposition ou de défiance**.

Des filières à maturités différenciées qui nécessitent la mise en place de synergies pour assurer des gains de performance rapides

Notre étude a mis en exergue des degrés de maturité économique et de structuration des acteurs extrêmement différenciés des filières de l'E&P, du stockage et de la géothermie profonde, reflétant le niveau d'interactions entre les différents acteurs.

Impulsée historiquement par les pouvoirs publics, **la filière de l'E&P est reconnue pour son vaste écosystème d'acteurs (acteurs productifs, centres de recherche, centres de formation) et par une structuration économique élevée**. Les relations entre les différents acteurs productifs de la filière (opérateurs, ingénieries, fournisseurs d'équipements ou services) sont ressenties comme fortes par ceux-ci. Les interactions entre les opérateurs d'un côté, les pouvoirs publics et les centres de recherche et de formation de l'autre sont *a contrario* ressenties comme plus mesurées. Enfin, des dissymétries apparaissent dans la perception des interactions entre les centres de recherche et de formation et les relations entre associations professionnelles et acteurs productifs. **Dans la filière du stockage de gaz**, les structures productives sur la chaîne de valeur ressentent des interactions faibles avec les éléments structurants de la filière et seuls les opérateurs et fournisseurs d'équipements décrivent une forte interaction mutuelle. Enfin, **la filière de la géothermie profonde** a un fonctionnement plus fluide et structuré, avec une véritable dynamique nationale, qui s'explique notamment par le faible nombre d'acteurs présents dans ce secteur. Les interactions entre les acteurs productifs et certains organismes structurants (associations professionnelles et syndicats) sont ainsi fortes et aucune interaction ne semble faire état d'une dissymétrie.

La structuration des filières énergétiques du sous-sol profond est essentielle car elle est la base de la fluidité des échanges, des contacts et de la connaissance des diverses initiatives qui peuvent exister en leur sein. Lieux de rassemblement des différents acteurs, les organismes de structuration existants (associations professionnelles, pôle de compétitivité), les institutions créées par les pouvoirs publics, les EPIC spécialisés dans ce secteur (IFPEN, Ifremer, Ineris), sont autant de lieux essentiels d'échanges intra et interfilières et de rassemblement des acteurs **qu'il convient de renforcer pour fluidifier les relations**. En effet, en comparaison, les initiatives américaines, norvégiennes et japonaises de structuration des filières à l'international (*American Petroleum Institute* aux États-Unis, *JOGMEC* au Japon ou encore *SFI* en Norvège) bénéficient de moyens alloués bien supérieurs à ceux observés en France. En outre, certains, à l'image de l'*API* aux États-Unis ont développé des programmes intenses de *lobbying* auprès des autorités compétentes pour valoriser leur filière de l'E&P.

Pour chacune des filières énergétiques du sous-sol profond, la **conquête des marchés à l'export** doit passer par une organisation structurée, coordonnée, et qui doit regrouper des acteurs de toutes tailles sur l'ensemble des filières du sous-sol afin d'établir des synergies, essentielles pour bâtir des projets compétitifs et optimisés. La promotion à l'international des valeurs ajoutées de plusieurs entreprises innovantes travaillant sur la même chaîne de valeur ou sur un même marché est observée depuis de nombreuses années à l'étranger. Les délégations allemandes en voyages d'affaires sont notamment en cela très efficaces. D'autres pays comme l'Islande, le Japon et le Royaume-Uni font aussi preuve de bonnes pratiques dans ce domaine. Aujourd'hui, en France, les structures publiques d'accompagnement des entreprises à l'export sont très nombreuses ce qui a pour conséquence une dispersion des efforts et des moyens, voire une compétition entre ces entités.

Les relations entre les différentes filières énergétiques du sous-sol profond doivent être au cœur du débat de l'évolution de chacune d'entre elles. Aujourd'hui, la coopération interfilière reste assez peu développée, alors même que des initiatives favorisant les transferts interfilières existent (pôle Avenia pour les géosciences). Ainsi, du côté des acteurs productifs, **les entreprises de la filière de l'E&P réalisent une faible**

part de leur chiffre d'affaires (moins de 5 %) dans les filières du stockage ou de la géothermie profonde², un chiffre qu'il convient de relativiser étant donné la taille et la maturité des filières du stockage et de la géothermie. **Le constat est réciproquement valable** et aucune structure dont l'activité principale est la géothermie ne génère ainsi plus de 20 % de son chiffre d'affaires dans l'E&P. Cette situation est confortée par le faible niveau d'interactions entre les acteurs des différentes filières.

Plus globalement, les acteurs des filières énergétiques du sous-sol profond manquent de connaissance mutuelle de leur domaine sur des aspects techniques en particulier. Un préalable aux transferts de technologies consiste donc à les mettre en relation afin de partager non seulement les connaissances techniques mais aussi – et peut-être surtout – les défis techniques qu'ils rencontrent. **Ainsi, la création des conditions nécessaires aux transferts de technologies est la première étape essentielle avant d'envisager des transferts en tant que tels.** Ceux-ci sont en effet souvent plus le fruit de rencontres et des opportunités qu'elles suscitent, que le résultat d'une démarche systématique de transferts.

La mise en place de synergies et de collaborations avec les filières de l'E&P, notamment, devrait permettre de **renforcer l'offre technologique** en géothermie profonde. Les compétences développées, que ce soit en modélisation de bassin, en simulation des écoulements réactifs dans les milieux géologiques et en monitoring pourraient contribuer à lever plusieurs barrières technologiques auxquelles est confronté le domaine de la géothermie. En retour, il est légitime de penser que cette mise en œuvre pourrait conduire à des améliorations de ces outils au bénéfice de l'E&P. Bien qu'encore marginales, des collaborations techniques sont à l'étude entre les opérateurs de la géothermie et du stockage de gaz naturel sur le territoire national.

Une opportunité de création de richesses pour la France qui nécessite une mobilisation de tous les acteurs

Promouvoir et accompagner les transformations des filières énergétiques du sous-sol profond est encore plus fondamental aujourd'hui d'un point de vue conjoncturel car les filières de l'E&P et stockage subissent à l'heure actuelle un environnement international extrêmement déprimé, marqué, notamment par une baisse sensible des prix des énergies fossiles.

Avec une division de moitié des prix du pétrole depuis juin 2014, **la filière de l'E&P enregistre à l'heure actuelle une situation extrêmement déprimée**, marquée notamment par un net recul des investissements des principales compagnies internationales malgré l'existence d'une dynamique pour les compagnies nationales jusqu'à l'année dernière. Par nature cyclique, la filière a, par le passé, été confrontée à ces retournements et elle s'est toujours adaptée. Durant les années 2000, elle a été ainsi impactée par une hausse sensible de ses coûts en raison de la hausse des prix des matières premières, mais également en raison d'une accessibilité toujours plus complexe aux gisements nécessitant des techniques plus coûteuses et par une réglementation de plus en plus contraignante. Plus structurellement, on a observé une transformation de la logique des projets internationaux avec l'obligation de partenariats locaux *via* des productions et implantations locales et un développement de l'emploi dans les pays hôtes des projets. Cet élément a influencé la répartition géographique des centres de R & D et de formation ou encore des activités moins qualifiées. Cet environnement structurel et conjoncturel doit inviter l'ensemble des acteurs à s'interroger sur les ressorts de leurs dynamiques de croissance. En effet, à moyen terme, la conjoncture pétrolière internationale resterait déprimée rendant plus difficile le positionnement de la filière française à l'export.

Ce cycle économique bas devrait conduire à une réorganisation et une restructuration des industries pétrolières et gazières au niveau mondial, et la filière de l'E&P française devrait en profiter pour renforcer et développer ses positions sur les marchés à l'export. Un soutien efficace et rapide aux différents acteurs français à travers des propositions innovantes de réorganisation et de structuration appuierait ainsi la dynamique propre de l'industrie, évitant un affaiblissement de cette dernière en ouvrant de nouvelles perspectives sur le long terme. Une part de marché d'environ 5 % du marché mondial de l'E&P est ainsi envisageable pour la filière en France à l'horizon 2030.

Dans la filière du stockage, le scénario tendanciel réalisé par Cedigaz permet d'identifier des vecteurs géographiques de croissance, notamment les nouveaux marchés en Asie et au Moyen-Orient, alors que les augmentations de capacité de stockage resteraient plus limitées dans les marchés matures (Amérique du Nord, Europe et CEI). Au total, de 180 à 254 Mds de m³ de capacité utile supplémentaire seraient nécessaires d'ici à 2030, représentant **environ 120 Mds € d'investissement**. Dans ce contexte, la filière française pourrait cibler environ 5 % des parts de marché mondial en 2030.

² Source : enquête en ligne réalisée au cours de cette étude.

Dans la filière de la géothermie, les prévisions de l'AIE à l'horizon 2050 laisse le sentiment d'un environnement porteur. En effet, que ce soit pour la génération d'électricité par géothermie ou la production de chaleur, les taux de croissance de la filière resteraient dynamiques au niveau international, notamment dans la partie non-OCDE d'Asie pour la production électrique. Pour la filière française de production d'électricité, un positionnement sur les marchés asiatiques paraît donc pertinent tout comme un positionnement sur les marchés européens pour les acteurs spécialisés dans la production de chaleur. **Selon les prévisions établies par le cluster GEODEEP**, la France pourrait capter entre **10 % et 15 %** du marché mondial de la production d'électricité géothermique (évalué à 3-4 Mds € par an dans les dix années à venir) à l'horizon 2030.

Une proposition de huit leviers clés pour redynamiser le déploiement de ces filières et imposer les acteurs français sur la scène internationale

La réalisation du diagnostic quantitatif et qualitatif des acteurs implantés sur le territoire français des filières de la valorisation énergétique du sous-sol profond et de leur structuration a ainsi permis de mettre en avant les points suivants. Les filières partagent des questionnements communs que ce soit au niveau des marchés à l'export (concurrence forte sur les marchés extérieurs dans des environnements d'investissement contraint), ou au niveau des marchés hexagonaux (le développement de leurs marchés reste pour l'instant limité) ou enfin dans leur structuration (faible visibilité, difficulté d'identification des potentielles synergies industrielles, formation initiale pour leurs métiers). Des actions correctrices devraient être mises en œuvre en France pour permettre de conserver et de renforcer la compétitivité des filières sur ces marchés et l'emploi sur le sol national. Trois axes majeurs de recommandations, déclinés par la suite en huit leviers, et s'appliquant pour les trois filières collectivement, ont été identifiés :

- **Conquérir ensemble les marchés à l'export** : l'étroitesse du marché national pour l'ensemble des filières de notre étude rend le positionnement à l'export essentiel. L'ensemble des acteurs des filières doivent apprendre à améliorer la coordination de leurs actions à l'export et à mutualiser leurs compétences. Des synergies existent entre les acteurs de chacune des filières et entre les filières pour développer ou affirmer leurs positionnements sur les marchés à l'international, facteurs de la croissance et de l'emploi sur le sol national.
- **Affirmer l'expertise française** : références internationales sur la R & D et la formation, les filières françaises doivent affirmer leurs positions au sein de chacune des filières énergétiques du sous-sol profond en s'appuyant sur un renforcement des outils de démonstration existants, mais également en faisant de la France un laboratoire d'expertise interfilières au niveau international, dans le contexte actuel de transition énergétique.
- **Construire un modèle d'exploitation responsable et durable du sous-sol profond et valoriser les forces de la filière pour ancrer l'emploi en France** : les entreprises qui investissent en France sont dans une logique d'arbitrage international et les actions menées par les acteurs publics et fédérations professionnelles doivent faciliter cet arbitrage afin de justifier, d'un point de vue économique, l'ancrage des activités des entreprises sur le territoire national.

Tableau 2 : Récapitulatif des recommandations pour les filières énergétiques du sous-sol profond

AXES	LEVIERS	ACTIONS
Conquérir ensemble les marchés à l'export	Dynamiser la logique de réseau des entreprises françaises (1)	Renforcer l'efficacité et la coordination des actions collectives à l'export (1.1) Créer un réseau et mutualiser les compétences pour aider les PME à l'étranger (1.2)
	Promouvoir et défendre la compétence française à l'international (2)	Défendre et soutenir les entreprises à l'étranger : rôle de la diplomatie française (2.1)
Affirmer l'expertise française	Développer un réseau technique des acteurs productifs (3)	Créer un comité technique d'échanges entre filières (3.1) Étendre à toutes les filières le dispositif de gestion et de diffusion des données du sous-sol mis en place pour les hydrocarbures (3.2)
	Promouvoir les métiers du sous-sol profond (4)	Développer l'attractivité de la formation et des métiers (4.1)
	Affirmer l'excellence technologique sur l'ensemble des filières (5)	Créer un réseau de sites de démonstration en France (5.1) Favoriser les échanges avec les pouvoirs publics (5.2)
Construire un modèle d'exploitation responsable et durable du sous-sol profond et valoriser les forces de la filière pour ancrer l'emploi en France	Définir un modèle commun d'exploitation responsable et durable des ressources du sous-sol profond (6)	Définir un modèle commun d'exploitation responsable et durable des ressources du sous-sol profond (6.1)
	Engager les parties prenantes autour des retombées locales et des impacts environnementaux (7)	Communiquer plus généralement autour des retombées locales (7.1)
		Partager les connaissances/savoirs sur les technologies du sous-sol profond (7.2)
	Améliorer la visibilité sur le contexte réglementaire et économique de projets du sous-sol profond en France (8)	Diffuser des informations sur les mécanismes existants de soutien et de promotion des filières (8.1)
Favoriser les échanges avec les décideurs français et européens (8.2) Assurer et développer les compétences des agents de l'État (8.3) Améliorer l'efficacité de l'instruction et de la réglementation (8.4)		

SOMMAIRE

DIAGNOSTIC DES FILIÈRES ET DE LEUR STRUCTURATION	23
Les grands chiffres des filières de la valorisation énergétique du sous-sol profond en France	25
Les éléments communs aux trois filières	26
Chaîne de valeur	26
Acceptabilité	28
Des filières à portée internationale pour lesquelles la R & D est essentielle	29
Des outils à l'export à exploiter	29
Les outils de R & D pour la pérennisation des activités de recherche en France	30
La filière de l'exploration et de la production pétrolière et gazière	31
Éléments de contexte	31
Une filière marquée par une forte cyclicité	31
Une inflation récente et marquée des coûts des projets	31
Une hausse modérée des investissements mondiaux	32
Un ralentissement des découvertes, mais de nombreuses zones attractives	33
État des lieux de la production de pétrole et de gaz en France	34
Le rôle historique de l'État dans la filière : l'État qui impulse, puis se désengage	36
Analyse de la structuration actuelle	37
Les grands chiffres de la filière	37
Les principaux acteurs : deux champions nationaux et un secteur parapétrolier de renommée internationale	38
Une filière française exportatrice avec un marché domestique marginal	38
Une diversification intrafilière forte mais limitée vers les autres filières	39
Des acteurs en bonne santé à la mi-2014, qui ont des difficultés à recruter	39
La technologie, facteur de différenciation clé pour la filière	41
Des initiatives de structuration essentielles et à renforcer	42
Conclusion	44
Les filières de stockage	45
Éléments de contexte	45
Le stockage d'hydrocarbures, une solution d'ajustement de l'offre et de la demande aux enjeux multiples	45
Un marché du stockage de gaz naturel stagnant dans les zones matures, émergent en Asie	46
La France, un acteur européen majeur du stockage de gaz naturel	47
Le stockage de CO ₂ : une filière au potentiel important mais encore naissante	47
Un marché potentiel du stockage de CO ₂ limité en France justifiant l'export	49
Analyse de la structuration actuelle	50
Les grands chiffres des filières de stockage	50
Une filière française du stockage d'hydrocarbures dominée par quelques acteurs	50
Des acteurs en bonne santé dans un marché difficile	51
Initiatives de structuration de la filière du stockage de gaz naturel en France	51
Une filière française du stockage de CO ₂ regroupant des acteurs aux compétences complémentaires et reconnues	53
Stockage de CO ₂ : des activités de recherche nombreuses bénéficiant d'un soutien public fort	53
Présence des acteurs français du stockage de CO ₂ à l'international	54
Conclusion	55
Stockage d'hydrocarbures	55
Stockage de CO ₂	55
La filière de la géothermie profonde	56
Éléments de contexte	56
Un marché de faible taille avec des niveaux de maturité variables	56
Un marché français de la haute énergie et de l'EGS naissant, s'appuyant sur des références marquantes en haute énergie, et un marché de la basse énergie en croissance	57
Un contexte politique favorable en France	57

Un modèle économique caractérisé par un besoin d'équilibre entre risques et rentabilité, supporté par de nombreux mécanismes	58
Une filière bénéficiant d'une image favorable mais confrontée à des problématiques d'acceptabilité	59
Analyse de la structuration actuelle	60
Les grands chiffres de la filière	60
Une filière constituée d'acteurs complémentaires couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur	60
Des acteurs en bonne santé et en demande de compétences	61
Des relations qui se développent dans une filière en cours de structuration	62
Une organisation à l'export naissante	63
Conclusion	64
COMPARAISONS INTERNATIONALES : BONNES PRATIQUES ET TRANSPOSABILITÉ EN FRANCE	65
Typologie des pays étudiés en fonction des critères de maturité et d'efficacité	67
Filière de l'E&P	67
Filière de la géothermie	70
Analyse synthétique des éléments structurants des filières dans les pays étudiés	72
Allemagne	72
États-Unis	74
Royaume-Uni	76
Chine	78
Islande	80
Japon	81
Norvège	82
Analyse de la reproductibilité des bonnes pratiques dans le cas de la France	84
Les initiatives à l'export	84
Les partenariats public-privé dans la recherche et les politiques de <i>clusters</i>	84
TRANSFERTS DE TECHNOLOGIES ET DE COMPÉTENCES	87
Technologies et compétences sur la chaîne de valeur, constat et identification des opportunités de transferts entre les filières	89
Technologies utilisées et compétences associées : opportunités de transferts interfilières	91
Exploration – évaluation–conception	91
Développement – mise en production : forages de développement, équipements des puits, opérations de stabilisation et de prétraitement de la production	95
Exploitation	95
L'offre de formation aux filières du sous-sol profond : variée et de qualité	97
Des besoins en compétences et en professionnalisation	97
Les formations aux métiers du sous-sol profond	98
Transfert de technologies et de compétences vers d'autres filières du sous-sol : les applications prospectives	103
Stockage de la chaleur	103
Stockage géologique d'hydrogène	104
Stockage par air comprimé – CAES	104
Valorisation de la chaleur fatale issue des activités pétrolières	105
PROSPECTIVE ET RECOMMANDATIONS	107
La France dans le processus de transition énergétique	109
Le mix énergétique français et les objectifs énergétiques	109
Le contexte de transition énergétique et le positionnement des scénarios de l'ANCRE	110
Le contenu des scénarios de l'ANCRE	110
Indépendance énergétique et commerce extérieur	111
Les perspectives des filières énergétiques du sous-sol profond dans le contexte de transition énergétique	112

Scénarios tendanciels des filières énergétiques du sous-sol profond à l’export	113
La filière de l’exploration & production	113
Les prévisions de prix du pétrole à court terme	114
Les prévisions à long terme du prix du baril	114
Les prévisions d’investissement dans la filière de l’E&P au niveau mondial	115
Les filières du stockage de gaz et de CO₂	116
La filière du stockage de gaz	117
La filière du stockage de CO ₂	117
La filière de la géothermie profonde	119
Perspectives générales pour les acteurs français dans les scénarios tendanciels	121
Recommandations pour les filières énergétiques du sous-sol profond	122
Conquérir ensemble les marchés à l’export	124
Levier 1 : dynamiser la logique de réseau des entreprises françaises	124
Levier 2 : promouvoir et défendre la compétence française à l’international	127
Affirmer l’expertise française	129
Levier 3 : développer un réseau technique des acteurs productifs	129
Levier 4 : promouvoir les métiers du sous-sol profond	132
Levier 5 : affirmer l’excellence technologique sur l’ensemble des filières	134
Construire un modèle d’exploitation responsable et durable du sous-sol profond et valoriser les forces de la filière pour ancrer l’emploi en France	137
Levier 6 : définir un modèle commun d’exploitation responsable et durable des ressources du sous-sol profond	137
Levier 7 : engager les parties prenantes autour des retombées locales et des impacts environnementaux	139
Levier 8 : améliorer la visibilité sur le contexte réglementaire et économique de projets du sous-sol profond en France	142
SIGLES	147
INDEX DES TABLEAUX	149
INDEX DES FIGURES	151
BIBLIOGRAPHIE	153
ANNEXES	157

INTRODUCTION

ENJEUX DES FILIÈRES INDUSTRIELLES DE LA VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DU SOUS-SOL PROFOND ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Les filières de la valorisation énergétique du sous-sol profond comprennent principalement trois filières en forte interaction sur leurs métiers et leurs marchés :

- la filière des industries pétrolières et gazières (exploration – production) ;
- la filière de la géothermie profonde ;
- la filière du stockage géologique des hydrocarbures et du CO₂.

Ces trois filières apportent des réponses complémentaires et en synergie aux problématiques de la transition énergétique. La première doit poursuivre ses efforts de maîtrise des risques et de réduction de son empreinte environnementale, tout en faisant progresser l'efficacité de l'exploration et les taux de récupération des activités de production, notamment dans un contexte de prix bas. La seconde doit lever les verrous technico-économiques l'empêchant de développer son plein potentiel de production d'énergie décarbonée renouvelable. La troisième, enfin, permettra d'apporter la flexibilité nécessaire aux mix énergétiques du futur, par la gestion de la variabilité des énergies renouvelables dans le cadre de réseaux d'énergie interconnectés et de les décarboner grâce au stockage du CO₂.

Ces filières de la valorisation énergétique du sous-sol profond partagent des problématiques communes auxquelles elles vont devoir faire face.

Alors même que ces filières représentent ensemble plus de 60 000 emplois directs en France et sont à la pointe de la technologie, elles souffrent d'un manque de visibilité et parfois de structuration, leurs acteurs étant tournés à l'international ou n'ayant qu'une faible et/ou récente partie de leur chiffre d'affaires dans ces activités. La connaissance des filières reste donc limitée, et est principalement concentrée chez les grands donneurs d'ordres.

Les opportunités de développement sont limitées et très encadrées sur le territoire métropolitain. Les filières doivent donc se structurer pour prendre en compte ce contexte et pour maintenir ou construire une offre compétitive à l'export. Au contraire, les opportunités à l'export sont nombreuses. Certaines ne sont pas exploitées, faute du développement d'une vitrine au niveau national et d'une fédération adéquate des acteurs autour de projets intégrés. La question de la pérennité de l'emploi en France se pose.

Ces filières évoluent dans un contexte de forte concurrence à l'international, avec certains marchés peu ouverts aux entreprises étrangères ou exigeant un contenu local important. Certains marchés peuvent également être fortement cycliques, le partage d'information le long de la chaîne de valeur sur les opportunités existantes devenant alors primordial pour donner une visibilité aux fournisseurs.

La pyramide des âges fait du renouvellement des compétences une problématique clé. Sauf à dessiner un avenir attractif à la filière ou à valoriser les transferts interfilières, le départ à la retraite des nombreux quinquagénaires s'accompagnera d'une perte conséquente de savoir-faire non remplacé, dommageable pour les trois filières.

Elles peuvent donner lieu entre elles à des conflits d'usage du sous-sol.

Dans l'exploration, le développement, l'exploitation, le transport ou la fabrication d'équipements, ces trois filières reposent sur des compétences et des technologies largement communes. Elles sont cependant à des degrés de maturité divers. Un dialogue entre filières peut s'engager pour accélérer les transferts de technologies et de compétences des filières les plus matures aux filières les plus jeunes ainsi que pour apporter de nouvelles perspectives aux nombreux industriels implantés en France, historiquement positionnés sur les filières pétrolières et gazières.

Ce contexte particulier associé aux enjeux industriels et sociaux des filières a ainsi amené les pouvoirs publics (Direction générale des entreprises, Direction générale de l'énergie et du climat, Ademe) et les acteurs de l'animation des filières (GEP-AFTP, AFPG, pôle de compétitivité Avenia³) à s'interroger sur le fonctionnement actuel des filières ainsi que les marges de progression permettant d'assurer le développement des filières de la valorisation énergétique du sous-sol profond en France.

Dans ce cadre, cette étude a été réalisée entre juin 2014 et juillet 2015 et a ainsi consisté à :

Établir un diagnostic du poids, de la santé, du positionnement et de la structuration des filières françaises de la valorisation énergétique du sous-sol profond ainsi que de leurs besoins humains ;

³ Voir annexe.

Comparer la structuration et le positionnement des filières françaises par rapport aux filières concurrentes des États-Unis, de l'Allemagne, de la Norvège, du Royaume-Uni, de la Chine, du Japon et de l'Islande (partie 3) ;

Identifier les transferts de technologies et de compétences entre filières et proposer des pistes pour effectuer ces transferts ;

Donner une vision prospective du secteur à l'horizon 2030 et dégager des mesures opérationnelles permettant le succès de ces filières.

Ce rapport a été élaboré en s'appuyant sur :

- Une bibliographie générale portant sur l'état des filières en France, dans les pays étudiés et dans le monde ;
- Des entretiens semi-directifs réalisés au cours du 4^e trimestre 2014 avec des représentants de 21 structures actives dans le développement des filières ;
- Une enquête en ligne spécifique (septembre – octobre 2014) grâce à laquelle les retours de 184 structures ont été recueillis ;
- Un travail statistique reposant sur les annuaires des filières et les données de l'Insee ;
- L'organisation d'un *workshop* mobilisant une quarantaine d'acteurs (industriels, associations professionnelles, organismes de formation, collectivités locales...) en mai 2015 ;
- Des contributions d'experts scientifiques et techniques des filières concernées.

PÉRIMÈTRE DE L'ÉTUDE ET LA NOTION DE FILIÈRE

Le périmètre de l'étude comprend les activités sur le territoire français d'exploration, de développement, de production/exploitation pour les marchés du pétrole, du gaz, de la géothermie profonde et du stockage géologique d'hydrocarbures et de CO₂, ainsi que la conception, fabrication et fourniture d'équipements et de services spécialisés qui y sont associés, pour une utilisation sur le territoire français ou à l'export. Les activités réalisées en France pour l'export sont ainsi incluses.

À l'inverse, les activités réalisées à l'étranger, même par des entreprises françaises, ne sont pas comptabilisées directement et même si la manière, dont les acteurs implantés en France se comportent, a un impact sur l'activité en France et est donc prise en compte. Sont ainsi exclus l'industrie d'extraction minière et le stockage d'air comprimé ainsi que les activités en surface (captage du CO₂, cycle thermodynamique de production d'électricité pour la géothermie, etc.). En termes de profondeur d'analyse, l'étude s'intéresse à l'ensemble des entreprises qui fournissent des services ou des matériels spécifiques à ces marchés : il s'agit en principe des opérateurs, de leurs fournisseurs de rang 1 (ingénierie) et des fournisseurs de rang 2 (pour les matériels et services spécifiques au marché des filières de l'étude).

Cette étude, qui traite des filières de la valorisation énergétique du sous-sol s'intéresse à la manière dont ces filières fonctionnent. Il convient donc, dans un premier temps, de s'interroger sur la notion même de filière.

Selon l'Insee, une filière désigne « l'ensemble des activités complémentaires qui concourent, d'amont en aval, à la réalisation d'un produit fini. On parle ainsi de filière électronique (du silicium à l'ordinateur en passant par les composants) ou de filière automobile (de l'acier au véhicule en passant par les équipements). La filière intègre en général plusieurs branches » (1).

Cette définition permet de mettre en exergue les différents concepts afférant à une approche filière, cette dernière n'ayant pas d'équivalent simple dans le monde anglo-saxon où l'on préfère le terme de secteur. Une analyse filière permet de découper en « unités actives » la chaîne de valeur et d'étudier les relations de complémentarité, d'asymétrie et de domination entre les différents acteurs économiques. Cette notion est généralement étudiée à travers différents prismes :

- **La dimension technique** : les changements technologiques sur une partie de la chaîne de valeur peuvent avoir des conséquences sur d'autres unités économiques. Cette dimension permet de comprendre la structuration de la filière et d'observer la dynamique de pénétration du progrès technique et les processus d'innovation au sein des filières et entre les filières.
- **Les stratégies des acteurs** : l'étude des relations entre les firmes au regard de différents critères : financiers, humains et technologiques. Dans ce cas, l'objet est d'analyser la filière comme un ensemble structuré de relations pour observer notamment les blocages, les relations de hiérarchie et les coûts de transactions existants.
- **La monographie** : l'analyse se concentre uniquement sur les relations dans la filière, en créant des sous-filières spécifiques mais sans s'intéresser aux relations interfilières.

- **Le découpage productif d'une économie** : il permet à l'aide d'une analyse technico-économique basée sur des éléments de type tableau entrée sortie (TES) d'étudier, à travers différents flux (entrée-sortie) la caractérisation économique des relations.

Certains auteurs insistent également sur « la construction *ad-hoc* qui trouva sa justification dans des objectifs de politique industrielle »(2). Dans ce cas, une analyse filière permet de déployer des programmes spécifiques de politique industrielle de promotion ou de réflexion.

Dans ce contexte, en 2012, en France, le Conseil national de l'Industrie (CNI) a mis en place une stratégie visant à « renforcer et à développer les filières industrielles ». Elle a été présentée en Conseil des ministres en janvier 2013 (3) et vise à :

- consolider les industries existantes par une politique de solidarité privilégiant le « donnant – donnant » au sein de chaque filière ;
- structurer et catalyser les filières industrielles par la mise en œuvre de plans de déploiement de solutions garantes d'activité sur le territoire, et de perspectives à l'export ;
- investir dans les technologies clés de long terme, entre autres au travers du programme de Soutien à l'Innovation de rupture (plan Investissements d'avenir) qui permettra de soutenir les réponses à des défis industriels structurants.

Pour réaliser ces objectifs ont été créés des comités stratégiques de filière (CSF). Ces derniers rassemblent les professionnels du secteur, les organisations syndicales représentant les personnels de la filière et les pouvoirs publics. Les CSF ont pour mission « d'identifier de façon convergente, dans des *contrats de filière*, les enjeux clés de la filière et les engagements réciproques de l'État et des industriels, d'émettre des propositions d'actions concrètes et de suivre leur mise en œuvre » (3). Quatorze CSF⁴ et treize contrats de filières ont ainsi été mis en place avec un déploiement de près de 350 actions.

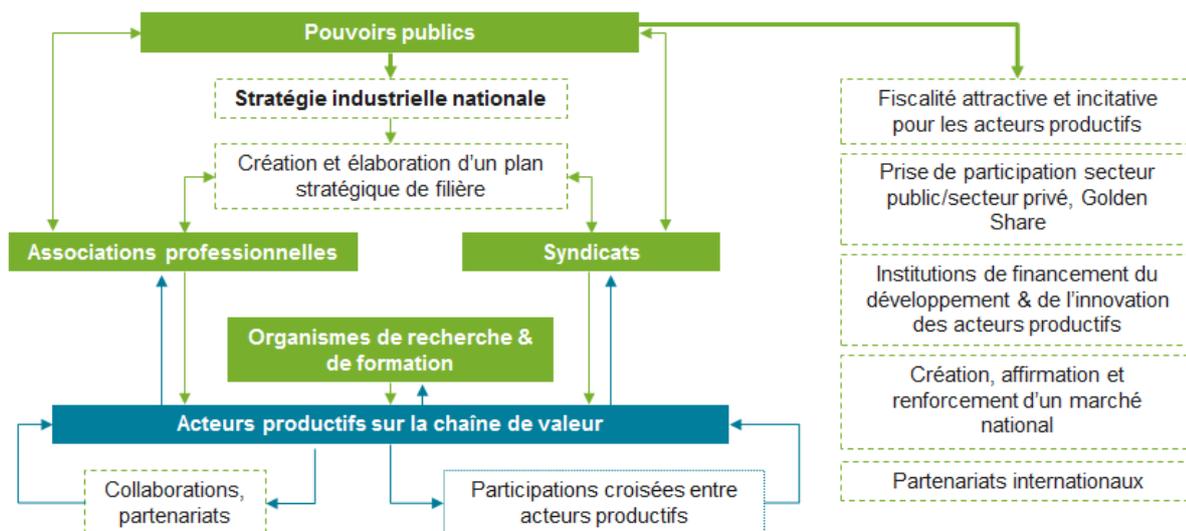
Il n'existe pas aujourd'hui de CSF pour les filières énergétiques du sous-sol profond. Toutefois à la lumière des problématiques qui leur sont communes et à travers les actions menées dans le cadre des contrats de filières existants, force est de constater qu'une stratégie globale pourrait avoir du sens sur les sujets liés au développement national et international des entreprises, aux transferts technologiques interfilières, aux relations intrafilières, à l'emploi et au maintien des compétences sur le sol national et à la problématique du financement de la croissance des entreprises.

L'énoncé global de la stratégie initiée en 2013 en Conseil des ministres apporte une grille de lecture selon trois lignes directrices – politique de solidarité, structuration et rôle de catalyseur, investissements dans les technologies clés – qui aide à comprendre la structuration des filières industrielles.

Ce dernier point permet de dégager une définition normative (ou extensive) de la notion de filière, comme l'ensemble des parties prenantes et des outils permettant la structuration d'acteurs, opérant de manière complémentaire sur une chaîne de valeur pour la réalisation collective de produits répondant à un enjeu industriel et à des défis technologiques, humains et financiers sur le sol national et à l'export.

⁴ Les 14 CSF concernent les filières aéronautique, alimentaire, automobile, biens de consommation, bois, chimie et matériaux, éco-industries, ferroviaire, industries extractives et de première transformation, industries et technologies de santé, mode et luxe, naval, nucléaire et numérique.

Figure 1 : Représentation générale d'une dynamique de filière



Source : ANCRE.

Les besoins de structuration d'une filière sont évolutifs au cours de son développement. Ainsi, les impulsions des pouvoirs publics doivent idéalement s'adapter aux variations des environnements internes et externes, tout comme les outils déployés pour structurer les acteurs. Toutefois, la notion de filière reste attachée à une notion de gouvernance globale d'acteurs institutionnalisée ou de fait.

DIAGNOSTIC DES FILIÈRES ET DE LEUR STRUCTURATION

LES GRANDS CHIFFRES DES FILIÈRES DE LA VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DU SOUS-SOL PROFOND EN FRANCE

Les travaux réalisés dans le cadre de cette étude ont permis d'aboutir à un chiffrage du poids des filières de la valorisation énergétique du sous-sol profond dans l'économie. Les annexes⁵ présentent les travaux et leurs limites ayant permis d'aboutir à l'évaluation de ce poids. Tout en gardant à l'esprit que les comparaisons d'études réalisées avec des méthodologies très variées doivent être appréhendées avec prudence, ce poids peut être mis en regard de celui des grandes filières industrielles françaises. **Il est ainsi estimé que les filières du sous-sol profond emploient plus de 66 000 salariés en France pour un chiffre d'affaires de 36 Mds € dont plus de 60 % sont réalisés à l'export.** On note que les filières du sous-sol profond sont caractérisées par un fort taux d'exportation ainsi qu'une production par emploi très élevée. Cela est notamment dû au positionnement des activités sur le territoire français sur les segments de la chaîne de valeur à haute valeur ajoutée.

Tableau 3 : Ordre de grandeur des emplois salariés de quelques filières industrielles en France

	CA (Mds €)		Emplois directs
	Total	Dont export	
Automobile*	99	50	214 000
Aéronautique**	51	33	180 000
Nucléaire***	46	6	125 000
Filières énergétiques du sous-sol profond****	36	22	66 000
Naval*****	9	4	40 000

Sources : ***ministère de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique (3), GEP-AFTP (4), Calcul IFPEN.

Les bases de calcul de ces chiffres pouvant différer d'une filière à l'autre, les données de ce tableau n'ont qu'un caractère indicatif.

*Estimation 2010, http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=0&ref_id=fsi2011&file=industrie-automobile.xml

** <https://www.gifas.asso.fr/chiffres-cles>

***Ministère de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique.

**** Dont E&P, stockage et géothermie profonde.

***** <http://www.gican.asso.fr/chiffre-cles>

Une analyse plus fine des entreprises des filières de l'étude permet de distinguer plusieurs catégories d'entreprises⁶. On distingue tout d'abord un cœur d'entreprises spécialisées, environ 200, qui réalisent plus de 90 % de leur activité dans les marchés du sous-sol profond. Celles-ci représentent environ 20 Mds € de chiffre d'affaires. Elles sont complétées par environ 800 entreprises pour lesquelles les marchés du sous-sol ne représentent qu'une part de leurs activités, en moyenne de l'ordre de 20 %. Ces entreprises totalisent un chiffre d'affaires de l'ordre de 75 Mds € (pour plus de 150 000 emplois), dont environ 17 milliards d'euros sont réalisés au sein des filières de la valorisation énergétique du sous-sol profond. Les marchés des filières du sous-sol profond contribuent donc à l'activité d'un périmètre très large d'entreprises, allant de la mécanique à l'électronique en passant par le logiciel.

De grandes disparités apparaissent également au sein des filières du sous-sol profond. Ainsi, avec un chiffre d'affaires estimé à environ 35 Mds €, **la filière de l'exploration et production de pétrole et de gaz (E&P)** est une filière constituée d'un vaste réseau d'entreprises rassemblant environ 64 000 emplois. Les autres filières énergétiques du sous-sol profond se caractérisent par une bien plus petite taille (1,3 Md € pour le **stockage géologique d'hydrocarbures**, 0,177 Md € pour la **géothermie profonde**) ou sont émergentes (**stockage du CO₂**).

La filière de l'E&P représente ainsi un poids très important au regard des autres filières de notre étude. Historiquement structurée par l'État, elle est composée de champions nationaux de taille internationale (et d'entités françaises de groupes étrangers) pétroliers, gaziers, parapétroliers ou paragaziers (TOTAL, ENGIE,

⁵cf. annexe.

⁶ Les entreprises et leurs filiales ont été classées en trois groupes selon leur proximité avec les activités du « noyau » de la filière : (1^{er} groupe) les spécialisés dans l'activité sous-sol, c'est-à-dire qui réalisent au moins 90 % de leur chiffre d'affaires (CA) dans ces trois filières ; (2^e groupe) les opérateurs sur le sol français ou à l'international mais implantés en France ; (3^e groupe) les entreprises complémentaires (ni spécialistes ni opérateurs) : il est estimé qu'elles réalisent de l'ordre de 20 % de leur activité dans les filières du sous-sol. Ces dernières sont très nombreuses, elles correspondent à 80 % des entreprises analysées.

La méthodologie est détaillée en annexe.

Technip, CGG...) extrêmement compétitifs à l'export et d'un vaste écosystème d'entreprises de toutes tailles présentes sur toute la chaîne de valeur. La filière du stockage comporte un nombre d'acteurs inférieur à 30 entreprises. Elle est organisée autour des deux acteurs pivots opérateurs des sites de stockage en France (Storengy et TIGF) dont l'un est un acteur de référence au niveau international, ainsi que d'une société d'ingénierie et de services à l'exploitation (Géostock), de deux principaux foreurs français (SMP et Entrepose Drilling) et d'une quinzaine de sous-traitants de rang 2 (voire de rang 0). La filière de la géothermie profonde, qui est en cours de structuration, comporte pour sa part un nombre extrêmement restreint d'acteurs.

LES ÉLÉMENTS COMMUNS AUX TROIS FILIÈRES

Les trois filières de la valorisation énergétique du sous-sol profond s'appuient en France sur des éléments et des problématiques communs. En effet, en tant qu'industries du sous-sol, les trois filières présentent une structuration similaire de leur chaîne de valeur, des compétences partagées et restent soumises aux mêmes types d'aléas géologiques et techniques. En outre, elles partagent des problématiques communes à l'heure actuelle : un manque de visibilité sur leur marché national, des opportunités de développement limitées et extrêmement encadrées sur le territoire français avec notamment une législation commune (en particulier le Code minier, voir annexe), une forte concurrence sur leur marché à l'export, une recherche conjointe et des technologies et compétences largement communes sur le sol national. Elles sont enfin confrontées toutes trois, à différents degrés, à des problématiques d'acceptabilité sur le sol national et peuvent d'ores et déjà s'appuyer sur des initiatives favorisant les transferts interfilières.

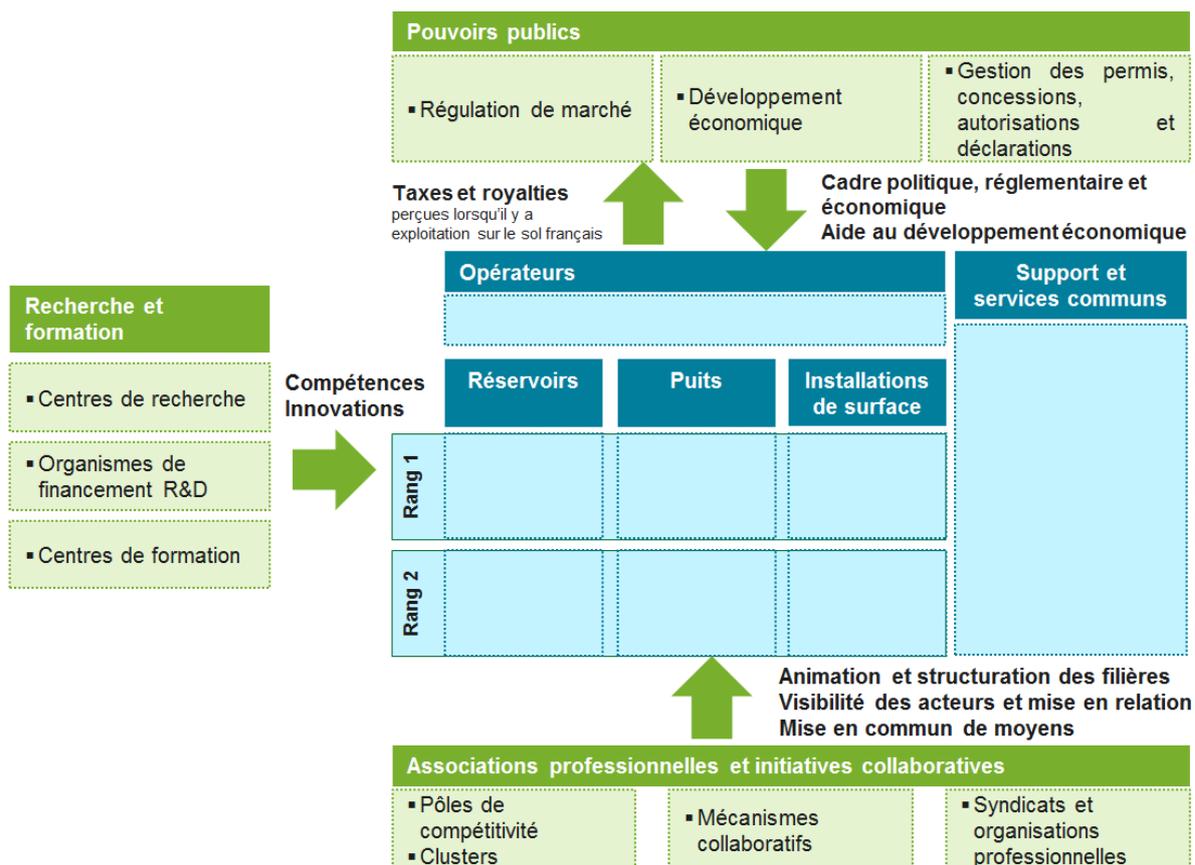
Chaîne de valeur

Les filières énergétiques du sous-sol profond présentent des structures similaires liées à leur socle commun de compétences. Utilisant les éléments de définition présentée, une représentation généralisée de cette structure est illustrée dans la Figure 2.

Les acteurs de ces filières peuvent ainsi être regroupés en différents ensembles, dont trois servent de facilitateurs et de catalyseurs de filières, autour de la catégorie des acteurs productifs :

- Les pouvoirs publics, qui jouent un rôle dans la régulation des marchés de l'énergie ayant une influence sur les filières (par exemple les marchés du gaz, de l'électricité), le développement économique des filières ou la gestion des permis, des concessions, des autorisations et des déclarations nécessaires aux opérations du sous-sol profond et l'environnement réglementaire général (fiscalité, marché du travail...);
- Les organismes de recherche et de formation ;
- Les associations professionnelles et les initiatives collaboratives.

Figure 2 : Représentation générale des filières énergétiques du sous-sol profond



Source : ANCRE.

La dimension productive des filières énergétiques du sous-sol profond concerne quant à elle différents types d'acteurs dont les fonctions et compétences sont décrites dans la Figure 3. Les opérateurs sont les acteurs centraux de toutes ces filières. Ce sont en effet eux qui réalisent les ventes des produits finaux des filières (hydrocarbures pour l'E&P, capacités de stockage,, électricité et chaleur pour la géothermie). Ils assument les fonctions d'investisseurs et portent la plus grande part du risque lié aux activités du sous-sol profond.

Leurs prestataires (ingénieries, sociétés de services, équipementiers, etc.) s'organisent autour des trois grands ensembles constituant les projets énergétiques du sous-sol profond que sont :

- les bassins et réservoirs : activités d'acquisition et traitement de données sismiques, ingénierie de réservoir, instrumentation sismologique, conseil en géosciences, conseil en interprétation de données, stockage...
- les puits : ingénierie de puits, forage, cimentation et entretien de puits
- les installations de surface : conception, fabrication et installation d'équipements, maintenance et démantèlement...

Différents acteurs remplissent par ailleurs des fonctions de support communes à l'ensemble des filières. Parmi les prestataires des opérateurs, nous distinguons deux rangs de fournisseurs :

- Les prestataires principaux (rang 1) qui interviennent directement auprès des opérateurs ou réalisent des fonctions clés sur la chaîne de valeur, par exemple l'acquisition de données sismiques, les interventions sur puits ou la conception d'équipements lourds.
- Les sous-contractants (rang 2) qui sont souvent des spécialistes ou des équipementiers et interviennent sur des marchés de niches.

Figure 3 : Segmentation des acteurs productifs et des principales compétences des filières du sous-sol profond

Opérateurs					Support et services communs
Bassins & Réservoirs	Puits	Installations de surface	Activités marines et sous-marines		
Rang 1 : Prestataires principaux	<ul style="list-style-type: none"> Acquisition & traitement de données, dont sismiques Ingénierie de réservoir 	<ul style="list-style-type: none"> Ingénierie de puits Forage (à terre, en mer et directionnel) Cimentation de puits Entretien de puits 	<ul style="list-style-type: none"> Contractants d'ingénierie (EPCI), d'opérations, de maintenance, de démantèlement Conception, fabrication et installation d'équipements lourds 	<ul style="list-style-type: none"> Contractants activités marines et sous-marines Contractants levage charges lourdes Contractants pose pipelines, Unités flottantes de stockage 	
Rang 2 : Sous-contractants	<ul style="list-style-type: none"> Instrumentation sismique Conseil en géosciences Conseil en interprétation de données Stockage de données Hardware / software informatique 	<ul style="list-style-type: none"> Design et fabrication d'équipements de forage et de puits Produits chimiques Tubes de forage Services de laboratoires 	<ul style="list-style-type: none"> Design et fabrication de machines et équipements Support aux services d'ingénierie Ingénierie spécialisée Services d'inspection Fabrication de conduites 	<ul style="list-style-type: none"> Manifold sous-marin/conception et fabrication de risers Equipement marin et sous-marins Services d'inspection sous-marins 	

Acceptabilité

Les filières énergétiques du sous-sol profond sont toutes confrontées à des problématiques d'acceptabilité, en France comme à l'étranger. Ces problématiques se déclinent à trois niveaux : à un niveau global, au niveau du marché et à un niveau local (Figure 4).

Figure 4 : Déclinaison des trois niveaux d'acceptabilité



Source: Bas van Bree, Ingo Bunzeck, « Social acceptance of hydrogen demonstration projects » ECN, Collaborative work between NextHyLights Industry and Institute Partners, 2010.

Au niveau global, les filières énergétiques du sous-sol profond présentent la caractéristique commune d'être mal connues de l'opinion publique et des décideurs politiques, quand elles ne sont pas l'objet, *a priori*, de phénomènes d'opposition ou de défiance. Cette méconnaissance porte à la fois sur l'importance des filières dans le tissu économique français, pour les entreprises spécialisées ainsi que pour leurs sous-traitants non spécialistes, mais aussi sur l'excellence scientifique et technique de ces acteurs. Pour l'E&P, on peut ainsi considérer que la

filière n'a pas encore réussi à communiquer de manière suffisamment claire sur sa capacité technique à atténuer les risques environnementaux. La géothermie, quant à elle, bénéficie encore d'une assez bonne image générale. Ces filières sont par ailleurs toutes des éléments du débat sur la transition énergétique et le changement climatique.

Au niveau du marché, certaines filières énergétiques du sous-sol profond présentent des spécificités liées à la particularité de leurs produits et à leur maturité. La filière du stockage géologique du CO₂ se heurte ainsi à la difficulté de trouver un modèle de rentabilité et donc à rencontrer un marché. Les filières du stockage de gaz naturel et de l'E&P étant positionnées sur des marchés matures, elles ne présentent de leur côté pas de problématique particulière d'acceptation de marché : leurs produits en tant que tels ne rencontrent pas de questionnement d'acceptabilité économique⁷.

Au niveau local, les projets énergétiques du sous-sol profond sont pour une large part confrontés à une sensibilité forte des riverains aux activités touchant au sous-sol. Quel que soit le niveau d'acceptation global des filières, la conduite d'activités opérationnelles (par exemple forages) soulève des questions de la part des riverains, des ONG et des responsables locaux.

Les exemples d'oppositions locales sont nombreux pour chacune des filières, en France comme à l'étranger. Pour la filière de l'E&P, les oppositions locales apparaissent aujourd'hui d'autant plus rapidement que le débat concernant les gaz de schistes a cristallisé les positions rendant les concertations plus complexes. Des projets de stockage de CO₂ ont été annulés en raison d'oppositions locales partout en Europe (Barendrecht aux Pays-Bas, Jämschwalde en Allemagne). L'Autriche a même refusé de faire évoluer sa législation afin d'autoriser des stockages de CO₂ sur son territoire (c'est toutefois le seul pays de l'UE à avoir pris cette position). Il faut cependant noter l'existence de deux projets de stockage de CO₂ en préparation en Grande Bretagne. La géothermie profonde dans des formations géologiques de faible perméabilité, quant à elle, fait face à des contre-références (Bâle, Landau) et des amalgames avec les problèmes de géothermie superficielle (Lochwiller).

Quelques exceptions à ce constat, valables sur l'ensemble du territoire, existent cependant. Les régions historiquement concernées par ces filières du sous-sol (Aquitaine, Alsace du Nord et dans une moindre mesure le Bassin parisien) peuvent en effet s'appuyer sur leurs activités passées. Toutefois, l'exemple du pilote Total de Lacq pour le stockage de CO₂, qui s'est réalisé mais qui a tout de même été confronté à des problèmes d'acceptabilité⁸, montre qu'y compris dans ces régions, l'acceptabilité n'est pas gagnée d'avance, elle doit se construire.

Des filières à portée internationale pour lesquelles la R & D est essentielle

Les filières du sous-sol profond sont caractérisées par une forte exposition à l'export et sur des marchés très technologiques. Elles réalisent ainsi plus de 60 % de leurs activités à l'export et investissent de l'ordre de 20 % de leurs chiffres d'affaires dans la recherche et l'innovation⁹. Des éléments d'analyse communs aux différentes filières peuvent d'ores et déjà être soulignés.

Des outils à l'export à exploiter

Les outils de soutien à l'export sont un élément structurant commun aux trois filières, dans la mesure où elles ont toutes une vocation exportatrice, le marché national étant limité. Des initiatives de soutien, de structuration et de promotion à l'export sont élaborées par les acteurs des différentes filières, dont le GEP-AFTP pour l'E&P ou le *cluster* GEODEEP pour la géothermie profonde.

La palette d'outils publics existants¹⁰ d'aide à l'export est large et concerne d'importants volumes. Cependant, peu d'entreprises des filières énergétiques du sous-sol profond bénéficient à l'heure actuelle de ces aides alors même que bon nombre d'entre elles sont fortement exportatrices. En comparaison à d'autres filières françaises, elles font même figure de parent pauvre et ne font pas l'objet d'un soutien spécifique : la répartition sectorielle de l'assurance-crédit montre ainsi que les filières aéronautique, militaire, navale, spatiale et nucléaire concentraient à elles seules entre 80 % et 85 % des encours, des promesses et des contrats conclus en 2014.

⁷ En effet, même si l'utilisation du diesel par exemple fait partie des discussions autour de la transition énergétique, les produits pétroliers et gaziers sont utilisés par tous.

⁸ Voir l'étude « Acceptabilité sociale du captage et stockage de CO₂ » réalisée par M. Gaultier en 2008 avec l'École nationale des ponts et chaussées, les Mines ParisTech, Agro ParisTech et l'APESA.

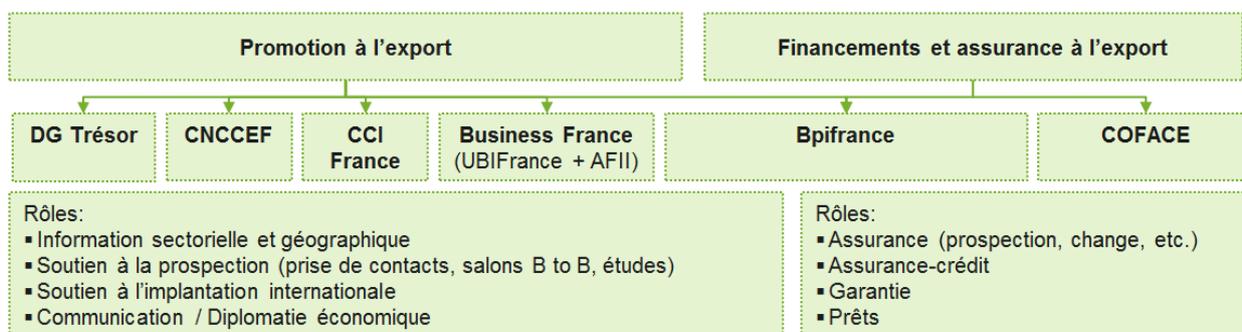
⁹ D'après les déclarations récoltées dans le cadre de l'enquête spécifique à cette étude.

¹⁰ Voir en annexe.

Si cette observation témoigne de la bonne santé à l'export des filières énergétiques du sous-sol profond (fortement exportatrices sans recours à ces aides), elle indique pourtant un point d'amélioration potentiel, en particulier en direction des PME et ETI dont les réponses à l'enquête réalisée pour l'étude montrent *a minima* une méconnaissance des dispositifs d'aide et d'accompagnement à l'export.

Ces aides peuvent être segmentées en deux grands ensembles que sont la promotion à l'export et les aides aux financements.

Figure 5 : Organisation des acteurs de l'aide à l'export



Note : CNCCEF : Comité national des conseillers du commerce extérieur

Les outils de R & D pour la pérennisation des activités de recherche en France

L'innovation technologique est d'une importance capitale pour les filières de l'étude afin de maintenir leurs parts de marché sur des marchés très compétitifs, en particulier à l'export. De nombreuses entreprises des filières du sous-sol profond logent en France leur centre de R & D alors même que leur marché est à l'export.

Une majorité des industriels interviewés dans le cadre de cette étude considèrent le développement technologique comme un atout majeur du développement des filières et se positionnent comme *leader* sur les marchés ou en avance dans leurs domaines respectifs. Certains d'entre eux font même de la technologie leur principal argument de vente et positionnent la dimension technologique comme facteur de différenciation de leurs structures et vecteur de plus-values pour la conquête des marchés à l'export. Inversement, l'internationalisation est vue comme une force motrice pour le positionnement technologique.

En France, les dispositifs de soutien publics aux projets de R & D sont principalement opérés par l'ANR, l'Ademe et Bpifrance. Il n'existe plus de financement spécifique relatif aux hydrocarbures, là où il peut exister des financements spécifiques pour certaines filières, comme par exemple pour le stockage de CO₂ et la géothermie profonde.

Le principal outil de soutien à la R & D des filières du sous-sol profond reste ainsi le dispositif de Crédit Impôt Recherche (CIR). L'enquête en ligne a révélé que le CIR était à l'origine des activités de R & D d'acteurs de petite taille de la filière et qu'il était une condition nécessaire à la poursuite de leurs activités d'innovation.

La recherche collaborative est facilitée par la politique des pôles de compétitivité, la présence de *clusters* d'innovation et quelques chaires industrielles¹¹. Sur les domaines du sous-sol profond et des géosciences, le pôle Avenia est le seul pôle de compétitivité existant en France. D'autres pôles aux activités plus larges travaillent par ailleurs sur des thématiques en lien avec le sous-sol profond : pôle Mer Bretagne, pôle Mer Méditerranée, pôle Risques, pôle Énergivie.

Ces différents dispositifs et organismes servent à soutenir l'effort de recherche et d'innovation en France. En parallèle et en complément de ceux-ci, existent en outre des mécanismes collaboratifs à l'initiative exclusive des acteurs privés des filières. C'est ainsi le cas du programme CITEPH (voir annexe) du GEP-AFTP mis en place par les acteurs de la filière de l'E&P.

¹¹ La chaire industrielle de géothermie de Strasbourg joue ainsi un rôle essentiel dans le transfert technologique pour la filière de la géothermie profonde.

Éléments de contexte

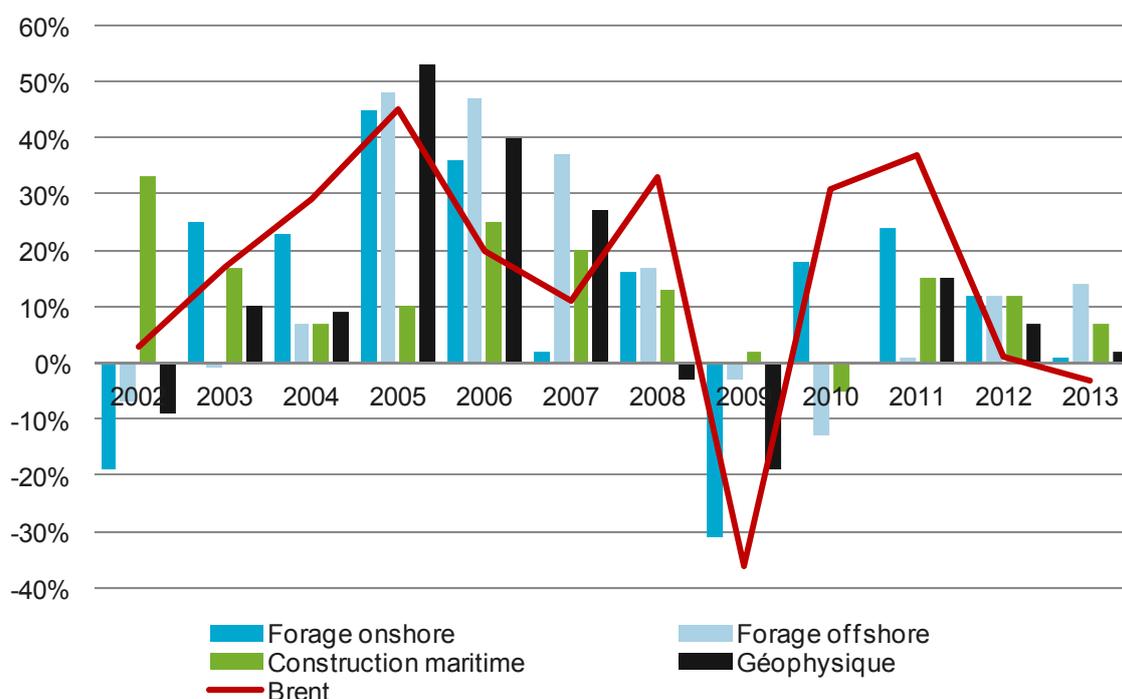
Une filière marquée par une forte cyclicité

L'histoire moderne de l'industrie pétrolière est marquée par la dimension structurellement cyclique de son activité, notamment dans sa composante E&P. Différents facteurs conditionnent cette cyclicité :

- Du côté de la demande : les évolutions de la croissance économique mondiale qui influencent la demande globale de ressources carbonées et les politiques énergétiques des États, qui déterminent des objectifs de sécurité et d'efficacité énergétiques et des stratégies environnementales notamment de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) ;
- Du côté de l'offre : les facteurs géopolitiques par essence peu prévisibles, les développements technologiques qui accroissent de manière plus ou moins rapide l'offre de pétrole et de gaz et les stratégies des compagnies nationales (NOC) et internationales (IOC).

Ces éléments déterminent divers équilibres de prix qui influencent de manière marquée l'activité des différents marchés parapétroliers mondiaux dont les principaux sont la construction *offshore*, le forage et les équipements et les services autour des puits et la géophysique (Figure 6).

Figure 6 : Taux de croissance du CA mondial du secteur parapétrolier et taux de croissance du prix du baril de pétrole brut (Brent)



Sources : EIA, Spears & Associates

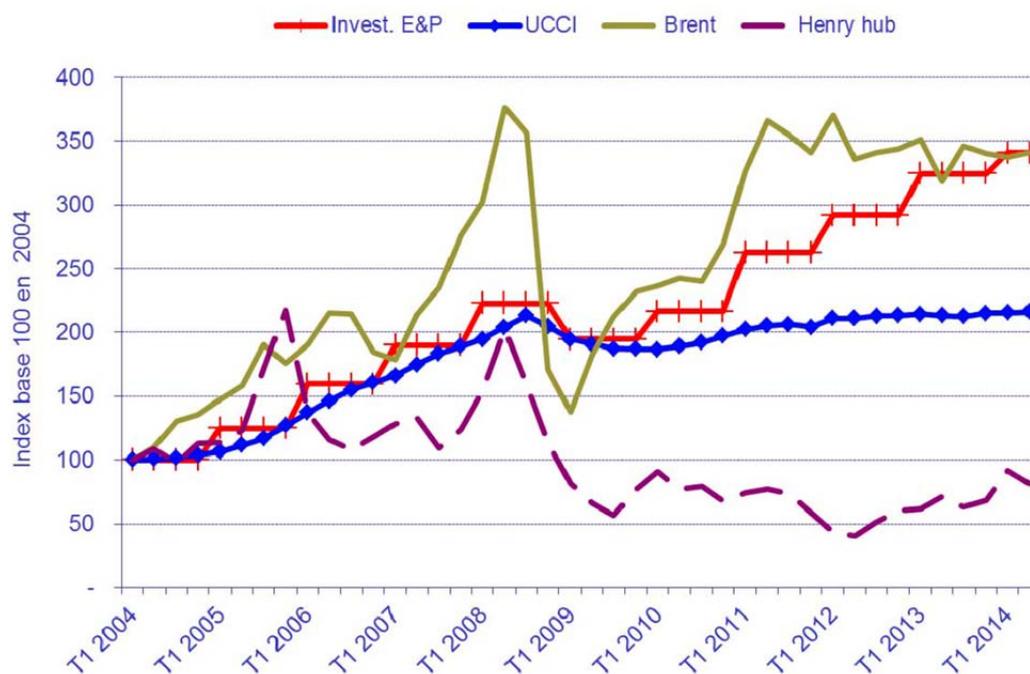
Une inflation récente et marquée des coûts des projets

Au cours de la dernière décennie, le secteur de l'E&P a été confronté à une hausse marquée de ses coûts. Le cycle de hausse des prix observé entre 2004 et la mi-2008 représente à ce jour, par son intensité, l'un des cycles les plus marquants depuis l'existence des séries de prix sur les marchés de matières premières. Avec un doublement moyen sur la période pour les matières premières industrielles, et un quadruplement des prix moyens de l'énergie, selon les indices du FMI, ce « super cycle » a contribué à une inflation des coûts de projets.

Sur la période récente, l'indice des coûts d'investissement dans l'amont (Figure 7), est reparti à la hausse et est repassé au-dessus de son pic de 2008. En parallèle de ces coûts « matières », la filière est également impactée

par une accessibilité toujours plus complexe aux gisements nécessitant des techniques plus coûteuses et par une réglementation de plus en plus contraignante¹².

Figure 7 : Volume et coûts d'investissement en E&P (Upstream Capital Costs Index) et prix du pétrole et du gaz



Sources : IFPEN (5), IHS Cera, Reuters

Cette inflation des coûts a pleinement impacté la filière de l'E&P ces dernières années et notamment la dynamique d'investissement, dans un contexte où les standards de l'industrie pétrolière ont également augmenté.

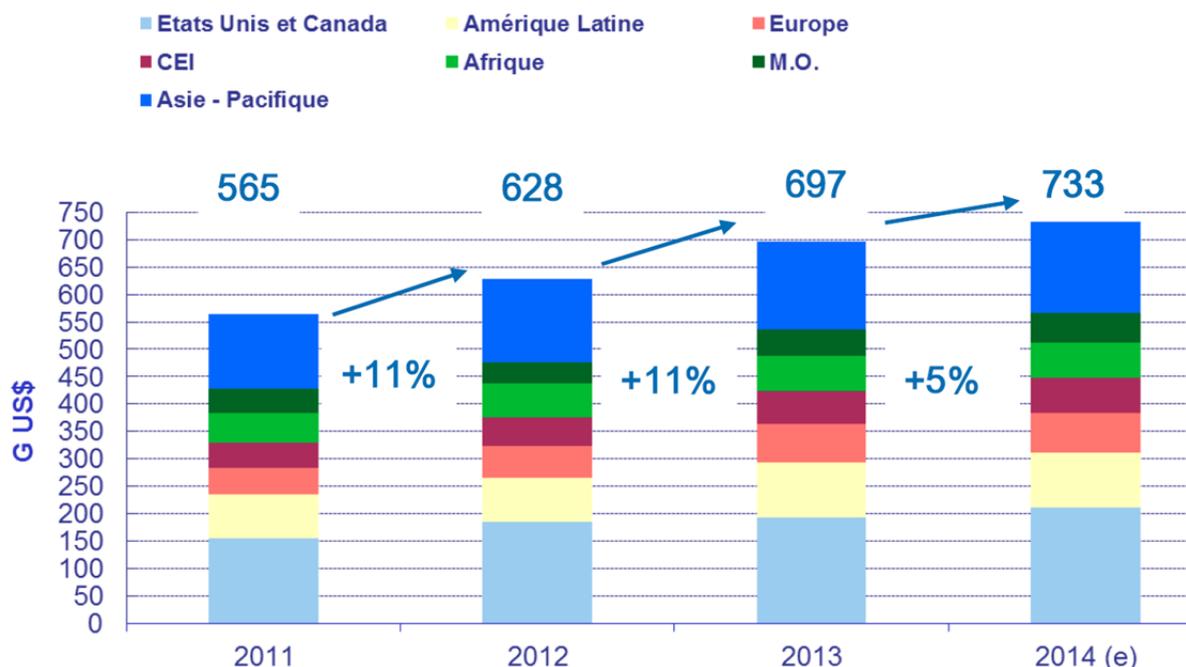
Ce mouvement s'est par ailleurs doublé d'une composante plus structurelle : le *local content* (contenu local). La logique des projets internationaux est en effet en mutation, avec l'obligation de partenariats locaux *via* des productions et implantations locales et un développement de l'emploi dans les pays hôtes des projets. Cet élément influence de plus en plus la répartition géographique des centres de R & D et de formation ou encore des activités moins qualifiées.

Une hausse modérée des investissements mondiaux

Après quatre années de croissance à deux chiffres, les investissements dans l'E&P ont connu en 2014 une hausse plus modérée, estimée à 5,1 %, pour atteindre un niveau record d'environ 730 Mds \$) (5). Ce ralentissement s'explique principalement par la réduction des investissements des majors pétrolières (- 8 %), alors que les indépendants et les NOC (+ 7,5 % et + 10 % respectivement) sont restés sur une dynamique de croissance forte. En 2015, les investissements devraient décroître, la plupart des majors ayant annoncé au second semestre 2014 leur intention de diminuer drastiquement leurs dépenses suite à la baisse des prix du pétrole, suivies par certains indépendants.

¹² Ces réglementations comprennent en particulier les exigences en matière de « contenu local » (*local content*).

Figure 8 : Évolution des investissements mondiaux en E&P



Source : IFPEN (5), d'après Barclay's, DTI, NPD, DEA, données de compagnies et de ministères

Ce mouvement provoque une vague de restructurations dans la filière au niveau international, avec par exemple le rachat de Baker Hughes par Halliburton et l'annonce de licenciements chez certains acteurs (dont Schlumberger). Il traduit également la très forte réactivité des acteurs au contexte financier international. Enfin, en Amérique du Nord, l'incertitude liée aux évolutions des prix du baril est forte quant à la poursuite du développement du gaz et du pétrole de schistes.

Un ralentissement des découvertes, mais de nombreuses zones attractives

Les volumes découverts baissent régulièrement, ce qui s'explique par un ralentissement de l'exploration dans les zones les plus prolifiques de ces dernières années (les bassins de Santos au Brésil et de Rovuma au Mozambique et en Tanzanie). Les opérateurs recentrent en effet leurs efforts sur l'évaluation et le développement des découvertes antérieures. D'autres bassins qui se sont révélés prometteurs n'ont pas encore pris le relais des précédents en termes de volumes découverts, mais devraient monter en puissance dans les années à venir.

Quelques exemples de futures zones en développement, sources d'activité pour l'avenir, incluent :

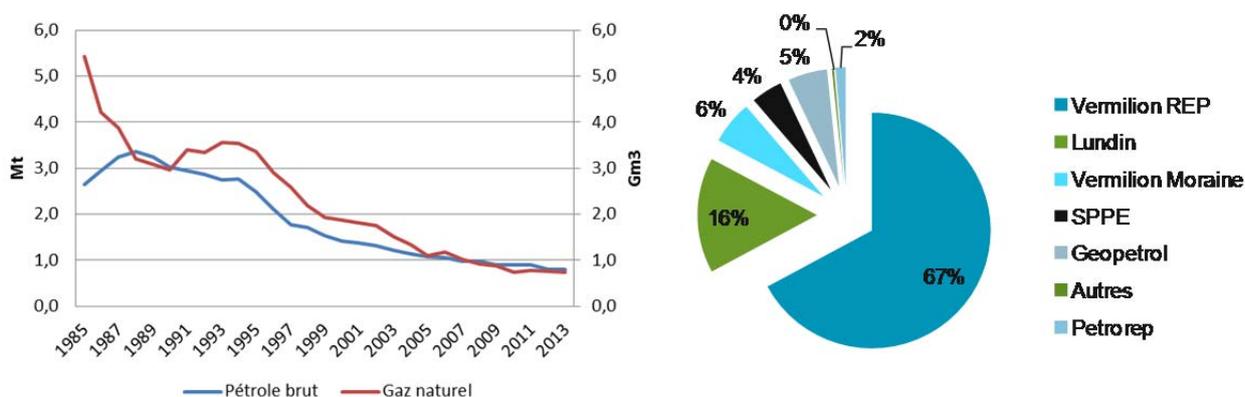
- **En Afrique** : les antésalifères de l'offshore profond (marges de l'Afrique de l'Ouest) et la marge Est africaine (Mozambique, Tanzanie) ;
- **En Amérique du Nord** : le golfe du Mexique (côté mexicain) ;
- **En Amérique du Sud** : les antésalifères de l'offshore profond (marges du Brésil) ;
- **Dans l'Arctique** : une zone particulière qui recoupe de multiples contextes géologiques (chaîne de montagnes, offshore ultra-profond) ;
- **Au Moyen-Orient** : onshore, notamment en Irak et en Iran (zones tectoniques complexes) ;
- **Dans les autres zones** : l'offshore de la Méditerranée orientale (le bassin Levantin), l'offshore australien et la Chine (hydrocarbures non conventionnels) présentent des opportunités ainsi que l'offshore classique, avec notamment la réévaluation des zones « matures » (cas de la mer du Nord). La reprise des zones matures est redevenue un objectif important grâce aux progrès techniques dans l'acquisition sismique.

État des lieux de la production de pétrole et de gaz en France

La production de pétrole et de gaz naturel sur le sol français est historiquement faible et décline depuis 1988 pour le pétrole et depuis 1980 pour le gaz naturel¹³ (Figure 9). Ces productions représentent aujourd'hui respectivement 1 % et 2 % de la consommation nationale.

La production de pétrole est concentrée géographiquement (60 % dans le Bassin parisien), en termes de gisements (douze gisements représentent 70 % de la production nationale), et d'opérateurs (deux opérateurs, Vermilion REP et Lundin, en assurent près de 84 %) (6). Elle est destinée au marché interne. Les opérateurs représentent environ 200 salariés (Vermilion en employant à lui seul 110) auxquels il faut ajouter les sous-traitants. Le montant des redevances perçues par l'État en 2013 au titre de la production 2012 s'est élevé à 21,9 M€ pour le pétrole et 5,5 M€ pour le gaz naturel.

Figure 9 : Production de pétrole et de gaz naturel en France depuis 1985 (gauche) et répartition de la production de pétrole brut en France par société en % du volume produit en octobre 2014 (droite)



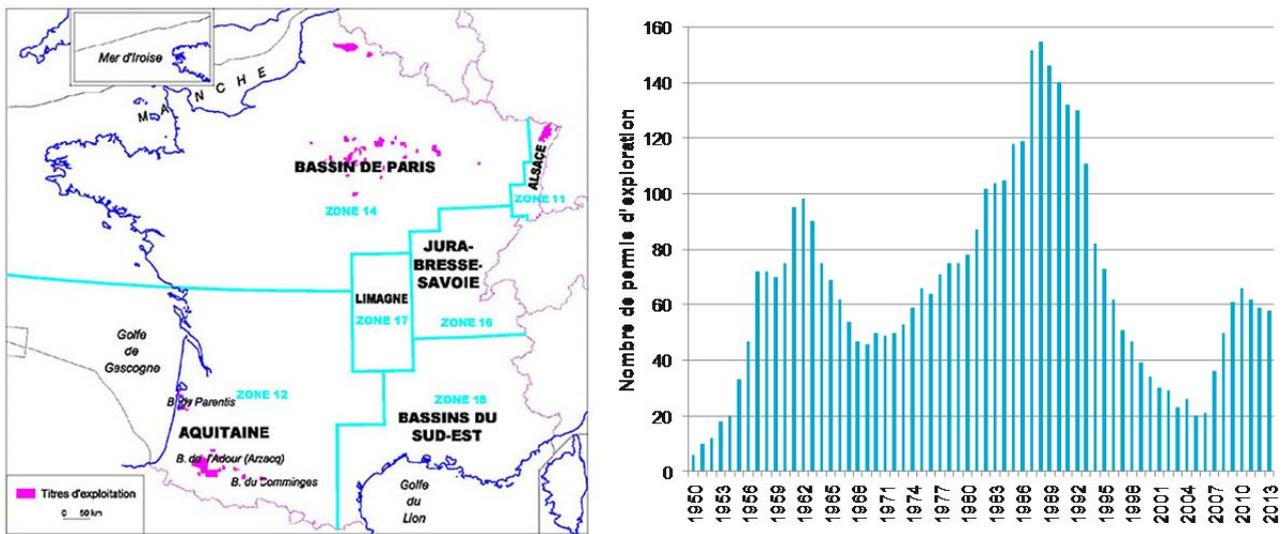
Sources : DGEC / BEPH (7)

Malgré cette faible production, un potentiel reste à évaluer en France, notamment avec les bassins sédimentaires propices aux recherches d'hydrocarbures couvrant une superficie de plus de 200 000 km² en mer et plus de 70 000 km² à terre¹⁴ (Figure 10). Cinquante-cinq permis d'exploration de pétrole et de gaz étaient actifs en 2013, soit un faible niveau d'activité. Les forages réalisés en Guyane ont ainsi contribué à porter à 740 M€ les investissements d'exploration en France en 2013. Les investissements en matière de développement et de production se montaient quant à eux à 95 M€.

¹³ La baisse tendancielle de la production nationale de gaz naturel observée a franchi une nouvelle étape en octobre 2013 avec l'arrêt définitif de l'injection dans le réseau du gaz du gisement de Lacq.

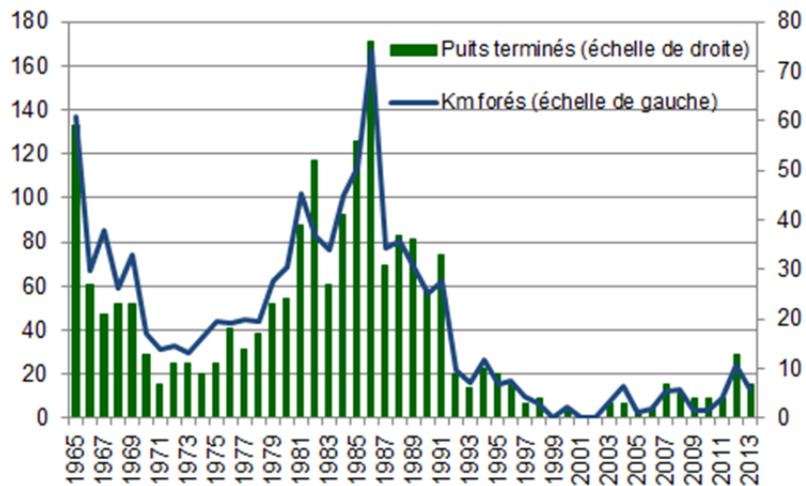
¹⁴ Ces derniers s'étendent du Bassin de Paris au massif des Vosges et couvrent les bassins de Parentis et d'Arzacq en Aquitaine, une partie de la plaine de Bresse et l'ouest du front subalpin dans le Jura. En mer, les bassins qui présentent un intérêt pour les hydrocarbures sont le bassin maritime de Parentis, le bassin de la mer d'Iroise, les zones maritimes au large de la Guyane, l'archipel de Saint-Pierre-et-Miquelon, l'est de la Martinique et le canal du Mozambique. En métropole, les cibles géologiques prometteuses pour l'exploration pétrolière et gazière sont : la houille du Carbonifère supérieur, les grès du Trias, les calcaires jurassiques du Dogger et du Lias et les carbonates et les niveaux récifaux du Crétacé.

Figure 10 : Bassins sédimentaires et localisation des titres d'exploitation (gauche) et évolution du domaine minier d'exploration en nombre de permis (droite)



Source : DGEC/BEPH.

Figure 11 : Activité de forage d'exploration depuis 1965



Source : DGEC/BEPH.

Le rôle historique de l'État dans la filière : l'État qui impulse, puis se désengage

La filière de l'E&P française est née de la prise de conscience des pouvoirs publics français du rôle stratégique du pétrole et du gaz après la première guerre mondiale. Une politique volontariste est mise en place dans les années 1920, avec la création dès 1923 de la Compagnie française des Pétroles (CFP) et de l'Office national des Combustibles liquides (ONCL) pour coordonner les activités du secteur et de l'Office national des Hydrocarbures pour les opérations d'exploration dans les Bassins parisien et aquitain. Cette stratégie va s'accompagner d'un effort marqué concernant la formation aux métiers de l'E&P, avec la création durant cette décennie d'écoles ou d'instituts spécialisés (Laboratoire du pétrole à l'Université de Strasbourg en 1920, École nationale supérieure du Pétrole en 1924). L'environnement législatif de la filière est renforcé par la loi de 1928 qui place les importations de pétrole brut et de produits raffinés sous l'autorité de l'État et fournit à l'industrie pétrolière les moyens de son développement. Dans les années 1940, l'État va créer la Régie autonome des Pétroles (RAP), la Société nationale des Pétroles d'Aquitaine (SNPA, 1941), la Société nationale des Pétroles de la Garonne (SPG, 1942) et la Société nationale des pétroles du Languedoc Roussillon (1944), l'Institut Français du Pétrole (IFP, 1944) pour la recherche sur l'ensemble de la filière et Gaz de France (1940).

Après la guerre, le secteur bénéficie de l'élan volontariste affiché dans le premier Plan avec la priorité donnée au secteur énergétique. L'État français crée ainsi le Bureau de Recherche du Pétrole (BRP, 1945) pour coordonner et favoriser la prospection pétrolière sur le territoire et assigne à l'IFP un rôle de promotion de la technologie pétrolière française. Alimenté par une taxe sur le prix des carburants, un fonds de soutien aux hydrocarbures (FSH) est créé en 1950 pour financer des projets de recherche dans le domaine pétrolier. En parallèle des découvertes réalisées en France (gisement de gaz de Lacq en 1950, gisement de Parentis en 1954, Bassin aquitain, Bassin parisien, Alsace, Jura), la filière française commence à s'internationaliser, notamment sur le continent africain et plus tardivement en mer du Nord. Le gouvernement français cherche également à coordonner les différents acteurs privés et publics de la filière. Ainsi, Technip (1960) puis Coflexip dans les années 1970, filiales créées par l'IFP, vont compléter les principaux acteurs privés du secteur parapétrolier français et de la filière de l'E&P (Schlumberger, 1926 ; CGG, 1931 ; Vallourec, 1931). Les années 1960 seront également marquées par la fusion du BRP, de la RAP et de la SNPA qui donnera naissance à l'ERAP (Elf-RAP) et deviendra la Société nationale Elf Aquitaine en 1976. En 1985, la CFP deviendra TOTAL-CFP, puis Total en 1991.

Les années 1990 vont être marquées par un double mouvement dans la filière de l'E&P. D'une part, les deux compagnies nationales vont faire partie de la nouvelle vague de privatisations initiée par le gouvernement Balladur en 1993 dans un contexte de prix bas du pétrole et de réorientation des grandes compagnies françaises et internationales qui laissent leur place sur les zones d'activités matures du territoire français à des compagnies indépendantes cherchant à mieux valoriser les ressources. Même si des actions ponctuelles sont menées pour la promotion de la filière, l'État assume dès lors plus un rôle de gestionnaire que de catalyseur de la filière. D'autre part, la faiblesse des prix du pétrole et des niveaux d'investissement à l'échelle mondiale conduisent à un important mouvement de fusions et d'acquisitions au niveau international : BP et Amoco (1998), Exxon et Mobil (1999), Chevron et Texaco (2001), Conoco et Phillips (2002). Dans ce contexte, Total fusionne avec Fina à la fin de l'année 1998 pour former Total-Fina, puis Total-Fina-Elf début 2000 après son rapprochement avec Elf. La dénomination de Total sera reprise en 2003.

Cette logique est concomitante avec la diminution des liens capitalistiques entre les entreprises du secteur pétrolier et parapétrolier français (caractéristique alors de la filière de l'E&P en France). S'y ajoutent une restructuration du rôle des pouvoirs publics dans la filière avec la disparition du comité d'Études pétrolières et marines (CEP&M) et du fonds de soutien aux hydrocarbures (FSH). Ce mouvement de désengagement de l'État français, observé depuis les années 1990 à travers les privatisations d'Elf et de TOTAL, ne s'accompagne pas, à l'heure actuelle, d'un discours de valorisation des points forts de la filière de l'E&P : son savoir-faire technologique, sa présence à l'export et sa forte compétitivité. Dans le contexte actuel de promotion de la transition énergétique, l'État n'intègre pas la filière de l'E&P à cette problématique globale alors qu'elle a un rôle certain à jouer dans le processus de transition à l'horizon 2050, par exemple au travers de transferts technologiques, d'une utilisation propre des énergies fossiles ou encore du rôle du gaz naturel dans ce processus.

L'État a ainsi renoncé à son rôle de chef d'orchestre ou *a minima* de catalyseur de la filière de l'E&P en France depuis les années 2000, ce qui a pour conséquence actuelle une perte de la connaissance générale de l'écosystème de la filière de la part de l'ensemble de ses acteurs, y compris les acteurs industriels, et donc une moindre efficacité. En outre, la diminution de la culture pétrolière au sein de l'État peut susciter des interrogations quant à sa capacité à orienter le développement de compétences adéquates en France, pour préserver et améliorer la compétitivité de la filière. Aujourd'hui, l'implication de l'État dans la filière passe essentiellement par des participations dans certaines grandes entreprises du secteur de l'E&P *via* Bpifrance et IFP Énergies Nouvelles (comme CGG, Technip, voir Tableau 36 en annexe). Ces participations permettent de préserver un patrimoine économique issu de plusieurs décennies d'engagement dans la filière de l'E&P et de limiter les risques de rachat d'entreprises très compétitives, véritables pépites technologiques, pourvoyeuses

d'emplois sur le territoire national. La coordination au niveau national de la filière française est cependant perçue comme faible par de nombreux acteurs, qui ne peuvent s'appuyer que sur des initiatives régionales, se traduisant dans des réalisations au niveau local.

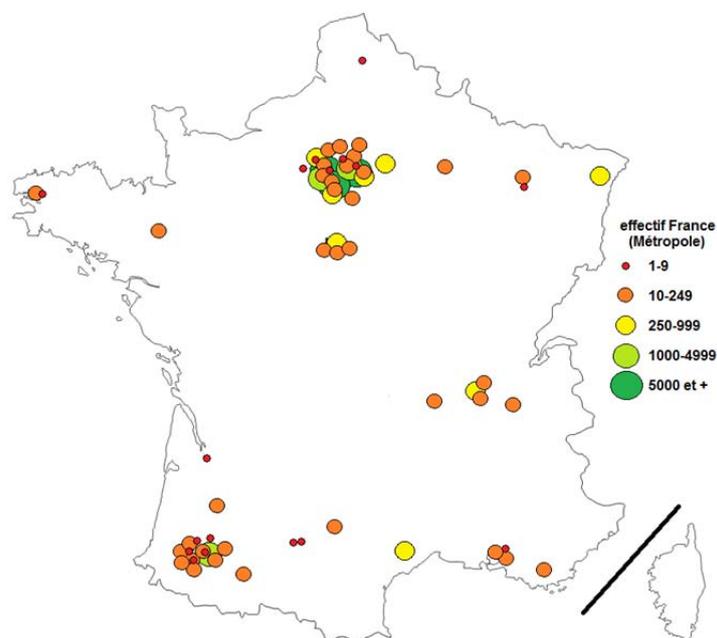
Analyse de la structuration actuelle

Les grands chiffres de la filière

Le poids économique de la filière de l'E&P dans son ensemble, comprenant les compagnies pétrolières et parapétrolières/paragazières est à la hauteur des grandes filières industrielles françaises (voir Tableau 3). Le chiffre d'affaires global de cette filière réalisé depuis la France est ainsi estimé à 35 Mds € en 2013 (voir annexe) pour 64 000 emplois en France (en incluant les activités françaises des opérateurs). La filière est composée d'une bonne centaine d'entreprises spécialisées dans ce secteur qui réalisent l'essentiel de leur chiffre d'affaires à l'export (environ 75 %) ainsi que d'un très grand nombre d'entreprises (environ 700) non-spécialistes (équipements mécaniques et électroniques, tuyauterie-robinetterie, services de maintenance...) qui effectuent en moyenne de l'ordre de 20 % de leur chiffre d'affaires sur la filière et 40 % à l'export. Du fait de l'importance des activités de la filière dans le chiffre d'affaires de ces dernières entreprises, la filière de l'E&P contribue de manière décisive à l'activité économique de ces entreprises qui génèrent au total de l'ordre de 70 Mds € d'activité et emploient de l'ordre de 150 000 personnes.

La localisation géographique de ces acteurs issue de l'enquête réalisée dans le cadre de cette étude montre qu'une large part des entreprises de la filière ont leur siège social en Île-de-France et en Aquitaine. On observe aussi une petite concentration d'acteurs en Rhône-Alpes (acteurs non-spécialistes notamment) et de façon moindre autour de Marseille, puis quelques localisations dispersées.

Figure 12 : Positionnement géographique des acteurs (et emplois) de la filière de l'E&P ayant répondu au questionnaire



Notes : localisation des sièges sociaux des sociétés déclarant un CA d'au moins 20 % dans la filière E&P. Le positionnement des entreprises n'est pas rigoureusement respecté pour des motifs de lisibilité graphique et de confidentialité.

Source : réponses à l'enquête réalisée dans le cadre de l'étude¹⁵.

¹⁵ Cette figure est donc représentative mais pas exhaustive.

Les principaux acteurs : deux champions nationaux et un secteur parapétrolier de renommée internationale

Les opérateurs de la filière de l'E&P comprennent des *leaders* mondiaux ayant des activités productrices essentiellement à l'étranger et ne conservant en France que des fonctions centrales, d'appui ou de R & D (par exemple Total E&P, Engie E&P). Un petit nombre d'indépendants répondent aux mêmes caractéristiques (Maurel & Prom, Perenco) et quelques petits opérateurs sur le sol français, étrangers et français (Vermilion REP, Lundin) viennent compléter ce paysage.

Avec un chiffre d'affaires global d'environ 190 Mds €, le groupe Total est la 5^e compagnie pétrolière et gazière internationale. Son chiffre d'affaires dans l'E&P s'élève en 2013 à environ 20 Mds € au niveau mondial (8) pour un effectif de 18 054 personnes¹⁶. Le Moyen-Orient (23 %) et l'Afrique (29 %) sont ses principales zones géographiques de production. Le chiffre d'affaires global d'Engie s'établit à plus de 90 Mds € en 2013. Le chiffre d'affaires de ses activités E&P est inférieur à 8,5 Mds €¹⁷ en 2013 avec un effectif de 1 784 personnes dont 321 en France. Le groupe intervient aussi à travers sa marque Cofely Fabricom qui réalise des prestations d'ingénierie, de construction *offshore* et de maintenance. Parmi les opérateurs indépendants, on peut citer Maurel & Prom avec un chiffre d'affaires réalisé dans l'E&P de 583 M€ en 2013 et un effectif de 411 collaborateurs. La compagnie intervient dans une douzaine de pays.

La renommée internationale et l'importance de la filière de l'E&P en France sont également liées aux nombreuses entreprises de tailles très différentes constituant le secteur parapétrolier et paragazier, présentes à toutes les étapes de la chaîne de valeur (bassins et réservoirs, puits et forages, installations de surface à terre et en mer, services transverses). Ce secteur tire son dynamisme essentiellement de sa très forte activité à l'export. Il comprend des entreprises françaises ou étrangères à forte implantation française au regard de la production d'hydrocarbures sur le sol national (par exemple CGG, Technip, Schlumberger ou Cameron).

La filière française compte de nombreux acteurs dans le domaine des géosciences (activités réservoirs¹⁸) : des bureaux d'études et de conseils, des fournisseurs de logiciels (par exemple Beicip-Franlab) et l'un des *leaders* mondiaux de la géophysique (CGG). 50 % du marché mondial de la géophysique (16 Mds \$ en 2013 (5)) étaient ainsi réalisés par deux acteurs, CGG et Schlumberger. Par ailleurs, Sercel, filiale de CGG, est *leader* des équipements de ce segment avec plus de 60 % du marché mondial.

Dans le domaine du forage (activités puits), qui est à la fois plus important (236 Mds \$ en 2013) et largement dominé par l'Amérique du Nord (plus de la moitié du marché mondial), les acteurs français sont également importants. Vallourec est ainsi un *leader* mondial sur son segment au côté d'autres acteurs sur le territoire français (par exemple Entrepose Drilling, ex-COFOR, filiale du groupe Vinci).

La construction *offshore* (partie des activités de surface), dont le marché estimé à 65 Mds \$ en 2013 est plus concentrée (70 % du CA mondial détenus par dix sociétés), compte également des implantations significatives d'entreprises *leaders* telles Subsea 7 ou Technip. La filière parapétrolière française se distingue particulièrement dans ce domaine, le chiffre d'affaires des entreprises parapétrolières et paragazières dans les activités *offshore* atteignant 45 % de l'ensemble du CA de la filière, aval compris¹⁹ (4).

Malgré le nombre important d'entreprises présentes, le secteur est fortement concentré. L'enquête du GEP-AFTP (4) montre ainsi que 80 % du chiffre d'affaires global est réalisé par 35 grandes entreprises, la part des 20 % restantes étant ventilée sur plusieurs centaines de PME-PMI dont seulement une grosse centaine ont une vocation purement parapétrolière (CA>80 %).

Une filière française exportatrice avec un marché domestique marginal

À l'inverse des États-Unis, de la Norvège et du Royaume-Uni, les activités de production sur le territoire national (ou « marché national ») ne peuvent suffire à la prospérité des entreprises françaises. Elles se sont donc historiquement positionnées sur les marchés extérieurs très concurrentiels.

La part moyenne du chiffre d'affaires à l'exportation de l'industrie parapétrolière et paragazière était de 63 % en 2013. Cette caractéristique majeure de la filière de l'E&P, à savoir son internationalisation, est également corroborée par notre enquête. Celle-ci met en lumière deux grands types d'entreprises françaises dans la filière de l'E&P : celles dont la filiale française se positionne principalement sur le marché français (45 % des entreprises de notre échantillon²⁰ réalisent moins de 20 % de leur CA à l'export) et celles qui se positionnent largement à l'export (presque 40 % des entreprises réalisent plus de 50 % de leur CA à l'export et 26 % en réalisent plus de

¹⁶ Total Factbook 2013.

¹⁷ Ce chiffre comprend en effet les activités du groupe liées au GNL. Le chiffre d'affaires réalisé sur la seule activité E&P devrait donc être largement inférieur.

¹⁸ Études géologiques, logiciels et géophysiques (y compris l'instrumentation).

¹⁹ L'aval comprend les activités de raffinage et la pétrochimie, hors du périmètre de cette étude.

²⁰ Déclarant réaliser plus de 5 % de leur CA en E&P.

80 %). En outre, près de 80 % des entreprises de notre échantillon ont au moins une implantation internationale.

Les associations professionnelles ont ainsi mis en place un ensemble de services (missions groupées dans des pays cibles, réseau) permettant d'initier des partenariats d'entreprises sur les marchés internationaux. Le GEP-AFTP œuvre ainsi au développement international de ses membres avec deux services dédiés :

- Représentation internationale : il organise chaque année le pavillon français dans les plus grandes expositions internationales dédiées au pétrole et au gaz (environ dix par an avec entre quinze et trente exposants par exposition).
- Les missions à l'étranger : elles sont organisées pour les sociétés adhérentes. Entre 2011 et 2014, environ quinze missions ont été réalisées dans des pays différents, avec une participation de quinze sociétés, en moyenne, par mission.

Les acteurs de la filière font également appel pour leurs projets à l'export aux structures généralistes d'appui à l'export telles que Business France, la Coface, le réseau de CCI France et les conseillers du Commerce extérieur de la France.

Malgré ces dispositifs, l'absence de marché national handicape les entreprises françaises dans leur conquête de marché à l'export. Contrairement à nombre de leurs concurrents, elles n'ont pas la possibilité de disposer et de développer des références sur leur territoire national.

Une diversification intrafiliale forte mais limitée vers les autres filières

L'enquête réalisée dans le cadre de l'étude montre que les entreprises sont présentes sur les différents maillons de la chaîne de valeur, à savoir exploration, développement, production et opérations et support. 60 % des entreprises interrogées interviennent ainsi sur, au moins, deux de ces segments. *A contrario*, peu d'entreprises sont présentes à la fois sur l'E&P et la géothermie ou le stockage : 84 % des entreprises présentes dans l'E&P réalisent moins de 5 % de leur chiffre d'affaires dans la géothermie et 71 % moins de 5 % de leur CA dans le stockage.

Cependant les entreprises de la filière sont également actives dans d'autres secteurs, c'est notamment le cas des entreprises non spécialisées²¹. L'enquête du GEP-AFTP (4) montre elle aussi que les entreprises étudiées ont à 50 % un savoir-faire diversifié, notamment dans les secteurs du nucléaire, de la défense et de la chimie. De plus, 47 % d'entre elles sont impliquées dans les énergies renouvelables (notamment l'éolien). La diversification du CA des entreprises de l'E&P est essentielle dans une industrie fortement contrainte par les cycles économiques. Le développement de l'interfiliales entre les filières du sous-sol profond pourrait donc également aider l'E&P.

Des acteurs en bonne santé à la mi-2014, qui ont des difficultés à recruter

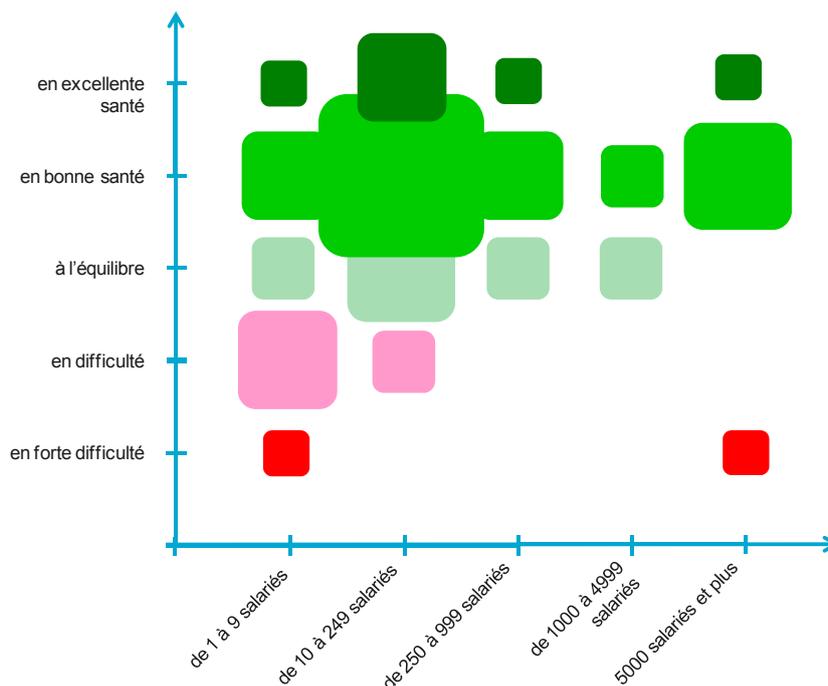
Jusqu'au premier semestre 2014, portées par le cycle de hausse des prix du pétrole depuis 2004 et par la hausse de la demande énergétique, les entreprises de la filière de l'E&P ont bénéficié d'un environnement économique porteur leur permettant d'enregistrer dans leur ensemble une situation financière solide. Plus de 80 % des acteurs de la filière française de l'E&P interrogés²² se considéraient en novembre 2014 ainsi à l'équilibre ou en bonne santé (Figure 13). Cependant, suite à la récente chute du prix du pétrole, l'hypothèse d'une forte dégradation de la santé de nombreuses entreprises peut être avancée, qu'elles soient spécialisées ou qu'elles réalisent une part significative de leur chiffre d'affaires dans les activités E&P.

Parmi les acteurs interrogés, les équipementiers se détachent particulièrement avec seulement 6 % de participants en difficulté. Cela peut s'expliquer par le fait que les équipementiers sont pour la plupart assez présents à l'international et dans la filière depuis longtemps ce qui leur apporte une certaine stabilité. Les entreprises industrielles sont en plus de cela plus rentables que leurs homologues des services. Les entretiens réalisés en parallèle de cette enquête confirmaient la bonne santé financière des acteurs mais mettaient également en avant les difficultés qu'ils rencontrent pour accroître leur taille et leurs activités. Les contraintes de financement (par exemple difficultés dans l'obtention des crédits) ont été régulièrement mises en avant lors de ces entretiens, et plus particulièrement de la part des PME, pour lesquelles ces contraintes sont des obstacles à leur croissance et au changement d'échelle.

²¹ Selon l'enquête réalisée dans le cadre de l'étude.

²² Dans le cadre de l'enquête réalisée pour notre étude.

Figure 13 : État de santé autodéclaratif des sociétés en fonction de leur taille à la mi-2014



Notes : la taille des « points » est proportionnelle au nombre de réponses. Sociétés déclarant un CA d'au moins 20 % dans la filière E&P.

Les Figure 13, 21 et 26 sont représentées avec la même échelle de concordance entre taille des points et nombre de réponses associées.

Source : réponses à l'enquête réalisée dans le cadre de l'étude mi-2014.

Jusqu'à la mi-2014, l'emploi dans la filière était dynamique : 75 % des entreprises parapétrolières et paragazières ont ainsi recruté en 2013 (4). La baisse des prix du pétrole détériorant sensiblement les perspectives économiques des acteurs de la filière, on peut au contraire s'attendre à une contraction des effectifs dans les mois à venir, comme en témoigne l'annonce réalisée par Schlumberger en janvier 2015 portant sur la suppression de 9 000 emplois dans le monde, soit près de 7 % de ses effectifs.

Le haut niveau de compétence des ressources humaines est largement reconnu par les acteurs de la filière comme un atout déterminant : c'est le cas de 75 % des entreprises interrogées. La demande de compétences est cependant contrainte sur le marché de l'emploi. En plus d'une difficulté dans la capacité à garder ces compétences sur le territoire national face à un marché international attractif en termes de carrières et de salaires, 60 % des acteurs interrogés ont identifié dans leur structure un certain manque de compétences. Ces manques sont principalement techniques et deux se distinguent plus particulièrement : la compétence en forage-puits et le technicien qualifié (Tableau 4). Ils concernent des métiers sur toute la chaîne de valeur et pour tous les niveaux d'études.

Plus généralement, le recrutement est confronté à une image à la fois négative de la filière et difficile des métiers techniques. Certaines sociétés de la filière de l'E&P réagissent à cette situation : certaines rachètent des écoles spécialisées (le groupe RAIGNEAU a ainsi acheté l'École française de forage en 2012) et des partenariats sont développés par d'autres avec des universités ou IUT de proximité.

Tableau 4 : Compétences manquantes les plus citées (rang dans les réponses)

Rang	Type de compétence	Compétence
1	Compétences techniques	Forage–Puits (chefs de chantier, opérateurs)
2		Techniciens qualifiés (au sens large)
3		Réservoir (ingénieurs)
4		Géologie
5		Production (ingénieurs, opérateurs)
6		Géophysique
7		Procédés (ingénieurs)
8	Autres compétences	Marketing–Vente
9		RH

Note : seules les neuf premières compétences sur un ensemble de dix-huit proposées sont indiquées.

Source : réponses à l'enquête réalisée dans le cadre de l'étude.

La technologie, facteur de différenciation clé pour la filière

Le positionnement technologique des acteurs de la filière de l'E&P reste l'un des atouts majeurs de la compétitivité de la filière au niveau international. Dans un contexte de faiblesse du marché intérieur, les acteurs ont ainsi dû développer des stratégies de spécialisations technologiques haut de gamme pour se démarquer de leurs concurrents et s'affirmer au niveau international. Une très large majorité des acteurs interrogés se considèrent dans le peloton de tête ou *leader* sur leurs marchés et sont donc dans l'ensemble très bien positionnés au niveau technologique. Ce positionnement est porté par des investissements conséquents en recherche et innovation : 60 % des acteurs interrogés déclarent y consacrer plus de 5 % de leur chiffre d'affaires et 45 % plus de 10 %. L'effort moyen déclaré correspond à 20 % du chiffre d'affaires.²³ Ces données sont à comparer avec, en moyenne, 20 % du CA consacré à la R & D pour la filière de la pharmacie²⁴, moins de 5 % pour la chimie lourde et la construction automobile et moins de 10 % pour la filière aéronautique.

Les acteurs considèrent par ailleurs que leur véritable force sur le plan technologique réside dans leur capacité à proposer des solutions spécifiques et adaptées aux besoins de leurs clients, par opposition à une offre plus standard sur laquelle la concurrence est forte. Une opportunité pour eux serait alors de proposer, en plus de solutions technologiques haut de gamme ou présentant un rapport coût/efficacité optimisé, des offres de gestion d'ensembles ou de sous-ensembles de projets complétant les activités des ingénieries (offres type EPC).

En plus d'outils génériques, la R & D, dans la filière de l'E&P, est soutenue par le mécanisme de financement original et privé du CITEPH du GEP-AFTP (3 en 2014²⁵) et par le rôle clé joué par les EPIC spécialisés dans ce secteur (IFPEN, Ifremer et Ineris). animateurs d'échanges intra et interfilières, ils peuvent développer la coopération en R & D sous des formes intéressantes, permettre la mutualisation des efforts de développement autour de plateformes de test et de démonstrations de technologies du sous-sol qui représentent aujourd'hui une opportunité forte.

Cependant, il faut noter qu'une opération liée au sous-sol (incluant une étape de forage) peut coûter à elle seule quelques dizaines de millions d'euros. Pour des projets de cette ampleur, le financement de démonstrateurs reste problématique.

²³ La grande différence vient des opérateurs de l'E&P qui consacrent un pourcentage plus faible à la R & D. Ce sont les sociétés de services qui investissent le plus dans la R & D et les NOC.

²⁴ La comparaison avec la pharmacie comporte des limites car les processus d'innovation et les modèles d'affaires sont très différents.

²⁵ Ce montant est à mettre en regard des montants du soutien de l'État *via* le fonds de soutien aux hydrocarbures qui étaient de l'ordre de 30 M€ au début des années 2000 dans le but de promouvoir le développement des technologies pétrolières et gazières.

Tableau 5 : Aide au financement de projets R & D dans la filière de l'E&P

Programme	Tutelle	Descriptif
CITEPH	GEP-AFTP	Ce programme mène une action volontariste de concertation et d'aide au développement de projets de recherche de l'industrie pétrolière. Le financement du CITEPH couvre 50 % des dépenses du projet. Ce financement privé est non remboursable, mais des contreparties commerciales sont consenties aux <i>sponsors</i> financeurs lors de la commercialisation.

Des initiatives de structuration essentielles et à renforcer

Les acteurs de la filière de l'E&P se fédèrent aujourd'hui autour des associations professionnelles (GEP-AFTP, UFIP) et de structures territoriales, telles que le pôle de compétitivité Avenia²⁶, ce dernier ayant un rôle transversal entre les trois filières de l'étude au niveau des géosciences, ou l'initiative RACE, portée par la CCI de Lyon. Ces structures locales sont aujourd'hui essentielles dans la mesure où ce sont des lieux de rassemblement des différents acteurs.

En comparaison des initiatives américaines, norvégiennes et japonaises de structuration des filières à l'international (*American Petroleum Institute* aux États-Unis, JOGMEC au Japon ou encore SFI en Norvège), les moyens alloués sont bien inférieurs pour les structures françaises. En outre, certains rassemblements d'acteurs, à l'image de l'API aux États-Unis, ont développé des programmes intenses de défense des intérêts de leur filière auprès des instances internationales. Il apparaît que la transformation des associations ou des entités de rencontre entre professionnels en France en organisations structurantes devrait passer par un renforcement marqué de leurs moyens.

Tableau 6 : Les initiatives pour la structuration de la filière de l'E&P

Rôle	Descriptif
Représenter et fédérer les professionnels	GEP-AFTP UFIP
Favoriser les échanges entre acteurs de la filière	GEP-AFTP : conférences scientifiques et techniques, revue « Pétrole et Gaz informations », Séminaires techniques à l'international, enquête annuelle Pôle Avenia : ateliers d'échanges, conférences, clubs, veille technologique UFIP : Information, promotion des réglementations techniques, dialogue social de la branche pétrole AFG : conférences, études et expertises, documentation technique, formation SPE France, en collaboration avec le GEP-AFTP : Conférences SPE Neopolia Oil&Gas, RACE : échanges BtoB
Promouvoir la filière à l'export	GEP-AFTP : missions groupées à l'étranger, pavillons nationaux Pôle Avenia : ateliers d'échanges et réseau RACE : construction d'offres communes, implantations locales mutualisées, partage d'agents, aide au référencement, mise en visibilité...
Soutenir la recherche	GEP-AFTP : CITEPH Pôle Avenia Alliance ANCRE IFPEN
Favoriser les échanges interfilières	Pôle Avenia pour les géosciences

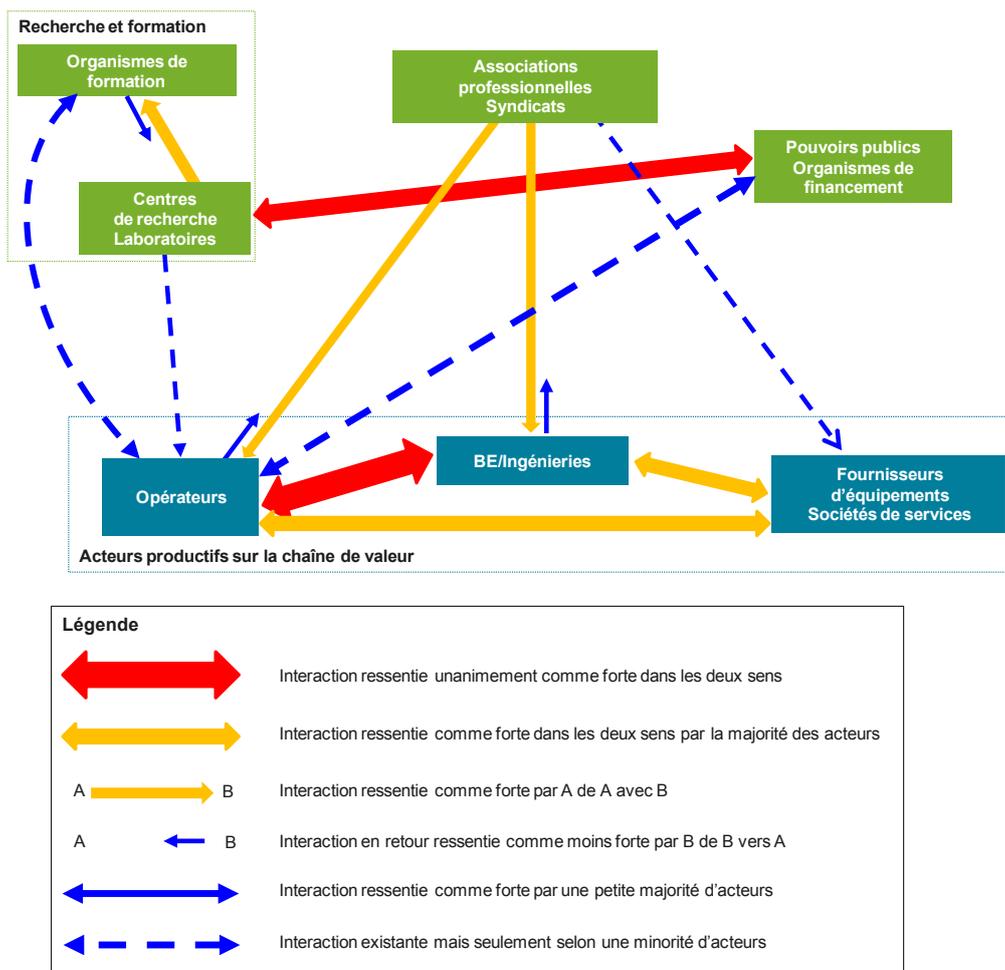
L'enquête réalisée dans le cadre de cette étude montre sans surprise que les relations entre acteurs productifs de la filière (opérateurs, ingénieries, fournisseurs d'équipements ou services) sont ressenties comme fortes par ceux-ci : la structuration économique de la filière est en effet bien réelle et présente un niveau d'activité élevé (Figure 14). La relation entre opérateurs et ingénieries et bureaux d'études est privilégiée et passe en partie par l'importance de la relation contractuelle entre ces acteurs pour toutes les phases de développement et d'opérations des projets. Les ingénieries et les bureaux d'études vont alors jouer le rôle de chevilles ouvrières et d'intégrateurs, en particulier vis-à-vis des fournisseurs d'équipements et de services. Les fournisseurs d'équipements ont enfin le double objectif de maintenir des relations fortes avec les opérateurs pour être référencés par ceux-ci et avec les ingénieries pour espérer pouvoir accéder aux appels d'offres et aux marchés.

²⁶ Ou de manière moins spécifique à la filière les pôles de compétitivité Mer Méditerranée, Bretagne et le pôle Risques.

Les interactions entre les opérateurs d'un côté et les pouvoirs publics et les centres de recherche et de formation de l'autre sont *a contrario* ressenties comme plus mesurées. L'abandon progressif de l'implication de l'État dans l'animation et le soutien de la filière et l'importance des activités à l'export des acteurs de la filière explique en partie cela. Le vide laissé par l'État a été partiellement comblé par les initiatives locales. Les pouvoirs publics nationaux conservent cependant un rôle primordial dans la filière, notamment au travers de la dimension réglementaire. Sur ce sujet, en parallèle d'une forte demande de stabilité du Code minier et d'une visibilité sur les conditions d'application des dispositifs réglementaires, les acteurs de la filière interrogés soulignent le caractère contraignant des procédures administratives auxquelles ils sont soumis. Certains dispositifs mis en place, notamment le Crédit Impôt Recherche sont en revanche reconnus comme efficaces pour remettre l'innovation et la recherche dans les priorités des acteurs productifs et maintenir les activités concernées en France.

Enfin, des dissymétries apparaissent dans la perception des interactions entre centres de recherche et de formation et les relations entre associations professionnelles et acteurs productifs. Si les associations professionnelles considèrent qu'elles ont des relations fortes avec les acteurs productifs, notamment les opérateurs et les bureaux d'études-ingénieries, ces derniers ressentent des interactions plus mesurées.

Figure 14 : Relations d'interactions ressenties par les acteurs de la filière E&P



*Note : relations d'interactions exprimées par les acteurs de la filière de l'E&P réalisant plus de 50 % de leur chiffre d'affaires sur la filière.
Source : réponses à l'enquête réalisée dans le cadre de l'étude.*

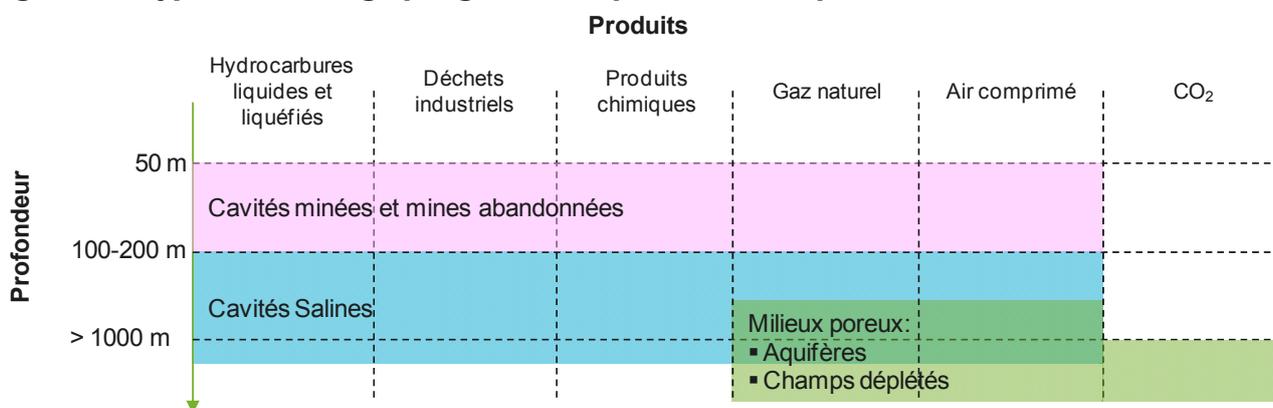
Conclusion

ATOUTS	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> Filière d'excellence : compétences, formation, recherche Haut positionnement technologique notamment grâce au dispositif du Crédit Impôt Recherche Capacité à fournir des solutions technologiques spécifiques Présence sur l'ensemble des maillons de la chaîne de valeur Entreprises tournées vers l'international Bonne santé financière en septembre 2014 Présence de <i>leaders</i> mondiaux et de PME innovantes 	<ul style="list-style-type: none"> Difficultés à recruter et à former Peu de synergies interfilières exploitées Filière comportant un grand nombre de PME et peu d'ETI Faiblesse du marché français et manque de références sur le sol national Faibles interactions entre organismes structurants et acteurs productifs Financement de la croissance des PME difficile Complexité des contraintes administratives
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> Marchés à l'export Marchés haut de gamme comprenant de la conception, management d'ensembles ou de sous-ensembles de projets (aller vers l'EPC ou la fourniture d'une prestation globale déterminée) 	<ul style="list-style-type: none"> Image négative de la filière et difficile acceptabilité sociétale des activités Perception de la compatibilité avec la politique de transition énergétique Prix du baril bas et cyclicité des marchés Financement des projets de démonstration de R & D (cadre administratif, montants)

LES FILIÈRES DE STOCKAGE

Les produits énergétiques stockés à grande profondeur sont aujourd'hui très majoritairement les hydrocarbures, et plus spécialement le gaz naturel, alors que de nouveaux marchés émergent pour d'autres produits comme le CO₂ ou l'air comprimé (ce dernier est hors périmètre de l'étude). À grande profondeur, ces produits sont stockés dans des cavités salines, des aquifères profonds et des champs déplétés d'hydrocarbures²⁷ (Figure 15).

Figure 15 : Types de stockage par gamme de profondeur et produits concernés



Note : les gammes de profondeur sont mentionnées à titre indicatif.

Éléments de contexte

Le stockage d'hydrocarbures, une solution d'ajustement de l'offre et de la demande aux enjeux multiples

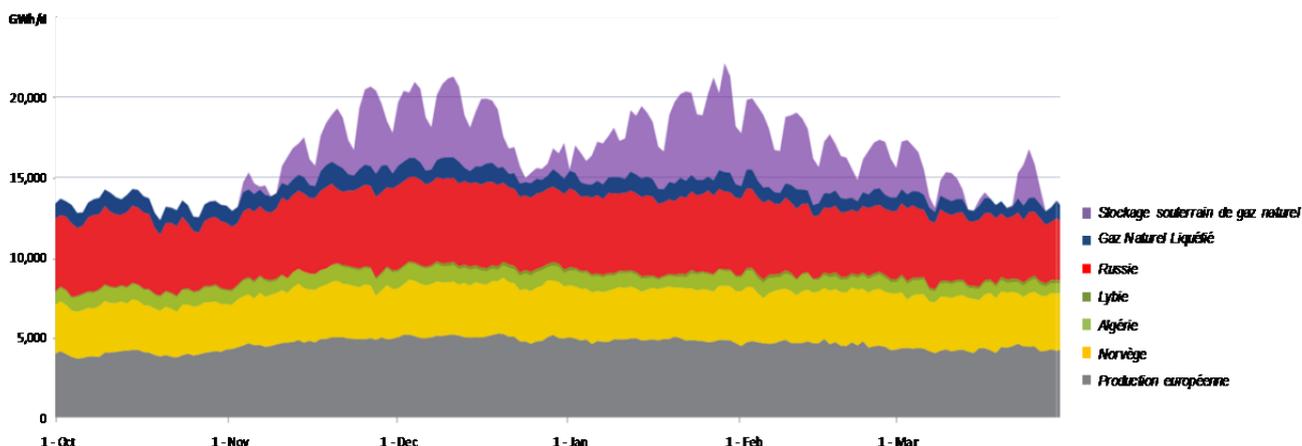
Le rôle principal du stockage d'hydrocarbures est de permettre un ajustement de l'offre et de la demande. Les enjeux liés à cet ajustement se déclinent de la manière suivante :

- Assurer une sécurité de l'approvisionnement énergétique, par exemple en cas de défaillance des pays fournisseurs ou d'accident sur l'infrastructure d'approvisionnement²⁸ (stockages stratégiques) ;
- Assurer l'équilibrage physique du réseau de transport, dans le cas du gaz naturel (outil d'optimisation de la gestion du réseau) ;
- Répondre aux besoins de modulations saisonnières, journalières et horaires entre offre et demande permettant de combler les déséquilibres entre les approvisionnements, relativement constants, et les consommations, qui peuvent fortement varier (stockages saisonniers et d'écrêtage de pointes de consommation, Figure 16) ;
- Offrir une contrepartie physique dans les échanges virtuels de contrats de fourniture de gaz naturel (outil de marché et de *trading*).

²⁷ Anciens champs d'hydrocarbures maintenant épuisés.

²⁸ Dans le cas des produits pétroliers (essences, distillats et fiouls lourds), le stockage contribue ainsi au dispositif permettant de répondre aux obligations en matière de stocks stratégiques de l'AIE.

Figure 16 : Profil de l’approvisionnement européen de gaz naturel durant l’hiver 2013-2014



Source : ENTSOG (9).

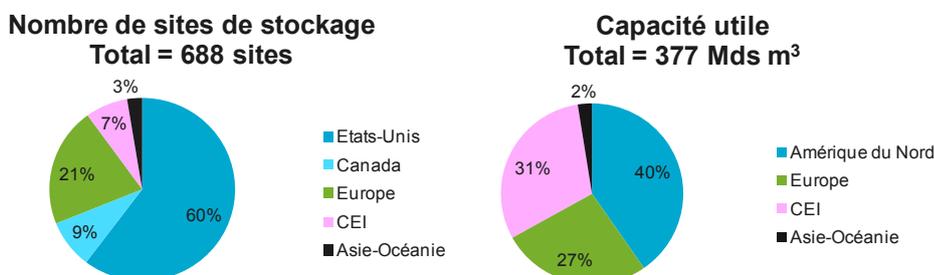
Les trois premiers enjeux liés au stockage peuvent être qualifiés d’enjeux logistiques dans la mesure où ils concernent des ajustements physiques d’offre et de consommation. Le dernier enjeu est un enjeu de marché ; il s’inscrit dans un contexte de libéralisation des marchés de l’énergie (voir annexe pour le cas de l’Europe). Ce contexte de libéralisation a en particulier fait passer le stockage souterrain de gaz naturel d’une activité à dominante logistique à une logique de marché en Europe.

Un marché du stockage de gaz naturel stagnant dans les zones matures, émergent en Asie

Les principaux marchés du stockage de gaz naturel sont aujourd’hui situés dans les zones dans lesquelles l’économie gazière est considérée comme mature : Amérique du Nord, Europe et Communauté des États indépendants (CEI) principalement. Ces trois régions totalisaient, en 2013, 98 % de la capacité utile de stockage dans le monde (Figure 17). Sur ces marchés, le stockage de gaz naturel doit aujourd’hui répondre à des besoins en flexibilité accrus, à une demande de gaz incertaine, et à une reconfiguration des échanges et/ou de la production de gaz naturel. Ces facteurs font que le stockage de gaz naturel devrait faire face à une stagnation en termes de volume, ou encore à une reconfiguration dans les prochaines années.

L’essentiel de la croissance de ce marché devrait provenir d’Asie, où l’augmentation de la consommation de gaz naturel induit un fort besoin en infrastructures gazières. La Chine se démarque avec des projets de stockages de gaz naturel ambitieux devant répondre à l’augmentation rapide de sa consommation. À titre d’illustration, le ratio entre la capacité utile de stockage et la consommation est en effet de 5 % en Chine alors qu’il se situe autour de 20 % dans les trois principales zones où le stockage est très développé.

Figure 17 : Répartition en 2013 par région du monde des sites de stockage (gauche) et de la capacité utile de stockage de gaz naturel (droite)

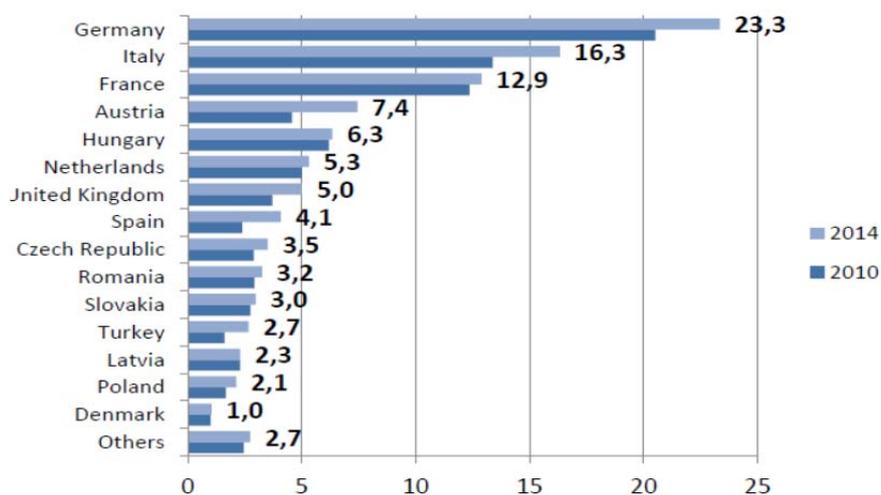


Source : Cedigaz (10).

La France, un acteur européen majeur du stockage de gaz naturel

La France est, avec l'Allemagne et l'Italie, dans le peloton de tête des pays européens en matière de capacité utile de stockage (Figure 18). Celle-ci est composée de 11 Mds de m³ en nappes aquifères, d'un Md de m³ en cavités salines et de 2 Mds de m³ pour le seul site de stockage en champ déplété français²⁹. Au total, la capacité utile de stockage représente 26 % de la consommation annuelle française. En plus de cela, la France compte un site de stockage souterrain de produits pétroliers en cavité saline, à Manosque. Les limites techniques des stockages en aquifère (débit et remplissage) rendent cet outil moins performant dans le contexte actuel et ont conduit à mettre certains stockages sous cocon en France.

Figure 18 : Capacité utile maximum de stockage de gaz en Europe par pays (Mds m³)



Source : Cedigaz (11).

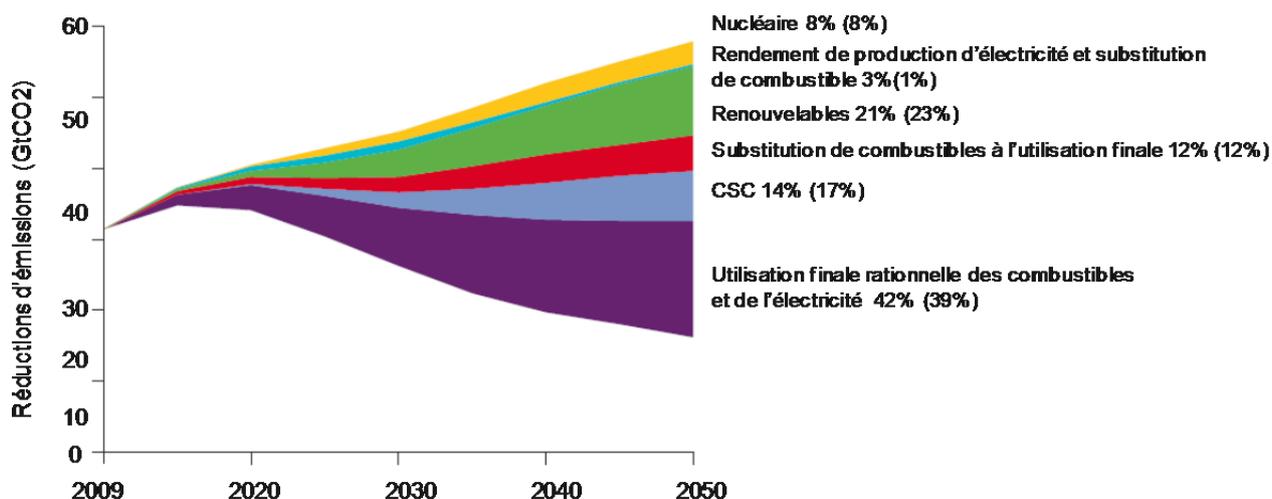
Le stockage souterrain de gaz naturel en France est opéré à 80 % par Storengy (filiale d'Engie), qui exploite 14 sites. Les deux sites restants sont opérés par Transport Infrastructures Gaz France (TIGF). Les stockages se situent majoritairement autour du Bassin parisien, dans la vallée du Rhône et dans le Sud-Ouest.

Le stockage du CO₂ : une filière au potentiel important mais encore naissante

Le stockage géologique du CO₂ est l'un des moyens pour réduire les émissions anthropogéniques de gaz à effets de serre dans l'atmosphère et ainsi lutter contre le changement climatique. Tous les scénarios de réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale mettent en avant une contribution majeure du captage et stockage du CO₂ (CSC) dans l'effort de réduction permettant d'atteindre les objectifs de limitation de la hausse de la température. L'AIE estime que cette contribution devrait être de 17 % en 2050 pour limiter la hausse de la température à 2°C. (Figure 19). Pour atteindre cet objectif, des investissements de 3 600 Mds \$ seraient nécessaires d'ici à 2050.

²⁹ Voir annexe.

Figure 19 : Réductions des émissions de gaz à effet de serre à horizon 2050 par type de technologie



Note : réductions d'émissions en 2050 dans le scénario 2DS limitant la hausse de la température à 2°C par rapport au scénario tendanciel 6DS. Les nombres entre parenthèses sont les parts en 2050. Par exemple, 14 % est la contribution du CSC dans les réductions cumulées d'ici à 2050, 17 % est la part du CSC dans les réductions d'émissions en 2050.
Source : AIE. (12)

En conséquence, cette filière bénéficie depuis plusieurs années d'un important effort de recherche et de développement et les premiers sites commerciaux commencent à être opérationnels. Sur la période 2007 à 2012, les dépenses cumulées pour les projets de démonstration ont ainsi atteint environ 10,2 Mds \$ (12).

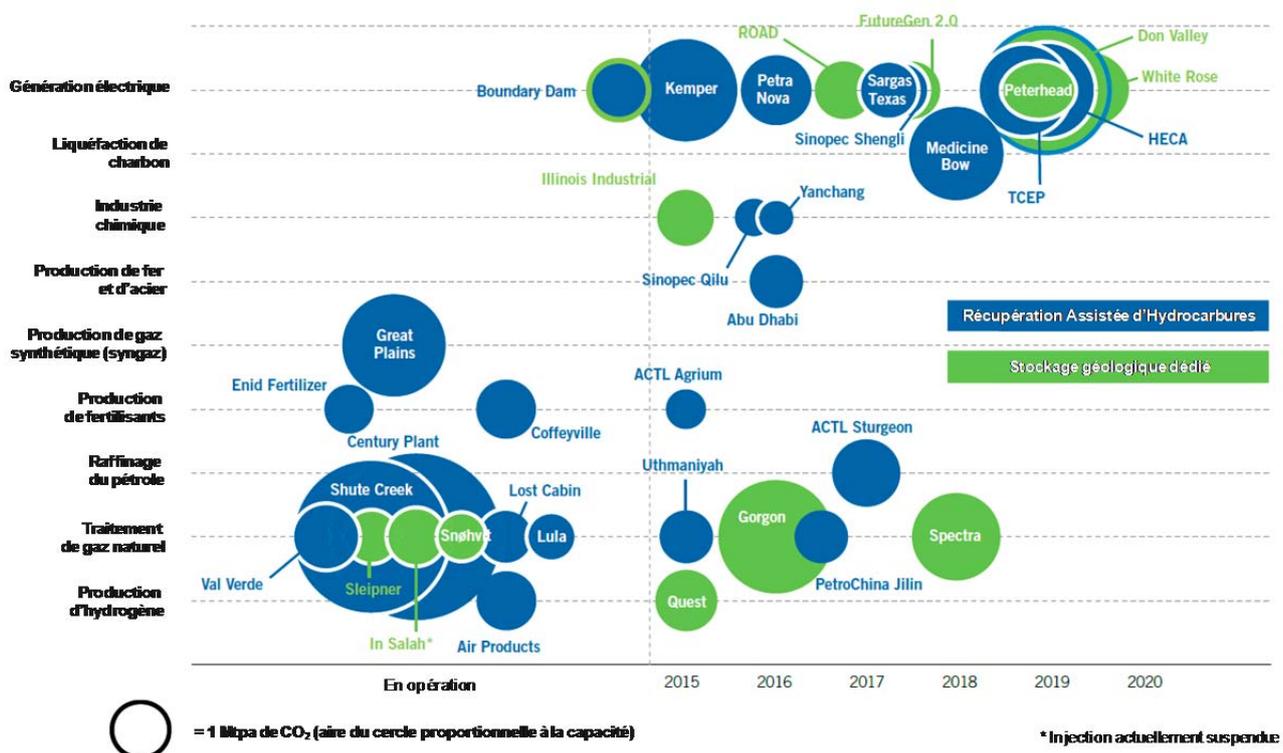
Elle reste néanmoins une filière naissante aujourd'hui et dépendante de l'émergence de modèles d'affaires et de rémunération, du développement des technologies du CSC, de l'acceptabilité sociétale et de décisions politiques à venir³⁰. La situation européenne montre ainsi le caractère difficile du lancement de la filière. Le fonds démonstrateur NER 300 de l'Union européenne – un des fonds démonstrateurs les plus importants au monde – ne connaît pas encore le succès espéré : seul un projet a été sélectionné au cours des deux appels à projets du fonds alors que l'objectif initial visait dix à douze projets(13). Ces dernières années ont par ailleurs vu un nombre élevé de projets avortés, avec en particulier douze projets pour l'année 2013 (14). Plusieurs projets de démonstration restent cependant d'actualité en Europe. Ainsi, outre le projet ROAD (Rotterdam Opslag and Afvang Demonstratie) issu d'un partenariat commercial entre E On et Engie, on peut citer les projets britanniques White Rose, Peterhead et Don Valley. Le Club CO₂ répertorie trois projets pilotes en France portant sur le stockage géologique du CO₂ dont deux projets intégrés. Parmi ceux-ci, seul le projet de Lacq-Rousse (opérateur TOTAL) a vu le jour et est actuellement en phase de surveillance postinjection. Porté par ArcelorMittal, le projet TGR-BF dont la phase un a été réalisée et la phase deux abandonnée (Projet ULCOS) et qui aurait dû être la réalisation du démonstrateur.

Le principal verrou identifié à l'heure actuelle est celui des modèles d'affaires qui restent fragiles sans un prix du CO₂ supérieur à 50 €/t. L'échec du NER 300 peut ainsi être attribué principalement à la chute des prix du CO₂³¹ : les prix du CO₂ actuels (7-8 €/t_{CO2e}) restent trop faibles au regard des coûts engendrés par les activités de captage, le transport et le stockage (40-50 €/MWh pour une centrale à charbon et de 80-110 €/MWh pour une centrale à gaz(15)).

³⁰ Ces décisions incluent notamment le devenir du système européen d'échange de quotas d'émission (EU ETS) et les engagements des États à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre (GES). Ces engagements seront vraisemblablement revus à la suite des négociations lors de la COP-21 qui aura lieu en 2015 à Paris.

³¹ Le fonds NER 300 devait être alimenté par la vente aux enchères de quotas d'émission.

Figure 20 : Cartographie des projets de CSC dans le monde par industrie et par type de stockage



Source : Global CCS Institute(14).

Les différentes dispositions réglementaires sont aujourd'hui en place pour permettre le déploiement de la filière. De ce point de vue, l'obligation d'assurer la surveillance des sites pendant une période minimale de 20 ans et l'assurance à prendre par l'opérateur pour couvrir les risques de fuite émergent comme une barrière pour les opérateurs potentiels de sites de stockage et contribuent à expliquer en partie le faible nombre d'opérateurs déclarés au niveau européen. Le financement des coûts d'exploration en aquifères pose par ailleurs quelques questions³². Un fonds de garantie similaire au cas de la géothermie serait une solution, mais la prise en charge des coûts et la provenance des financements à destination d'un tel fonds resteraient à définir.

La Figure 20 illustre l'interaction positive qui existe entre le développement des technologies de CSC et l'existence d'une industrie pétrolière active : en effet, les plus gros volumes de projets réalisés dans le monde concernent les projets de CSC s'appuyant sur une valorisation du CO₂ dans le cadre de projets de récupération assistée d'hydrocarbures.

Un marché potentiel du stockage du CO₂ limité en France justifiant l'export

Même si la France est relativement peu émettrice de CO₂ en comparaison de ses voisins européens, des sources industrielles concentrées, énergétiques et non énergétiques, pourraient faire l'objet d'un captage des émissions(16). Ces sources représentent environ 19 % des émissions de CO₂ en France. Elles sont cependant de petite taille, nécessitent des infrastructures de collecte et l'économie de tels projets n'est pas vérifiée. Parmi les scénarios de réduction des émissions du secteur industriel français, les plus ambitieux mentionnent que l'accès à des sites de stockage pour un volume cumulé entre 2020 et 2050 d'un milliard de tonnes de CO₂ serait nécessaire³³. La France présente par ailleurs peu de zones géographiques favorables au stockage souterrain du CO₂ qui permettent d'envisager un développement massif de la filière sur la seule base du marché français³⁴.

³² Le risque géologique est plus faible pour le stockage en champs déplétés. Néanmoins, l'utilisation de ce type de stockage devrait rester marginale dans le cadre d'un déploiement du CSC à échelle industrielle.

³³ Soit un volume de 10 km³ ou un volume de 10 km par 10 km sur une épaisseur de 100 mètres.

³⁴ Quelques champs déplétés existent mais restent éloignés des sites émetteurs de CO₂ et aucun site n'est identifié en mer.

Analyse de la structuration actuelle

Les grands chiffres des filières de stockage

Le stockage d'hydrocarbures représente en France un chiffre d'affaires de l'ordre de 1,3 milliard d'euros et emploie directement plus de 1 000 personnes. Ce chiffre correspond aux chiffres d'affaires cumulés des deux opérateurs sur le territoire national ainsi que de Géostock et leurs effectifs en France. La part des autres structures dans le chiffre d'affaires de la filière reste faible et limitée par les investissements effectués par les opérateurs (441 M€ en 2013).

Cette filière est également présente à l'international. Storengy et Géostock réalisent ainsi une part significative de leur chiffre d'affaires à l'étranger : Allemagne pour Géostock *via* sa filiale UGS, et Amérique du Nord, Allemagne, Royaume-Uni pour Storengy.

La filière du stockage de CO₂ en France se résume aujourd'hui à des activités de recherche et de développement. La seule activité de développement du stockage de CO₂ à ce jour en France reste celle du pilote de Lacq – aujourd'hui terminée – dont le budget était de l'ordre de 100 M€. À plus long terme, et même si cela reste très prospectif, l'activité de stockage de CO₂ pourrait capter une partie des 240 M€ estimés actuellement comme étant la taille du marché créé par le fait d'équiper les 41 sites émettant plus de 0,9 MtCO₂/an(17).

Une filière française du stockage d'hydrocarbures dominée par quelques acteurs

La filière du stockage d'hydrocarbures comporte un faible nombre d'acteurs. Si trente et une réponses de structures concernées par cette filière ont été enregistrées au travers de l'enquête réalisée dans le cadre de l'étude, seules quatre structures réalisent plus de 50 % de leur chiffre d'affaires dans cette filière. Elle est organisée autour des acteurs pivots que sont les deux opérateurs des sites de stockage existants en France (Storengy et TIGF), ainsi que d'une société d'ingénierie et de services à l'exploitation spécialisée dans le domaine du stockage géologique (Géostock). Les deux principaux foreurs français (Entrepose Drilling et SMP) viennent compléter ce paysage.

Ces acteurs pivots sont adossés à de grands groupes (Engie pour Storengy, Vinci pour Géostock), ce qui garantit, pour les opérateurs, un accès aux ressources financières nécessaires au développement de projets. Cet aspect favorise également les échanges interfilières à la fois au niveau des compétences et des ressources humaines. Ainsi, Storengy peut par exemple mobiliser l'expertise développée dans l'E&P du groupe. Dans le même temps, Engie E&P fait parfois appel aux ressources humaines de Storengy lorsque ses activités exigent une main d'œuvre qualifiée manquante. Les deux opérateurs sont par ailleurs intégrés et fonctionnent de manière relativement autonome, étant capables de mener l'ensemble des étapes d'un projet, depuis les études de réservoir jusqu'au développement puis l'opération des sites.

Les acteurs pivots de cette filière disposent d'une compétence forte relative aux phases de développement de projets et qui est alimentée par les retours d'expérience de l'exploitation de ces sites. Cette particularité est propre aux acteurs français et joue un rôle différenciant sur les marchés à l'export. L'activité d'exploitation des sites existants de stockage protège par ailleurs partiellement certains acteurs des cycles variables de l'activité de développement de nouveaux sites. Ceci n'est pas le cas pour les principaux concurrents étrangers qui ne sont présents que sur certains maillons de la chaîne de valeur (par exemple les sociétés d'ingénierie « pure »). L'exploitation des sites génère enfin des revenus récurrents vers l'ingénierie, la R & D, créant une forme de « boucle vertueuse technologique ». L'activité d'exploitation fait en revanche ressortir une difficulté dans les conditions d'application du cadre réglementaire et la complexité des procédures administratives, commune à l'ensemble des filières de l'étude. La variabilité régionale du traitement des dossiers, l'incertitude entourant les délais d'obtention des permis ainsi que la multiplication des obligations réglementaires sont ici jugées comme des freins aux activités de ces sociétés.

Ces acteurs pivots sont enfin des acteurs de référence dans leur domaine : Storengy est le second opérateur européen en termes de capacité de stockage, avec une activité d'exploitant en Allemagne et au Royaume-Uni, et Géostock est impliqué dans des projets dans vingt-six pays, avec seulement deux véritables concurrents internationaux. Storengy a par ailleurs acquis une expertise forte en matière de stockage en nappes aquifères et en cavités salines, étant la première à avoir développé ces types de stockages en Europe dans les années 1950 et 1970 respectivement. Aujourd'hui, elle exporte ses compétences en Chine, en Inde et en Amérique du Nord : des contrats ont par exemple été obtenus pour des études de faisabilité en Chine avec PetroChina, en Inde avec Gujarat State Petroleum.

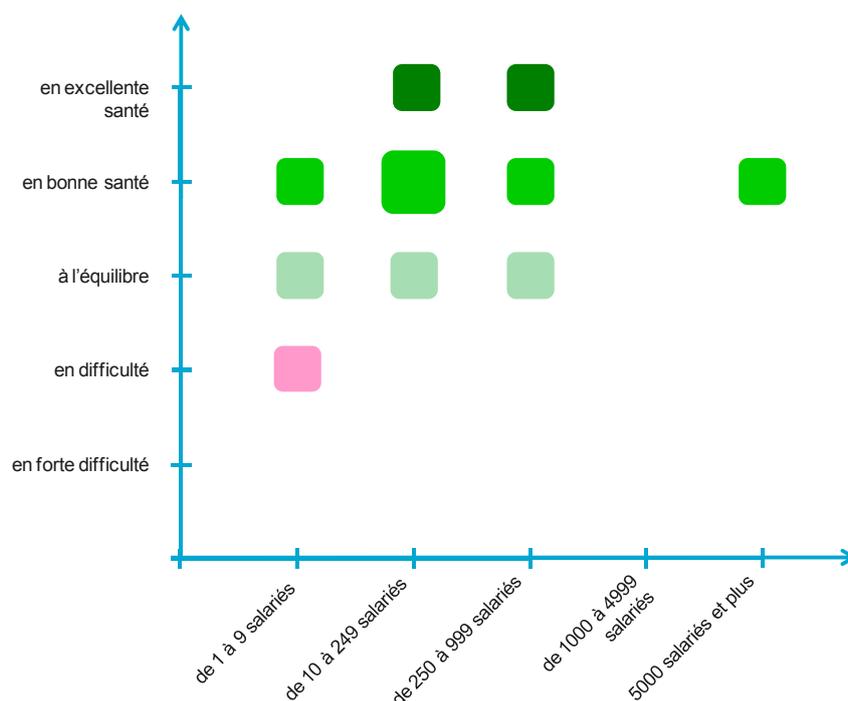
Peu de sociétés de biens et de services sont spécialisées dans cette filière, la plupart proposant leurs produits et services à d'autres secteurs. L'excellence technologique qui les caractérise constitue pour elles un moyen de

diversification interfilières. Ainsi, l'excellence technologique, la capacité d'intégrateur et l'expérience en matière d'exploitation font des acteurs pivots français des acteurs de référence à l'échelle internationale.

Des acteurs en bonne santé dans un marché difficile

Les acteurs de la filière du stockage interrogés, en novembre 2014, ont déclaré majoritairement être en bonne santé économique (Figure 21). Cependant, la tendance d'évolution à cinq ans est plus pessimiste, et plus particulièrement pour les opérateurs. Les perspectives du marché gazier européen – diminution des écarts de prix été-hiver, baisse de la consommation européenne—alimentent ce constat.

Figure 21 : État de santé autodéclaratif des sociétés en fonction de leur taille



Notes : la taille des « points » est proportionnelle au nombre de réponses. Sociétés déclarant un CA d'au moins 20 % dans la filière stockage.

Les figures 13, 21 et 26 sont représentées avec la même échelle de concordance entre taille des points et nombre de réponses associées.

Source : réponses à l'enquête réalisée dans le cadre de l'étude mi 2014.

Initiatives de structuration de la filière du stockage de gaz naturel en France

Les initiatives de structuration de la filière du stockage de gaz naturel en France se concentrent autour des activités de l'Association française du Gaz (AFG). Cette association regroupe les intérêts de l'industrie du gaz en France et possède donc un champ d'action plus large que le seul secteur du stockage. Elle propose des formations aux professionnels du secteur via le CFAFG.

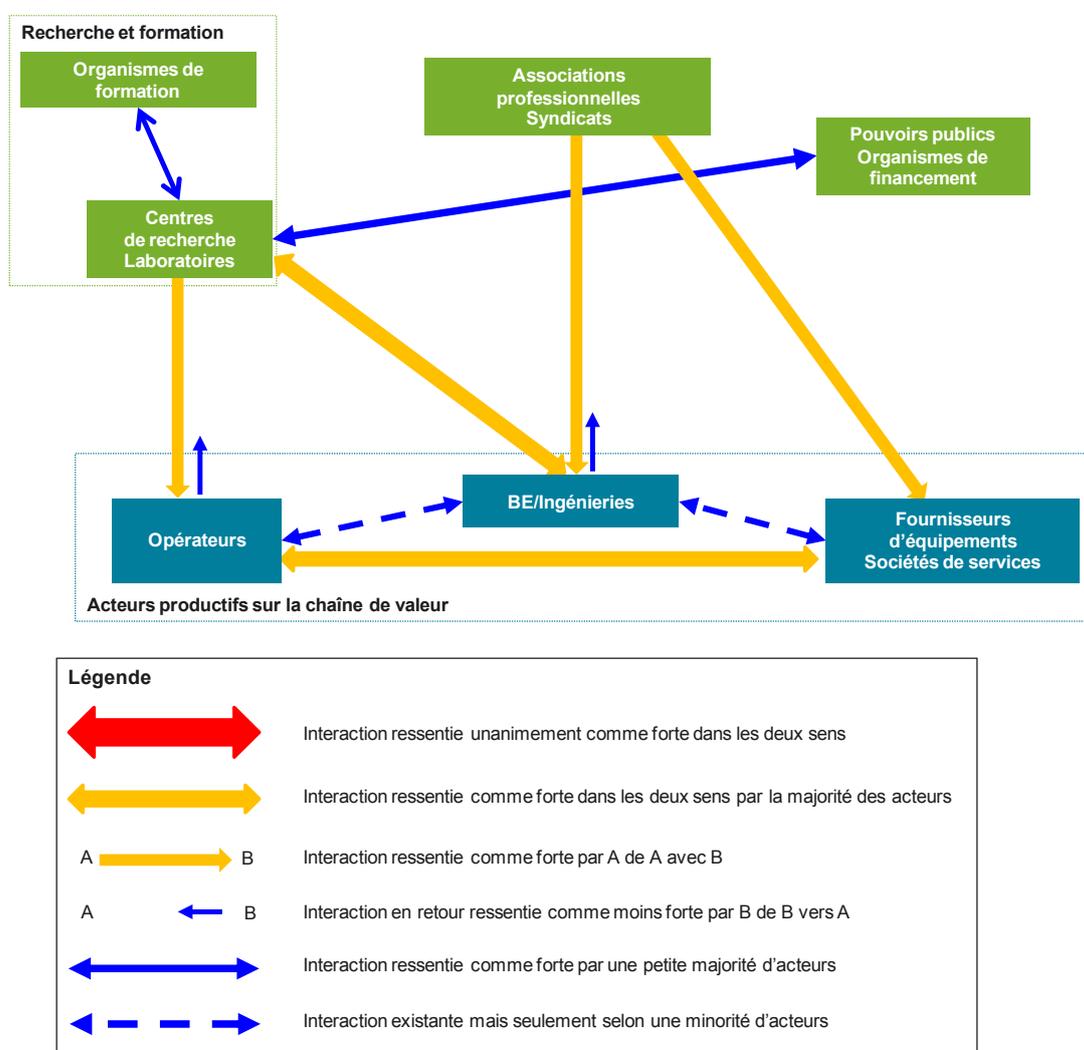
La filière du stockage de gaz naturel est donc intégrée dans la filière plus large du gaz en France et à ce titre ne possède pas de dispositifs structurants spécifiques en lien avec la recherche et la formation. Cette filière n'en demeure pas moins innovante grâce à des acteurs technologiquement avancés et des initiatives de la filière du gaz, menées entre autres par l'AFG.

Tableau 7 : Initiatives de structuration de la filière du stockage géologique de gaz naturel en France

Type	Descriptif
Représenter et fédérer les professionnels	Association française du gaz (AFG)
Formation intrafiliaire	AFG compétences et formations (CFAFG)

Les structures productives sur la chaîne de valeur du stockage de gaz ressentent uniquement des interactions faibles avec les éléments structurants de la filière et seuls les opérateurs et fournisseurs d'équipements décrivent une forte interaction mutuelle. Cela confirme que les opérateurs qui sont TIGF et Storengy ont développé une compétence intégrée sur l'ensemble de la chaîne de valeur (de l'exploration à l'exploitation des sites) et ont peu d'échanges avec des structures autres que leur maison mère et certains fournisseurs d'équipements et de services. Les principaux éléments structurants de la filière sont les associations de professionnels et les centres de recherche alors que les organismes de formation et les pouvoirs publics sont plus en retrait et n'ont pas d'interaction directe avec les acteurs productifs.

Figure 22 : Relations d'interactions ressenties par les acteurs de la filière de stockage du gaz naturel



Note : relations d'interactions exprimées par les acteurs des filières de stockage réalisant plus de 20 % de leur chiffre d'affaires sur la filière.

Source : réponses à l'enquête réalisée dans le cadre de l'étude.

Une filière française du stockage de CO₂ regroupant des acteurs aux compétences complémentaires et reconnues

Le stockage de CO₂ requiert l'intégration de compétences et de technologies existantes et maîtrisées par les acteurs français de l'E&P et du stockage. Ces compétences et technologies sont reconnues comme étant de haut niveau en France, notamment grâce à des acteurs productifs et académiques de premier plan : Total, Engie, Schlumberger, Alstom, des instituts de recherche et de formation (le BRGM, IFPEN, Ineris, CNRS et universités). En ce sens, le paysage français en matière de compétences et de techniques est parmi les plus riches au monde : il serait ainsi comparable aux *leaders* mondiaux que sont l'Allemagne, l'Australie, les États-Unis, le Canada, la Norvège, le Royaume-Uni et les Pays-Bas.

La profession dans son ensemble s'estime donc prête, en France, aux premières réalisations à grande échelle du stockage géologique du CO₂, son déploiement plus large étant conditionné par la constitution de ces références.

Les compétences françaises se retrouvent dans une approche transversale, des réservoirs aux installations de surface, grâce à l'implication d'opérateurs pétroliers et gaziers comme Engie ou Total. Elles se trouvent également de manière plus spécialisée sur la filière du stockage du CO₂ grâce à des PME et ETI comme Geogreen, Oxand, Setaram ou, dans le domaine des puits, Entrepose Drilling.

Stockage de CO₂ : des activités de recherche nombreuses bénéficiant d'un soutien public fort

Sur les dernières années, l'organisation de la recherche sur le stockage de CO₂ s'est appuyée sur les principaux organismes de recherche, aidés par des financements ANR et Ademe, et sur des initiatives de formation. L'activité de recherche a ainsi été soutenue avec, à titre d'illustration, 35 projets de R & D sur le CSC financés par l'Ademe entre 2001 et 2014 pour un budget total de 25 M€. Les Investissements d'avenir et le programme « Démonstrateurs et plateformes technologiques en énergies renouvelables, décarbonées et chimie verte » ont permis de financer un pilote de captage en postcombustion sur une centrale à charbon et deux études amont de projets de démonstrateurs de recherche sur le stockage pour un budget total de 105 M€. Enfin, la chaire d'enseignement et de recherche « Captage, Transport et Stockage du CO₂ » vient de terminer sa période de dotation initiale en 2014 après cinq ans d'activités(18).

D'autres acteurs industriels sont également actifs sur la recherche en lien avec le CSC mais ne travaillent pas spécifiquement sur le sujet du stockage de CO₂, étant plus orientés vers le captage et le transport du CO₂. Alstom et EDF sont ainsi actifs sur la filière du captage du CO₂³⁵ et Air Liquide est présent plus spécifiquement sur le captage et le transport du CO₂.

En dehors des initiatives de recherche conjointe et de partage de connaissances, les acteurs français du stockage géologique de CO₂ sont aujourd'hui principalement regroupés au sein du Club CO₂ piloté par l'Ademe. Il regroupe 30 acteurs du monde industriel et de la recherche pour permettre une meilleure organisation des actions françaises dans le domaine du captage, transport, stockage géologique et valorisation du CO₂.

Tableau 8 : Initiatives de structuration de la filière du stockage de CO₂ en France

Type	Descriptif
Impulser et soutenir la structuration	Feuille de route Ademe sur le captage, le transport, le stockage géologique et la valorisation du CO ₂ (16)
Représenter et fédérer les professionnels	Club CO ₂
Mettre en relation les acteurs entre eux et émergence de projets collaboratifs	Pôle de compétitivité Avenia, pôle RISQUES
Promouvoir la filière à l'export	Pôle AVENIA : ateliers d'échanges et réseau
Rapprocher la recherche et les industries	Géodénergies, EPIC (BRGM, IFPEN, ANCRE, Ineris, etc.)
Soutenir la recherche	Pôle Avenia
Favoriser les échanges interfilières	Pôle Avenia pour les géosciences

³⁵ Notamment *via* le pilote de captage de CO₂ sur le site de la centrale thermique à charbon du Havre d'EDF.

Présence des acteurs français du stockage de CO₂ à l'international

Les deux grands opérateurs de la filière de l'E&P française sont présents à l'international via des projets de recherche. Ils participent au financement ou à la conduite de ces projets portant soit sur l'ensemble de la chaîne de valeur du CSC (captage, transport et stockage) comme dans le cas du projet BigCCS réunissant Total et Engie aux côtés d'autres opérateurs étrangers (Statoil, Shell, Conoco Phillips, etc.) ; soit sur un aspect plus particulier du CSC : le captage, le transport ou le stockage de CO₂. La plupart des projets de recherche pour le CSC dans lesquels les acteurs français sont présents se situent en Europe et bénéficient des programmes de financement européens FP7 et maintenant H2020. Parmi les principaux projets on peut citer Cato2 qui prévoit l'injection de CO₂ par Engie sur le site de K12-B, ROAD, ou encore le groupe France ECCSEL qui réunit différents organismes de recherche et des industriels sous la coordination du BRGM.

Conclusion

Stockage d'hydrocarbures

ATOUTS	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none">• Acteurs pivots couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur, adossés à de grandes entreprises• Acteurs pivots parmi les <i>leaders</i> mondiaux de leurs activités• Entreprises en bonne santé financière• Bonne capacité d'intégrateur technologique, avantage compétitif des retours d'exploitation• Compétences de haute qualité	<ul style="list-style-type: none">• Conditions d'applications du cadre réglementaire : variabilité régionale du traitement des dossiers, délais d'obtention des permis, complexité des procédures• Compétence particulièrement forte sur le stockage en aquifère qui présente des perspectives de marché plus limitées
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none">• Diversification vers d'autres filières pour les fournisseurs de biens et de services : E&P, géothermie• Conquête de marchés dynamiques : Asie principalement	<ul style="list-style-type: none">• Marchés français et européen peu dynamiques menaçant les perspectives d'activité des opérateurs

Stockage de CO₂

ATOUTS	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none">• Compétences de haute qualité, reconnues au niveau international• Bonne capacité d'intégration technologique des acteurs de la filière• Complémentarité de grands groupes et de structures de plus petite taille couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur• Soutien important à la recherche et au développement, bonne collaboration entre acteurs	<ul style="list-style-type: none">• Faible marché potentiel en France• Modèle économique de la filière incertain et rentabilité négative avec des prix bas du CO₂• Peu de démonstration ou référence existante sur le sol français.
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none">• Positionnement sur des marchés porteurs à l'export	<ul style="list-style-type: none">• Une acceptabilité sociale fragile sur le territoire national et à l'international

LA FILIÈRE DE LA GÉOTHERMIE PROFONDE

La géothermie profonde regroupe trois types de réservoirs géothermiques :

- Les réservoirs situés dans des couches géologiques poreuses horizontales. On qualifie souvent cette géothermie de géothermie à basse température (30°C.-90°C.). Elle vise la valorisation directe, ou *via* des pompes à chaleur, de la chaleur extraite de ces réservoirs profonds (500-2500 mètres) ;
- Les réservoirs en milieu fracturé de type bassin d'effondrement (ou parfois nommé graben). On qualifie souvent cette géothermie de géothermie à moyenne température (90°C.-150°C.). Elle vise l'exploitation des fluides des réservoirs pour des usages thermiques et/ou pour de la production d'électricité ;
- Les réservoirs en milieu fracturé de type volcanique. On qualifie souvent cette géothermie de géothermie à haute température (>150°C.). Elle vise en général la production d'électricité grâce au mélange eau-vapeur prélevé dans les réservoirs.

La géothermie EGS³⁶ est une technologie qui a été développée dans les réservoirs fracturés situés dans des grabens. Elle a consisté dans un premier temps à améliorer en stimulant par voie hydraulique et/ou chimique les réservoirs pour augmenter la perméabilité de la connexion du puits à son réservoir. Cette technologie est également à l'étude pour améliorer les connexions puits/réservoirs en milieu volcanique et même la perméabilité de certains réservoirs situés en milieu fracturé. Ce dernier développement de la technologie EGS est aujourd'hui de l'ordre de la recherche.

Les géothermies basse, moyenne et haute températures décrites ci-dessus valorisent des ressources qualifiées de « conventionnelles » caractérisées par de bonnes perméabilités.

Éléments de contexte

Un marché de faible taille avec des niveaux de maturité variables

Maîtrisée depuis plus d'un siècle, la production d'électricité par géothermie est devenue significative à partir du milieu des années 1970. Elle représente aujourd'hui une capacité installée de plus de 12 GW dans 23 pays. La majorité des sites de production sont localisés en contexte volcanique (géothermie haute température) à quelques exceptions près.

Le CA mondial du secteur industriel géothermique est estimé à 3,5 Mds \$ en 2013, et donc faible par rapport à celui de l'E&P. Les géothermies visant la valorisation de ressources conventionnelles (géothermies basse, moyenne et haute températures) sont matures sur les plans technologique et industriel. Elles comprennent de nombreuses entreprises actives sur plusieurs segments de production mais très peu sont intégrées verticalement (Figure 23). Celles qui le sont, ont souvent des activités dans d'autres secteurs, comme l'E&P (Chevron) ou la production d'électricité conventionnelle (Enel). Le développement industriel des technologies EGS est quant à lui en cours, ne laissant pas apparaître, pour l'instant, de *leader* industriel.

Figure 23 : Structure de l'industrie géothermique mondiale

STADE DE DÉVELOPPEMENT						
Étude préliminaire ->	Exploration ->	Forages d'essai ->	Développement ->	Engénierie ->	Construction ->	E&M
par ex. : Chevron (États-Unis), Enel (Italie)						
par ex. : CFE (Mexique), EDC (Philippines)				par ex. : Power Eng (États-Unis), Mannvit / Verkis (Islande)	par ex. : Mitsubishi, Fuji, Toshiba (Japon), UTC Power (États-Unis/Italie), Alstom (France)	par ex. : CFE, EDC
par ex. : West-JEC (Japon), Geo-t (Allemagne), SKM (Nouvelle-Zélande), GeothermEx (États-Unis), ISOR (Islande)		par ex. : ThermaSource (États-Unis), Baker Drilling (États-Unis), Iceland Drilling Co. (Islande)		par ex. : Ormat (Israël, États-Unis)		
par ex. : Reykjavik Energy (Islande), PT Pertamina (Indonésie)						

Source : ESMAP(19).

³⁶ Enhanced ou Engineered Geothermal Systems. La géothermie profonde des réservoirs fracturés, encore appelée principe des Systèmes Géothermiques Stimulés (EGS), vise à capter des fluides géothermiques présents dans des réservoirs naturellement fracturés, (Source : AFPD).

Un marché français de la haute énergie et de l'EGS naissant, s'appuyant sur des références marquantes en haute énergie, et un marché de la basse énergie en croissance

La France se place au 20^e rang des producteurs mondiaux d'électricité par géothermie. Le pays possède néanmoins une place à part parmi les producteurs d'électricité d'origine géothermique en raison de ses deux centrales pilotes :

- Centrale de Bouillante (14,5 MW, Guadeloupe) : elle est la seule centrale en fonctionnement dans les Caraïbes, zone de contexte volcanique où le potentiel est important ;
- Centrale de Soultz-sous-Forêts (1,5 MW, Alsace) : elle est pionnière pour avoir démontré la faisabilité de la production d'électricité hors contexte volcanique (réservoir faillé de type graben) en développant la technologie dite EGS.

Figure 24 : Production géothermique d'électricité (gauche) et de chaleur par usage direct (droite) dans le monde en 2014



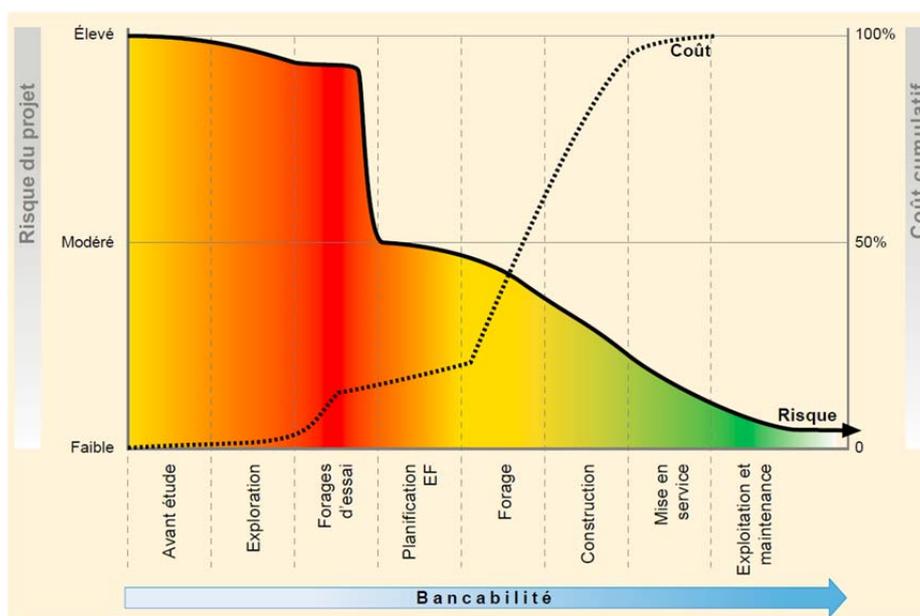
- **Feuille de route 2011 de l'Ademe pour la géothermie (20)** : réalisée à l'initiative de l'Ademe avec le concours des professionnels, elle présente le déploiement de la filière de la géothermie d'ici à 2050, ses principaux verrous et les priorités de recherche et de démonstration associées.
- **La loi de transition énergétique pour la croissance verte** : Le projet de loi de transition énergétique pour la croissance verte présenté le 18 juin 2014 au Conseil des ministres a été voté le 22 juillet 2015 en dernière lecture par l'Assemblée nationale. Les principaux éléments favorables au développement de la géothermie sont les suivants : augmentation de la part d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie ; autonomie énergétique des départements d'outre-mer.

Afin d'accélérer la mise en œuvre de la future loi de transition énergétique pour la croissance verte, les travaux de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) ont été lancés début mars 2015. La PPE va permettre de décliner de façon opérationnelle les orientations de la politique énergétique fixées par le projet de loi. Celle-ci sera présentée au Parlement d'ici la fin de l'année 2015 et traitera de toutes les énergies. La géothermie est l'un des sujets étudiés.

Un modèle économique caractérisé par un besoin d'équilibre entre risques et rentabilité, supporté par de nombreux mécanismes

Les technologies modernes d'exploration ont considérablement progressé mais il est toujours difficile, notamment dans des réservoirs de moyenne ou haute température, de prédire exactement la profondeur d'un réservoir ou le débit des puits forés. Des chiffres précis ne peuvent être obtenus qu'après le forage de puits d'essai et, à terme, de puits de production (Figure 25). Ces incertitudes, désignées par le terme de « risque géologique », sont partagées par l'ensemble des filières du sous-sol et nécessitent des mécanismes de couverture. Si dans le cas de l'E&P, le rendement potentiel du capital investi est en général suffisamment élevé pour attirer des investisseurs privés prêts à endosser ce risque, le rendement potentiel du capital investi dans le développement géothermique est moindre : l'électricité et la chaleur ont une valeur moindre que les hydrocarbures en regard des investissements, elles ne s'exportent pas, sont en général vendues à un prix réglementé ou négocié à l'avance (donc assuré). Le retour sur investissement est bien plus faible que celui des projets de l'E&P.

Figure 25 : Échelle de risque d'un projet géothermique en milieu volcanique



Source : ESMAP(19).

Afin de couvrir ce risque en moyenne et haute températures et d'inciter les porteurs de projets, le tarif de rachat de l'électricité produite par géothermie a été fixé aujourd'hui à 140 €/MWh en DROM³⁸, à 210 €/MWh en métropole et à 250 €/MWh lors de production conjointe d'électricité et de chaleur. Ce tarif, comme tous les tarifs d'obligation d'achat des énergies renouvelables, est en cours de refonte pour se conformer aux directives

³⁸ Départements et régions d'outre-mer.

européennes. Des échanges entre les pouvoirs publics et les acteurs de la filière sont en cours pour la définition d'un nouveau tarif au 1^{er} janvier 2016.

Malgré ces tarifs de rachat incitatifs, les opérateurs ont d'importantes difficultés pour mobiliser des bailleurs de fonds sans que ceux-ci ne réclament une prime élevée au regard des risques encourus. Plusieurs raisons additionnelles peuvent être évoquées(19) :

- Un investissement de départ important, difficilement surmontable pour certains donneurs d'ordres³⁹ : environ 30 millions d'euros pour une centrale haute température de 20 MW(21) et 4 à 5 M€ pour un premier puits d'un doublet au Dogger ;
- Jusqu'à présent, un faible nombre d'opérations de géothermie à des fins de production, ne fournissant donc pas de base statistique suffisante pour évaluer les probabilités de succès ;
- Des durées d'investissement longues (cinq à dix ans sont nécessaires pour l'achèvement complet d'un projet).

Afin de soutenir le développement de la géothermie, un large éventail de leviers financiers a été mis en place. Il comprend des leviers directs à travers des subventions (fonds chaleur) et participations (par exemple de la CDC⁴⁰) mais aussi des leviers indirects comme des fonds de garantie contre le risque géologique (SAF Environnement, GEODEEP en cours de montage). Ces leviers sont complétés par la possibilité de bénéficier d'une TVA attractive (5,5 %) pour les réseaux de chaleur alimentés à plus de 50 % par les énergies renouvelables (voir annexe).

Une filière bénéficiant d'une image favorable mais confrontée à des problématiques d'acceptabilité

La géothermie est considérée (à juste titre) par les Français comme une énergie renouvelable et bénéficie à ce titre d'une image favorable du grand public (22). Cette perception est renforcée par les différentes communications à son sujet. Néanmoins, la géothermie, au même titre que les autres types d'exploitations du sous-sol, souffre de difficultés liées à son acceptabilité sociétale pour la filière de l'EGS.

La sismicité liée aux travaux dans les puits, en particulier de stimulation hydraulique comme dans le cas de Bâle (Suisse)⁴¹, ou le soulèvement de terrain dans le cas de Landau (Allemagne), sont les principaux risques perçus par les différentes parties prenantes (collectivités, riverains, associations, etc.) des projets de géothermie profonde dans les formations peu prospectées jusqu'à aujourd'hui comme les bassins d'effondrement.

Les opérations de stimulation nécessaires au développement de puits sont très souvent amalgamées par les mêmes parties prenantes à des opérations de fracturation hydraulique utilisées pour l'exploitation des gaz et huile de roche-mère, comme l'a montré en 2013 la question prioritaire de constitutionnalité déposée par la société Schuepbach Energy sur l'interdiction de la fracturation hydraulique (23). Les différences sont minimes et portent principalement sur les volumes mis en jeu. Par exemple, dans sa proposition de loi, l'Allemagne ne distingue en rien la fracturation hydraulique utilisée pour les hydrocarbures ou la géothermie

Cependant, des facteurs locaux facilitent la réalisation de projets, dont en particulier :

- Une histoire locale en exploitation du sous-sol comme les Pyrénées-Atlantiques ou l'Alsace ;
- Un projet dans lequel des organismes publics ou assimilés sont partenaires ou acteurs (exemple du pilote de Soultz-sous-Forêts). Pour les projets portés par des acteurs privés, un fort contenu local ainsi qu'une décentralisation des responsabilités sont des atouts ;
- Un projet dont les bénéfices sont directement visibles par les riverains, en particulier au travers d'un chauffage économique avec un impact positif sur la facture de chauffage des utilisateurs ou la mise en place d'une redevance d'exploitation.

Ils sont aujourd'hui pris en compte par les entités qui les portent. Par ailleurs, ils mobilisent en particulier les donneurs d'ordres, et plus spécialement les collectivités locales comme en Île-de-France où leur implication constitue un des piliers du développement de la géothermie, ou encore les foreurs dont certains ont mis en place des bonnes pratiques afin de diminuer les désagréments pouvant résulter de leur activité.

³⁹Les donneurs d'ordres dans le cas de la géothermie basse température sont généralement des collectivités locales qui assurent la maîtrise d'ouvrage et parfois l'exploitation des installations.

⁴⁰ Caisse des dépôts et des consignations.

⁴¹ « Bâle enterre son projet de géothermie la mort dans l'âme », Le Temps, 11 décembre 2009.

Analyse de la structuration actuelle

Les grands chiffres de la filière

Le chiffre d'affaires total de la filière est estimé à 177 M€ (en 2014, source Ademe). Sur ce chiffre d'affaires, 70 % sont générés par l'activité basse température sur aquifères profonds et 30 % par les activités de moyenne et haute températures (24). La filière emploie directement 1 320 personnes en 2014, tant en investissement qu'en production et maintenance.

Une filière constituée d'acteurs complémentaires couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur

Les acteurs français sont aujourd'hui en mesure de couvrir l'ensemble des maillons de la chaîne de valeur pour les différents types de géothermie.

Les opérateurs sont les acteurs clés du développement de la filière et sont souvent spécialisés en fonction des usages de la géothermie (utilisation directe de la chaleur ou production d'électricité). Les principaux acteurs – qui sont aussi les acteurs historiques – présentent un fort contenu régional et sont adossés à de grands groupes, même si de nouveaux entrants apparaissent grâce au soutien dont bénéficie la filière.

Parmi les opérateurs assurant la maîtrise d'œuvre et l'exploitation de centrales géothermiques moyenne et haute températures, on compte ainsi le groupe Engie, dont les activités sont avancées en Indonésie, avec trois prospects en cours de développement, et naissantes dans les Caraïbes avec un projet envisagé sur l'île de la Dominique. Géothermie Bouillante, filiale du BRGM, exploite la seule centrale géothermique haute température en Guadeloupe et le groupe Électricité de Strasbourg, capitalisant sur l'expérience du pilote de Soultz-sous-Forêts, développe des projets en Alsace et valorise sa compétence (via sa filiale ES Géothermie). Enfin, tant sur la géothermie haute température que sur la technologie EGS, de nouveaux acteurs ont acquis des permis exclusifs de recherches sur le sol français (Électerre de France, Fonroche, Moore Géothermie, Géopétrol). Les entreprises françaises bénéficient aujourd'hui de l'expérience acquise grâce au pilote scientifique EGS de Soultz-sous-Forêts. Il leur a en effet permis de faire reconnaître leur expertise au niveau international, expertise qui sert à leur développement à l'export⁴². Les technologies EGS doivent aider à produire de l'électricité géothermale en France hors du seul contexte volcanique qui est essentiellement concentré sur les départements et régions d'outre-mer (DROM). Les réservoirs-cibles potentiels, sont situés dans des granites ou des grès profonds sous une épaisse couverture sédimentaire. Ces zones à potentiel sont particulièrement nombreuses sur les continents, notamment en Europe.

La géothermie basse température concerne quant à elle des sociétés de services énergétiques dont une partie de l'activité s'adresse à l'exploitation de réseaux de chaleur (par exemple Cofely Services, filiale d'Engie, Dalkia, filiale d'EDF, Coriance ou IDEX). La quasi-totalité de l'activité de ces acteurs est localisée sur le sol français, même si quelques exemples à l'export existent (réalisation par Cofely Services du réseau de chaleur géothermique de Southampton au Royaume-Uni).

Les donneurs d'ordres sont par ailleurs différents dans la filière de la géothermie et incluent en particulier des collectivités locales. Le fort contenu régional des opérateurs trouve ici son explication ; si c'est effectivement un atout pour développer leurs activités, ils sont en revanche confrontés à une certaine méconnaissance de ce type d'énergie de la part de leurs clients potentiels qu'ils doivent sensibiliser en conséquence. Dans les nouvelles zones explorées, l'administration ne possède parfois pas non plus, les compétences nécessaires pour instruire efficacement les demandes de permis. Les opérateurs signalent ainsi un traitement hétérogène de leur dossier en fonction du niveau de compétence de l'Administration. Enfin, si le cadre réglementaire⁴³ est jugé de manière positive par la majorité des acteurs, ses conditions d'application (délais d'obtention des permis, complexité et superposition des procédures) le sont moins dans le cas notamment des géothermies à moyenne et à haute températures.

En géothermie de moyenne et haute températures, ce paysage est complété par des fournisseurs de biens et de services aux tailles et compétences variées. Pour les installations de surface, Alstom fait ainsi partie des entreprises mondiales *leaders* pour la fourniture de turbines et la construction de centrales électriques, avec des références en Indonésie, au Mexique et en Nouvelle-Zélande. Les entreprises françaises axées sur les activités du sous-sol, complémentaires aux activités d'Alstom, ont, semble-t-il, bénéficié du développement de cette dernière, comme ce fut le cas pour CFG Services à Lahendong (Indonésie). Les activités de puits (forage) sont couvertes par Entreprose Drilling (ex-COFOR, filiale du groupe Vinci), dont l'activité de géothermie en France a dépassé l'activité E&P en chiffre d'affaires en 2013, ou par SMP (Société de maintenance pétrolière).

⁴² Les actions du *cluster* GEODEEP vont dans ce sens.

⁴³ Sur ce point, les démarches liées à la géothermie basse température diffèrent légèrement de celles appliquées aux autres types de géothermies.

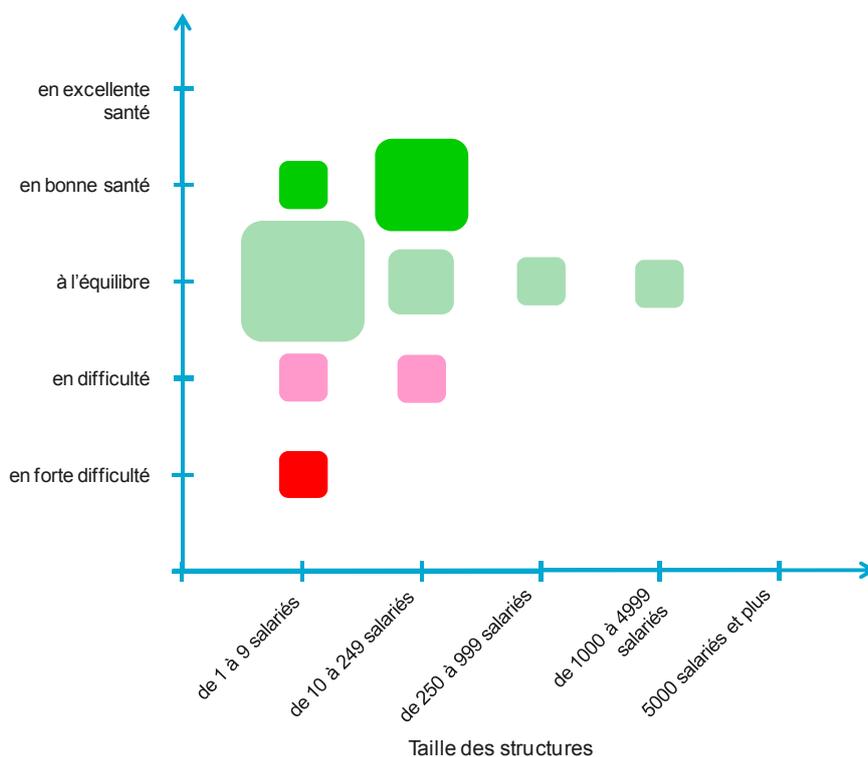
L'enquête réalisée dans le cadre de cette étude montre une filière très largement composée de structures générant de petits chiffres d'affaires (<2 M€) et un effectif moyen mondial inférieur à dix employés. Parmi les entreprises ayant répondu à l'enquête, la majorité a plus de cinq ans d'ancienneté dans la filière et ce sont celles qui génèrent proportionnellement les chiffres d'affaires les plus importants. On observe deux générations d'entreprises : une partie est plutôt jeune (moins de cinq ans d'ancienneté), l'autre est constituée des acteurs historiques toujours présents sur le marché. Les différentes phases de dynamisme de la filière peuvent expliquer cette observation.

Si les acteurs des filières de l'E&P et du stockage de CO₂ sont peu actifs dans la géothermie (moins d'un acteur sur dix), la réciproque est plus modérée : environ un quart des acteurs interrogés positionnés sur la géothermie ont une activité dans l'E&P ou le stockage. Le stockage de gaz en aquifères présente de fortes interactions techniques avec la géothermie. L'activité récente de Storengy, un des principaux acteurs du stockage de gaz, en matière de géothermie peut en témoigner⁴⁴. Enfin, si des références sur le sol national existent et font la réputation de la filière française en EGS et en haute température, les transferts de technologie depuis la filière de l'E&P sont l'une des priorités de la filière de la géothermie et constituent une source d'opportunités.

Des acteurs en bonne santé et en demande de compétences

L'enquête menée dans le cadre de cette étude montre que les entreprises qui y ont répondu affichent une bonne santé économique et de bonnes perspectives d'évolution à cinq ans. À l'inverse des autres filières de l'étude, cette bonne santé est en partie soutenue par des mécanismes d'aide et une fiscalité incitative, ce qui n'est pas le cas pour les équipementiers qui apparaissent donc les plus en difficulté. Ainsi, un tiers des structures déclarent bénéficier de mécanismes de soutien, dont l'éventail (leviers financiers propres au développement des énergies renouvelables) est par ailleurs plus large que pour les autres filières.

Figure 26 : État de santé autodéclaratif des sociétés en fonction de leur taille



Notes : la taille des « points » est proportionnelle au nombre de réponses. Sociétés déclarant un CA d'au moins 20 % dans la filière de la géothermie.

Les figures 13, 21 et 26 sont représentées avec la même échelle de concordance entre taille des points et nombre de réponses associées.

Source : réponses à l'enquête réalisée dans le cadre de l'étude, mi2014.

⁴⁴ Réalisation du doublet au Dogger d'Arcueil-Gentilly, membre du consortium pour la réalisation du projet Village Nature à Marne-La-Vallée, dépôt en cours d'une demande d'un permis de recherches basse température centré sur la ville de Mulhouse.

Étant en développement, la filière de la géothermie profonde fait état d'un besoin en compétences, essentiellement techniques, et ce même si les ressources humaines sont considérées comme un atout de la filière. Plus spécifiquement, la compétence en ingénierie de forage et de puits domine largement dans les compétences demandées, devant les techniques et professions qualifiées qui font également partie des compétences rares. Les compétences liées au forage (rig manager, foreur, assistant foreur) semblent en effet manquer à toutes les filières mais cette difficulté est renforcée en géothermie en raison notamment de la forte concurrence de l'E&P. Cette dernière offrant des salaires élevés, la géothermie peine à conserver ses compétences.

L'université de Neuchâtel, en Suisse, est la seule université dans le monde francophone européen à proposer une formation initiale en géothermie via un master en hydrogéologie et géothermie. Soutenue par des acteurs privés, cette formation initiale en deux ans, permet aux étudiants d'opter pour une spécialisation en géothermie en deuxième année. Malgré cette formation dont la création est récente (2007), la compétence sous-sol la moins disponible est celle de responsable de conduite de projets de géothermie profonde.

La culture géothermique est également trop souvent absente chez les professionnels qui interviennent sur les projets de géothermie. Pour pallier ce manque, ES Géothermie est partenaire d'un dispositif de formation professionnelle mis en place par l'EOST de Strasbourg dont la première session a été lancée en janvier 2015 : Diplôme universitaire (DU) « gestion de projets de géothermie » avec l'École nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg (ENGEES).

Des relations qui se développent dans une filière en cours de structuration

Le développement de la filière de la géothermie s'est accompagné de différentes actions de structuration suivant différents axes : impulsion de la structuration, représentation et fédération des acteurs, mise en relation des acteurs, rapprochement recherche-industrie.

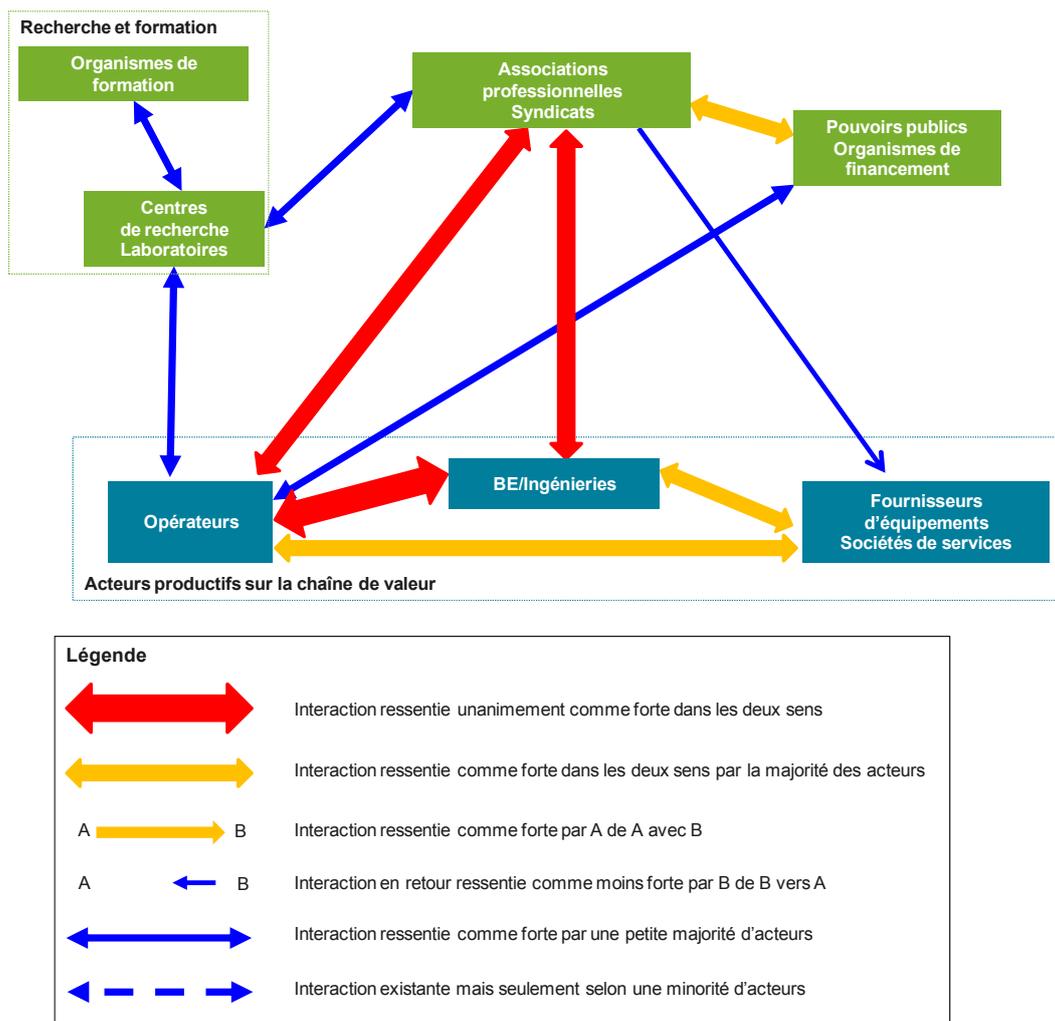
Tableau 9 : Initiatives de structuration de la filière de la géothermie en France

Rôle	Descriptif
Impulser et soutenir la structuration	Contrat Cadre et conventions annuelles Ademe-BRGM
Représenter et fédérer les professionnels	AFPG SER
Mettre en relation les acteurs entre eux et faire émerger des projets collaboratifs	Pôle de compétitivité Avenia Pôle de compétitivité FIBRES Énergivie Pôle de compétitivité Capénergies
Promouvoir la filière à l'export	Pôle Avenia : ateliers d'échanges et réseau
Mutualiser des compétences pour une offre française globale	Cluster GEODEEP
Rapprocher la recherche et les industries	GIS Géodernégies LabEx G-Eau-Thermie profonde et Chaire industrielle EOST
Soutenir la recherche	Pôle Avenia Alliance ANCRE
Favoriser les échanges interfilières	Pôle Avenia pour les géosciences

La structuration de la filière (qualité, formation, innovation, présence à l'international) reste une des priorités de l'accord cadre Ademe-BRGM signé le 9 janvier 2015. La représentation des professionnels de la filière est assurée au travers de deux structures : la commission géothermie du SER et l'AFPG. Les pôles (Avenia, Fibres Énergivie et l'association Synergile adossée au pôle Capénergies) favorisent la mise en relation des acteurs. Ils ont en particulier permis les études pour le test d'interférence sur le site de Soultz-sous-Forêts (pôle Avenia), ou la labellisation du projet de démonstrateur industriel Écogi (pôle Fibres Énergies). Enfin, trois structures visent à rapprocher les acteurs de la recherche et de l'industrie : Géodénergies, LabEx G-Eau-Thermie profonde et chaire industrielle ES/EOST.

Ces initiatives conduisent à renforcer les interactions entre les acteurs, encore assez peu nombreux, de la filière. De ce point de vue, la géothermie profonde témoigne d'un fonctionnement assez fluide et structuré, avec une véritable dynamique nationale (Figure 27). Les interactions entre les acteurs productifs et certains organismes structurants (associations professionnelles et syndicats) sont ainsi fortes et aucune interaction ne semble faire état d'une dissymétrie. Finalement, les organismes de formation et les fournisseurs d'équipements et de services sont les plus éloignés des axes de relation principaux au sein de la filière

Figure 27 : Relations d'interactions ressenties par les acteurs de la filière de la géothermie



Note : relations d'interactions exprimées par les acteurs de la filière de la géothermie profonde réalisant plus de 50 % de leur chiffre d'affaires dans la filière.

Source : réponses à l'enquête réalisée dans le cadre de l'étude.

Une organisation à l'export naissante

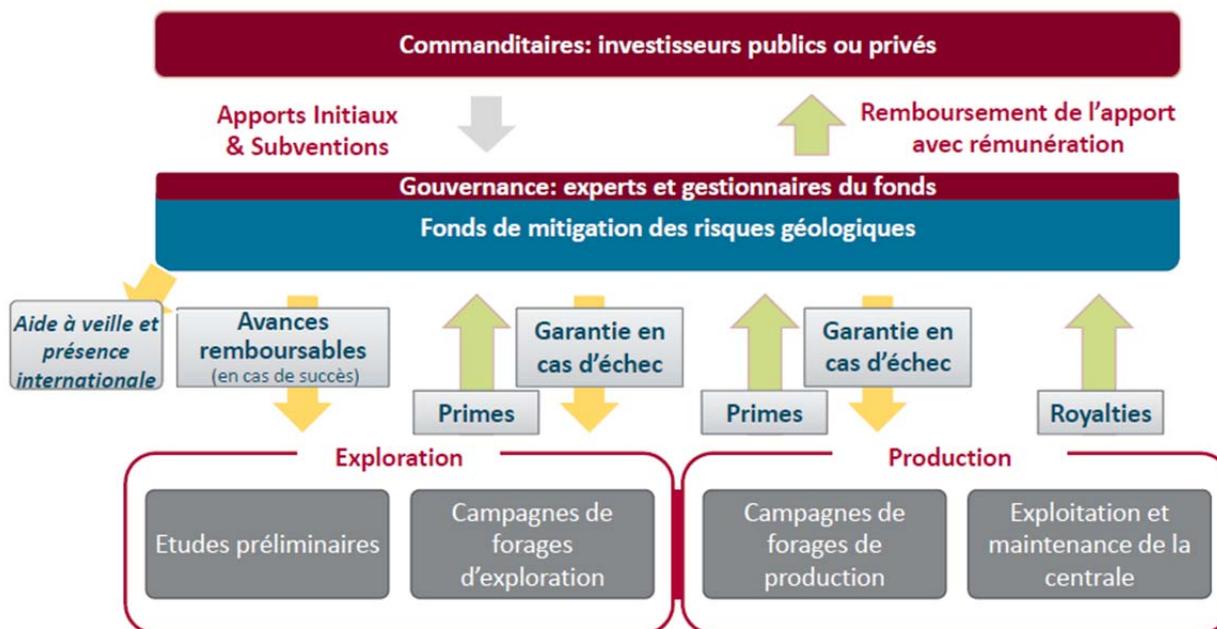
Deux entreprises françaises, Alstom et Engie, interviennent déjà dans le domaine de la production d'électricité d'origine géothermique à l'étranger. Alstom dispose ainsi de plusieurs références importantes à son actif, en Indonésie, au Mexique ou en Nouvelle-Zélande notamment, et continue son développement à l'international. Engie est également impliqué dans la réalisation de deux centrales en Indonésie, dont l'une de 240 MW, via sa filiale International Power.

Hormis ces grands groupes, les entreprises françaises sont peu présentes à l'export. Les résultats du questionnaire réalisé pendant cette étude confirment cette tendance et montrent que l'export est aujourd'hui considéré comme une nouvelle carte à jouer afin de développer leur activité. Le *cluster* GEODEEP a été lancé pour répondre aux besoins de développement à l'étranger de ces entreprises.

Porté par l'AFPG, GEODEEP est dédié à la promotion et l'exploitation des ressources géothermiques profondes. Lancé en juin 2014, ce *cluster* rassemble des compétences complémentaires sur l'ensemble de la chaîne de valeur géothermique nécessaires au développement de projets complets en France et à l'export. Au-delà de la proposition d'un package technique complet, le *cluster* GEODEEP a une originalité : il associe l'outil de promotion industriel à un fonds de mutualisation du risque géologique public-privé d'un montant de 50 M€ destiné à faciliter le développement de projets de production d'électricité géothermique en France et à l'export.

L'originalité du fonds, par rapport aux quelques dispositifs existants dans le monde, réside dans le cumul de primes et de royalties (Figure 28). Le taux des primes exigées des porteurs de projets pour qu'ils puissent bénéficier du dispositif, est compensé par le versement de royalties au fonds grâce aux ventes d'électricité que permet la réalisation des projets.

Figure 28 : Principe de fonctionnement du fonds de mutualisation



Source : CAPGEMINI Consulting.

Conclusion

ATOUTS	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> • Fortes interactions des acteurs de la filière • Présence d'opérateurs historiques (présents dans le domaine de la géothermie basse énergie sur aquifères profonds) adossés à de grands groupes, complétée par de nouveaux entrants dynamiques • Références marquantes en EGS et à haute température sur le sol national : pilote EGS de Soultz-sous-Forêts, centrale de Bouillante • Longue expérience de la géothermie à basse température • Fiscalité avantageuse et nombreux mécanismes de soutien • Bonne image générale de la filière (énergie renouvelable) • Contexte politique favorable 	<ul style="list-style-type: none"> • Acteurs de petite taille et spécialisés (sociétés de services) • Déficit de main-d'œuvre dans le domaine du forage • Manque de visibilité de la feuille de route nationale pour le développement de la géothermie profonde • Faible part à l'export des acteurs de la filière • Méconnaissance de la filière par les clients potentiels • Cadre réglementaire existe mais les moyens mis à disposition pour l'instruction des dossiers ne sont pas suffisants. • Méconnaissance par la filière des mécanismes de soutien de l'État.
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> • Structuration récente de la filière (AFPG, cluster GEODEEP) • Forte motivation des acteurs pour l'export • Marché national naissant pour l'EGS et la haute température • Collaborations et transferts de technologies avec les acteurs de l'E&P 	<ul style="list-style-type: none"> • Existence de contre-références en géothermie profonde haute température et possibles confusions avec d'autres activités • Traitement régional des dossiers administratifs variables • Forte concurrence à l'export

COMPARAISONS INTERNATIONALES : BONNES PRATIQUES ET TRANSPOSABILITÉ EN FRANCE

Afin de tirer des conclusions sur les bonnes pratiques en termes de structuration des filières, une analyse du fonctionnement des filières du sous-sol dans sept pays a été menée. Les principaux résultats sont présentés par filière, puis par pays, ensuite les mesures répliquables dans les filières françaises sont synthétisées.

TYOLOGIE DES PAYS ETUDIÉS EN FONCTION DES CRITÈRES DE MATURITÉ ET D'EFFICACITÉ

Pour chacune des filières étudiées, les grandes tendances de maturité et d'efficacité des principales filières étrangères sont présentées. Le critère de maturité évalue l'expérience industrielle cumulée de la filière. Le critère d'efficacité correspond lui à la collaboration efficace des acteurs de la filière entre eux⁴⁵. Le récapitulatif est présenté en Tableau 10 puis détaillé ensuite.

Tableau 10 : Récapitulatif global des maturités et efficacités par pays et par filière

	Maturité des filières				Efficacité des filières			
	E&P	Stockage Gaz	Stockage CO ₂	Géothermie	E&P	Stockage Gaz	Stockage CO ₂	Géothermie
Allemagne	2	3	1	3	2	3	2	3
Chine	3	2	1	1	3	2	1	1
États-Unis	5	5	3	3	5	5	3	4
Islande	1	1	1	4	1	1	1	4
Japon	3	1	2	3	4	1	2	4
Norvège	4	1	3	1	5	1	4	1
Royaume-Uni	5	3	2	1	4	2	2	1
France	4	4	1	3	4	4	2	3

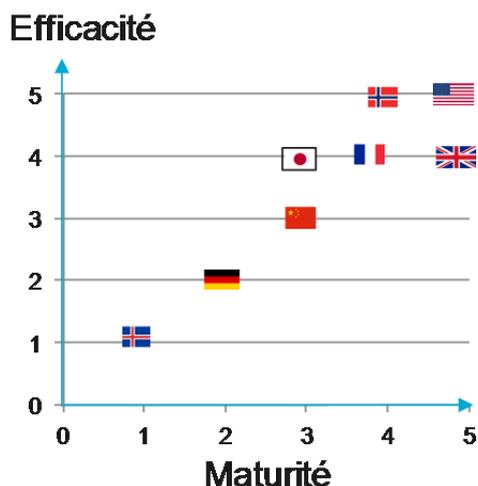
Note : les notations chiffrées sont comprises entre 1 et 5, 1 correspondant à un niveau bas de développement ou d'efficacité des filières concernées et 5 au niveau le plus élevé.
Source : compilation des fiches pays.

Filière de l'E&P

Les développements observés aux États-Unis, en Norvège, au Royaume-Uni dans la filière de l'E&P (et, dans une moindre mesure, en Chine et au Japon) témoignent d'une maturité et/ou d'un degré d'efficacité élevé des filières industrielles (Figure 29). Les États-Unis, la Norvège et le Royaume-Uni se sont appuyés tout d'abord sur une production domestique pour développer leur industrie, qui, contrairement au cas de la France, a perduré. Sur la base de cette expérience, ils ont développé la dimension à l'export de leurs filières et utilisent leur territoire national pour innover et y développer des références.

⁴⁵ Ces critères ont été évalués de manière qualitative, se basant sur l'analyse réalisée par les experts et leur perception du phénomène en question. Les notations chiffrées sont comprises entre 1 et 5, 1 correspondant à un niveau bas de développement ou d'efficacité des filières concernées et 5 au niveau le plus élevé.

Figure 29 : Comparaison internationale dans la filière de l'E&P



Note : les notations chiffrées sont comprises entre 1 et 5, 1 correspondant à un niveau bas de développement ou d'efficacité des filières concernées et 5 au niveau le plus élevé.
 Source : compilation des fiches pays.

Tableau 11 : Les grands chiffres de la filière de l'E&P

Pays	Production de pétrole (2013) sur le territoire national	Production commercialisée de gaz (2013) sur le territoire national	Effectifs de la filière E&P
	Millions de tonnes	Milliards de m ³	Nombre
États-Unis	367,31	690	205 000
Chine	212,78	117	1 128 000
Norvège	73,95	109	125 000
Royaume-Uni	38,43	34,5	131 000
Allemagne	2,63	10	10 000
France	0,79	0,531	64 000
Japon	0,23	3,2	ND
Islande	0	0	ND

Source : AIE, EIA, Cedigaz.

Les États-Unis sont historiquement le *leader* mondial de l'industrie de l'exploration et production pétrolière et gazière. Le déclin de la production domestique observé à partir des années 1970 est aujourd'hui compensé par la montée en puissance de la production des ressources non conventionnelles, qui fait des États-Unis le premier producteur mondial de brut et de gaz naturel. À l'export, les majors américaines sont des acteurs incontournables de la filière de l'E&P, tandis que des sociétés plus petites sont devenues des références sur un grand nombre de niches (*offshore*, ressources non conventionnelles). Sur cette filière, les États-Unis ont atteint un niveau de développement et de maturité maximal. Un élément clé de l'efficacité de la filière américaine repose sur sa politique en matière de droit minier (singularités juridiques). De plus, elle s'appuie d'une part sur une forte complémentarité entre un écosystème d'entreprises indépendantes et les majors pétrolières, et d'autre part sur une importante capacité d'innovation tirant parti des ressources des nombreuses universités et des centres de recherche ainsi que du soutien important du DOE⁴⁶ au développement des filières.

En Norvège, la filière du pétrole et du gaz est très bien structurée et bénéficie toujours à l'heure actuelle d'un soutien marqué de la part des pouvoirs publics, que ce soit à travers son opérateur Statoil, ou à travers sa politique de recherche et d'innovation. La filière est très expérimentée, notamment sur les technologies *offshore*, et reste présente sur toute la chaîne de valeur. Son niveau de maturité est très élevé et il existe encore à l'heure actuelle un large potentiel de développement en Norvège. Le territoire norvégien a ainsi été relativement peu exploré, alors même qu'il comprend un territoire maritime de 2,2 millions de km², dont la moitié a un potentiel pétrolier. Jusqu'en 2013, les forages d'exploration n'ont concerné que des blocs couvrant moins de 50 000 km². La filière est très efficace sur son marché intérieur, mais également à l'international.

⁴⁶ Department of Energy.

Pour le Royaume-Uni, le niveau de maturité de la filière de l'E&P est également très élevé. Le Royaume-Uni possède un secteur E&P expérimenté avec la présence de nombreux opérateurs et un secteur parapétrolier/paragazier présent sur toute la chaîne de valeur. La filière bénéficie, en outre, d'un environnement propice à son développement, en raison des politiques industrielles associant les autorités et les entreprises du secteur. Son niveau d'efficacité est relativement élevé malgré les difficultés rencontrées pour relancer le secteur dans une période où le déclin de la production s'accompagne d'un repositionnement de certaines compagnies internationales sur des zones plus lucratives. Une composante explicative majeure de ces changements réside en partie dans les changements du régime fiscal.

La Chine constitue un cas d'école également intéressant sur cette filière. Elle présente des sociétés nationales intégrées verticalement et horizontalement et présentes sur les marchés internes et internationaux. L'intégration verticale est une des spécificités des compagnies pétrolières chinoises. En outre, la filière bénéficie de capacités financières importantes permettant une stratégie agressive d'acquisitions à l'international pour répondre à l'objectif de sécurisation des approvisionnements. Elle reste toutefois limitée dans son développement, notamment dans l'exploitation des ressources non conventionnelles, par sa faible maturité technologique. La place centrale de ces grandes sociétés nationales dans la filière est aujourd'hui remise en cause par les autorités en raison des enjeux de gouvernance énergétique nationale, d'un besoin de reconfiguration du secteur pour stimuler la croissance domestique et au regard de son efficacité moyenne par rapport aux moyens financiers mis à leurs dispositions.

Filières de stockage

Quatre pays sont particulièrement intéressants pour identifier les bonnes pratiques de structuration des filières du stockage d'hydrocarbures et de CO₂ : les États-Unis sur la problématique du stockage souterrain d'hydrocarbures, le Japon, la Norvège et le Royaume-Uni sur les questions relatives à la filière du stockage de CO₂. En outre, l'Allemagne, en raison d'enjeux de sécurité d'approvisionnement (absence de terminal GNL, dépendance marquée au gaz russe) et la Chine pour ses besoins gigantesques en matière de stockage de gaz (explosion de la demande de gaz naturel, incitations des autorités chinoises au développement de la consommation de cette énergie peu polluante) pourraient constituer des pays à fort développement sur la filière du stockage de gaz.

Le stockage géologique d'hydrocarbures répond historiquement, aux États-Unis comme ailleurs, à des équilibres saisonniers entre l'offre et la demande et à un souci de sécurité d'approvisionnement. Aux États-Unis, il répond également au double objectif de fluidification des marchés et de sécurisation de l'offre. La récente apparition des hydrocarbures de roche-mère et le développement massif des infrastructures de transport associées ont entraîné le fort développement du stockage en cavités salines. Cette nouvelle capacité, plus flexible, complète la capacité de stockage déjà présente constituée majoritairement de champs pétroliers épuisés et permet de répondre à une demande croissante en gaz naturel pour la génération électrique. La filière du stockage aux États-Unis a dû s'adapter à la volatilité des prix des hydrocarbures et surtout à la baisse des prix du gaz à partir de 2010 afin de demeurer efficace dans un environnement délicat.

De manière globale, le niveau de maturité de la filière du stockage de CO₂ est relativement plus faible en comparaison des autres filières énergétiques en raison de l'absence d'un véritable marché international. La filière du stockage de CO₂ est pour sa part moyennement mature aux États-Unis. En effet, elle bénéficie de plusieurs atouts dont en particulier une longue expérience de l'injection du CO₂ à des fins de récupération assistée d'hydrocarbures (EOR) et un soutien important de l'État au travers de programmes de recherche nationaux d'envergure *via* notamment le *Department Of Energy*. Même si les quelques projets industriels restent à l'état de démonstration, de nombreux projets de recherche et commerciaux pour la séquestration du CO₂ existent ou sont prévus. La filière, certes peu mature, demeure néanmoins dynamique et organisée sur le plan de la recherche.

La filière du stockage de CO₂ au Japon n'est pas encore mature mais progresse depuis 2008 et le développement du *Japan CCS Co*. En outre, son développement pourrait être limité par l'absence d'une régulation spécifique. La présence d'acteurs positionnés sur des marchés à contenu technologique élevé pourrait améliorer considérablement l'efficacité de la filière dans les années à venir.

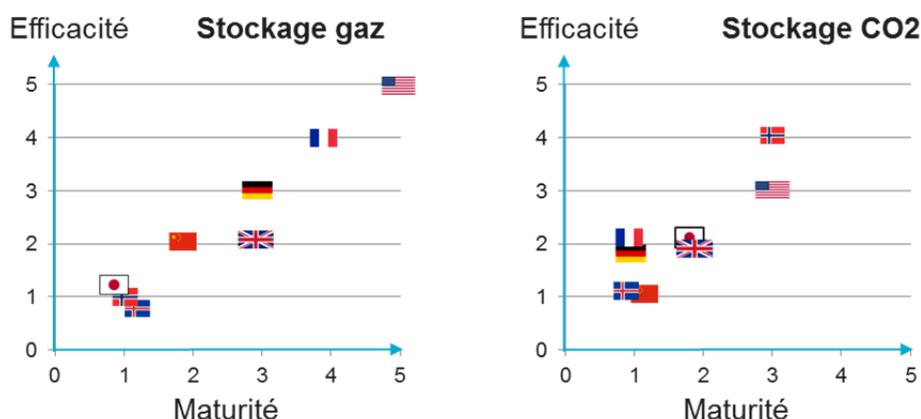
La Norvège est le *leader* mondial de la filière du stockage de CO₂ et a développé une filière technologique propre. L'État norvégien a établi, dès 2007, une entreprise publique, *Gassnova SF*, dépendante du ministère de l'Énergie et du Pétrole, chargée d'organiser l'ensemble de la filière du CSC. L'activité de *Gassnova SF* a véritablement pris son essor avec la création du *CO₂ Technology Centre Mongstad (TCM)*. Du fait d'une réglementation particulière en Norvège, le pays abrite deux des cinq projets sur le CSC qui ont une échelle commerciale au niveau mondial et ils sont opérés par Statoil : *Sleipner* et *Snohvit*. L'efficacité de cette filière ne pourra toutefois être jugée qu'avec son développement massif au niveau international.

La filière du stockage de CO₂ au Royaume-Uni bénéficiera d'une certaine expérience avec ses deux projets en cours et des atouts dans les domaines de l'organisation des compétences et de la R & D. Des outils et des

moyens ont été mis en place par l'État (cadre conceptuel, incitations financières, R & D), avec en arrière-plan le besoin d'encadrer le développement du charbon et de susciter l'utilisation du CO₂ pour une finalité de EOR.

In fine, cette analyse a permis de réaliser une typologie sur le niveau de maturité et d'efficacité des filières de l'étude pour l'ensemble des pays concernés (voir Figure 30).

Figure 30 : Comparaison internationale dans les filières du stockage de gaz et de CO₂



Note : les notations chiffrées sont comprises entre 1 et 5, 1 correspondant à un niveau bas de développement ou d'efficacité des filières concernées et 5 au niveau le plus élevé.

Source : compilation des fiches pays.

Filière de la géothermie

Trois pays se détachent nettement pour la filière de la géothermie profonde productrice d'électricité (Figure 31). Riches d'un potentiel important, les filières de l'Islande, du Japon et des États-Unis ont un niveau de maturité élevé.

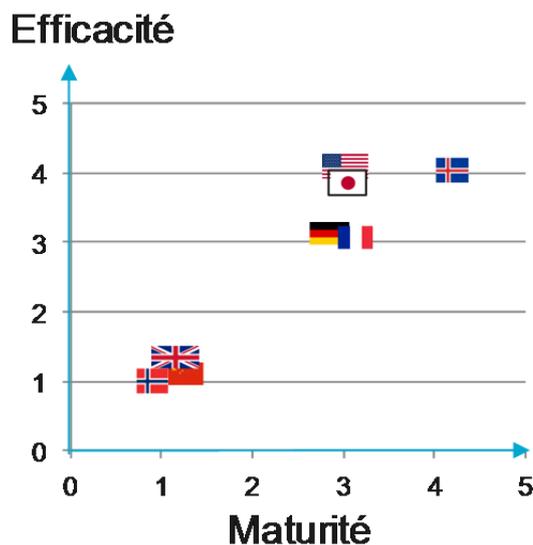
Construite autour d'acteurs publics en Islande, la filière a su se démarquer à l'international. L'Islande a développé une filière mature dans la géothermie en milieu volcanique alors qu'elle ne compte qu'une dizaine de centrales électriques géothermiques. Fortes d'un savoir-faire et d'une réelle volonté de se développer à l'export, les entreprises islandaises du secteur s'exportent sur les marchés extérieurs. De plus, les structures de soutien et de formation à la géothermie conventionnelle des scientifiques dans les pays émergents apportent ouverture et visibilité à l'international. La politique de « chasse en tandem », qui associe un opérateur et une entreprise d'ingénierie témoigne aussi de la volonté du pays à développer tout son potentiel sur ces marchés. L'expertise islandaise repose aujourd'hui essentiellement sur la géothermie à haute température en contexte volcanique et peu sur la technologie EGS. Présente sur toute la chaîne de valeur et exportant massivement son savoir-faire, la filière de la géothermie semble avoir une efficacité élevée.

Au Japon, le secteur de la géothermie haute température cultive les paradoxes car malgré un potentiel considérable, aucune centrale n'a été construite depuis 1999, alors que les fleurons de l'industrie japonaise sont les *leaders* du marché des turbines géothermiques au niveau mondial. En raison du caractère instable de la législation durant les années 2000, la filière de la géothermie au Japon ne s'est pas développée. Un obstacle majeur à la croissance de la filière réside dans l'acceptation sociale des forages dans les zones de développement car près de 80 % du potentiel en géothermie est situé dans les Parcs nationaux protégés. Toutefois, la mise en place d'une nouvelle stratégie énergétique après Fukushima pourrait redynamiser l'ensemble de la filière de la géothermie à haute température et accélérer son développement sur le territoire national. La présence, grâce à un soutien important des pouvoirs publics, de Fuji, Mitsubishi, Toshiba assure au Japon un positionnement technologique marquant au niveau mondial dans la fourniture des turbines. Elle constitue un catalyseur pour l'ensemble de la filière et explique le haut niveau d'efficacité de celle-ci.

Les États-Unis possèdent la plus importante capacité de production d'électricité d'origine géothermique installée au monde. En 2013, la production électrique géothermique s'est élevée à 16 517 GWh. La filière s'appuie sur des projets déjà opérationnels et sur de nombreux acteurs et opérateurs. Elle bénéficie de politiques locales et étatiques efficaces, notamment en Californie, mais elle souffre de l'absence d'une politique fédérale spécifique, qui permettrait d'améliorer la cohérence et l'efficacité de la filière sur l'ensemble du territoire. Il convient en outre de noter le développement actuel d'actions pour l'utilisation de la géothermie profonde à basse température pour la production de chaleur sur les installations militaires et des universités sur le territoire des États-Unis.

Enfin, le nouveau contexte énergétique allemand (*Energiewende*) offre une place particulière à la géothermie et devrait stimuler son développement et sa maturité. La filière de la géothermie en Allemagne est intéressante à observer car même si son niveau de maturité est modéré sur le territoire national, de nombreux acteurs ont acquis des références et sont positionnés sur les marchés extérieurs (programme Géotherm notamment). La filière n'a pas atteint un stade critique d'efficacité car malgré un soutien politique des pouvoirs publics locaux et européens, qui a contribué au cycle d'investissement actuel, elle fait face à des difficultés d'acceptabilité, particulièrement dans le Bassin rhénan.

Figure 31 : Comparaison internationale pour la filière de la géothermie



Note : les notations chiffrées sont comprises entre 1 et 5, 1 correspondant à un niveau bas de développement ou d'efficacité des filières concernées et 5 au niveau le plus élevé.
 Source : compilation des fiches pays.

Tableau 12 : Capacité de production de chaleur et d'électricité par géothermie dans les pays concernés en 2012

Pays	Production de chaleur	Production électrique
	MWth	MWe
Chine	5210	24,2
Japon	2094	540
États-Unis	564	3187
France	345	17,7
Allemagne	212	16,7
Royaume-Uni	60	ND
Islande	ND	665
Norvège	ND	0

Source: GIA report 2012, Worldview geothermal potential of China 2012.

ANALYSE SYNTHÉTIQUE DES ÉLÉMENTS STRUCTURANTS DES FILIÈRES DANS LES PAYS ETUDIÉS

Allemagne

L'analyse des filières énergétiques du sous-sol profond en Allemagne doit se lire au travers des changements récents observés dans la politique énergétique initiée depuis 2010, à savoir l'*Energy Concept*, puis le deuxième *Energy Package* avec l'*EnergieWende*⁴⁷. Ces politiques approfondissent une dynamique engagée avec le *Renewable Energy Sources Act* de 2000. Dans le cadre de l'*EnergieWende*, l'orientation prise avec la sortie du nucléaire après 2022 et des éléments comme la hausse de la part des renouvelables de 6 % à 25 % sur les dix dernières années ou le très fort soutien de la population (même déclinant et parfois hétérogène selon les *Länder*) sont des éléments structurants de compréhension des défis des trois filières étudiées. Un effort d'investissement en R & D dans le secteur de l'énergie a été observé depuis le milieu des années 2000 : au premier plan de 1,9 Mds € sur la période 2006-2009 a succédé un deuxième plan 2011-2014 de 3,4 Mds €. Le ministère fédéral de l'Économie et de l'Énergie (BMWi), le ministère de l'Environnement, de la Conservation, de la Construction et de l'Énergie nucléaire (BMU) et le ministère de la Recherche et de l'Éducation (BMB) représentent les nœuds de décisions dans le secteur énergétique en matière d'innovation et de R & D.

En Allemagne comme en France, seul l'État est habilité à donner des droits sur les ressources du sous-sol, le cadre réglementaire encadrant la valorisation énergétique du sous-sol est identique pour l'extraction du pétrole, du gaz ou de la géothermie. De même qu'en France, un permis de recherches puis un permis d'exploitation sont nécessaires. La principale différence repose sur le fait que les *Länder* sont délégataires de certains pouvoirs de l'État.

L'Allemagne est dépendante de ses approvisionnements extérieurs pour le pétrole (96 %) et le gaz (88 %). Une filière s'est développée sur ces secteurs, mais elle reste limitée par la faiblesse des réserves domestiques et par l'absence d'un plan de soutien et de développement de la part des instances gouvernementales.

Tableau 13 : Les grands chiffres de la filière E&P pétrole et gaz en Allemagne

Chiffre de production :	Indicateurs macro-économiques :
<ul style="list-style-type: none"> Production de pétrole : 2,6 millions de tonnes en 2013 Production commercialisée de gaz en 2013 : 10 milliards de m³ Nombre de km forés en 2013 à des fins de reconnaissance, exploration et production : 43,4 km (73,2 en 2011) 	<ul style="list-style-type: none"> Filières du pétrole et du gaz : L'extraction a permis aux <i>Länder</i> de percevoir 810 millions d'euros en 2013 au titre des royalties (910 millions d'euros en 2011)
Effectifs employés :	Chiffre d'affaires à l'exportation :
<ul style="list-style-type: none"> Filières du pétrole et du gaz : environ 10 000 employés directs, 10 000 employés indirects pour 2013. 	<ul style="list-style-type: none"> Filières du pétrole et du gaz : 1,7 Md € d'investissement à l'étranger (Russie et Afrique essentiellement). Les opérateurs qui ont une très forte activité à l'étranger sont Wintershall Holding GmbH, RWE Dea AG, EWE Ag et Verbundnetz Gas AG.

Source : WEG.

L'Allemagne est au cœur du commerce et du transit de gaz naturel en Europe. Cette position géographique et géostratégique majeure entraîne des conséquences en termes d'infrastructures et d'acteurs. Le gaz devrait devenir de plus en plus stratégique et les sites de stockage également, notamment dans le cadre de l'*EnergieWende*. Des investissements sont en cours pour augmenter la flexibilité de ces sites.

La dynamique allemande est portée par un réseau complet d'acteurs privés et publics de toutes tailles. Certains acteurs privés développent une activité d'ensembliers, d'intégrateurs, en proposant des solutions complètes aux collectivités et acteurs souhaitant développer des ressources géothermiques. En outre, cette politique est animée par la mise en place de *clusters*. Ceux-ci ont une dimension régionale (à l'échelle d'un *Land*) et thématique. Ils favorisent essentiellement la mise en relation et la coopération des entreprises et des institutions scientifiques au travers d'échanges d'informations et projets collaboratifs et visent spécifiquement les petites et moyennes structures.

⁴⁷ Littéralement transition énergétique.

Le *cluster CEESA* pour les énergies renouvelables en Saxe-Anhalt met ainsi l'accent sur les technologies de stockage et de gestion des interconnexions des réseaux électriques, géothermiques, et de biomasse. À travers la structure *ExzellenzNRW*, le *Land Nordrhein-Westfalen* réunit quant à lui seize *clusters* dont deux concernent l'énergie et particulièrement la géothermie, considérée comme prioritaire dans la Ruhr à travers la structure *EnergieAgentur.NRW*. Cette structure met en réseaux les entreprises, universités et instituts de recherche afin d'initier des coopérations et des alliances stratégiques pour accélérer lesancements de produits innovants à l'échelle nationale et internationale. Ainsi, l'Allemagne, en dépit d'un démarrage tardif, a mis en place une stratégie cohérente basée sur la constitution de références importantes en Allemagne et à l'étranger, grâce notamment aux travaux de l'Institut fédéral des géosciences et des ressources naturelles (BGR), à un appui gouvernemental significatif à travers les programmes de financement et de garantie et à un tarif d'achat incitatif.

Tableau 14 : Les chiffres de la filière de la géothermie en Allemagne

Chiffre de production :	Indicateurs macro-économiques :
<ul style="list-style-type: none"> • Production de chaleur et d'électricité géothermique : 300 MWth et 31,3 MWe • Nombre de kilomètres forés en 2013 à des fins de reconnaissance, exploration et de production : 43,4 km (73,2 en 2011) 	<ul style="list-style-type: none"> • Les investissements réalisés en 2013 s'élèvent à 1,02 Md €
Effectifs employés :	Chiffre d'affaires à l'exportation :
<ul style="list-style-type: none"> • 1 500 employés en géothermie profonde pour 2013 	<ul style="list-style-type: none"> • Indéterminé

Sources : AIE, BMWi, EGEC, Géoelec.

La sortie du nucléaire et la montée en puissance des énergies renouvelables vont ancrer la place importante du charbon dans le mix énergétique allemand⁴⁸. La part du charbon dans la production d'électricité allemande reste supérieure à la moyenne européenne : 44% contre 25 % (en 2014). Dès lors, il existe un réel contexte d'opportunité dans le secteur du stockage du CO₂. Toutefois, en l'absence d'acteur majeur sur cette filière, le stockage de CO₂ ne constitue à l'heure actuelle qu'un ensemble de programmes de recherche, malgré un potentiel important en termes de stockages souterrains. Les deux problèmes les plus prégnants sont la législation allemande et les oppositions locales. L'opposition locale a entraîné la mise en place au niveau des *Länder*/régions d'une législation défavorable au niveau du CO₂⁴⁹.

ATOUTS	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> • Forte base industrielle avec des intégrateurs expérimentés. • Équipementiers développant des produits spécifiques pour la géothermie grâce à la R & D • Stratégie de constitution de référence en Allemagne et à l'étranger grâce aux travaux du BGR. • Tarif d'achat très intéressant pour la géothermie • Nombreux instituts d'excellence de formation technologique 	<ul style="list-style-type: none"> • Cadre réglementaire contraignant • Absence de guichet unique pour les projets de géothermie • Coût du travail élevé • Absence de lisibilité sur la stratégie de développement attendue pour la géothermie
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> • Marchés à l'export pour l'E&P et la géothermie • Développement de niches technologiques • Sortie du nucléaire et loi de transition énergétique 	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de lisibilité sur la stratégie à adopter afin de répondre aux scénarios de transition énergétique • Acceptabilité sociétale de plus en plus difficile

⁴⁸ Tant que le CO₂ n'est pas pris en compte le charbon reste moins cher que le gaz : d'où la fermeture de dizaines de centrales à gaz en Europe. Dès l'instant que les externalités environnementales dont le CO₂ seront prises en compte la position du charbon s'affaiblira. D'autant plus que les centrales à charbon ne fourniront plus une électricité de base et qu'il ne sera pas économique de capter le CO₂ dans ces conditions.

⁴⁹ Au niveau de l'Allemagne, ils ont transposé la directive européenne sur le stockage géologique du CO₂ comme les autres États.

États-Unis

Les filières énergétiques du sous-sol profond aux États-Unis bénéficient de la dynamique récente de la production de gaz naturel et de pétrole, avec la révolution des hydrocarbures non conventionnels et la croissance prévue de la demande domestique d'énergie. En outre, l'annonce du très ambitieux plan « *New Energy for America* » dès 2009, renouvelé à travers la stratégie « *All-of-the-Above Energy* » du président Obama en 2012, réaffirme les trois axes prioritaires de la politique énergétique aux États-Unis : améliorer de manière sensible l'indépendance énergétique, stimuler la création d'emplois dans les filières du secteur et réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Le dynamisme des filières énergétiques aux États-Unis repose, de prime abord, sur deux singularités juridiques. La première réside dans le fait que la propriété du sol et du sous-sol entraîne la propriété des ressources qu'il recèle. L'accès au sous-sol est ainsi seulement conditionné à l'obtention d'un droit par son propriétaire légitime, et se résume à un contrat de droit privé. La souveraineté des États en matière de gestion des ressources présentes sur leurs terres constitue la deuxième singularité des filières énergétiques aux États-Unis, comparable en ce sens à la dynamique européenne. Ces particularités juridiques expliquent en partie l'existence de dynamiques différenciées entre les États, mais également la présence d'un nombre très important d'acteurs indépendants de petite taille et de taille moyenne dans le secteur.

La filière de l'E&P aux États-Unis est le fer de lance des filières énergétiques. Elle est caractérisée par la complémentarité entre un petit nombre de grands opérateurs (*Exxon Mobil, Chevron-Texaco...*) et de nombreux indépendants très dynamiques et réactifs. En dehors des opérateurs, des entreprises américaines sont présentes et *leaders* sur tous les segments de la chaîne de valeur. Quelques exemples incluent, du côté des compagnies de services, Halliburton/Baker Hughes, de celui des ingénieries, CB&I, KBR, de celui des équipements FMC Technologies. Afin d'illustrer la taille de ce secteur aux États-Unis, les sociétés parapétrolières enregistrées dans le pays représentaient 65 % de la capitalisation boursière des 75 plus grandes sociétés parapétrolières mondiales de l'amont en 2012 (25). En outre, la R & D est une composante essentielle de leurs activités et elles travaillent en relation étroite avec les organismes de formation et de recherche. Elles bénéficient de la présence des meilleures universités mondiales dans ce domaine. Les acteurs publics sont également actifs *via* des financements de la R & D (environ 500 M\$ annuels pour les énergies fossiles et 900 M\$ pour les énergies renouvelables) et des centres de recherche dédiés et permettent à l'industrie de bénéficier d'innovations constantes.

Tableau 15 : Les chiffres de la filière de l'E&P aux États-Unis

Production sur le territoire national :	Indicateurs macroéconomiques :
Production moyenne de pétrole brut en juillet 2014 : 8,6 millions de barils par jour Production commercialisée de gaz naturel en 2013 : 690 milliards de m ³ Nombre de puits d'exploration et de développement forés en 2013 : 46 000 puits	Entre 85 et 90 milliards de dollars d'investissement dans l'industrie pétrolière et gazière attendus en 2014, pour un PIB de 16 800 milliards de dollars en 2013, soit 0,5 %
Effectifs employés :	Chiffre d'affaires à l'exportation :
Nombre d'employés du secteur de l'extraction du pétrole et gaz en 2014 : 205 000 personnes	En 2011, \$6,18 milliards de gaz naturel et \$1,29 milliard de pétrole brut

Sources: Bureau of Labor Statistics, EIA, IHS.

Les filières dans leur ensemble bénéficient d'un soutien actif des pouvoirs publics (agences nationales) et notamment du *Department of Energy* (DOE), très actif dans les programmes de mise en commun de moyens, d'animation publique (projets de recherches entreprises-universités), de recherche conjointe ou de solidarité à l'export. Dans l'E&P, l'*American Petroleum Institute* (API) est un élément très structurant de la filière américaine en général, mais aussi du secteur à l'échelle mondiale, au travers des standards API repris par l'ensemble de l'industrie. Le gouvernement est actif au niveau de la R & D et de l'innovation dans les filières de la géothermie (financements entre 40 et 60 M\$ sur les trois dernières années) et du stockage géologique du CO₂ (150-200 M\$ depuis 2010).

En termes de mécanismes incitatifs publics (subventions, fiscalité), seules les énergies renouvelables sont concernées, notamment la géothermie dans certains États. La filière du CSC bénéficie de nombreux atouts, dont en particulier une longue expérience de l'injection du CO₂ à des fins de récupération assistée d'hydrocarbures et un soutien important de l'État au travers de programmes de recherche nationaux d'envergure⁵⁰. Malgré cela, la filière a besoin de démonstrateurs et les financements sont largement insuffisants pour engager ce type d'action.

⁵⁰ Cependant les financements restent insuffisants pour engager le développement de démonstrateurs, facteur indispensable au développement de la filière.

Dans la géothermie, la filière s'appuie sur des projets déjà opérationnels et sur de nombreux acteurs et opérateurs. Elle bénéficie de soutiens de la part de certains États, notamment en Californie avec le *Geothermal Grant & Loan Program* (GRDA) mis en place dès 1980 et qui fournit sur une base sélective des financements (6 M\$ en 2014). Mais elle souffre de l'absence d'une politique fédérale spécifique, qui permettrait d'améliorer la cohérence et l'efficacité de la filière sur l'ensemble du territoire.

ATOUTS	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> • Importantes ressources géothermiques et en hydrocarbures • Complémentarité entre grands opérateurs et un tissu d'indépendants • Grande diversité et importance du secteur parapétrolier • Industrie très portée sur la recherche et le développement, coopération universités - industriels • Flexibilité géographique de la main-d'œuvre et salaires élevés • Milieu académique de premier plan • CO₂ : compétences déjà disponibles grâce à l'E&P et à la pratique de la récupération assistée d'hydrocarbures • Compétence sur le traitement de gaz naturel qui peut s'adapter au captage de CO₂ sur des fumées de sites industriels. 	<ul style="list-style-type: none"> • Concentration géographique des ressources • Manque de politique fédérale pour la géothermie
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> • Forte compétition entre les différents secteurs de l'énergie • Développement des ressources d'hydrocarbures non conventionnelles dans le monde • Transferts de technologies et de savoir-faire pour les marchés d'export • Demande domestique croissante en électricité • CO₂ : réglementations sur les émissions plus contraignantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Forte sensibilité des filières à la volatilité des prix du pétrole et du gaz • Mise en place de réglementations, notamment environnementales, plus contraignantes • Pyramide des âges déséquilibrée ; difficultés à renouveler la main-d'œuvre qualifiée • Risques liés aux activités à l'étranger des entreprises américaines (exemple de l'embargo iranien) • Acceptabilité sociale de l'E&P

Royaume-Uni

Importateur net depuis 2004 pour le gaz naturel et 2006 pour le pétrole brut, le Royaume-Uni a mis en place de nouvelles mesures pour relancer l'activité et notamment pour encourager le développement de nouvelles réserves. Riche d'un secteur parapétrolier/paragazier (SPP) composé par de nombreuses compagnies spécialisées dans un sous-segment spécifique de marché et la majeure partie des grandes compagnies opérant sur toute la chaîne d'approvisionnement, le Royaume-Uni a dû faire face à la maturité croissante des champs en mer du Nord et à un problème d'attractivité. Les majors se sont tournées vers des zones plus lucratives et il a fallu maintenir un système incitatif dans le secteur pour un nombre croissant de petites compagnies indépendantes.

Dans ce contexte, deux initiatives émanant du gouvernement doivent être mises en avant :

- la création d'une *Business Bank – British Business Bank*—en vue d'améliorer et de susciter une meilleure coopération entre l'industrie et le secteur financier. Le constat a été fait sur les grandes difficultés d'accès au financement, rencontrées par les PME. L'objectif est d'accroître l'offre de crédit aux petites et moyennes entreprises ainsi que les prestataires de services et de conseil aux entreprises. Elle est structurée comme une société anonyme et dépend du *Department for Business, Innovation and Skills* (BIS). La banque a également comme mission d'unifier la stratégie, la gestion et la communication des mécanismes de financement existants pour les PME.
- la création d'un nouvel organisme de régulation. La structure de régulation actuelle (hébergée au sein du DECC⁵¹) est considérée inadaptée à l'évolution et aux exigences d'un bassin mature et n'a plus les capacités d'intendance pour exploiter pleinement le potentiel existant (voir ci-après).

En outre, le Royaume-Uni a dû récemment adapter son système fiscal pour faire face à la forte concurrence de la Norvège. Face au régime d'imposition relativement élevé mais extrêmement stable en Norvège, le gouvernement du Royaume-Uni a choisi d'adapter sa fiscalité qui représente approximativement 25 % des recettes du pays (impôt sur les sociétés et impôt sur les activités pétrolières). Toutefois, le cadre fiscal connaît des périodes de *Stop and Go* depuis 2011, avec de nombreuses modifications sur le plateau continental britannique. En outre, des actions spécifiques sont menées en partenariat avec le *UK Trade and Investment (UKTI)* à destination des petites et moyennes entreprises pour des marchés extérieurs ciblés (Arabie saoudite, Australie, Brésil, Mexique).

Tableau 16 : Les chiffres de la filière de l'E&P au Royaume-Uni

Chiffre d'affaires : 35 milliards de £ (43 Mds € 2012 ⁵²)	Indicateurs macro-économiques : 2013 Part du secteur dans le PIB : entre 1,5 et 1,7 % (2012) Part du secteur dans l'investissement : 5,3 % Part du secteur dans les recettes fiscales : 25 %
Effectifs employés 2012 : 131 000 personnes	Chiffre d'affaires à l'exportation : 40 % du chiffre d'affaires global

Sources: *Activity Survey 2014, Oil & Gas UK*.

En termes de politiques de R & D, le DECC joue un rôle central dans la coordination des politiques dans le domaine énergétique : il définit un agenda d'innovations en liaison avec l'*Energy Technologies Institute* (ETI) et le *Carbon Trust* pour les questions relatives à la décarbonisation. Le *Technology Strategy Board* (TSB) a un rôle de financement et, surtout, il définit et supervise les *Technology Innovation Centres* (TIC) ou *Catapult Centres* dont la mission est de mettre en place des programmes de recherche se focalisant sur une technologie spécifique garantissant un débouché commercial soit sur le marché national soit international. Ces centres jouent le rôle de passerelle entre les universités et les entreprises, d'aide à la commercialisation, et facilitent aux industriels l'accès à des équipements (démonstrateurs et pilotes) et expertises qui seraient, autrement, hors d'atteinte. La recherche fondamentale est menée, coordonnée et financée par les *Research Council UK* (RCUK).

La proximité géographique de la Norvège impose des comparaisons entre les structurations respectives des filières de l'E&P. Si une partie importante des entreprises est localisée autour de zones précises (Aberdeen pour le Royaume-Uni, Stavanger pour la Norvège), le mode d'interaction des acteurs est basé sur la libre concurrence ou régulation par le marché, contrairement à la Norvège où on constate une forte proximité et coordination entre industrie et gouvernement. Bien que les opérateurs majeurs tels que BP et Shell eurent un rôle central dans les premières années d'exploitation et de production, il n'y a plus actuellement de véritable entreprise *leader* dans le domaine de l'innovation, contrairement au rôle joué par Statoil dans son pays. Enfin, l'activité de régulation de la filière des pouvoirs publics au Royaume-Uni est caractérisée par une forte réactivité et adaptabilité. La création

⁵¹ *Department of Energy and Climate Change*.

⁵² Taux moyen 2012, £/\$ = 1,233.

récente d'une agence exécutive⁵³ – l'*Oil and Gas Authority* – pour accélérer le processus d'octroi de permis et susciter la coopération entre des entreprises complémentaires, basée à Aberdeen, témoigne de ce souci d'efficacité administrative (26).

Concernant la filière CSC, le Royaume-Uni se distingue avec la publication de sa feuille de route en 2012. Une étude d'ingénierie d'avant-projet détaillée a été lancée sur le projet *WhiteRose CCS* dans le Yorkshire ainsi que pour le projet *Peterhead CCS* dans l'Aberdeenshire. Le DECC veut inciter le déploiement du CSC avec l'application de la politique dite du « triple verrou » (*triple lock*) : (1) interdiction de nouvelles centrales à charbon de plus de 300 MW sans CSC ; (2) mise en place d'un prix plancher du carbone et (3) mise en place de normes de rendement des émissions. Également un dispositif de compensation financière a été établi *via* la mise en place d'un tarif préférentiel « *Tariff Contract for Difference* »⁵⁴. Des programmes de R & D sont en cours, notamment le *UK CCS Research Center*, soutenus par les acteurs du secteur et une plateforme a été mise en place par l'*Advanced Power Generation Technology Forum* (APGTF) pour capitaliser les progrès réalisés et mettre en évidence les verrous technologiques. Enfin, le gouvernement a mis en place un système de soutien financier à la filière, avec un soutien sur les coûts de développement, sur les coûts de construction et sur la phase d'exploitation.

ATOUTS	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> • Forte expérience industrielle • Place financière de premier plan pour les projets énergétiques • Main-d'œuvre qualifiée • Apparition de PME positionnées sur des niches de marchés à contenu technologique élevé • Existence d'un cadre pour le déploiement du CSC • Incitations financières à la R & D et au déploiement du CSC 	<ul style="list-style-type: none"> • Cadre fiscal instable (E&P) • Compétitivité relative déclinante du plateau continental et déclin de la production
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> • Création d'une <i>Business Bank</i> • Développement des <i>Technology Innovation Centers TIC (ou Catapult Centers)</i> • Mise en place d'une coopération avec la Norvège • Allègement récent de la fiscalité • Démantèlement des actifs <i>offshore</i> • Octroi de nouvelles licences d'exploration 	<ul style="list-style-type: none"> • Cadre réglementaire contraignant • Hausse des coûts d'exploitation • Pénurie de main-d'œuvre qualifiée • Acceptation sociale difficile

⁵³ Organisme administratif dépendant du DECC et traité comme autonome en ce qui concerne son administration et son budget.

⁵⁴ Ce tarif doit compenser le surcoût lié à la mise en place du CSC sur la centrale.

Chine

Premier importateur et deuxième consommateur de pétrole au niveau mondial, la Chine a mis en place, dès la fin des années 1990, une politique de sécurisation des approvisionnements pétroliers et gaziers en investissant dans le secteur de l'E&P à l'étranger et en développant les ressources « frontières » (eaux profondes, hydrocarbures de roche-mère et gaz de couche) dont elle détient des réserves importantes. L'expansion internationale des sociétés chinoises est supportée par des financements publics importants. Consciente de sa faible maturité technologique, la Chine a développé une stratégie d'acquisition internationale poussée en rachetant ou en prenant des parts dans des entreprises présentes sur des créneaux technologiques élevés. Concernant les filières énergétiques renouvelables, la géothermie profonde, malgré son potentiel considérable en Chine, a jusqu'à présent été relativement délaissée et ce sont l'hydroélectricité et l'éolien qui ont vu les progressions les plus fortes ces dernières années. Le stockage de gaz naturel est encore peu développé et les infrastructures quasi inexistantes dans le pays, même si une croissance très importante de la filière est anticipée dans les prochaines années. Enfin, l'utilisation massive du charbon (70 % de la production d'électricité du pays) et la mise sur le devant de la scène des problèmes de pollution en Chine – pollution locale (particules) sans relation avec les émissions de CO₂ – entraînent un regain d'intérêt pour la filière du stockage géologique de CO₂ de la part des autorités chinoises^{55 56}. La filière chinoise n'en est cependant encore qu'à ses débuts, avec deux orientations fortes : un investissement en recherche et développement important et une utilisation à des fins de récupération assistée d'hydrocarbures par les opérateurs pétroliers.

Tableau 17 : Les chiffres de la filière de l'E&P en Chine

Production Actuelle :	Indicateurs macro-économiques :
Production moyenne de pétrole brut, de gaz de pétrole liquéfié et autres liquides en 2013 : 4,22 millions de barils par jour Production commercialisée de gaz naturel en 2013 : 117 milliards de m ³	13 milliards de dollars investis dans l'exploration pétrolière et gazière en 2013 pour un PIB de 9 240 milliards de dollars, soit 0,1 % Chiffre d'affaires cumulé des 134 entreprises chinoises du secteur de l'extraction pétrolière et gazière en 2012 : 190 milliards de dollars soit 2,3 % du PIB
Effectifs employés :	Chiffre d'affaires à l'exportation :
Nombre d'employés du secteur de l'extraction du pétrole et gaz en 2008 : 1 128 000 de personnes	73 milliards de dollars d'investissement à l'étranger entre 2011 et 2013 en fusions et acquisition dans le domaine de l'E&P pétrolière et gazière

Sources: AIE, EIA, National Bureau of Statistics of China.

Le plan quinquennal du gouvernement élaboré par la Commission nationale du Développement et des Réformes constitue le cœur de la stratégie des filières énergétiques en Chine. En matière d'E&P pétrolière et gazière, mais également en matière de stockage de gaz, le secteur est organisé autour des trois principales sociétés nationales que sont la *China National Petroleum Corporation* (CNPC), la *China Petroleum and Chemical Corporation* (Sinopec) et la *China National Offshore Oil Corporation* (CNOOC). Ces sociétés sont présentes sur l'ensemble de la chaîne de valeur et ne se limitent pas au rôle d'opérateur, comme en témoigne la présence de leurs filiales dans des activités d'ingénierie ou de services pétroliers. La filière du stockage de CO₂, en cours de développement et portée par des opportunités d'EOR CO₂, est organisée principalement autour du ministère des Sciences et des Technologies (MOST). Enfin, la filière de la géothermie semble peu développée et aucune organisation spécifique n'émerge à l'heure actuelle.

⁵⁵ Il faut cependant préciser que les autorités chinoises envisagent principalement le CSC comme une opportunité à l'export, étant donné le surcoût du CSC sur leur production d'électricité à base de charbon qui est jugé trop élevé pour envisager d'implanter le CSC en Chine.

⁵⁶ Il faut préciser que la Chine se distingue par un fort dynamisme quant au développement des énergies renouvelables.

ATOUTS	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> • Quelques acteurs de taille mondiale, intégrés verticalement et horizontalement • Financement considérable des activités d'exportation des filières • Des universités et centres de recherche qui montent en compétences 	<ul style="list-style-type: none"> • Un savoir-faire technique encore à consolider pour exploiter des ressources à fort contenu technologique • Gouvernance décentralisée des secteurs énergétiques
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> • Déconcentration des activités monopolistiques des trois sociétés nationales • Vastes réserves non conventionnelles sur le territoire national • Acquisition de savoir-faire technique <i>via</i> le rachat de sociétés étrangères • Stockage de gaz naturel : développement de l'infrastructure gazière • Acceptabilité sociale, notamment en matière de pollution et détournement des énergies polluantes (charbon) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ressources pétrolières et principales zones d'approvisionnement par oléoduc ou gazoduc situés dans des zones sensibles politiquement • Activités internationales dans des zones politiquement instables ou présentant des risques de sécurité • Mesures nationales de lutte anticorruption visant les sociétés nationales

Islande

Forte d'une consommation énergétique élevée en raison de la présence d'industries électro-intensives sur son territoire, mais également d'une importante flotte de pêche et de transport, l'Islande a développé un mix énergétique original. En effet, près de 71 % de l'énergie primaire est issu de la géothermie (données 2012, source : IEA) et son potentiel de développement est considérable. La filière de l'exploration et production d'hydrocarbures n'est encore qu'à un stade de développement préliminaire et seulement trois permis de recherche en partenariat avec la Norvège et la Chine ont été délivrés. La filière du stockage du CO₂ se limite à un stade de recherche et développement avec le projet CarbFix.

La filière de la géothermie en Islande se structure autour de l'Autorité nationale de l'Énergie (*Orkustofnun*) et de centres de recherche dont l'*ISOR*, le Service géologique national islandais. Il se compose majoritairement d'acteurs publics qui se répartissent sur toute la chaîne de valeur de la production d'énergie géothermique. La filière est structurée à travers le Plan directeur des ressources énergétiques hydrauliques et géothermiques en Islande, véritable stratégie de développement initiée dès 1999 et qui connaît depuis 2013 une phase de réalisation massive. Le *Iceland Geothermal Cluster of Cooperation* coordonne et soutient l'action de l'ensemble des acteurs publics et privés de la recherche et de l'industrie dans le secteur de l'énergie géothermique en Islande. Les entreprises islandaises sont présentes sur les marchés extérieurs et ont ainsi acquis un savoir-faire à l'international sur les marchés de la géothermie conventionnelle. Le secteur bénéficie également du soutien de la politique d'innovation mis en place à travers l'*Innovation Center Iceland*, un institut gouvernemental de R & D dépendant du ministère de l'Industrie et de l'Innovation et d'un incubateur pour l'innovation, lancé en décembre 2013, le programme de développement *Startup Energy Reykjavik*. En termes de financement, le Centre pour la recherche (Rannis) est le principal organe de financement des projets de recherche. Pour l'exercice 2013, les crédits publics pour la recherche et le développement se sont élevés à 130 M€ dont 6 M€ ont été alloués au domaine de la géothermie.

Tableau 18 : Les chiffres de la filière de la géothermie en Islande

Chiffre de production 2013 :	Répartition de la consommation 2013 :
Total : 19302 TJ soit 5361 GWh Électricité : 5 209 GWh (664,6 MWe installé) Chaleur : 10 300 TJ, soit 2861 GWh	Industrie 736 TJ=>204,5 GWh Résidentiel 8834 TJ=>2454 GWh Agriculture 864 TJ=>240 GWh Transformation du poisson 1334 TJ =>370,5 GWh
Effectifs employés 2013 :	Données financières de la filière 2013 :
1 700 personnes	Chiffre d'affaires : 875 M€ (7 % du PIB) Bénéfices d'exploitation : 301 M€ (2,7 % du PIB) Investissement public et privé dans la filière : 12,1 M€ (0,1 % du PIB)

Sources : AIE, ISOR.

En termes d'acceptabilité sociale, la filière de la géothermie souffre à l'heure actuelle de certaines difficultés. Des rejets dans l'air de sulfate d'hydrogène à des taux parfois assez importants, et des rejets de fluides géothermiques contenant des concentrations élevées en métaux lourds et autres éléments toxiques ont été à l'origine d'oppositions de la part d'associations environnementales. Cependant, le pays connaît une très longue tradition de participation du public au processus décisionnel comme en témoigne l'importance prise par les débats qui ont jalonné la mise au point du plan directeur de développement de l'énergie hydraulique et géothermique.

ATOUTS	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> • Important potentiel en géothermie • Très forte expérience, expertise et savoir-faire sur la géothermie conventionnelle à haute température • Entreprises <i>leaders</i> sur toute la chaîne de valeur en géothermie • Soutien très fort à l'innovation (Incubateur à <i>start-up</i>) • Fort soutien à l'export • Bonne organisation collective à l'export, « chasse en tandem » • Structure de formation complète 	<ul style="list-style-type: none"> • Délai très important avant le lancement de chaque projet en raison de la tradition du débat public • Travaux sur l'EGS encore à l'état de recherche
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> • Stockage de CO₂ dans des roches basaltiques (projet Carbfix) 	<ul style="list-style-type: none"> • Conflit d'usage avec le tourisme en forte croissance • Opposition liée aux pollutions

Japon

Malgré de faibles ressources énergétiques domestiques, le Japon a su s'affirmer comme un acteur technologique majeur, notamment sur la filière de la géothermie, grâce à une impulsion forte des politiques publiques de R & D. Les filières énergétiques du sous-sol profond sont structurées autour du *Japan Oil Gas and Metals National Corporation* (JOGMEC), considéré par certains comme le bras armé du Japon sur les marchés de matières premières depuis sa création en 2004. L'existence de cet organisme centralisateur permet une bonne coordination entre les différents acteurs des filières. En outre, il concentre les rôles de soutien à la recherche, de financement des activités des entreprises japonaises à l'export et de support à la réalisation de projets.

La filière de la géothermie est, à l'heure actuelle, structurée autour des acteurs institutionnels, des opérateurs sur le marché de l'électricité et des fournisseurs de turbines. Cette filière n'a toutefois pas bénéficié d'un environnement réglementaire favorable depuis le début des années 2000. Le contexte énergétique suite à la catastrophe de Fukushima en 2011 et la stratégie de revitalisation du Japon définie en mars 2013, ont replacé la géothermie au cœur des préoccupations stratégiques. Les différentes étapes de développement et de réalisation des projets bénéficient ainsi de financements depuis cette date (acceptabilité sociale, études géologiques, exploration, intégration au réseau électrique) et d'un schéma de rachat d'électricité à long terme à des prix incitatifs pour la filière. Un obstacle important à la croissance de la filière réside dans l'acceptation sociale des forages dans les zones de développement car près de 80 % du potentiel en géothermie est situé dans les Parcs nationaux protégés.

La filière de l'E&P d'hydrocarbures au Japon est concentrée autour du JOGMEC. Ce dernier constitue, avec la compagnie nationale *INPEX Corporation* et la *Japan Petroleum Exploration Company* (JAPEX), l'un des acteurs pivots de la filière, avec les grands conglomérats japonais comme *Mitsubishi*, *Mitsui*, *Sumimoto* ou *Idemitsu*, présents dans l'économie japonaise et également sur toute la chaîne de valeur de l'industrie pétrolière et gazière (exploration et production, équipements, ingénierie...). La filière pétrole et gaz bénéficie d'un environnement réglementaire et financier favorable à son développement, notamment sur les marchés étrangers.

Enfin, la filière CSC est organisée autour d'institutions publiques, mais également d'initiatives privées comme le *Japan CCS*, groupement d'entreprises des secteurs émetteurs de CO₂, qui a répondu à l'appel du gouvernement japonais pour le déploiement de la technologie CSC dans le pays. La filière CSC au Japon souffre malgré tout encore à l'heure actuelle d'un manque de moyens financiers et de l'absence de réglementations spécifiques sur la filière.

Les principales menaces pour ces filières se concentrent dans la relance possible et probable du nucléaire au Japon, en raison de l'intense *lobbying* des compagnies du secteur électrique.

ATOUTS	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> • Une R & D reconnue mondialement • Entreprises <i>leaders</i> dans les technologies de l'énergie (équipementiers, ingénieries) boostées par les aides à l'export de l'État japonais. • Forte structuration étatique : METI⁵⁷, JOGMEC • Potentiel en géothermie 	<ul style="list-style-type: none"> • Cadre réglementaire complexe pour la géothermie • Ressources géothermiques en grande partie situées dans des zones protégées • Absence de cadre pour le CSC • Faible ouverture des marchés à la concurrence • Conflit territorial avec la Chine sur la question des îles Senkaku (limitation du potentiel pétrolier et gazier)
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> • Renouveau de l'intérêt pour la géothermie depuis la catastrophe de Fukushima • Déclin du <i>lobby</i> pro-nucléaire depuis Fukushima • Plan de dérégulation du marché de l'électricité (tarif d'achat) • Exploitation des hydrates de méthane (E&P) 	<ul style="list-style-type: none"> • Relance du nucléaire : <i>lobbys</i> industriels du secteur électrique

⁵⁷ Ministry of Economy, Trade and Industry.

Norvège

Le secteur de l'E&P en Norvège se révèle compétitif depuis près de 40 ans. Il a été bâti autour d'une stratégie industrielle intégrant l'État norvégien, les entreprises du secteur et les centres de recherche. Le secteur repose sur une structure organisée autour de quatre *clusters* sectoriels portant sur l'ingénierie des systèmes, les technologies Subsea, le forage et le secteur maritime. La filière repose sur un écosystème très large d'entreprises de toute taille, avec notamment le géant *Statoil*, réparties sur la chaîne de valeur.

Tableau 19 : Les chiffres de la filière de l'E&P en Norvège

Chiffre d'affaires :	Indicateurs macroéconomiques : 2013
461 milliards de NOK (61 Mds € 2012)	Part du secteur dans le PIB : 21,5 % Part du secteur dans l'investissement : 30,7 % Part du secteur dans les recettes fiscales : 29,1 % Part du secteur pétrolier dans le total des exportations : 48,9 %
Effectifs employés :	Chiffre d'affaires à l'exportation :
125 000 personnes	40 % du chiffre d'affaires global

Sources: *Statistics Norway, Ministry of Finance, Ministry of Petroleum and Energy, calcul des auteurs.*

Les filières sont structurées autour de deux pôles principaux : le ministère du Pétrole et de l'Énergie et le *Research Council of Norway*. Dès 2001, sous l'égide du ministère du Pétrole et de l'Énergie, a été établie une stratégie visant à identifier les verrous stratégiques du secteur et à mettre en place les programmes d'innovations pour les lever. Des programmes de stimulation de l'innovation dans les petites et moyennes entreprises du secteur (*PETROMAKS*), ainsi que la création de pilotes et de démonstrateurs industriels pour l'industrie pétrolière (*DEMO 2000*), mais également des programmes plus spécifiques (*PETROSENTER* pour l'Arctique, *GASSMAKS* pour le *processing* de gaz) constituent la boîte à outil de cette stratégie, auxquels il convient d'ajouter des initiatives de promotion du secteur sur les marchés internationaux (*INTSOK*) ou la création des *Centres of Excellence* ou des *Centres for Research-based Innovation Scheme*, consortiums de recherche bénéficiant de financements à long terme.

Si le taux marginal de taxation du profit est extrêmement élevé, puisqu'il peut atteindre 78 %, le secteur bénéficie d'un système fiscal stable comparativement à son principal concurrent le Royaume-Uni. En outre, depuis 2006, les compagnies opérant sur le plateau continental norvégien peuvent obtenir un dégrèvement sur le revenu net imposable à hauteur de 90 % des coûts d'exploration en cas de puits secs.

Très impliquée sur les questions climatiques avec l'introduction, dès 1991, d'une taxe sur les émissions de CO₂ pour le secteur pétrolier, la Norvège apparaît comme le *leader* mondial de la filière du captage et stockage (CSC) de CO₂. Elle a permis l'émergence d'une filière technologique propre, avec les projets *Sleipner* dès 1996 et le projet *Snohvit* initié en 2008. Plus globalement, les fonds de recherche, de développement et de démonstration sur cette thématique sont organisés autour du programme *CLIMIT* dont les tâches sont partagées entre *Gassnova SF* (en charge des prototypes et des démonstrateurs) et le *Research Council of Norway* (en charge des projets de recherche). L'activité de *Gassnova SF* a véritablement pris son essor avec la création du *CO₂ Technology Centre Mongstad (TCM)*.

ATOUTS	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> • Stabilité du système fiscal • Partenariat public/privé de recherche • Bonne structuration de la filière • Capacités financières de l'État • <i>Clusters</i> de recherche • Excellence environnementale de l'industrie • Excellence affirmée en termes de technologies sous-marines • Un prix du CO₂ élevé et prévisible • Expérience dans le domaine du stockage de CO₂ avec deux démonstrateurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Fiscalité élevée en comparaison du Royaume-Uni • Évolutions réglementaires contraignantes • Coût du travail élevé • Production en déclin • Peu de diversification industrielle
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> • Gain potentiel en maturité de la filière de l'E&P (peu affirmée actuellement en comparaison de son voisin britannique) • Existence d'un potentiel E&P non encore exploré • Potentiel en emplois et en formation • Négociations climatiques et opportunités d'export du savoir-faire dans le CSC • Démantèlement des actifs <i>offshore</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes réglementaires pesantes • Pic de production pétrolière • Manque de main-d'œuvre qualifiée • Inflation marquée des coûts • Évolution des politiques environnementales mondiales pour le CSC

ANALYSE DE LA REPRODUCTIBILITÉ DES BONNES PRATIQUES DANS LE CAS DE LA FRANCE

Des bonnes pratiques organisationnelles applicables à la France ont été identifiées lors de l'analyse de la structuration des filières à l'étranger. Seules sont présentées les pratiques pouvant être possiblement reproduites en France.

Les initiatives à l'export

Les plateformes de promotion du savoir-faire national : en Allemagne, la plateforme « *Renewables – Made in Germany* » est une initiative coordonnée et financée par le ministère fédéral de l'Économie et de l'Énergie (BMWi). Elle vise à promouvoir l'expertise allemande (site web, annuaire) dans le domaine des énergies renouvelables et à organiser des voyages d'affaires vers et à partir de l'Allemagne pour faciliter les contacts entre les sociétés allemandes et étrangères. L'initiative est mise en œuvre en coopération avec l'Agence de l'énergie (DENA), l'Office fédéral pour les affaires économiques et l'export, la coopération allemande (GIZ) et les associations professionnelles. À l'origine de cette plateforme se trouve la *Deutsche Energie-Agentur GmbH*, l'Agence allemande de l'énergie créée à l'automne 2000. Cette initiative est un exemple de promotion à l'export ciblé et multiacteurs.

La recherche de partenariats à l'étranger : « chasse en tandem », « en meute » : En Allemagne, le positionnement à l'international des PME se fait par le biais d'une collaboration étroite avec les fédérations professionnelles, les CCI qui constituent un cadre d'échanges au sein de la filière. Les grands groupes qui s'implantent à l'international entraînent avec eux leurs fournisseurs. En Islande, l'*Iceland International Development Agency* (ICEIDA), qui a pour principal objectif l'administration de l'aide au développement, joue un rôle moteur pour le soutien à l'international des entreprises du secteur géothermique depuis la crise financière de 2008. On peut également citer le programme de financement ODA en Islande qui est un dispositif intéressant d'aide au développement à l'international. Le modèle islandais de « chasse en tandem » allie une société de forage et une ingénierie pour proposer des offres plus intégrées. Au Japon, l'une des missions du JOGMEC consiste à rechercher des partenariats et des marchés à l'étranger. Son action s'exerce également sur le soutien des entreprises japonaises sur les marchés E&P à l'étranger à travers des financements ou des garanties d'actifs.

Les partenariats public-privé dans la recherche et les politiques de clusters

Les dispositifs observés sur les filières de l'E&P en Norvège et au Royaume-Uni et sur la filière de la géothermie en Islande et au Japon, sur les partenariats public-privé et sur les politiques de clusters sont des pistes intéressantes à étudier dans le cas français.

La définition d'une stratégie commune sur les verrous technologiques du secteur en Norvège : l'action conjointe du ministère du Pétrole et de l'Énergie et du *Research Council of Norway* a permis de tisser de longue date des liens entre les secteurs public et privé sous l'égide d'une stratégie commune (OG21). Cette stratégie est composée de nombreux programmes d'incitations pour les différents acteurs de la filière : entreprises, universités, centres de recherche. Elle a fait l'objet d'une révision en 2012. Focalisée sur deux axes (soutenir la rentabilité de l'industrie pétrolière norvégienne/optimiser les ressources du plateau continental norvégien et augmenter les exportations de technologie et de savoir-faire), elle implique un recensement exhaustif de tous les avantages compétitifs d'ordre technologique de la filière.

Le cluster *Iceland Geothermal Cluster of Cooperation* : ce cluster soutient, initie et coordonne l'action de l'ensemble des acteurs publics et privés de la recherche et de l'industrie dans le secteur de l'énergie géothermique en Islande. Afin d'accroître l'innovation et le développement de la filière, le cluster s'appuie sur le partage des connaissances et des expériences ainsi que sur une action de communication auprès du grand public et des politiques. Enfin, ce cluster soutient le programme *Startup Energy Reykjavik*. Il peut servir de référence à son homologue français GEODEEP.

Le financement de l'innovation et le système des *Centres of Excellence (SFF)* et *Centres for Research-based Innovation Scheme (SFI)* en Norvège : en 2011, sous l'égide du *Research Council of Norway*, est lancé le programme des *Centers of Excellence (SFF)*. Ces derniers sont basés sur la création d'un consortium de recherche fondamentale sur une thématique particulière avec, à la clé, un financement à long terme de la structure. Les SFI (*Centres for Research-based Innovation Scheme*) ont été créés en 2007 pour amorcer une dynamique d'innovation et d'investissement dans la recherche à long terme. Ils sont le pendant industriel des SFF. Un SFI comprend obligatoirement les parties prenantes suivantes : un centre de recherche, un organisme

public et plusieurs industriels. Au nombre de quatorze en 2007 pour la période 2007-2015, sept nouveaux SFI ont démarré pour la période 2011-2018. Plusieurs SFI sont en lien avec les secteurs de notre étude. Le programme SFI est doté d'environ 25 M€ par an.

La création de centres passerelle entre les universités et les entreprises comme les *Catapult Centers* ou *Technology Innovation Centers* au Royaume-Uni : Financés à parts égales par un financement public, des contrats de recherche pour le secteur privé et des projets collaboratifs, ils associent acteurs académiques et privés, se focalisent sur une technologie spécifique et ont pour objectif de garantir un débouché commercial sur le marché national et/ou international.

La création d'un consortium public-privé sur le CSC : le *Japan CCS Co.* a été fondé en 2008 et se compose de 39 entreprises (24 à l'origine) issues des secteurs électriques, gaziers, pétroliers et de l'acier pour répondre à l'appel du gouvernement japonais au déploiement de la technologie CSC dans le pays. Il réalise actuellement des études de faisabilité de projets de démonstration de la technologie CSC à grande échelle et des études de faisabilité de transport de CO₂.

TRANSFERTS DE TECHNOLOGIES ET DE COMPÉTENCES

Le diagnostic approfondi de chacune des filières de la valorisation énergétique du sous-sol profond en France a montré que ces industries, qui présentent une structuration similaire de leur chaîne de valeur, partagent aussi plusieurs problématiques communes à l'heure actuelle : un marché national limité, des opportunités de développement limitées et extrêmement encadrées sur le territoire français avec notamment une législation commune (le Code minier) et une forte concurrence sur leurs marchés à l'export.

Ces filières étant soumises aux mêmes types d'aléas géologiques et techniques, une analyse fine des technologies mises en œuvre dans le cadre de projets de recherche et industriels avec des compétences qui leur sont associées, a été réalisée. Elle a notamment permis d'identifier les technologies et les savoir-faire en Exploration & Production/Stockage développés dans le contexte de l'E&P qui pourraient être utilisés en géothermie profonde pour la production d'électricité, qu'elle soit en contexte volcanique ou EGS, et de chaleur en production directe ou en sous-produit (cogénération). Elle a aussi contribué à mettre en exergue le potentiel d'évolutions technologiques lié à une coopération plus large entre ces filières, et, au-delà, le rôle qu'elles pourraient jouer dans le développement de nouvelles filières du sous-sol.

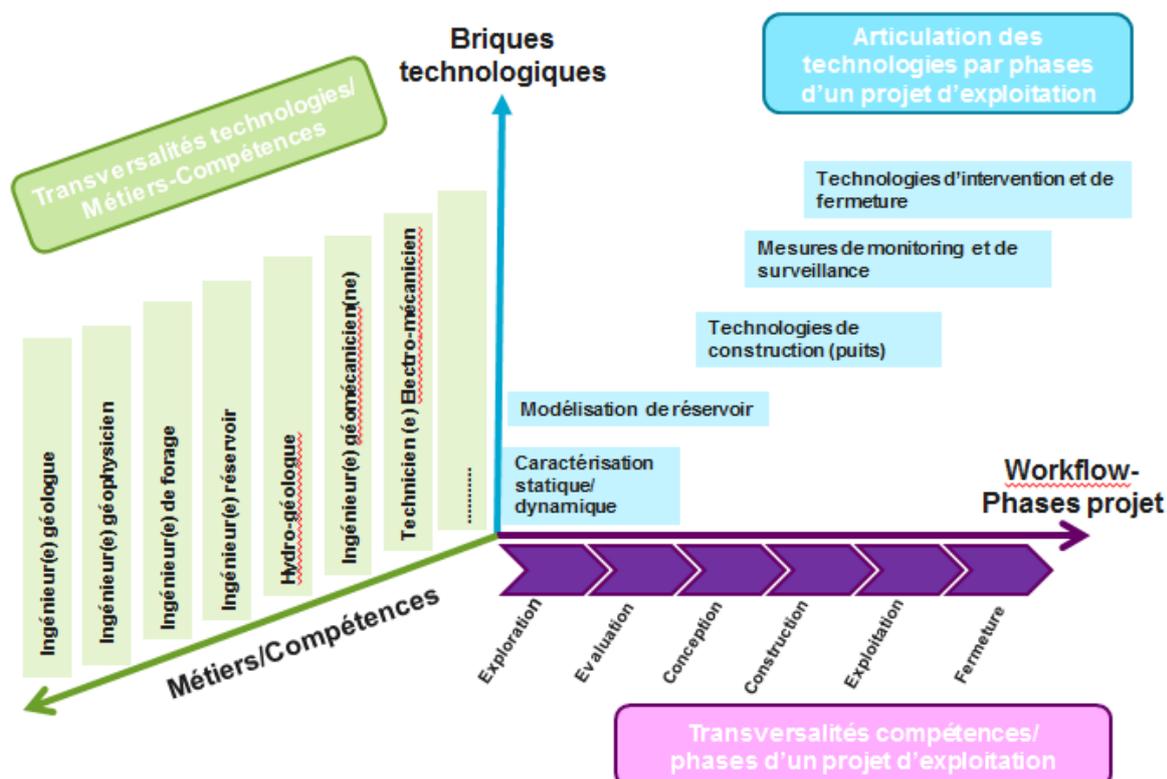
Des initiatives favorisant les transferts interfilières ont déjà été mises en place. Pour autant, la plupart des acteurs économiques de ces filières disent rester en attente de nouvelles initiatives de structuration pour améliorer l'organisation et le fonctionnement de ces industries, que ce soit pour le territoire national ou l'export.

TECHNOLOGIES ET COMPÉTENCES SUR LA CHAÎNE DE VALEUR, CONSTAT ET IDENTIFICATION DES OPPORTUNITÉS DE TRANSFERTS ENTRE LES FILIÈRES

De l'exploration du sous-sol profond à la mise en place des installations de production de pétrole et de gaz pour la filière de l'E&P, ou à la centrale de production électrique ou de chaleur pour la filière de la géothermie, une succession d'étapes caractérisées par l'intervention de nombreux acteurs et de différents métiers, qu'ils soient spécifiques à une industrie ou communs à l'ensemble des filières du sous-sol, jalonnent le cycle de vie de ces projets industriels.

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes focalisés sur les technologies et les métiers en lien avec l'exploitation du sous-sol par les filières de l'E&P, le stockage géologique et la géothermie. L'analyse a donc consisté à identifier les briques technologiques utilisées à chacune des étapes d'un projet et à mettre en regard les compétences nécessaires à leur mise en œuvre. Ces techniques incluent notamment la caractérisation initiale du site (technologies d'exploration), le forage, la surveillance du comportement du réservoir et du site pendant l'exploitation et la mise à jour des modèles ainsi que la maîtrise des impacts environnementaux.

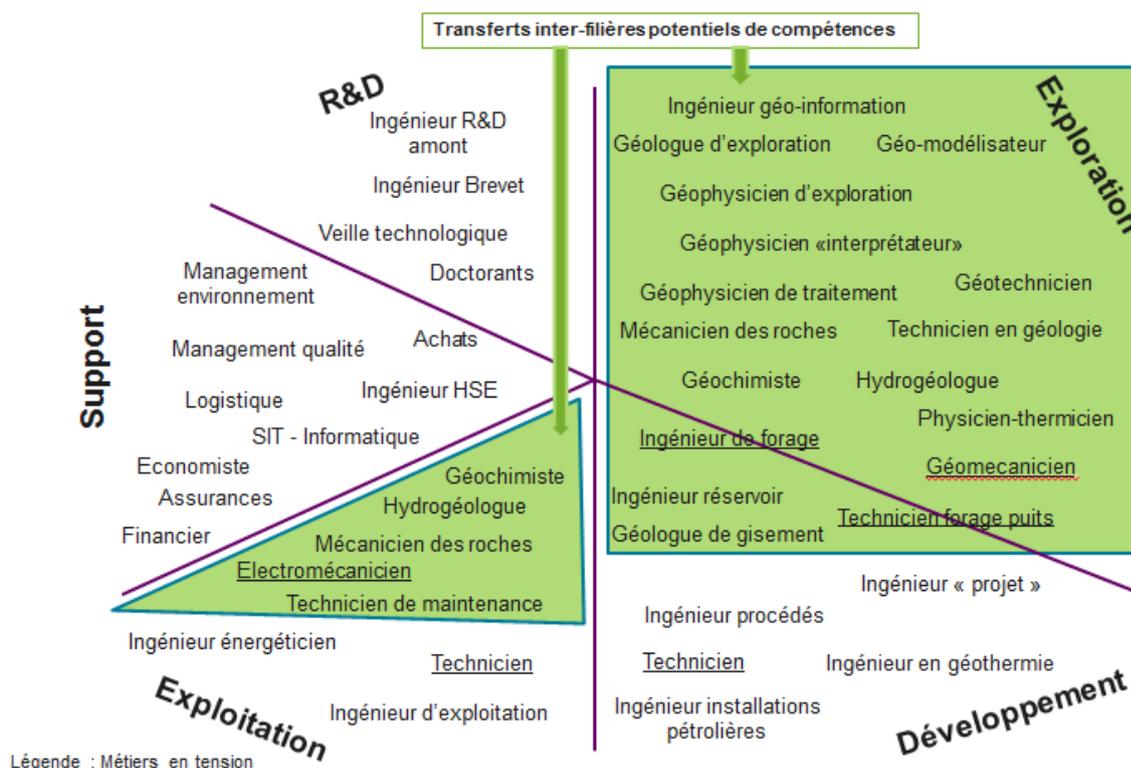
Figure 32 : Analyse des articulations et des transversalités potentielles interfilières



Source : IFPEN (données non exhaustives, graphe adapté à partir d'Actys-Bee).

Pour ce qui concerne les compétences, seules les spécialités « géosciences » et les métiers les plus spécifiques (domaine forage-puits, installations) de l'exploitation du sous-sol profond ont fait l'objet d'un examen particulier. À l'image de tout autre projet industriel, le développement de projets pétroliers, de stockage de gaz naturel ou de gîtes géothermiques fait appel à plusieurs dizaines de métiers, de compétences diverses et plus « généralistes » en management général de projet et de services, dans les opérations d'exploration, d'exploitation, d'inspection et de maintenance, en recherche et développement, mais aussi dans tous les domaines support (HSE/Qualité, logistique, achats, finances, droit des entreprises, systèmes informatiques, stratégie-économie) et moyens généraux. Les études préliminaires nécessitent aussi des compétences en droit minier et en droit local (relations avec les autorités locales).

Figure 33 : Les principaux métiers du sous-sol profond



Source : IFPEN

Les géothermies profondes à moyenne (90-150°C.) et à haute températures (>150°C.) nous semblent être les seules options qui possèdent une « intensité technologique » suffisante pour avoir recours à des outils issus de l'E&P. Elles exploitent la chaleur stockée dans des formations rocheuses profondes donc à des températures élevées, mais avec des connexions au réservoir parfois peu perméables dans le cas des EGS (*Enhanced* ou *Engineered Geothermal Systems*). Les compétences développées dans le cadre de l'E&P et du stockage, que ce soit en modélisation de bassin, en simulation des écoulements réactifs dans les milieux géologiques et en *monitoring* pourraient cependant également contribuer à lever plusieurs barrières technologiques auxquelles reste confrontée cette filière, notamment pour la technologie EGS à l'état de recherche.

La synthèse qui suit montre que les technologies de l'E&P et du stockage géologique ont de nombreux points communs avec celles qui doivent être mises en place pour les EGS. Ceci est d'autant plus vrai avec la prise de conscience récente des possibles applications EGS dans des contextes de bassins sédimentaires profonds et de socles contenant des formations peu perméables, ou même en zone volcanique lorsque des forages sont peu producteurs. Par ailleurs, les prospectives les plus récentes sur l'utilisation durable de la géothermie soulignent l'importance des modes d'exploitation des gisements pour permettre aux générations futures de bénéficier en permanence de cette ressource renouvelable⁵⁸.

⁵⁸ Pour la production d'électricité et de chaleur en contribuant ainsi à la lutte contre le changement climatique : accroissement par étapes de la puissance produite jusqu'au régime permanent limite de renouvellement énergétique (équilibre entre soutirage d'eau et recharge naturelle en système ouvert ; gestion de la propagation du front froid de réinjection en boucle fermée à semi-fermée, y compris une utilisation en cascade de la chaleur en évaluant les conséquences sur la pérennité de la ressource).

Ce contexte paraît donc très approprié pour mettre en œuvre les outils logiciels développés dans le cadre de l'E&P et du stockage pour la caractérisation, la simulation des réservoirs fracturés, la géochimie des interactions fluide-roche ainsi que le *monitoring*. En retour, il est légitime de penser que cette mise en œuvre pourrait conduire à des améliorations significatives de ces outils au bénéfice de l'E&P.

Technologies utilisées et compétences associées : opportunités de transferts interfilières

Le Tableau 20, ci-dessous, présente la synthèse des opportunités de transferts technologiques interfilières identifiées dans cette analyse. Elles sont potentiellement nombreuses (la flèche indique le sens du transfert entre les filières). Les acteurs interviewés dans le cadre de cette étude ont néanmoins souligné, en tout premier lieu, le besoin de connaissance mutuelle des acteurs des filières, sur des aspects techniques en particulier. Un préalable aux transferts de technologies consiste à mettre en relation les acteurs afin de partager non seulement les connaissances techniques mais aussi les défis techniques qu'ils rencontrent. Ainsi, l'accent a été mis sur la **création des conditions nécessaires aux transferts de technologies** plutôt que sur les transferts en tant que tels. Les transferts sont en effet souvent le fruit de rencontres et d'opportunités liées à ces rencontres, plutôt que le résultat d'une démarche systématique de transferts.

Tableau 20 : Opportunités de transferts de technologies interfilières

Brique technologique	E&P Stockage Gaz naturel/CO2	Géothermie profonde
Ingénierie de réservoir	→	
Forage et techniques de monitoring en puits à adapter aux conditions HT, HP	→	
Simulation du comportement court terme	→	
Réservoirs fracturés (fracturation naturelle)	←→	
Interactions fluides-roches (géochimie)	←→	
Micro sismicité dans le monitoring (traçage géochimie)	←→	
Comportement hydromécanique des failles	←→	
Puits et comportement du réservoir à très long terme	←→	
Intervention sur puits en fin de vie, fermeture	→	

Source : IFPEN et le BRGM.

Exploration – évaluation–conception

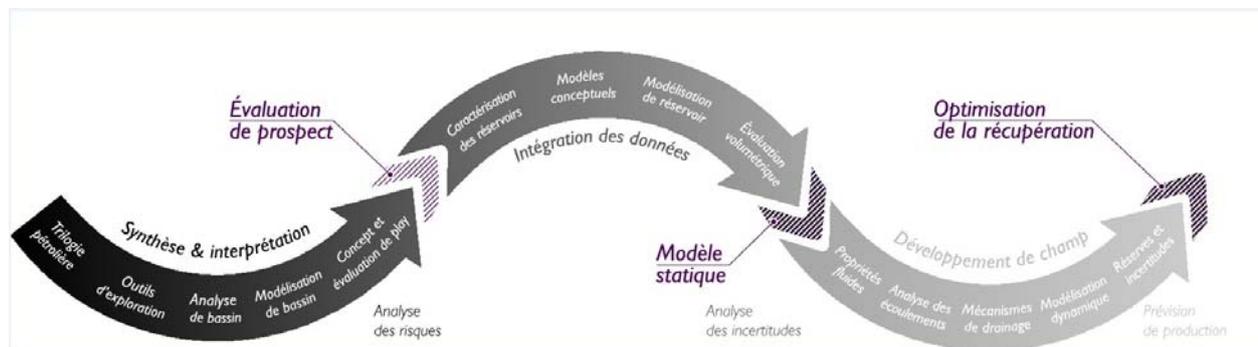
L'exploration pétrolière et gazière comporte essentiellement deux phases : une première phase constituée par les **études géologiques et géophysiques** ; une seconde, comprenant un ou plusieurs **forages d'exploration** (forages de tests ou *wildcats*) qui permettront de conclure à la présence ou non d'hydrocarbures (27) ou d'eau.

Commune aux trois filières, les études géologiques sont la base pour les autres études qui vont suivre. Elles permettent de vérifier la composition sédimentaire du bassin. L'analyse d'échantillons, l'étude minutieuse du terrain (plissements, failles, anticlinaux, suintements) et la photographie aérienne conduisent à une première estimation de la nature et de la configuration des couches avoisinant la surface du sol.

Les études géophysiques, utilisables à la fois à terre et en mer, permettent ensuite de connaître les couches profondes du sous-sol. Elles reposent sur des études de gravimétrie, de magnétométrie et surtout de sismique

2D voire 3D en contexte de bassin sédimentaire, qui permettent d'estimer les profondeurs de structures ; on détecte ainsi la présence éventuelle de pièges et d'anomalies de structures susceptibles de renfermer des hydrocarbures ou d'être propices à des gîtes géothermiques. Ces études sont déjà sensiblement plus lourdes que les études géologiques.

Figure 34 : Du bassin au réservoir : le cycle de vie « amont » d'un projet d'exploitation du sous-sol



Source : IFP Training.

Si cette première phase est encourageante, elle justifie l'implantation d'un ou plusieurs forages d'exploration destinés à vérifier les hypothèses émises à la suite des travaux géologiques et géophysiques. En effet, bien que ces travaux fournissent des informations essentielles quant aux zones les plus favorables à prospecter, **le forage** demeure le véritable outil de recherche ; il est le seul à conduire à une certitude quant à la présence ou non d'hydrocarbures ou d'un gîte géothermique.

Le forage désigne l'ensemble des opérations et techniques mises en œuvre pour la réalisation d'un puits jusqu'aux couches supposées pétrolifères ou aquifères. Les profondeurs de forages peuvent atteindre 6 000 mètres. On profite généralement de cette occasion pour réaliser des tests sur puits ; ces tests ou diagraphies précisent les caractéristiques des couches traversées. Plus particulièrement, ils aident à la détermination de la porosité et de la perméabilité de la roche, utiles dans l'évaluation des réserves récupérables du gisement.

Dans le cas de la géothermie, des **études hydrogéologiques** sont réalisées afin de caractériser les aquifères par leur contenant (roche réservoir) et leur contenu (fluides).

Apport des techniques développées dans l'E&P et dans le stockage à la gestion des sites EGS

Caractérisation statique et dynamique du site

La caractérisation statique du site se fait généralement à partir de données acquises dans un puits (ou une série limitée de puits) pilote. Cette caractérisation correspond à la description du réservoir ou de la formation (faciès pétrographique, et propriétés pétrophysiques, mécaniques, acoustiques, composition minérale et état de fracturation, caractérisation thermodynamique des fluides), de l'état de contrainte et de la composition du fluide naturel (y compris isotopique). Ces descriptions permettent de discuter l'origine de ce fluide et la nature des hétérogénéités géochimiques naturelles du réservoir (par exemple : altération hydrothermale d'un granite fracturé, capable de colmater partiellement les fractures, comme à Soultz-sous-Forêts (28)). Elles sont utilisées pour reconstituer le fluide dans un état d'équilibre avec son encaissant. Cette caractérisation est essentielle car elle permet d'estimer comment les variations de température et éventuellement de chimie de ces fluides vont contrôler les interactions eau-roche pendant la mise en production. Elles permettent de plus de définir une stratégie de production pouvant faire appel à de la stimulation chimique ou mécanique visant à améliorer la connectivité du dispositif (par exemple, pour dissoudre des dépôts hydrothermaux naturellement accumulés dans certaines fractures majeures). Les outils mis en œuvre pour cette caractérisation (étude de carottes, diagraphies, imagerie et sismique de puits, LOT et minifrac) sont en tout point semblables à ceux mis en œuvre pour la caractérisation des réservoirs pétroliers.

La caractérisation dynamique consiste à acquérir des paramètres pétrophysiques qui gouvernent les écoulements au sein du milieu poreux, et à utiliser les données acquises pendant une sollicitation du site en pression (test de production ou stimulation) pour approfondir la connaissance du site. Pour des raisons environnementales, les sites pilotes EGS ont été souvent équipés de sismomètres permettant d'enregistrer les microséismes générés pendant ces phases de la vie de l'exploitation. Chaque petit séisme induit génère des ondes (compression et cisaillement). La tomographie sismique consiste à déterminer les variations spatiales de vitesse de propagation de ces ondes dans la formation rocheuse en profondeur à partir de leurs temps d'arrivée

en différents points d'enregistrement. Les vitesses dépendent des propriétés physiques de la formation rocheuse, et donc de son état de fracturation. Une étape préliminaire consiste à ne considérer que les vitesses. Des modèles de milieux effectifs permettent de les relier aux propriétés de la formation rocheuse (densité et ouverture des fractures). On peut alors mettre en place une boucle de calage pour caractériser la fracturation. Une deuxième étape implique l'utilisation jointe des vitesses et pressions. À ce stade, il est essentiel de combiner le mieux possible la modélisation des phénomènes mécaniques et des écoulements. Une difficulté concerne les temps de calcul. Il faut trouver des solutions suffisamment représentatives de la réalité, robustes et abordables en termes de temps de calcul. Cette chaîne de modélisation directe étant définie, il reste à développer une nouvelle boucle de calage. Comme mentionné plus haut, l'idée est d'ajuster de façon itérative un modèle numérique initial, représentatif de la formation rocheuse, jusqu'à ce que la réponse hydromécanique simulée pour ce modèle corresponde aux données disponibles à savoir les pressions, les vitesses et l'enveloppe des microséismes au cours du temps.

Méthodes sismiques et géothermie

Les méthodes sismiques peuvent être utilisées dans deux contextes différents : la caractérisation du réservoir et le suivi du champ en cours d'exploitation. En effet, les vitesses de propagation des ondes élastiques (V_p – vitesse des ondes de compression et V_s – vitesse des ondes de cisaillement) dépendent non seulement de la lithologie et du réseau de fractures mais aussi de la température, de la pression et de la saturation des fluides. Les valeurs de V_p , V_s et V_p/V_s sont très sensibles au mélange gaz-liquide si bien que l'interprétation de ces valeurs permet de localiser la vapeur dans le réservoir.

Les méthodes sismiques de surface, telles que la sismique réflexion, utilisées pour l'imagerie des réservoirs pétroliers sont réputées pour leur pouvoir de résolution à grande profondeur. Elles sont utilisées pour imager la structure géologique du réservoir dans le domaine pétrolier et sont applicables de la même façon dans le domaine de la géothermie. La qualité de l'image du réservoir dépend de la précision du champ de vitesse. En présence de fortes variations latérales, l'utilisation de données grand *offset* (déport de quelques kilomètres entre la source et les récepteurs) est un élément essentiel. Une fois le champ de vitesse déterminé par des méthodes de tomographie ou d'inversion, une migration profondeur permet d'obtenir une image fiable de la structure du réservoir. L'interprétation de données VSP 3C (*vertical seismic profile*) fournit une aide complémentaire et précieuse pour affiner le modèle structural, notamment via l'interprétation et la compréhension des événements diffractants. Des campagnes sismiques répétées (4D) permettent de suivre l'évolution du réservoir.

Technologies communes

La caractérisation statique et dynamique des sites EGS fait appel à des techniques et des compétences tellement proches de celles mises en œuvre pour la production des hydrocarbures en milieu fracturé et le stockage souterrain que les apports potentiels des technologies E&P sur ce point sont nombreux et réciproques.

Les outils de modélisations géochimiques (interactions fluides – roche) développés pour la gestion des sites de stockage de CO_2 et la simulation des phénomènes diagénétiques pourraient tout naturellement modéliser la chimie des fluides en place afin de déterminer les conditions optimales de fonctionnement d'un site EGS.

Par ailleurs, les outils de modélisation des réservoirs fracturés à l'échelle des tests de puits ou du réservoir ont été développés depuis vingt ans pour l'E&P. L'utilisation de ceux qui contiennent des options thermiques pourraient s'appliquer de façon très directe sur les sites EGS. L'expérience acquise sur les gaz non conventionnels aux États-Unis a par ailleurs permis d'utiliser l'information microsismique pour améliorer ces modélisations.

Les modèles de milieux effectifs sont utilisés depuis plus de dix ans pour caractériser les réservoirs fracturés à partir de sismiques azimutales et pour interpréter les données de *monitoring* sismique.

Finalement, l'expérience et les outils développés sur la microsismicité, la tomographie et l'inversion des données sismiques pourraient être utilisés pour améliorer la caractérisation des sites.

Tests avec traceurs

Comme il s'agit de faire circuler des fluides entre des puits injecteurs et des puits producteurs, l'utilisation de traceurs pour caractériser le site de production est toute naturelle. La principale utilisation des traceurs est d'apprécier, à travers (1) la chronique de restitution entre un puits injecteur (injection en retour du fluide refroidi) et un puits producteur, et (2) la proportion restituée, quelle est la structure et la qualité de la connectivité, ou comment celle-ci a pu être modifiée par une opération de stimulation. L'interprétation d'un test opéré avec un traceur utilise un modèle de circulation dans le réservoir, assorti éventuellement d'une représentation de tel ou tel processus physique susceptible d'atténuer le signal du traceur (taux d'adsorption, par exemple). Cette technique est utilisée sur certains sites EGS (29).

Technologies communes

Dans l'E&P, le traçage géochimique est utilisé pour définir la compartimentation des champs. Si l'utilisation des biomarqueurs restera une caractéristique de l'E&P, les méthodes utilisant l'isotopie des majeurs et des gaz rares pourraient être appliquées avec succès pour caractériser les circulations entre puits. Le traçage des mouvements de fluides utilisant les gaz rares a déjà fait l'objet d'études dans le cadre de projets sur le *monitoring* du stockage de CO₂. Nous pensons que ces travaux recèlent une source d'innovation importante dans le contexte EGS s'ils sont combinés à des outils de simulation efficaces.

Tests hydrauliques et tests d'interférence entre puits

Pour caractériser les propriétés hydrauliques des réservoirs souterrains (Dogger du Bassin parisien, par exemple), des tests de pompage et/ou d'injection sont systématiquement effectués dans les puits de reconnaissance et d'exploitation. Ces tests permettent d'apprécier la productivité du réservoir, de déterminer les performances des équipements mis en place dans les puits (crépines dans le cas de formations sableuses ou argilo-gréseuses, tubages, etc.), et de mesurer les interférences entre puits si plusieurs forages d'observation sont accessibles.

Les tests hydrauliques consistent à imposer un échelon de pression ou une chronique de pression dans un puits par un dispositif de pompage ou d'injection, et à observer sur le puits testé et sur les puits environnants la réponse du milieu à la perturbation imposée. Les interférences mesurées entre puits renseignent sur la continuité hydraulique du réservoir entre puits et sur la variabilité spatiale du réservoir s'il y a plusieurs puits d'observation.

Concrètement, on distingue en général des phases successives de développement, de stimulation chimique pour améliorer la productivité des puits, et de mise en production pour déterminer les débits d'exploitation préconisés sur les ouvrages. Les techniques associées, ainsi que les capteurs et leur mise en œuvre, les méthodes d'interprétation des tests hydrauliques, et les modèles de simulation d'écoulement mis en œuvre en géothermie présentent beaucoup de similitudes avec les équipements et méthodes utilisés pour caractériser les réservoirs pétroliers.

L'expérience acquise en géothermie dans les tests hydrauliques et les tests d'interférence entre puits, pourrait être transférée vers l'E&P. En effet, les contraintes d'exploitation des gîtes géothermiques peuvent être très complexes, notamment à l'image de situations existantes dans le Val-de-Marne où la présence de nombreux doublets géothermiques proches les uns des autres peut entraîner des interférences de pression, de circulation de fluides et donc des baisses de température sur des puits producteurs pouvant générer des conflits d'usage. Ces situations conduisent à des déclarations de sinistre auprès de la garantie long terme de la SAF et à des expertises délicates.

Métiers et compétences en exploration

Six grandes spécialités constituent la chaîne des géosciences et ont un objectif commun, interpréter les échantillons de roches et de fluides, ainsi que l'imagerie générée par des calculateurs pour, *in fine*, modéliser l'architecture des réservoirs, décrire leur agencement interne et le comportement des fluides mis en mouvement pour leur production :

- la géo-information, science qui regroupe les professionnels de la donnée pétrolière (gestion du patrimoine de la connaissance « géosciences ») ;
- la géologie, riche d'une vingtaine de spécialités – parmi lesquelles la géochimie organique (étude des roches-mères), la sédimentologie (étude des processus de dépôts sédimentaires constituant les réservoirs), la géologie structurale (pour la compréhension de la structure des bassins pétroliers et des réservoirs) ou la biostratigraphie (étude des micro-organismes présents dans les sédiments), une discipline clé des filières du sous-sol, depuis la prise du domaine minier jusqu'à la production ;

- la géophysique (qui se subdivise en trois grands domaines : la géophysique interne – dont géodésie, sismologie, géomagnétisme, géodynamique ; la géophysique externe – dont électricité ; la géophysique des couches-limites – dont océanographie, hydrologie, météorologie) ;
- l'hydrogéologie ;
- la géochimie ;
- la pétrophysique.

Par ailleurs, les opérations de forage de puits appellent ici des compétences fortes en responsabilités générales, en ingénierie et nécessitent des collaborateurs (ingénieur et technicien) « mobiles » à l'international. Ce travail, qui se situe soit à terre soit en mer, demande de la rigueur et il est porteur de tensions intenses car les enjeux de sécurité, d'environnement et économiques sont très importants. C'est aussi un métier transverse : l'ingénieur foreur intervient avec les géologues, les géophysiciens, les ingénieurs réservoir pour définir les objectifs du forage, et avec les ingénieurs exploitation pour la production future des puits.

Les spécialités et les compétences qui leur sont associées sont communes à l'ensemble des filières du sous-sol profond et peuvent de fait être sollicitées indépendamment du domaine (voir annexe).

La filière de la géothermie reste multidisciplinaire et nécessite de percevoir le conceptuel et le global au croisement de l'ensemble des disciplines la composant (géologie, hydrogéologie, thermique, hydraulique, mécanique, chimie). Dans cette filière industrielle, l'ingénieur en géothermie a donc un profil plus diversifié sur toute la chaîne de compétences. Pour des projets importants, on fait appel à différents profils de géothermiciens (géologues, géophysiciens, géochimistes...). Pour des chantiers plus modestes, les opérations peuvent être pilotées par un ingénieur forage compétent en modélisation hydrodynamique, en thermique de surface et en techniques de forage.

Développement – mise en production : forages de développement, équipements des puits, opérations de stabilisation et de prétraitement de la production

Lorsque le forage d'exploration rencontre une couche productrice, le « gisement » doit être délimité et apprécié. S'il se révèle commercialement exploitable, de nombreux autres puits, appelés puits de développement, devront être forés afin de drainer une quantité maximale d'hydrocarbures (le nombre de puits peut varier, suivant la taille du gisement, d'une dizaine à plusieurs milliers). Les conditions de forage sont alors de mieux en mieux connues et chaque opération unitaire de forage voit son prix de revient s'améliorer et le risque d'échec se réduire ; les investissements globaux sont, en revanche, beaucoup plus importants et souvent considérables. Après la pose, en tête de puits, des équipements nécessaires au contrôle et au réglage du débit d'extraction (« arbre de Noël »), la mise en production à proprement parler peut commencer.

Métiers et compétences en développement (voir annexe).

Quatre spécialités sont stratégiques pour optimiser la production des gisements :

- la géologie de réservoir ;
- la géophysique de réservoir ;
- l'ingénierie de réservoir ;
- la pétrophysique.

Le stockage de gaz naturel et la géothermie utilisent les mêmes techniques, auxquelles on ajoute, pour la géothermie, les contrôles de la corrosion et des dépôts dans la boucle d'exploitation. À plus long terme, le stockage de CO₂ peut devenir un domaine majeur de ces techniques.

Exploitation

L'exploitation d'un gisement est le plus souvent une opération délicate. Le gisement évolue, ses conditions optimales de production changent, le matériel et les puits eux-mêmes doivent être entretenus. Là aussi une très forte technicité est requise car une amélioration de quelques pourcents du taux de récupération ou du rythme de production peut avoir un impact très important sur sa rentabilité.

Comportement du réservoir pendant l'exploitation

La maîtrise de l'évolution du réservoir pendant l'exploitation passe par la réalisation de simulations de réservoir. Il s'agit en technologie EGS de réaliser des simulations prenant en compte des effets mécaniques, hydrauliques, thermiques et chimiques sur les écoulements. Il va de soi que les calculs d'échanges thermiques font partie intégrante de ces simulations. On notera que dans les contextes considérés, de réservoirs généralement

fracturés, l'impact des failles sur l'efficacité d'échange thermique n'est pas négligeable. En effet, ces dernières peuvent court-circuiter thermiquement et hydrauliquement le réservoir en favorisant l'effet de canalisation préférentiel de l'écoulement entre puits, comme l'ont récemment montré les chercheurs de l'EOST (École et Observatoire des sciences de la terre) et de l'Institut de physique du globe de Strasbourg.

La question des interactions eau-roche – de leur description et de leur modélisation – revient fréquemment dans la littérature pour la technologie EGS, qu'il s'agisse de comprendre l'évolution naturelle qui a conduit aux propriétés du réservoir, ou de maîtriser les réactions minérales susceptibles de faire évoluer les propriétés pétrophysiques au cours de l'exploitation. Dans ce dernier cas, en fonction des types de solutions qui sont amenées à circuler (anthropiques ou naturelles), il existe des risques d'altérer la connectivité par la précipitation de solides, mais aussi à l'inverse de l'accroître par dissolution – voire de l'améliorer délibérément par une stimulation chimique adaptée. La compréhension des impacts géochimiques (et les impacts géomécaniques qui peuvent en résulter) est l'un des cinq grands verrous identifiés par le Massachusetts Institute of Technology (MIT) dans sa synthèse de 2006 (30). Les études présentées dans la littérature montrent bien l'importance des vitesses de réaction minérale dans les phénomènes qui se développent au cours des opérations de stimulation, ou ensuite d'exploitation. Par exemple, à Soultz-sous-forêts (28), les carbonates naturels d'altération hydrothermale qui tapissent les fractures sont attaqués à la stimulation acide, mais les aluminosilicates, lents à réagir, sont peu remaniés par le traitement.

Remarque : même dans le cas de la géothermie basse énergie où le retour d'expérience est beaucoup plus large, la géochimie est mentionnée plutôt comme une source de difficultés (dépôts, corrosion, activité bactérienne, etc.), aussi bien dans les tubages et conduites (pour les fluides issus de formations carbonatées) que dans le réservoir pour les formations argilo-gréseuses (dépôts dans l'espace poreux). Dans le cas de cette filière géothermique, le suivi de la percée thermique liée à l'évolution de la « bulle froide » du fluide injecté en direction du puits producteur est un élément de comportement thermique du réservoir à surveiller pendant l'exploitation.

Stimulation chimique : Dans certains cas, il est envisagé de stimuler chimiquement la connexion du puits au réservoir. Cette technique est encore peu employée dans les formations de type bassin d'effondrement et la référence reste ici l'exploitation pétrolière (31). Elle a toutefois montré son efficacité sur le premier forage réalisé dans le projet Écogi où furent employés des acides biodégradables.

Technologies communes

Dans l'E&P, la production de certains types de réservoir est très sensible au champ de contraintes (réservoirs fracturés et non consolidés par exemple). L'industrie pétrolière dispose donc d'outils permettant de caractériser le champ de contraintes *insitu* et de simuler son impact sur la production. Au-delà des prévisions de production, ces simulations sont utilisées pour garantir la sécurité des opérations sur les champs concernés. En ce qui concerne le stockage géologique, une attention particulière a été portée sur les effets que les failles et fractures naturelles peuvent avoir sur la migration du CO₂ et inversement les effets que l'injection de CO₂ peut avoir sur la stabilité des failles. Plusieurs projets nationaux et européens ont financé la R & D sur ces sujets.

En ce qui concerne les écoulements réactifs, plusieurs simulateurs ont été développés et mis en œuvre dans le cadre de la recherche associée au stockage de CO₂. La cinétique des réactions est intégrée à ces logiciels. Dans ce cadre, plusieurs organismes se sont dotés de laboratoires Haute Pression-Haute température (HP-HT) en appui de la modélisation.

Forage et vieillissement des installations

La réalisation d'un forage pour un site de type graben à 2 000 mètres et au-delà met en jeu les mêmes techniques que les forages réalisés pour la production à terre d'hydrocarbures. Un puits géothermique est conçu pour rester productif pendant des décennies. L'étude de l'endommagement mécanique et chimique de ce puits, et éventuellement leur remédiation, est donc un enjeu scientifique et économique important. Le transfert de saumures dans des tubages en acier entraîne deux types de risques (et pas seulement en géothermie haute énergie) : la formation de dépôts (*scales*), dont certains induits par l'activité bactérienne, et la corrosion. Ces effets sont très dépendants des caractéristiques du fluide, et des paramètres de l'exploitation (32). Ils concernent la majeure partie des installations subissant la circulation des fluides traversant le réservoir.

Dans le cas de forages géothermiques de basse énergie, le suivi géochimique régulier du fluide exploité permet de mettre en place, à bon escient, des dispositifs de traitement contre les dépôts et la corrosion en fond de puits producteur et de les faire évoluer (taux et nature de l'inhibiteur) en fonction des modifications observées.

Technologies communes

Dans le cadre des projets « pilotes de stockage de CO₂ », des outils de simulation ont été développés afin de permettre d'évaluer et quantifier les risques de rupture mécanique des puits induite par la modification du champ de contraintes aux abords du puits. Une modélisation du chargement mécanique exercé sur le puits lors des différentes étapes de sa vie (complétion, injection, cycles d'arrêt/redémarrage, opérations de maintenance, fermeture et période postfermeture) permettra à terme de sélectionner les matériaux de cimentation avec des propriétés mécaniques adaptées. La méthodologie (couplage entre modèles réservoir et géomécanique puis modélisation fine au niveau du puits) est élaborée, et a déjà été mise en pratique avec succès pour l'étude de l'abandon des puits pétroliers et dans le cadre du stockage géologique du CO₂. La compréhension de l'évolution géochimique est ici encore importante. Des outils de modélisation géochimique de l'évolution des ciments sont disponibles. Ils cherchent à prédire l'évolution minéralogique et la porosité d'une pâte de ciment durcie quand elle est en contact avec une saumure. À partir de cette modélisation, on peut en déduire une vitesse de dégradation d'une matrice cimentaire conventionnelle.

Valorisation des puits pétroliers en fin de vie : une option à considérer pour l'avenir ?

Enfin, la valorisation et/ou la réhabilitation des ouvrages existants (puits de pétrole ou de gaz, puits forés en fin de vie ou qui ne sont plus à ce jour exploités – soit plusieurs centaines en France métropolitaine – anciennes exploitations minières) pour une opération de géothermie mérite d'être considérée. En effet, l'exploitation de la chaleur géothermale de ces puits existants nécessite un investissement limité, à la condition que le puits soit réalisé en diamètre suffisant pour limiter les pertes de charges des fluides géothermiques exploités à gros débits. La proximité avec l'utilisateur ou des lieux de consommation énergétique (logement, bâtiment collectif ou tertiaire généralement associés à un réseau de chaleur, industrie) peut de plus favoriser leur utilisation et les légitimer comme source exploitable de chaleur. Ces puits pourraient aussi, dans certains cas, être instrumentés et permettre d'étudier l'évolution des réservoirs profonds (20).

Si, du point de vue technique, la réhabilitation des puits pétroliers pour une opération de géothermie fait sens, elle reste confrontée, d'un point de vue administratif et réglementaire, à un écueil majeur qui est le transfert de responsabilité et ses conséquences financières entre l'opérateur pétrolier et l'opérateur géothermie.

Métiers et compétences en exploitation de site pétrolier ou géothermique (voir annexe).

Comme il n'existe pas, au niveau technicien, de formation spécifique au pétrole (voir partie formation) ni à la géothermie, ces collaborateurs sont issus d'une formation « généraliste », puis sont généralement formés en interne par la société qui les emploie et peuvent ensuite compléter par des formations dispensées par des organismes spécialisés (IFP Training pour le domaine pétrolier, CFAFG pour le gaz, le BRGM pour la géothermie).

Dans le domaine pétrolier, les emplois se trouvent au sein des grands groupes pétroliers ou dans des sociétés pétrolières et parapétrolières françaises de taille moyenne. Qu'ils exercent leur métier en France ou bien à l'étranger, les ingénieurs et les techniciens pétroliers travaillent dans un environnement très cosmopolite, ce qui rend la pratique de la langue anglaise indispensable.

L'offre de formation aux filières du sous-sol profond : variée et de qualité

Des besoins en compétences et en professionnalisation

Le diagnostic réalisé pour chacune des trois filières a mis en exergue des tensions importantes sur l'offre professionnelle dans certains métiers et dans différentes fonctions. Les principaux métiers concernés, communs aux trois filières, sont notamment l'ingénierie de forage et de puits, l'ingénierie de réservoir, les ingénieurs ayant 15 à 20 ans d'expérience et plus largement les techniciens qualifiés dans de nombreuses spécialités des filières du sous-sol profond.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cet état de fait. L'E&P a souvent exprimé ses difficultés à conserver ces compétences sur le territoire national face à un marché international attractif en termes de carrières et de salaires. Le manque d'attractivité de ce secteur peut aussi s'expliquer par les charges médiatiques ou politiques dont fait l'objet la filière. La géothermie doit quant à elle faire face à la forte concurrence de l'E&P qui offre des salaires plus élevés que ceux qu'elle peut proposer.

Ce constat récurrent d'une offre insuffisante dans la filière technique pour les métiers du pétrole et des difficultés à recruter avait déjà conduit les entreprises du secteur pétrolier à motiver l'ouverture, en 2008, d'une licence professionnelle en « Instrumentation pour l'exploration et l'exploitation pétrolières » au sein du Département Mesures Physiques à l'Institut Universitaire Technologique de Lannion en Bretagne. En effet, dans la filière de l'E&P, la pyramide des âges est inversée et le secteur doit encore faire face à des départs à la retraite. Cette situation résulte d'un prix bas du pétrole de 1985 à 2000 qui avait engendré un gel durable des embauches de la filière à l'image de ce qui se passe actuellement. La chute du prix du pétrole et le ralentissement de l'activité qui en résulte au niveau international pourrait quelque peu ralentir cette quête de jeunes cadres techniques, les grands groupes rappelant sur le territoire national une partie de leurs collaborateurs expatriés.

Les acteurs de la géothermie jugent aussi l'offre professionnelle technique qualifiée insuffisante et la qualification de la filière hétérogène. Outre le manque d'ingénieurs forage-puits, de spécialistes réservoirs et d'ensembliers souligné par nombre d'entre eux, les compétences difficiles à trouver pour développer l'activité actuellement sont les développeurs spécialisés en géothermie (équipes d'ingénierie géothermique, très présentes en Allemagne). Une offre plus fournie de « développeurs » permettrait aux acteurs de cette filière de se positionner sur l'exploitation de nouveaux aquifères. Par ailleurs, la géothermie basse température ayant connu un fort développement à la fin des années 1970-1980 en France, puis un regain d'activité depuis 2008, elle présente deux générations d'actifs très distinctes. De plus, la pyramide des âges est donc en train de s'inverser du fait des départs en retraite de la première génération de professionnels.

Les nouveaux enjeux des filières devraient créer des besoins de professionnalisation

Que ce soit pour l'E&P, le stockage ou la géothermie profonde, les évolutions que connaissent ces filières vont générer des besoins importants de professionnalisation.

Enfouis jusqu'à 8 000 mètres sous la surface du globe, sous d'immenses profondeurs d'eau ou piégés dans les contextes géologiques chahutés de chaînes montagneuses, les champs d'hydrocarbures inexplorés poussent l'industrie sur des terrains de chasse extrêmes, nécessitant de permanentes évolutions technologiques et de nouvelles formations.

Dans le secteur de la géothermie, le marché des projets « faciles » (Dogger majoritairement) diminuant, la filière devra s'orienter vers des sujets techniquement plus complexes (autres aquifères basse énergie et EGS) et nécessitera des compétences plus qualifiées. Les intégrateurs scientifiques et techniques qui pourront porter et présenter des projets scientifiques intégrés seront les pivots des activités de demain et devront posséder une culture du domaine ainsi qu'une capacité à intégrer les diverses compétences utiles pour un projet de géothermie profonde. Aujourd'hui, aucun dispositif de formation n'existe pour former ces intégrateurs. Ce sont les cursus traditionnels universitaires associés à un intérêt ou à une expérience qui permettent de travailler en géothermie. De plus, la mise en place d'un mécanisme de certification (notamment une réglementation précise sur les opérations de forage) apparaît comme une évolution nécessaire à apporter.

Enfin, la compétence sous-sol la moins disponible est celle de responsable de conduite de projet de géothermie profonde. L'apprentissage de la gestion de projet a été évoqué lors des interviews menées dans le cadre de cette étude : il devrait, selon les personnes interviewées, faire partie du parcours doctoral. Les processus de développements technologiques pourraient également faire partie d'un parcours doctoral compétitif.

L'amélioration des connaissances et la formation de l'ensemble des intervenants potentiels sur la chaîne de valeur de la filière géothermique (notamment foreurs, installateurs et bureaux d'études thermiques) sont des enjeux clés pour le développement et la multiplication des opérations de géothermie.

Les formations aux métiers du sous-sol profond

L'offre de formation aux filières du sous-sol en France est importante, variée et de qualité. Toutefois, à l'exception d'une école spécialisée pour le secteur pétrolier, *IFP School*, il n'existe pas de diplôme spécifique au secteur pétrolier ni à la géothermie mais de nombreuses disciplines et spécialisations qui permettent d'acquérir les bases scientifiques nécessaires pour travailler dans ces filières qui offrent des opportunités professionnelles enrichissantes pour toutes les catégories de population et de niveau d'études : ouvriers, ouvriers qualifiés, techniciens, techniciens supérieurs, ingénieurs, chercheurs. Cette richesse en emplois est diversifiée, techniquement et géographiquement.

Au niveau Bac+5, la plupart des métiers de l'industrie pétrolière et de la géothermie sont accessibles avec :

- un diplôme universitaire (master professionnel ou master recherche) ;
- un diplôme d'ingénieur généraliste complété par une spécialisation dans un domaine intéressant l'industrie pétrolière ou la géothermie comme la géophysique, la géologie (*IFP School*, ENSG Nancy, etc).

Plusieurs **masters professionnels** peuvent intéresser les entreprises pétrolières et de la géothermie :

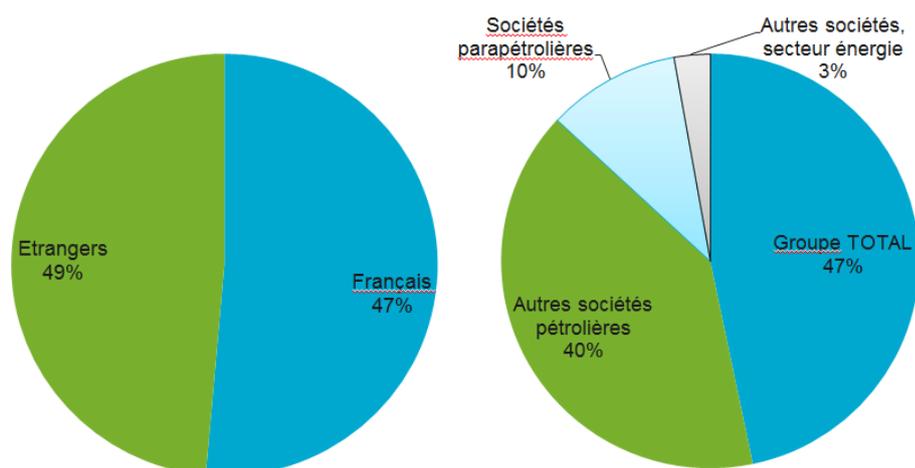
- tous les masters pro spécialisés dans les domaines de la géologie, de la géophysique dont le Master pro physique et ingénierie de l'université Aix-Marseille ; le parcours génie pétrolier : exploration géophysique et gisement de Pau ; le master 2 « Bassins Sédimentaires, Ressources et Paléoclimats » de l'université Paris-Sud, Orsay.
- L'École Nationale d'Applications des Géosciences, école du BRGM à Orléans soutient l'enseignement supérieur en géosciences et contribue à enrichir l'offre de formation supérieure de haute spécialisation en géosciences. Le parcours de master Enag-2GR « Géologie et gestion durable des ressources minérales » s'appuie en large partie sur le BRGM et sur une forte ouverture à l'international à travers un accord de partenariat passé avec l'université Moulay Ismail de Meknès au Maroc.

Dans les domaines d'application des géosciences à l'amont pétrolier, il existe, en France, **une seule école spécialisée, IFP School**, qui fait référence en France et à l'étranger. Au travers de trois programmes, elle offre des spécialisations dans l'industrie pétrolière à des étudiants ayant déjà un diplôme d'ingénieur :

- *Petroleum Geosciences*, dont le programme en anglais est spécialisé dans l'exploration et la caractérisation des réservoirs. Il donne accès aux deux grandes familles de métiers que sont la géologie et la géophysique.
- *Reservoir Geosciences and Engineering*, dont le programme en anglais est spécifique et orienté vers les réservoirs contenant des hydrocarbures. Il donne accès aux deux grandes familles de métiers concernant le réservoir que sont les géosciences (géologie et géophysique) appliquées aux réservoirs et l'ingénierie de réservoirs. Ce programme offre aussi un parcours en partenariat avec une université étrangère (dont celles de Texas A&M University aux États-Unis et celle de Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Tyumen State Oil and Gas University en Russie) avec délivrance d'un double diplôme.
- *Développement et exploitation des gisements*, dont le programme en français propose une vision globale du développement d'un champ ainsi qu'une formation aux trois métiers fondamentaux du secteur : réservoir, forage et production.

Sur la promotion 2013 des trois formations dispensées par IFP School dans le domaine des géosciences, 107 des 117 étudiants ont été embauchés au bout de trois mois. Le graphe de gauche de la Figure 35 montre la répartition par nationalité des étudiants embauchés. L'effectif féminin sur ces promotions était de 20 étudiantes, dont 13 d'origine étrangère. Le graphe de droite montre la répartition des recrutements par sociétés, le groupe Total arrivant en tête avec 50 embauches sur 107 étudiants diplômés.

Figure 35 : Répartition des étudiants sur les formations IFP School en Géosciences – Promotion 2013 (total : 107 étudiants diplômés)



Source : IFP School.

Les forces de cette école sont les suivantes :

- Les profils des enseignants sont diversifiés et apportent aux programmes de formation une mixité qui permet d'avoir un large spectre de compétences. Ils sont :
 - o issus de la recherche et/ou de l'industrie pour les enseignants du centre de formation IFP School ;
 - o intervenants extérieurs et peuvent avoir un profil recherche (IFP Énergies nouvelles, universités françaises ou européennes). Beaucoup ont un profil industriel et sont en activité dans des sociétés pétrolières ou de services.
- Des cours sont dispensés en anglais, ce qui favorise à la fois le placement international des diplômés mais aussi leur recrutement ;
- L'association de métiers dans les programmes favorise une bonne intégration entre techniques, qui est une des clés de succès pour les équipes travaillant dans ce domaine, que ce soit dans les compagnies pétrolières opératrices ou les compagnies de services.

Le fort taux d'élèves étrangers participe également à la promotion de la filière française à l'international une fois que les étudiants rentrent dans leur pays d'origine.

Au niveau Bac+3, la licence professionnelle Transformations Industrielles, spécialité « Instrumentation pour l'Exploration et l'Exploitation Pétrolières » de l'IUT de Lannion en Bretagne n'a pas d'équivalent à ce niveau d'études en France. La licence IEEP forme des cadres de terrain (cadre technique de forage, de gisement, de production, de complétion, de réservoir et des boues) amenés à travailler dans les domaines de l'instrumentation, l'acquisition et le traitement de données nécessaires à l'exploration et à l'exploitation pétrolières à l'échelle internationale. Elle a été mise en place pour répondre à la demande de recrutements croissante des industriels pétroliers à l'échelle internationale. Aujourd'hui, une vingtaine d'entreprises sont associées à cette formation et les intervenants du secteur pétrolier assurent 30 % du volume total de cette licence pluridisciplinaire et très anglophone. 95 % des diplômés sont rapidement embauchés.

Au niveau Bac+2 (BTS ou DUT), les techniciens de l'industrie pétrolière et de la géothermie sont issus de formations diverses (électricité, électronique, informatique, chimie, mécanique, métallurgie, informatique, énergétique, etc.) car il n'existe pas, pour ce niveau d'études, une formation diplômante spécifique au secteur pétrolier ou à la géothermie. Ils sont embauchés directement par les compagnies pétrolières, les équipementiers, les sociétés de services. Les BTS les plus recherchés sont le BTS mécanique et automatismes industriels, BTS industrialisation des produits mécaniques, BTS électrotechnique, BTS fluides, BTS énergies, BTS environnement ou encore BTS géologie appliquée. Les DUT les plus recherchés sont le DUT génie thermique et énergie, DUT génie mécanique et productique, DUT mesures physiques.

De manière générale, les entreprises pétrolières recrutent dans différentes spécialités : électronique, mécanique, génie civil, chimie, etc. Tout bachelier scientifique peut entrer dans la filière universitaire « sciences et technologies ». Il est conseillé de choisir une mention telle que sciences de la matière, sciences de la Terre et de l'univers ou sciences et technologies pour l'ingénieur avant de se spécialiser en géologie, géophysique, physique.

Les principaux instituts de formation pour les géosciences et les formations qu'ils proposent sont listés dans le Tableau 21.

Tableau 21 : Principaux instituts de formation (formation diplômante, formation continue) dans le domaine des géosciences

Nom de l'organisme	Formations associées
Biogéosciences – université de Bourgogne	Licence mention Sciences de la Terre et Environnement (étude des géosystèmes : roches réservoirs terrestres, milieux physiques et environnements géologiques).
Centre de Géosciences MINES ParisTech – ARMINES (Fontainebleau)	Participe à l'enseignement du cycle ingénieur de MINES ParisTech, de spécialités doctorales, d'actions de formations spécialisées et continue. Compétences de recherche : géologie, géomécanique, géotechnique, géophysique, géostatistique, hydrodynamique et réactions, hydrogéologie, géochimie, etc.
CEREGE Aix-Marseille	Master professionnel physique et ingénierie. Deux parcours possibles en M1 en fonction de la spécialité choisie en M2 : parcours « Recherche et Développement » et parcours « Ingénierie et Conception ». Les spécialités de M2 sont notamment : Mécanique des Fluides et Physique non linéaire ; Écoulements diphasiques énergétique et combustion.

École Doctorale STEP'UP de l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP), de l'Université Paris Diderot, de l'ENS et de l'UPMC	Deux masters (sept spécialités) : master Géoressources, Géorisques, Géotechnique (dont spécialités Géophysique de surface et subsurface) et master Sciences de la Terre et des Planètes, Environnement (dont spécialités. Géophysique, géologie et géo-énergies, géochimie).
École Française de Forage, Lescar (Aquitaine)	Formation aux métiers du forage : couvre tous les postes, du débutant au superviseur de forage, par des programmes alliant théorie, pratique et expérience sur chantier.
École Nationale d'Applications des Géosciences, ENAG (Orléans)	Master Enag-2GR : « Géologie et gestion durable des ressources minérales ». Master spécialisé « Capteurs et géosciences » (Polytech Orléans).
École Nationale Supérieure en Environnement, Géoressources et Ingénierie du Développement Durable, ENSEGID (Bordeaux)	DU de Géosciences : géoressources et environnement (recherche, protection et gestion des ressources en eau ; géologie des réservoirs ; géophysique de subsurface ; risques géologiques)
École nationale Supérieure de géologie de Nancy (ENSG)	Sciences de la Terre, principalement les géosciences . Tronc commun et filière de spécialisation (géosciences pétrolières, ingénierie et hydro-dynamique des réservoirs, sciences et technologies de l'environnement).
EOST – université de Strasbourg (ENGEES)	DU « Gestion de projets de géothermie » depuis janvier 2015. Licence et master « Sciences de la Terre, de l'Univers et de l'Environnement ».
Géosciences – université de Montpellier	Master Géosciences spécialités « géologie des réservoirs » (sédimentologie, tectonique, géophysique en forage, Imagerie sismique et de surface).
Géosciences – université de Rennes	Licence STS, mention « Sciences de la terre » : formation générale à ces disciplines ; possibilité de spécialisation (géologie, géophysique, sciences de l'environnement). Master RMP (Ressources Minérales et Pétrolières) et master Hydro3 (hydrogéologie, hydrobiogéochimie).
Géosciences Environnement Toulouse	Licence « Terre et Environnement » (pétro-graphie, mécanique des roches, etc.).
IFP School, Rueil-Malmaison	<u>Petroleum</u> <u>Géosciences</u> (Option géologie/Option géophysique) : géologie, géophysique et outils d'exploration ; interprétation sismique et évaluation de bassin ; caractérisation de réservoir. - Réservoir Géosciences and <i>Engineering</i> ; - Développement et exploitation des gisements (programme dispensé en français), enseignement en modules : réservoir, forage et production.
Institut Polytechnique Lasalle Beauvais	Deux principales formations dans le domaine des géosciences : Technicien supérieur professionnel en géologie (cursus en trois ans) et Ingénieur en géologie & environnement.
Institut universitaire technologique, Lannion	Licence professionnelle « Instrumentation pour l'exploration et l'exploitation pétrolières » (IEEP) : traitement des signaux en électronique, géologie, chimie des hydrocarbures, résistance des matériaux en physique des fluides. Cette licence est accessible en contrat de professionnalisation.
Polytech Paris-UPMC	Diplôme d'ingénieur spécialité Sciences de la Terre (géophysique, géotechnique, hydrosociétés).
Université de Lille 1	Licence « Sciences, Technologies, Santé » mention Sciences de la terre : formation pluridisciplinaire en géologie. Master mention Géoressources, géorisques et géotechniques : parcours géologie de l'Ingénieur Master mention Sciences de la terre et des planètes, environnement : parcours géologie des bassins sédimentaires.
Université de Franche-Comté, Besançon	Licence Géosciences et master Géologie appliquée : ce cursus forme de futurs ingénieurs dans les domaines de l'hydrogéologie, de la géotechnique et des ressources minérales.

Université de Grenoble, UJF	Licence Science de la terre (parcours Géosciences, physique, Géosciences & Mécanique) master mention « Sciences de la Terre et de l'Environnement » : spécialité géosciences.
Université Paris-Sud (Orsay)	Master 2 « Bassins Sédimentaires, Ressources et Paléoclimats » (BSRP) : formation axée sur l'étude des bassins sédimentaires et d'archives sédimentaires très variées donne aux étudiants une vision d'ensemble (nombreux aspects abordés, origine et évolution des bassins, exploration et prospection des ressources énergétiques (hydrocarbures, géothermie) ou minérales.
Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)	Master Génie pétrolier : exploration géophysique et gisement. Ce diplôme forme des cadres spécialisés dans le diagnostic, la mise au point de produits et de techniques de traitement des gisements pétroliers, les matériaux pour l'exploration et la production pétrolière.
IFP Training, Rueil-Malmaison (formation continue)	Nombreuses formations proposées en E&P : E&P Géosciences : <i>Workflows</i> intégrés ; exploration des bassins ; géologie de réservoir ; ingénierie de gisement ; ingénieur forage-puits ; technicien de production, etc.
CFAFG – Technologies gazières (dont stockage) – (formation continue)	L'AFG propose des formations aux professionnels du secteur. Via le CFAFG (AFG Compétences et Formations), des formations diplômantes sont organisées telles le Master spécialisé en Ingénierie et Gestion du gaz, conçu en collaboration avec Mines ParisTech, des formations interentreprises et des formations sur mesures.

L'offre de formation : un enjeu pour la coopération interfilières

Aucune des trois filières du sous-sol profond n'a de formation spécifique couvrant l'ensemble de sa chaîne de valeur. La filière de la géothermie profonde est actuellement considérée comme trop limitée en taille d'activité pour proposer une véritable offre de formation. En revanche, les trois filières ont besoin de compétences similaires en géosciences, en forage. Aussi, le **partage d'un socle de compétences commun** a été évoqué par les acteurs interviewés comme étant un objectif de développement pour les différentes filières. La constitution et le partage de ce socle ne doit cependant pas se faire au détriment d'une spécialisation de filières. Les modalités envisagées pour la mise en place de ce socle incluent donc une logique partenariale entre les organismes de formations existants pour, dans des cycles universitaires amont, favoriser cette compétence commune tout en conservant une spécialisation en aval.

D'autre part, la constitution de ce socle commun devra distinguer deux niveaux principaux de formation : ingénieurs et niveaux Master d'un côté et techniciens de l'autre. L'horizon de temps envisagé sur ce point est inférieur à trois ans. En amont de cette action, un recensement précis des acteurs de la formation à mobiliser devra être finalisé. Ce type d'action contribuerait non seulement à accroître l'offre française mais aussi à lui donner plus de visibilité et constituerait un lieu privilégié d'échanges interfilières.

La **formation continue** est aussi capitale pour accompagner la professionnalisation des filières. Dans une optique d'échanges interfilières et interdisciplinaires, elle est considérée comme un outil intéressant par les acteurs et doit être davantage dirigée vers les PME. À titre d'exemple, ÉS Géothermie intervient dans différentes formations sur des thématiques diverses : droit, environnement, pollution, forage, réglementation. Des interventions sont réalisées à l'École Nationale Supérieure de Géologie de Nancy (ENSG) et à l'École d'Ingénieurs de Belfort, en BTS, licence pro et master 2. Des interventions sont également réalisées en Allemagne à l'université de Mayence et au KIT de Karlsruhe. L'objectif de ces interventions diverses est de former des étudiants ou des professionnels à appréhender un projet dans sa globalité, du concept au démantèlement, mais aussi à pouvoir jouer le rôle de chef de projet pour permettre le dialogue entre les spécialistes du sous-sol et de la surface.

Des **formations doctorales interfilières**, de même que **des chaires communes** pourraient être envisagées. Les acteurs interviewés ont proposé de favoriser deux types de chaires : des chaires aux sujets transverses aux filières et des chaires industrielles, à l'image de la chaire industrielle de géothermie profonde à l'EOST, chaire mixte portée par un regroupement de personnes morales à la fois industrielles et académiques (EDF, le groupe ÉS, l'université de Strasbourg et le CNRS). Elle vient illustrer et renforcer le partenariat industrie-université engagé au travers du LabEx. Ces sujets dépassent en revanche le simple cadre de la formation pour toucher aussi à la thématique de l'organisation de la recherche, du développement et de l'innovation.

L'importance d'une communication envers le public et d'une éducation plus large a été reconnue par les participants. Des initiatives existent déjà dans l'industrie pétrolière notamment pour **communiquer, développer l'attractivité des filières du sous-sol profond** et susciter l'intérêt par une communication vers les plus jeunes.

Les olympiades des géosciences sont un succès. Cependant, les professeurs des collèges sont souvent démunis sur l'aspect industriel des ressources énergétiques du sous-sol. La plateforme Planète Énergie de Total à destination du monde éducatif (primaire et secondaire) propose aussi aux établissements français des conférences pédagogiques sur les énergies afin de donner des clés de compréhension aux jeunes. Les thématiques abordées varient selon les niveaux (énergies fossiles et renouvelables, un focus sur un gisement d'hydrocarbures). Des fiches pédagogiques sont aussi disponibles pour les enseignants, l'objectif étant de faire prendre conscience aux élèves de leur environnement, d'aiguiser le goût des sciences et favoriser l'émergence d'une culture scientifique. Dans ce même esprit, les acteurs sollicités dans le cadre de cette étude ont mis en avant les avantages que procurerait une plateforme d'information interfilières à destination du grand public. Prendre exemple sur le site MinerallInfo pourrait être un bon point de départ.

Quelle que soit la filière, la **formation est aussi un axe porteur pour gagner en visibilité à l'international et mérite d'être déployé** (à ce titre, les actions de l'UN *University* et du gouvernement islandais sont nombreuses et fortes d'enseignements). ES Géothermie intervient dans différentes formations en France mais aussi en Europe. Dans le domaine pétrolier, une convention de partenariat a récemment été signée entre l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, Total E&P Côte d'Ivoire et le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique de Côte d'Ivoire. En cohérence avec le développement du secteur pétrolier actuellement en Afrique et les perspectives très prometteuses liées aux récentes découvertes dans des pays africains, dont la Côte d'Ivoire, le ministère ivoirien a approuvé le projet de création d'une École supérieure de Pétrole et des Métiers associés. L'université de Pau et des Pays de l'Adour a été sollicitée pour accompagner la création de cette école avec le soutien du groupe TOTAL.

Une valorisation et un soutien politique aux filières de la part de l'État est nécessaire pour améliorer l'attractivité des formations liées au sous-sol profond qui représentent une niche riche en emplois.

TRANSFERT DE TECHNOLOGIES ET DE COMPÉTENCES VERS D'AUTRES FILIÈRES DU SOUS-SOL : LES APPLICATIONS PROSPECTIVES

La France s'est engagée à porter à 23 % la part des énergies renouvelables dans sa production annuelle d'énergie à l'horizon 2020. En volume cela implique une augmentation d'au moins 20 Mtep (233 TWh) de la production d'ENR. La chaleur notamment devra contribuer pour moitié à l'atteinte de cet objectif. La part d'énergie intermittente comme l'éolien et le solaire photovoltaïque dans cet objectif soulève des problématiques tant de coûts que de gestion de l'intermittence pour garantir la stabilité des réseaux électriques. Le stockage massif de l'énergie, qu'il s'agisse d'électricité, de chaleur ou de froid, sera amené à jouer un rôle clé parmi le panel des solutions possibles.

L'utilisation du sous-sol pour le stockage massif de l'énergie va donc connaître de nouveaux développements dans les années à venir, tirés par les besoins croissants des réseaux énergétiques. Plusieurs technologies sont envisageables pour exploiter les volumes de stockage du sous-sol et donc les quantités d'énergie nécessaires. Parmi les technologies possibles, les critères de choix dépendent de la nature du besoin (volume d'énergie à stocker, durée du stockage) et des contraintes liées à la réglementation, au coût ou à l'environnement.

Les compétences acquises pour le stockage de gaz naturel, l'extraction d'hydrocarbures et la géothermie seront nécessaires pour fournir des solutions économiquement compétitives, et offriront ainsi de nouveaux débouchés aux entreprises travaillant aujourd'hui dans ces filières. L'important savoir-faire technologique de ces filières leur donnera un avantage concurrentiel.

Stockage de la chaleur

Le *Thermal Energy Storage* (TES) s'inscrit dans le contexte général de l'accroissement de la population mondiale qui induit de manière automatique l'augmentation des besoins en énergie, de l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans la production d'énergie, de l'amélioration de l'efficacité énergétique et de la diminution de la dépendance aux énergies fossiles. Les besoins de chaleur représentent 45 % de la consommation énergétique française, les secteurs résidentiel/tertiaire absorbant les deux tiers du volume, l'industrie le tiers restant.

Dans la plupart des cas, le stockage de la chaleur est utilisé aujourd'hui pour remplacer, limiter ou déplacer la consommation d'électricité, en majeure partie dans les systèmes de refroidissement et dans une moindre mesure pour le chauffage ou pour augmenter la production électrique (cas des CSP). Son principe consiste à utiliser l'inertie thermique du sous-sol pour stocker la chaleur excédentaire. Deux forages suffisent pour alimenter la

boucle thermique : un puits prélève de l'eau « froide » dans un point de l'aquifère. Le fluide est réchauffé en surface puis réinjecté au fond de l'aquifère.

Seul le stockage par chaleur sensible fait aujourd'hui l'objet de stockage en sous-sol, ou UTES (*Underground Thermal Energy Storage*). Il peut utiliser :

- un aquifère comme réservoir (Aquifer Thermal Energy Storage, ATES) principalement pour du stockage saisonnier. L'ATES concerne majoritairement la chaleur mais peut aussi s'appliquer au stockage de froid (comme le font les pays nordiques).
- L'exemple le plus connu est celui du Reichstag à Berlin qui stocke de la chaleur et du froid dans deux nappes aquifères, l'une à 60 mètres de profondeur sert de réserve de climatisation, l'autre à 300 mètres stocke la chaleur. Le projet ANR, Géostocal, piloté par le BRGM à Vitry-sur-Seine a étudié la faisabilité d'un stockage géologique dans le Dogger en utilisant la chaleur fatale industrielle de centrales d'incinération d'ordures ménagères. Des améliorations notamment en thermomécanique pour la durabilité de ces stockages, ainsi qu'en géochimie et en hydrogéologie nécessitent encore des travaux de R & D pour valider les technologies ATES et UTES.
- la roche (cavités ou mines, CTES). L'eau chaude est stockée dans un réservoir creusé dans la roche. Ce système est encore peu développé.
- des sondes (Borehole Thermal Energy Storage, BTES) en boucle fermée sont parcourues par un fluide caloporteur, généralement de l'eau glycolée. Ce stockage diffusif se matérialise par l'exploitation d'un volume unique de roches souterraines. L'énergie est stockée dans des échangeurs verticaux enterrés entre 50 et 300 mètres de profondeur, la roche encaissante servant à maintenir la température. Ce type de stockage peut concerner une habitation ou un quartier. Les pays nordiques (Suède, Norvège) sont les plus à la pointe et stockent le chaud et le froid.

Actuellement, ces techniques font référence dans le domaine du stockage à faible profondeur et sont encourageantes. Pour stocker de la chaleur à plus grande profondeur (1 000 mètres), des verrous technologiques restent à lever.

Stockage géologique d'hydrogène

La croissance potentielle attendue du marché de l'hydrogène, en liaison notamment avec les ventes de véhicules électriques à piles à combustibles, pourrait conduire à une hausse significative de la production et par conséquent à une demande de stockage de volumes importants de ce combustible. De plus, l'installation de systèmes d'électrolyseurs sur les réseaux électriques pour des applications *power-to-gas* qui intègrent à la fois les énergies renouvelables, les services réseaux et le stockage d'énergie nécessiteront des capacités de stockage d'hydrogène importantes et à un prix compétitif. Le stockage géologique pourrait émerger comme étant la solution technologique appropriée (33).

Des stockages en cavités salines ont d'ores et déjà été développés pour stocker de l'hydrogène. Le stockage en milieu poreux (gisements d'hydrocarbures déplétés ou nappes aquifères) pourrait être une alternative avantageuse tant en volumétrie de stockage qu'en répartition sur le territoire. De nombreuses conditions, liées à la fois au réservoir (taux de récupération de l'hydrogène, qualité du gaz soutiré) et à la molécule, sous-tendent la faisabilité de tels projets.

Stockage par air comprimé – CAES

Le principe du CAES consiste à alimenter un compresseur en électricité qui va, quand la demande d'électricité est faible, comprimer de l'air ensuite stocké dans des cavernes souterraines (anciennes mines de sel ou cavités minées). L'air circule ensuite des cavernes vers une turbine couplée à un alternateur pour produire de nouveau de l'électricité lorsque la demande est importante.

L'inconvénient majeur de cette solution est sa faible efficacité : le rendement, actuellement aux environs de 50 %, est un axe de R & D. Le stockage à air comprimé à partir des énergies éoliennes et solaire fait l'objet d'installations pilotes en Allemagne et aux États-Unis.

Valorisation de la chaleur fatale issue des activités pétrolières

Le projet de loi sur la transition énergétique pour la croissance verte intègre la valorisation des énergies fatales. Parmi ces sources potentielles de valorisation, figurent les exploitations pétrolières et les installations de géothermie profonde et plus particulièrement l'eau chaude qu'elles génèrent.

Les résultats d'une étude menée récemment par le pôle Avenia font état de 37 gisements de chaleur recensés dans le bassin parisien, le bassin aquitain et l'Alsace, avec des eaux allant jusqu'à 85°C. Au total, c'est un potentiel de chaleur de plus de 100TEP/jour qui serait disponible. Diverses voies de valorisation ont été identifiées et caractérisées.

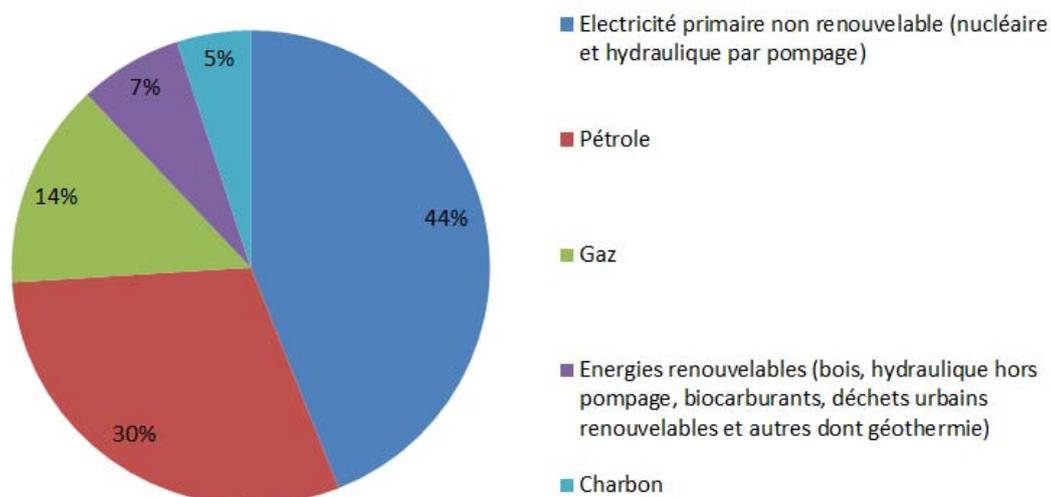
PROSPECTIVE ET RECOMMANDATIONS

LA FRANCE DANS LE PROCESSUS DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Le mix énergétique français et les objectifs énergétiques

Les hydrocarbures assurent 44 % de la consommation d'énergie primaire en France métropolitaine (30 % pour le pétrole et 14 % pour le gaz naturel, soit au total 115,4 Mtep en 2013), avec une part croissante de la consommation de gaz naturel (14 % en 2013, contre 7 % il y a 20 ans). L'électricité est produite majoritairement à partir du nucléaire (74 % en 2013). Les énergies renouvelables sont en croissance avec 18 Mtep en 2013 dont 0,1 Mtep pour la géothermie.

Figure 36 : Répartition de la consommation d'énergie primaire en France métropolitaine en 2013 (total 259,6 Mtep)



Source : ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.

La production nationale d'hydrocarbures est quant à elle en déclin. Il en résulte que 99 % du pétrole consommé est importé ainsi que 98 % du gaz consommé. L'évolution de la facture pétrolière et gazière et les questions de sécurité d'approvisionnement font partie des préoccupations nationales (la facture énergétique s'élevait à 66 Mds € en 2013 soit un doublement depuis 2003, dont 80 % pour le pétrole).

La France, notamment via l'Union Européenne, a pris des engagements énergétiques forts à moyen et long termes. Le pays prévoit notamment de réduire sa consommation d'énergie finale de 20 % en 2030 et 50 % en 2050 par rapport à 2012, de réduire sa consommation d'énergies fossiles de 30 % en 2030 et d'augmenter la part des renouvelables à 23 % en 2020 et 32 % en 2030. La part du nucléaire dans le mix électrique français doit passer à 50 % à l'horizon 2025 et les émissions de gaz à effet de serre devraient être divisées par quatre en 2050 par rapport à 1990.

La géothermie profonde a été considérée comme un axe important pour le développement des énergies renouvelables en France. Cette orientation est prise en compte dans le plan d'action national en faveur des énergies renouvelables (dont l'objectif est 80 MWe de puissance géothermique électrique installée en 2020 en outre-mer⁵⁹ et une multiplication par cinq entre 2006 et 2020 de la production de chaleur grâce à la géothermie).

Les filières énergétiques du sous-sol profond constituent des éléments moteurs du tissu industriel français et contribuent au rééquilibrage de la balance commerciale par leurs exportations. L'intérêt de maintenir le dynamisme et la compétitivité de ce tissu industriel est réel dans une optique d'attractivité globale de l'ensemble de l'industrie française et de maintien de l'emploi sur le territoire. Ces filières répondent également à l'objectif

⁵⁹Un des objectifs de la loi de transition énergétique est d'atteindre l'autonomie énergétique dans les départements d'outre-mer en 2030, avec, comme objectif intermédiaire, 30 % d'énergies renouvelables à Mayotte et 50 % d'énergies renouvelables à La Réunion, en Martinique, en Guadeloupe et en Guyane en 2020.

d'une transition énergétique vers un mix moins carboné par l'utilisation de la géothermie profonde, à l'exigence de sécurité énergétique par une exploitation des énergies fossiles raisonnée et respectueuse de l'environnement et, enfin, à la nécessité de proposer des solutions de stockage d'énergies propres pour compenser l'intermittence des énergies renouvelables.

La transition énergétique ne peut être ainsi envisagée que sur une longue période et l'évolution des filières doit être repensée en synergie avec cette évolution et au vu des questions de dépendance énergétique et de réindustrialisation du territoire français.

Le contexte de transition énergétique et le positionnement des scénarios de l'ANCRE

L'Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie (ANCRE) a souhaité apporter sa contribution aux réflexions engagées dans le cadre du débat national sur la transition énergétique lancé à l'automne 2012 et de la préparation de la loi présentée en 2014 en donnant un éclairage – correspondant à son expertise en matière de recherche, de développement technologique et d'innovation – sur l'apport du progrès technique pour atteindre les objectifs que s'est fixés le pays : réduction de la part du nucléaire dans la production d'électricité à 50 % en 2025 ; division par au moins quatre des émissions de CO₂ du secteur énergétique en 2050 par rapport à 1990. Différentes trajectoires reposant sur des options technologiques et comportementales contrastées ont été développées dans le cadre de ce travail. Le but était d'évaluer les conditions nécessaires à la réalisation de ces trajectoires et leurs impacts économiques, industriels et sociétaux.

Dans cette optique, il est pertinent de positionner les filières de notre étude (E&P, stockage et géothermie profonde) par rapport aux scénarios de l'ANCRE.

Le contenu des scénarios de l'ANCRE

Dans le cadre des objectifs indiqués précédemment, l'ANCRE a défini un scénario de référence (TEND), trois scénarios principaux et deux scénarios alternatifs (non présentés dans ce document) décrivant des visions contrastées d'un avenir énergétique pour la France, à l'horizon 2050. Les trajectoires proposées partent d'une analyse des déterminants de la demande – globale et par secteur – et de l'offre énergétiques ainsi que des émissions de CO₂. Elles prennent en compte les marges de manœuvre en termes d'usages de l'énergie – y compris en matière de transfert entre vecteurs énergétiques – et les évolutions permises par le progrès technologique.

Le scénario tendanciel (TEND) : L'énergie primaire consommée est à peu près stable dans le temps, les efforts de réduction venant contrebalancer les effets dynamiques qui poussent à l'augmentation, notamment la démographie et la croissance économique.

Le scénario « Sobriété renforcée » (SOB) : Il repose essentiellement sur le triptyque sobriété poussée, efficacité énergétique renforcée et développement des énergies renouvelables ; ce scénario requiert un effort généralisé d'efficacité ainsi que des changements significatifs de comportements.

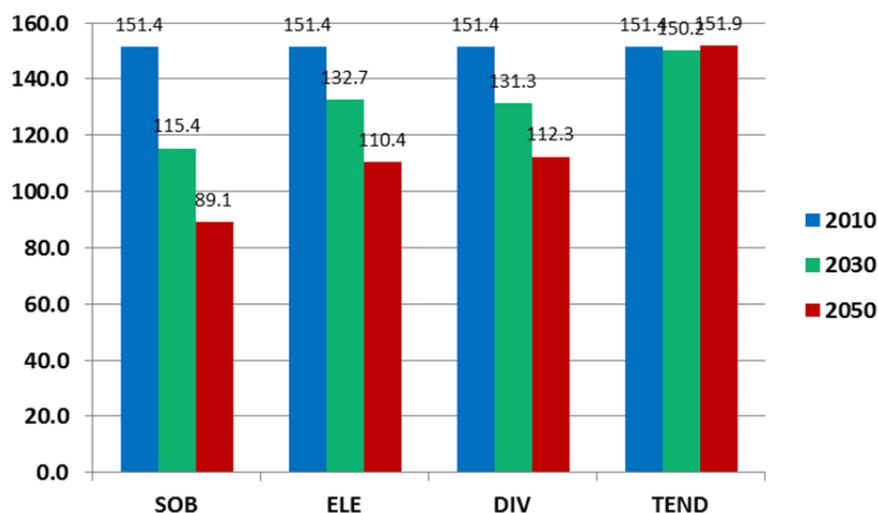
Le scénario « Décarbonation par l'électricité » (ELE) : Il est fondé sur la combinaison d'un effort marqué d'efficacité énergétique et d'un accroissement dans les usages de la part de l'électricité – décarbonée parce que d'origine renouvelable ou nucléaire – en substitution aux énergies fossiles, même dans leurs usages aujourd'hui captifs, comme dans les transports.

Le scénario « Vecteurs diversifiés » (DIV) : Dans ce scénario, comme dans les autres le déploiement des meilleures technologies en matière d'efficacité énergétique est un élément incontournable. La différence principale concerne l'accent mis sur la diversification des sources (notamment la biomasse) et vecteurs d'énergie, et sur un rôle important de la chaleur (notamment récupération de la chaleur fatale pour des usages basse température).

Les scénarios de l'ANCRE permettent d'atteindre l'objectif de division par quatre les émissions de CO₂ d'origine énergétique, le scénario DIV le dépasse légèrement. Ces performances requièrent toutefois la mise en œuvre de technologies de rupture : le captage et le stockage du CO₂, éventuellement assortis de sa valorisation par conversion en d'autres produits valorisables dans le scénario SOB, le stockage massif de l'énergie dans le scénario ELE et la cogénération, notamment nucléaire, dans le scénario DIV.

Selon les scénarios, la consommation d'énergie finale pourrait être inférieure au scénario TEND de 27 % et 41 % en 2050⁶⁰ (Figure 37).

Figure 37 : Consommation d'énergie finale de la France dans les scénarios de l'ANCRE (en Mtep)



Source : ANCRE.

Indépendance énergétique et commerce extérieur

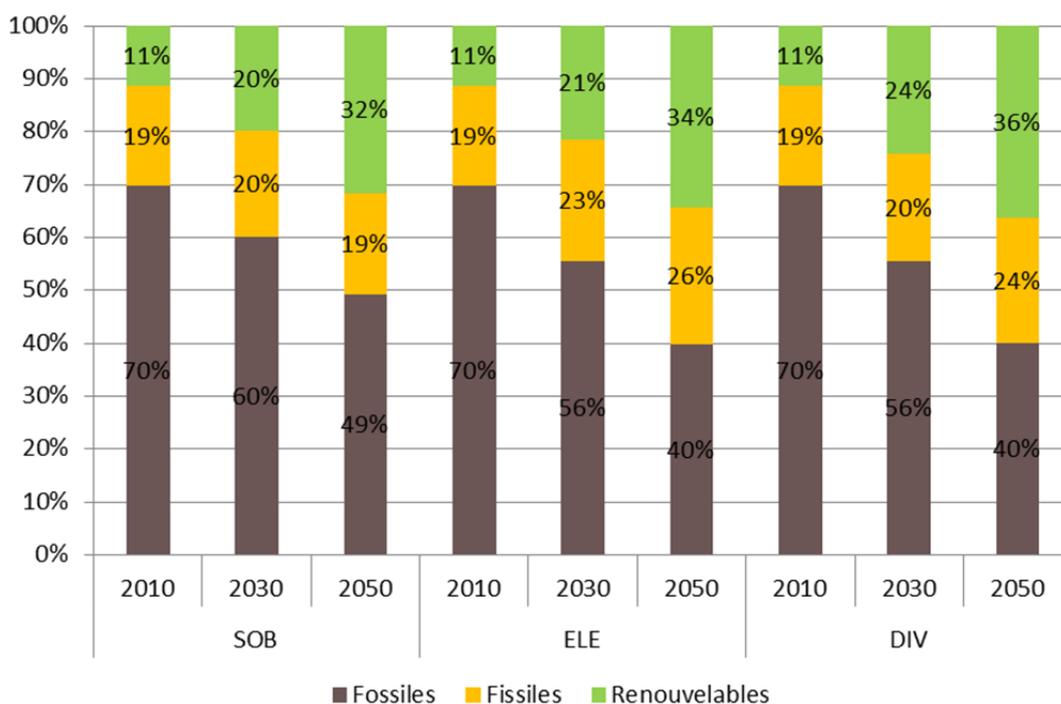
Les différents scénarios aboutissent, en 2050, à une réduction importante de la dépendance énergétique de la France qui passe de 51 % aujourd'hui à 27 % (**ELE**), 28 % (**DIV**) ou 36 % (**SOB**) en conséquence d'une baisse de la consommation en hydrocarbures. Les gains possibles en termes de réduction d'importation de produits pétroliers sont importants dans tous les scénarios. On peut aussi noter que l'exploitation de ressources d'hydrocarbures nationales pourrait jouer en faveur d'un rééquilibrage de la balance commerciale et abaisser encore la dépendance aux importations.

Au total, les importations qui seraient réduites de près de moitié dans (**ELE**) et (**DIV**) permettraient une baisse considérable de la facture énergétique du pays, qui représentait, en 2013, plus de 3 % du PIB, contre environ 1 % dans les années 1990⁶¹.

⁶⁰ Les scénarios de l'ANCRE ont été établis avec une projection des prix du pétrole de 115 euros/baril en 2030 et 165 euros/baril en 2050.

⁶¹ Cette réduction de la facture énergétique est à mettre en regard des investissements nécessaires à la transition énergétique. Pour plus de détails, consulter le rapport de l'ANCRE de janvier 2014 : <http://www.allianceenergie.fr/page000100dc.aspx?card=985>

Figure 38 : Part des énergies fossiles, fissiles et renouvelables dans la consommation énergie finale (en %)



Source : ANCRE.

Les perspectives des filières énergétiques du sous-sol profond dans le contexte de transition énergétique

Concernant la filière de l'exploration-production pétrolière et gazière, malgré une réduction de la consommation d'hydrocarbures volontariste et ambitieuse dans les différents scénarios étudiés dans le cadre de l'ANCRE ou du débat national sur la transition énergétique, cette consommation restera importante et largement supérieure à la production d'hydrocarbures sur le territoire national. Une hausse significative de la production nationale (si le potentiel le permet) permettrait d'abaisser la dépendance sans pour autant remettre en question les objectifs de la transition énergétique, voire de réduire les impacts environnementaux de notre consommation d'hydrocarbures par une production plus respectueuse sur le sol français et une réduction des émissions liées au transport. Le cadre dans lequel pourra évoluer la production nationale dépend principalement de l'importance accordée à des variables telles que la réduction de la facture énergétique, la sécurité d'approvisionnement ou le développement de l'emploi. Au niveau mondial, la consommation de pétrole et de gaz continue d'augmenter jusqu'en 2025 même dans le cadre d'un scénario limitant l'augmentation de la température moyenne à la surface de la terre à 2°C, avant de se stabiliser ou décroître régulièrement pour représenter encore plus de 40 % de l'énergie primaire en 2040 (référence scénario 450 de l'AIE). Le potentiel de développement de la filière française en exploration-production à l'export reste donc important dans les années à venir. Historiquement, la filière s'est développée principalement sur les marchés étrangers faute de ressources nationales abondantes et réalise, à l'heure actuelle, 63 % de son chiffre d'affaires à l'export. Les sociétés françaises du secteur véhiculent une image de qualité et innovante en matière technologique et en ingénierie. Les perspectives de développement de la filière dans le futur sont donc de deux ordres : gagner des parts de marché à l'export sur un marché de plus en plus concurrentiel et/ou se positionner sur un éventuel marché national.

Dans le domaine du stockage souterrain de gaz, la réduction de la part des énergies fossiles dans la consommation d'énergie finale en France, et l'importance des capacités de stockage qui ne sont aujourd'hui que partiellement utilisées, dessinent un contexte plutôt déprimé⁶² pour le secteur national du stockage de gaz naturel. Cet environnement laisse peu d'espoir pour la création de nouveaux sites en France mais les possibles substitutions gaz/pétrole (dans le transport) et le potentiel développement de turbines à gaz pour palier l'intermittence des énergies renouvelables, laissent des perspectives aux projets d'extensions des sites actuels. Les projets en cours de développement incluent trois extensions de sites de stockage (deux à Étrez, un à Manosque) ainsi qu'un nouveau site (Alsace sud), tous en cavités salines. Ces projets totalisent une capacité additionnelle de

⁶² Cependant, le programme d'investissements 2015 présenté par TIGF s'élève à 133 M€, en hausse de 8 % par rapport au budget approuvé pour l'année 2014 de 123 M€. (Source : CRE).

0,8 Md de m³ qui pourrait être disponible en 2022. Cependant, comme dans le cas de la filière de l'exploration & production, les plus fortes opportunités restent à l'international, notamment dans les pays producteurs qui semblent de plus en plus s'y intéresser, mais également dans certains pays consommateurs comme la Chine, dont la consommation de gaz devrait croître fortement dans les décennies à venir (plus de 4 % par an en moyenne d'ici 2040 selon l'AIE).

Les plus fortes réductions d'émissions étant attendues dans le secteur résidentiel et dans les transports, les perspectives de développement du captage et stockage de CO₂ restent limitées. En France, aucun projet de CSC n'est actuellement en cours de développement, ce qui ne permet pas d'envisager une activité à l'horizon 2030. Cependant, au Havre et à Fos, les quantités de CO₂ industriel émises pourraient justifier, dans le cadre d'une politique volontariste de réduction des émissions de CO₂ et si les conditions de marché sont réunies, la mise en place de CSC.

Concernant la géothermie, les scénarios ANCRE volontaristes en matière de développement des énergies renouvelables et de lutte contre les émissions de CO₂, font l'hypothèse d'une forte hausse du marché sur le territoire national (Tableau 22). Ces taux de croissance élevés sont cependant à mettre en regard de la capacité installée actuelle (17 MWe pour l'électricité et 1850 MWth pour la chaleur). Au niveau mondial, les opportunités sont nombreuses et il existe un réel potentiel d'activité pour les acteurs français de la filière à l'export.

Tableau 22 : Perspectives de croissance de la production d'électricité et de chaleur par géothermie dans le scénario DIV de l'ANCRE, par pas de cinq ans (référence 2010)

	2015	2020	2025	2030
Production d'électricité	+ 79 %	+ 100 %	+ 50 %	+ 33 %
Production de chaleur	+ 59 %	+ 41 %	+ 35 %	+ 29 %

Source : ANCRE.

Dans le contexte de transition énergétique actuelle, et, au vu des scénarios et objectifs présentés, il apparaît donc que le développement de long terme des filières énergétiques françaises du sous-sol profond se situe à l'export, même s'il existe des opportunités sur le territoire national, notamment pour la géothermie. À l'étranger, la compétitivité des filières française est fortement liée au positionnement technologique, généralement considéré comme élevé et de qualité. Le contexte des marchés pétroliers renforcera en parallèle l'importance de la compétitivité coût et la filière devra réussir à gagner en efficacité pour réduire ses coûts. L'évolution de l'activité de ces filières repose donc sur un processus constant à la fois d'innovation technologique et de structuration.

SCÉNARIOS TENDANCIELS DES FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES DU SOUS-SOL PROFOND À L'EXPORT

La filière de l'exploration & production

À l'heure actuelle, les activités installées en France représentent entre 3 % et 5 % du marché mondial de l'E&P. Même si ce marché est en partie captif (notamment avec les investissements des compagnies nationales), tenter d'appréhender les tendances au niveau international permet de mieux comprendre le contexte dans lequel la filière française peut envisager ses développements à l'export.

Tableau 23 : Part de la filière française de l'E&P dans le monde

Filière	CA entreprises installées en France	Part sur le marché mondial
E&P	35 milliards d'€	3-5 %

Sources : DGE, GEP-AFTP, calculs des auteurs.

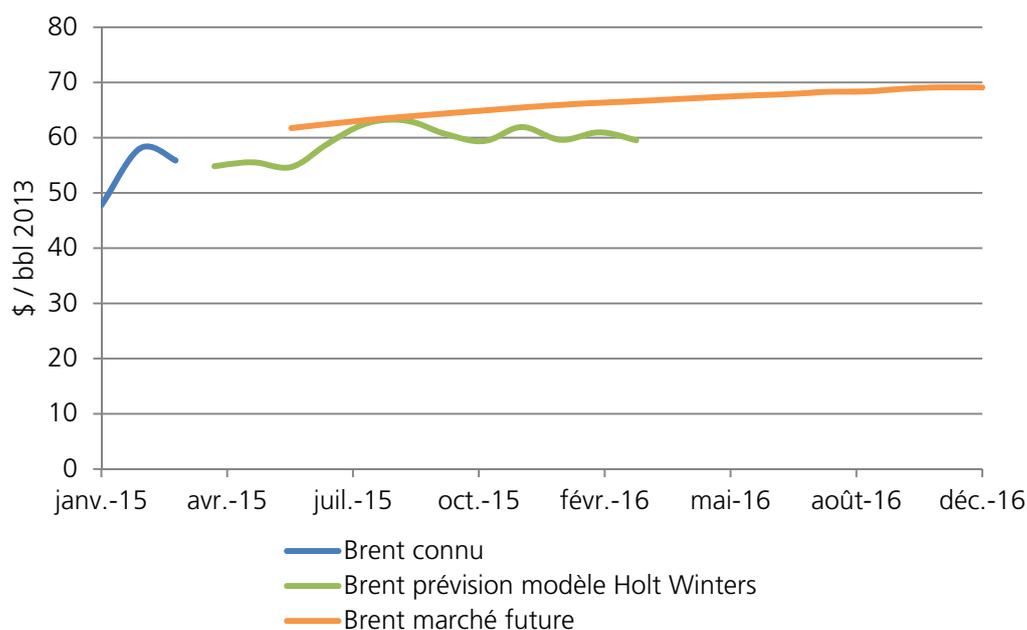
Le scénario tendanciel de la filière de l'E&P à l'horizon 2030 dépend en large partie des perspectives d'investissement dans le secteur amont et des prix du pétrole sur la période. Nous allons dans la partie suivante

apporter les éléments de compréhension du contexte international pour la filière de l'E&P, à savoir des éléments de prévisions du prix du pétrole à court terme et à moyen-terme, ainsi que des prévisions d'investissement en exploration-production.

Les prévisions de prix du pétrole à court terme

Les prévisions des prix du pétrole à court terme reflètent les tendances actuelles *i.e.* une croissance économique modérée notamment dans les pays en développement (qui représentent l'essentiel de l'augmentation de la demande d'énergie), un excédent d'offre, un changement de politique de l'OPEP⁶³ et notamment de l'Arabie saoudite (qui préfère depuis quelques mois défendre ses parts de marché au détriment du prix) et une politique structurelle axée sur la transition énergétique, notamment dans certains pays de l'OCDE. La baisse des prix du pétrole depuis juin 2014 pourrait avoir deux impacts significatifs : une hausse de la demande dans des proportions non négligeables, évaluée entre 0,6 et 0,9 Mb/j (à comparer au surplus d'offre probablement compris entre 1 et 2 Mb/j en 2015)⁶⁴ et une baisse des investissements (entraînant un recul de la production à moyen terme, avec un effet pour les LTO⁶⁵ américains plus ou moins conséquent en fonction du niveau de prix réel observé). On estime actuellement que la production pétrolière américaine pourrait commencer à fléchir vers la fin de l'année 2015, lorsque les puits actuellement exploités pour les LTO auront cessé de produire et ne seront pas remplacés par d'autres. Les prévisions à court terme de prix du pétrole représentées sur la Figure 39 sont encadrées par, d'une part les prix du brut sur les marchés à terme et d'autre part par une prévision par extrapolation avec une méthode de lissage exponentiel. Actuellement, elles se situent dans une fourchette comprise entre 60 \$ et 70 \$.

Figure 39 : Prévisions à court terme du prix du pétrole



Source : IFPEN.

Les prévisions à long terme du prix du baril

Les prévisions à long terme du prix du pétrole présentées ici sont celles de l'EIA (*US Energy Information Administration*)⁶⁶. Elles prennent en compte un certain nombre de facteurs relatifs aux incertitudes sur la demande de produits pétroliers, la production de brut et l'offre d'autres carburants liquides. Trois scénarios ont été développés (voir Figure 40) :

⁶³ Organisation des pays producteurs de pétrole.

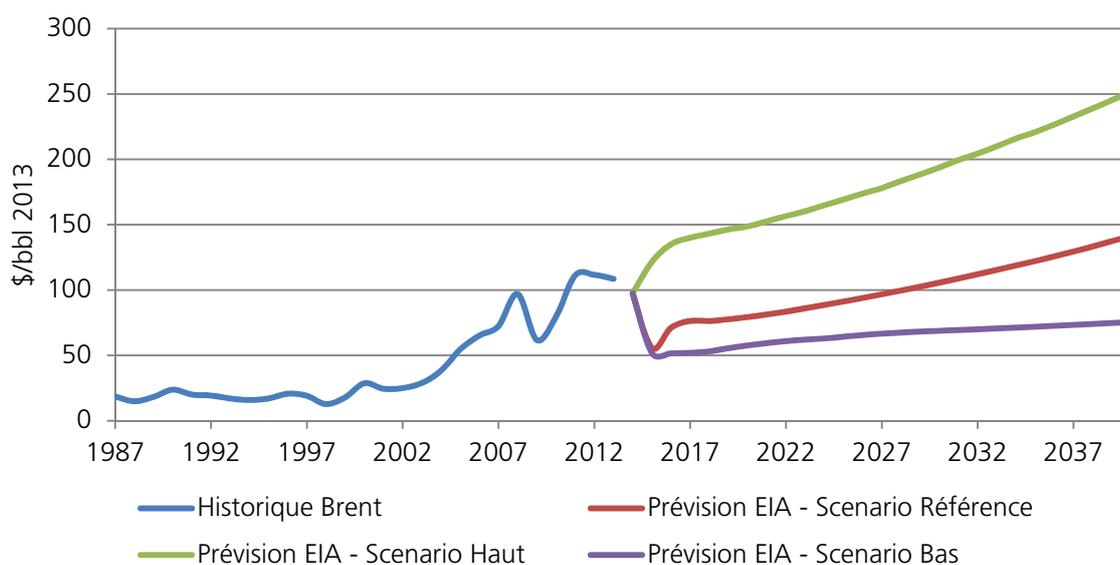
⁶⁴ Fiche Panorama IFPEN « Contexte pétrolier 2014 et tendances », 2015.

⁶⁵ *Light tight oil* dont pétrole de schiste.

⁶⁶ http://www.eia.gov/forecasts/aeo/section_prices.cfm consulté le 22 Avril 2015.

- **Le scénario de référence** (tendanciel) intègre les différents éléments qui ont modifié les conditions de marché du pétrole sur la période récente (augmentation de la production de brut américain, baisse du prix du baril depuis juin 2014...) et suppose une continuité dans leur influence sur le marché.
- **Le scénario haut** suppose un rebond plus accentué de la demande en produits pétroliers, des investissements moins importants de la part des pays de l'OPEP et des coûts d'exploration et de développement plus importants dans les pays non-OPEP. Ces facteurs impliquent une augmentation du prix du baril, qui, en 2030, serait de 83 % au-dessus du prix du scénario de référence (78 % au-dessus du prix du scénario de référence en 2040).
- **Le scénario bas** suppose une demande plus faible dans les pays non-OCDE⁶⁷ et des coûts de production moins importants dans les pays non-OPEP. Dans ce contexte, les prix du pétrole s'établissent à une valeur de 35 % inférieure au prix du baril du scénario de référence en 2030 (47 % inférieure au prix du baril du scénario de référence en 2040).

Figure 40 : Prévisions du prix du pétrole à horizon 2040



Source : EIA.

Les prévisions d'investissement dans la filière de l'E&P au niveau mondial

Les montants annuels investis dans l'E&P sont étroitement corrélés au prix du baril. Plus le prix du baril est élevé et plus les compagnies pétrolières investissent dans l'E&P. Depuis la découverte des hydrocarbures non conventionnels, les investissements et forages réalisés en Amérique du Nord (Canada, États-Unis et Mexique) ont largement augmenté. En 2014, plus de 50 % des investissements et presque 55 % des forages y ont été réalisés. Les États-Unis sont ainsi devenus les premiers producteurs de pétrole devant l'Arabie saoudite et de gaz devant la Russie en 2014. L'Asie est la deuxième région la plus dynamique. Le reste est réparti entre l'Europe, l'Amérique du Sud, l'Afrique et le Moyen-Orient.

Suite à la chute du prix du pétrole depuis la mi-2014, les compagnies pétrolières internationales ont annoncé une baisse des investissements de 10 % à 20 % au niveau mondial et de 20 % à 40 % pour les États-Unis. Les investissements devraient continuer à diminuer au cours de l'année 2016 dans certaines régions, malgré une légère augmentation attendue du prix du baril car les compagnies ont mis en place des plans de réductions des investissements pour répondre à la chute du prix du baril. À partir de 2018, l'évolution des investissements devrait à nouveau suivre le cours du baril, et retrouver progressivement les niveaux de 2014.

L'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) projette dans le *World Energy Outlook 2014* les investissements dans l'E&P pétrolière et gazière comme indiqué dans le Tableau 24. Cette projection a cependant été réalisée avant la baisse récente des prix du baril et les dernières annonces des compagnies. Ces éléments sont donc pris en compte dans la Figure 41 qui présente les prévisions de l'IFPEN pour 2013-2020.

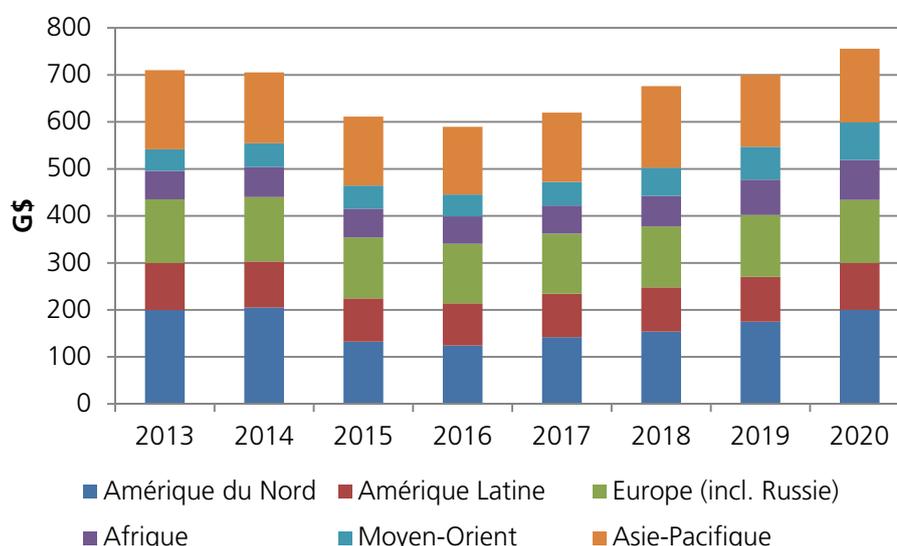
⁶⁷ Organisation pour la coopération et le développement économique.

Tableau 24 : Valeurs annuelles moyennes des investissements en E&P–historique et prévisions par région (G\$)

	2000-2013	2014-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035
Monde	472	740	781	810	857
Amérique du Nord	125	229	222	218	224
Amérique latine	46	84	115	115	115
Europe	41	51	47	45	39
Russie	45	58	61	70	81
Afrique	67	85	84	87	102
Moyen-Orient	58	74	94	99	110
Asie-Pacifique	65	123	110	116	121

Source : AIE.

Figure 41 : Les investissements en E&P pour la période 2013-2020



Sources : IFPEN d'après Spears & Associates, Barclay's, DTI, NPD, DEA, données de compagnies et ministères.

La tendance d'investissement à long terme est à la hausse au niveau mondial, mais pas en Europe. L'affirmation du positionnement des acteurs français dans le reste du monde reste, comme par le passé, nécessaire afin de capter les opportunités qui, selon l'AIE, s'y présenteront.

À court terme, la tendance est à la baisse au niveau mondial. En effet, jusqu'en 2018, la conjoncture pétrolière internationale resterait déprimée rendant plus difficile le positionnement de la filière française à l'export. Ce cycle bas pourrait être un moment de réorganisation pour l'industrie au niveau mondial, et la filière française devrait en profiter pour renforcer et développer ses positions sur les marchés à l'export. Un soutien efficace et rapide aux différents acteurs français pourrait ainsi appuyer la dynamique propre de l'industrie, éviter un affaiblissement de la filière et ouvrir de nouvelles perspectives sur le long terme.

Les filières du stockage de gaz et de CO₂

Les entreprises installées en France représentent entre 3 et 5 % du marché mondial du stockage de gaz et de CO₂. De même que pour la filière de l'E&P, les développements à l'export doivent être envisagés selon le contexte international présenté ci-après.

Tableau 25 : Part de la filière française de stockage dans le monde

Filière	CA entreprises installées en France	Part sur le marché mondial
Stockage	1,3 milliards d'euros	3-5 %*

*Calculée en pourcentage des capacités françaises rapportées aux capacités mondiales.
Source : calculs des auteurs.

La filière du stockage de gaz

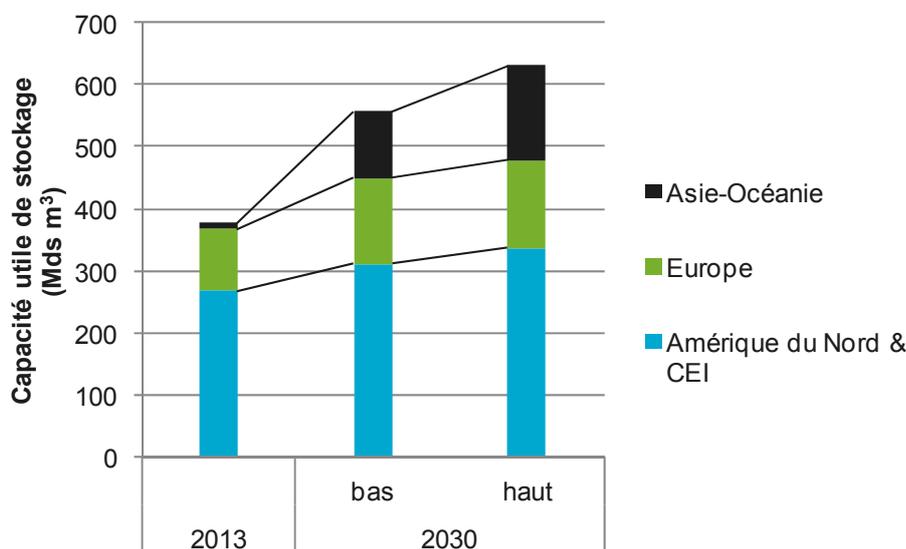
Dans le scénario tendanciel réalisé par Cedigaz, la capacité de stockage mondiale passe de 377 Mds de m³ en 2013 à 557-631 Mds en 2030. 60 % de cette augmentation provient des nouveaux marchés en Asie et au Moyen-Orient. L'augmentation de capacité est plus limitée dans les marchés matures (Amérique du Nord, Europe et CEI), l'accent étant mis sur une augmentation de la capacité d'émission. Au total, de 180 à 254 Mds de m³ de capacité utile supplémentaire seraient nécessaires d'ici à 2030, représentant **environ 120 Mds € d'investissement** :

Europe : la libéralisation des marchés de l'énergie et l'augmentation des échanges à l'échelle du continent conduisent à une augmentation de la capacité utile de stockage de 99 Mds de m³ en 2013 à 137-141 Mds de m³ en 2030.

Asie-Océanie : l'essentiel de la croissance du marché mondial du stockage souterrain devrait provenir de cette région en raison de l'augmentation de la consommation de gaz naturel. La capacité utile passerait ainsi de 9,5 Mds de m³ en 2013 à 108-153 Mds de m³ en 2030. Dans cette région, la Chine se démarque avec près de 60 à 75 Mds de m³ en 2030.

Amérique du Nord et CEI : en tant que marchés matures, les besoins en capacité additionnelle dans ces régions sont essentiellement liés à la gestion de la production de gaz, conduisant à des besoins modestes. La capacité utile passe ainsi de 267 Mds de m³ en 2013 à 312-337 Mds de m³ en 2030.

Figure 42 : Évolution de la capacité utile de stockage de gaz naturel dans le monde entre 2013 et 2030



Source : Cedigaz (10).

La filière du stockage de CO₂

Scénario tendanciel

Le stockage de CO₂ étant à l'heure actuelle principalement une activité en cours de démonstration, le scénario tendanciel est celui d'une filière qui reste embryonnaire en 2030, les conditions n'étant présentement pas remplies pour l'émergence d'une activité commerciale. L'AIE prévoit dans son scénario « politiques actuelles » un

Scénarios prospectifs

Le scénario haut de l'AIE correspond au décollage d'une filière permettant de limiter l'augmentation de la température planétaire à 2°C. Ce scénario considère qu'en 2030, le CSC sera utilisé de manière routinière pour réduire les émissions dans les secteurs de la génération électrique et de l'industrie, après avoir été démontré dans des applications industrielles incluant la production de ciment, de fer et d'acier, de pâte et de papier, de biocarburants de seconde génération et dans les chaudières et craqueurs des raffineries et sites pétrochimiques. Ce niveau d'activité devrait permettre de stocker plus de 2 000 Mt_{CO2}/an dans le monde. L'investissement cumulé nécessaire pour atteindre cet objectif est d'environ 605 Mds \$ sur la période 2020-2030 au titre du déploiement, auxquels il faut ajouter entre 5-6,5 Mds \$ jusqu'à 2020 au titre de la démonstration.

Les coûts opératoires totaux⁷¹ estimés dans l'étude varient entre 42 et 52 €/tCO₂ évitée. Les coûts liés au stockage, monitoring compris, varient entre 3 et 8 €/tCO₂ évitée.

La filière de la géothermie profonde

Comme indiqué dans la première partie, la filière de la géothermie dispose d'opportunités en France. Cependant, à long terme, c'est à l'international que doit s'appréhender le développement de la filière, où les possibilités sont plus nombreuses. Elle doit donc dès maintenant se positionner à l'export dans le contexte de croissance défini ci-après.

Tableau 27 : Part de la filière française de la géothermie dans le marché mondial

Filière	CA entreprises installées en France	Part sur le marché mondial
Géothermie profonde	0,2 milliard d'euros	5-10 %*

*Calculé en fonction du ratio France de la géothermie profonde par rapport à la géothermie totale.
Source : calculs des auteurs.

Les perspectives pour la filière de la géothermie profonde au niveau mondial sont, à l'heure actuelle, difficilement quantifiables. Dans cette section, nous nous référerons donc aux prévisions réalisées par l'AIE pour la production d'électricité et de chaleur de l'ensemble de la filière de la géothermie.

Selon l'AIE, d'ici à 2050, la génération d'électricité par géothermie devrait atteindre 1400 TWh/an, soit environ 3,5 % de la génération totale d'électricité, ce qui pourrait contribuer à éviter l'émission de 800 millions de tonnes de CO₂ par an. Cette augmentation reposerait en partie sur des innovations technologiques, notamment l'efficacité des cycles binaires de type ORC.

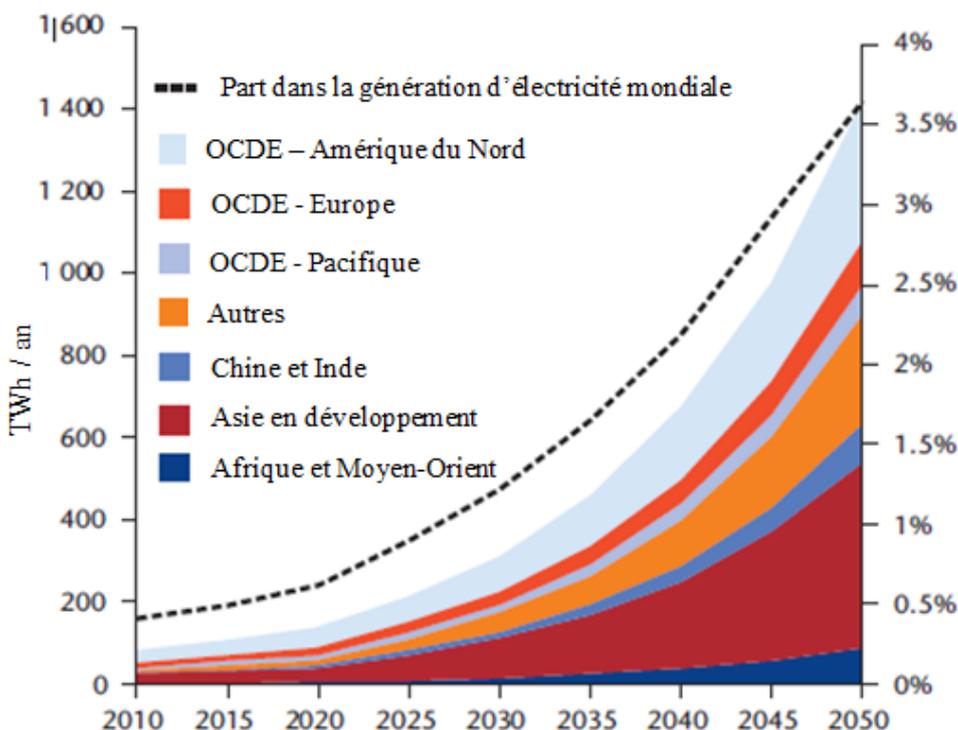
La chaleur produite par géothermie pourrait atteindre 5,8 EJ/an d'ici à 2050 (1600 TWh d'énergie thermique), soit environ 3,9 % de la demande finale de chaleur.

Selon l'AIE, d'ici à 2030, une rapide expansion de la géothermie, que ce soit pour la production d'électricité ou de chaleur, sera possible grâce au déploiement accéléré de ressources haute température conventionnelles. Le déploiement des ressources hydrothermiques de basse et moyenne températures dans les aquifères profonds devrait également s'accélérer, reflétant l'accessibilité et l'intérêt croissants de leur usage à la fois pour l'électricité et la chaleur. D'ici à 2050, plus de la moitié de l'augmentation prévue par l'AIE devrait provenir de l'exploitation des roches haute température, principalement *via* l'EGS. Un apport substantiel en R & D est nécessaire dans les prochaines décennies afin que l'EGS devienne économiquement viable d'ici à 2030. Un cadre réglementaire global est également nécessaire afin de surmonter les barrières techniques liées à l'accessibilité des ressources et leurs ingénieries. De plus, un tel cadre doit être mis en place pour surmonter les barrières économiques, réglementaires et pour faciliter l'accès au marché et le support de R & D.

Les gouvernements, autorités locales et les distributeurs d'électricité et/ou de chaleur doivent être davantage conscients du potentiel accessible de ressources et de leur possible utilisation afin de développer des réglementations cohérentes. Cela est particulièrement vrai pour la génération de chaleur à partir de géothermie qui peut être utilisée à différentes températures pour un panel varié de tâches. Les priorités importantes en R & D pour la géothermie prennent en compte l'évaluation de la ressource, le développement de technologies de forage plus compétitives et l'amélioration de la technologie EGS, mais aussi le management de la santé, de la sécurité et de l'environnement. Des avancées technologiques au niveau des ressources *offshore*, super critiques et géopressurées pourraient rendre accessible un potentiel de ressources important. De plus, là où cela est possible, la coproduction d'eau chaude à partir des puits de pétrole et gaz pourrait devenir un actif économique.

⁷¹ C'est-à-dire, incluant le captage et le transport du CO₂, exclus du périmètre de cette étude.

Figure 44 : Perspectives de la production d'électricité par géothermie dans le monde



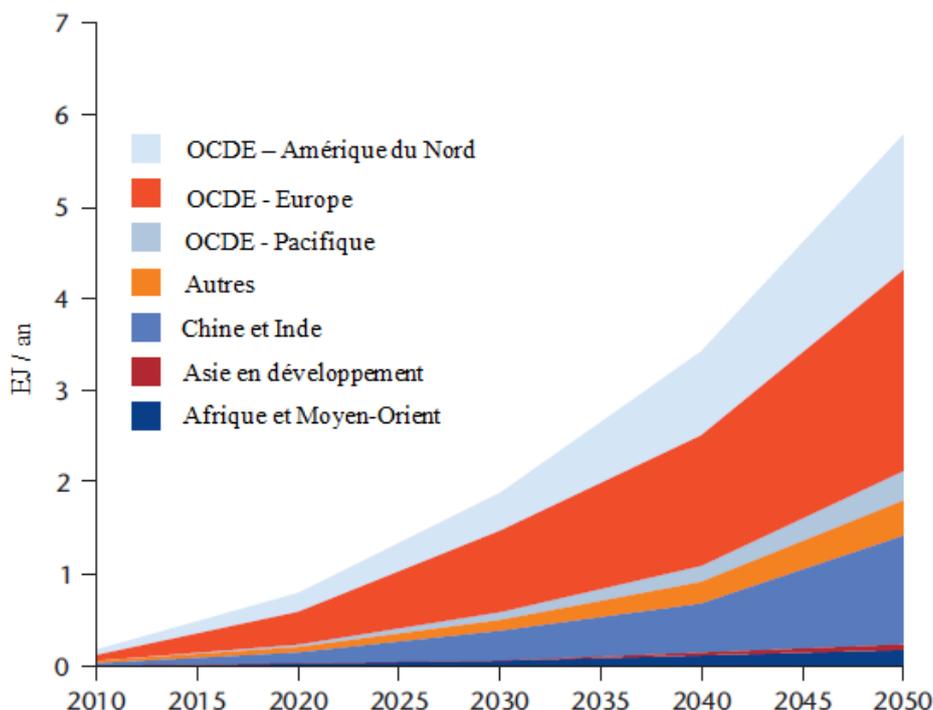
Source : AIE.

Comme observé dans les Figure 44 et Figure 45, les taux de croissance de la filière sont importants au niveau international, notamment dans la partie non-OCDE d'Asie pour la production électrique. Pour la filière française de production d'électricité, un positionnement sur les marchés asiatiques paraît donc pertinent tout comme un positionnement sur les marchés européens pour les acteurs spécialisés dans la production de chaleur.

Le *cluster* GEODEEP estime que la France pourrait capter 10 % à 15 % du marché mondial de la production d'électricité géothermique (évalué à 3-4 Mds € par an dans les 10 années à venir). La France dispose en effet de nombreux atouts, avec des compétences présentes sur l'ensemble de la chaîne de valeur et des points forts en exploration, ingénierie, exploitation et maintenance d'équipements énergétiques. En termes d'emplois, sur la base des projets en portefeuille, le *cluster* GEODEEP table sur environ 1 030 emplois créés en France en 6 ans dans la construction et environ 215 emplois créés en 15 ans pour l'exploitation et la maintenance des installations.

Pour réaliser ces objectifs, le *cluster* GEODEEP rappelle la nécessité de mettre en place un tarif incitatif, un dispositif de couverture du risque financier sur les forages, d'adapter la réglementation et de garder une acceptabilité sociale globale vis-à-vis de la géothermie électrogène.

Figure 45 : Perspectives de la production de chaleur par la géothermie dans le monde



Source : AIE.

Perspectives générales pour les acteurs français dans les scénarios tendanciels

Les filières partagent des questionnements communs que ce soit au niveau des marchés à l'export (concurrence forte sur les marchés extérieurs dans des environnements d'investissements contraints), ou au niveau des marchés hexagonaux (le développement de leurs marchés reste pour l'instant limité) ou enfin dans leur structuration (faible visibilité, difficulté d'identification des potentielles synergies industrielles, formation initiale pour leurs métiers). Des actions correctrices devraient être mises en œuvre en France pour permettre de conserver et de renforcer la compétitivité des filières sur ces marchés (Tableau 28).

Deux des trois filières de notre étude (E&P, stockage) subissent à l'heure actuelle un environnement international déprimé, alors que la géothermie, en fort développement, bénéficie d'un environnement international favorable, en raison notamment du contexte environnemental mondial.

Dans la filière de l'E&P, l'objectif d'une part de marché à 5 % du marché mondial pour la filière française dépendra de deux ressorts. Le premier, à court terme, repose sur la capacité de la filière à gérer le cycle bas actuel, qui pourrait être un moment de réorganisation au niveau mondial et la filière française devrait en profiter pour renforcer ses positions sur les marchés à l'export. Le second, à moyen terme, repose sur une amélioration continue de la compétitivité de la filière française, sur un marché en partie captif, et sur les synergies envisageables entre les différents acteurs suite à une meilleure structuration de la filière en France.

Dans la filière du stockage de gaz, l'enjeu principal des acteurs productifs français réside dans leur capacité à se positionner dès maintenant à l'export, notamment sur les nouveaux marchés en Asie et au Moyen-Orient, afin d'espérer au moins maintenir sa part de marché actuelle à horizon 2030.

Au niveau mondial, la géothermie profonde n'est à l'heure actuelle pas encore mature. Dans les prochaines décennies, elle pourrait fortement se développer. Dans cette optique et puisque le marché français ne pourra suivre les niveaux de croissance mondiaux, afin que la filière française maintienne sa part de marché, elle doit se tourner vers le marché international et y être compétitive.

Tableau 28 : CA des activités implantées en France et part de ces activités sur le marché mondial

Filières	CA entreprises installées en France (en Mds €)	Part actuelle sur le marché mondial	Part envisageable sur le marché mondial en 2030
E&P	35	3-5 %	5 %
Stockage	1,3	3-5 %*	5 %
Géothermie profonde	0,2	5-10 %**	10 %

*Calculée en pourcentage des capacités françaises rapportées aux capacités mondiales.

**Calculée en fonction du ratio France de la géothermie profonde par rapport à la géothermie totale.

Source : calculs des auteurs.

RECOMMANDATIONS POUR LES FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES DU SOUS-SOL PROFOND

Le travail réalisé lors de l'étude, ainsi qu'une journée d'ateliers organisée en mai 2015 avec les différents acteurs des filières énergétiques du sous-sol profond, nous ont permis, au vu du contexte présenté, d'établir des recommandations à destination des acteurs publics comme à l'ensemble des acteurs de ces filières. Ces recommandations sont délivrées sous la forme de fiches d'actions. Différents types d'actions sont présentés : organisation et/ou structuration, renforcement de l'existant, réglementation, création d'un outil et/ou d'une structure, information et enfin communication et/ou sensibilisation. Elles consistent en l'étude des leviers de développement des filières françaises de valorisation énergétique du sous-sol profond sur le territoire national et à l'export. En effet, trois axes majeurs de recommandations, s'appliquant pour les trois filières collectivement, ont été identifiés :

- **Conquérir ensemble les marchés à l'export** : cet ensemble de recommandations découle du constat de la faiblesse ou de l'étroitesse du marché national sur l'ensemble des filières de notre étude. La filière de l'E&P française est déjà une filière dynamique, de renommée internationale et compétitive à l'export, cependant elle fait face à un scénario tendanciel déprimé à court terme, comme déjà observé dans les années 1980 et 1990. Dans ce cycle bas, on peut ainsi s'attendre à une réorganisation de l'industrie et la filière française pourrait en profiter pour renforcer et développer ses positions sur les marchés à l'export. Concernant les filières du stockage et de la géothermie, il existe de réelles opportunités de développement, d'affirmation ou de positionnement sur les marchés à l'international.
- **Affirmer l'expertise française** : la France reste une référence sur la R & D et la formation. Les recommandations développées au sein de cet axe visent à affirmer cette position au sein de chacune des filières énergétiques du sous-sol profond en s'appuyant sur un renforcement des outils de démonstration existants, mais également en faisant de la France un laboratoire d'expertise interfilières au niveau international, dans le contexte actuel de transition énergétique. Elles s'inscrivent dans une logique de moyen-long terme et recouvrent des recommandations de types opérationnel et structurel.
- **Construire un modèle d'exploitation responsable et durable du sous-sol profond et valoriser les forces de la filière pour ancrer l'emploi en France** : les entreprises qui investissent en France sont dans une logique d'arbitrage international et les actions menées par les acteurs publics et fédérations professionnelles doivent faciliter cet arbitrage. En effet, pour les filières énergétiques du sous-sol profond, la situation est *a priori* défavorable (étroitesse des marchés nationaux). Les recommandations de cet axe visent à permettre l'ancrage des activités des entreprises sur le territoire national afin de conserver et développer cette base d'emplois en France et de la justifier d'un point de vue économique. Elles sont un mélange d'actions correctrices à court terme et d'actions plus structurelles de moyen terme.

Tableau 29 : Récapitulatif des recommandations pour les filières énergétiques du sous-sol profond

AXES	LEVIERS	ACTIONS
Conquérir ensemble les marchés à l'export	Dynamiser la logique de réseau des entreprises françaises (1)	Renforcer l'efficacité et la coordination des actions collectives à l'export (1.1)
		Créer un réseau et mutualiser les compétences pour aider les PME à l'étranger (1.2)
	Promouvoir et défendre la compétence française à l'international (2)	Défendre et soutenir les entreprises à l'étranger : rôle de la diplomatie française (2.1)
Affirmer l'expertise française	Développer un réseau technique des acteurs productifs (3)	Créer un comité technique d'échanges entre filières (3.1)
		Étendre à toutes les filières le dispositif de gestion et de diffusion des données du sous-sol mis en place pour les hydrocarbures (3.2)
	Promouvoir les métiers du sous-sol profond (4)	Développer l'attractivité de la formation et des métiers (4.1)
	Affirmer l'excellence technologique sur l'ensemble des filières (5)	Créer un réseau de sites de démonstration en France (5.1)
Favoriser les échanges avec les pouvoirs publics (5.2)		
Construire un modèle d'exploitation responsable et durable du sous-sol profond et valoriser les forces de la filière pour ancrer l'emploi en France	Définir un modèle commun d'exploitation responsable et durable des ressources du sous-sol profond (6)	Définir un modèle commun d'exploitation responsable et durable des ressources du sous-sol profond (6.1)
	Engager les parties prenantes autour des retombées locales et des impacts environnementaux (7)	Communiquer plus généralement autour des retombées locales (7.1)
		Partager les connaissances/savoirs sur les technologies du sous-sol profond (7.2)
	Améliorer la visibilité sur le contexte réglementaire et économique de projets du sous-sol profond en France (8)	Diffuser des informations sur les mécanismes existants de soutien et de promotion des filières (8.1)
		Favoriser les échanges avec les décideurs français et européens (8.2)
		Assurer et développer les compétences des agents de l'État (8.3)
		Améliorer l'efficacité de l'instruction et de la réglementation (8.4)

Conquérir ensemble les marchés à l'export

Pour répondre aux enjeux caractérisés des filières énergétiques du sous-sol profond sur les marchés à l'export, nous avons identifié deux principaux leviers d'action.

Levier 1 : dynamiser la logique de réseau des entreprises françaises

Le diagnostic des filières énergétiques du sous-sol profond a montré les constats suivants :

- ✓ Il existe des initiatives locales pour dynamiser la logique de réseau des entreprises à l'export qui fonctionnent actuellement (exemple : rencontres et audits réalisés par la CCIL sur la plupart des entreprises de la filière dans la région lyonnaise et compilation des données).
- ✓ Les PME ont besoin d'une logique de réseau pour investir les marchés à l'export, afin notamment de proposer des offres clés en main et d'avoir des références avec les grands groupes français.
- ✓ À l'international, notamment en Allemagne avec le *cluster* CEESA, travailler en réseau a fait ses preuves.

Recommandations relatives au levier 1 :

1.1 Renforcer l'efficacité et la coordination des actions collectives à l'export

1.2 Créer un réseau et mutualiser les compétences pour aider les PME à l'étranger

Action 1.1	RENFORCER L'EFFICACITÉ ET LA COORDINATION DES ACTIONS COLLECTIVES A L'EXPORT		
Type d'action	Organisation et/ou structuration	Renforcement de l'existant	
	Communication et sensibilisation		
Constat	<p>Nombreuses initiatives appréciées (missions, etc.) mises sur pied par diverses entités de soutien (CCI, Business France, associations professionnelles, agences régionales...)</p> <p>Absence de coordination entre les entités qui gèrent ces actions collectives de promotion à l'export, pouvant aller jusqu'à une réelle compétition entre les initiatives (exemple : deux missions concurrentes au Mexique en quelques mois). Ceci peut même aboutir à une méfiance des acteurs entre eux</p>		
Stratégie(s)	S'organiser de manière coordonnée et collective		
Descriptif de l'action	<p>Créer une instance ou assigner à une entité spécifique le rôle de coordinateur pour assurer l'efficacité à l'export</p> <p>L'entité désignée a pour rôle de coordonner, adapter les actions pour en augmenter l'impact (pertinence, contenu, timing), communiquer, ouvrir (décloisonner) les actions au plus grand nombre</p>		
Outils à utiliser	<p>Développer une plateforme export rassemblant l'expertise des professionnels, l'information des missions en cours</p> <p>L'entité désignée doit être partie prenante du comité technique d'échanges (Voir action 3.1) des filières s'il existe</p>		
Initiateur(s)/ participants	<u>Business France</u> , CCI ⁷² , associations professionnelles, pouvoirs publics		
Résultats attendus et indicateurs de succès	<p>Une meilleure perception par les acteurs étrangers de la force, de l'organisation, de la cohésion de l'industrie française</p> <p>La limitation de la dispersion des efforts (parmi eux l'effort financier)</p> <p>Le succès est à mesurer par le gain de parts de marché à l'export</p>		
Facteurs de succès	Volonté des acteurs à travailler ensemble, l'entité désignée doit obligatoirement s'appuyer sur les professionnels des filières concernées pour la définition des cibles et la conquête de ces marchés, coordination entre les niveaux nationaux et régionaux, capacité de financement pour assurer la présence des associations professionnelles sur les salons à l'étranger (pavillon France)		
Intérêt pour les acteurs	 <p>Faible Fort</p>	Faisabilité	 <p>Facile Difficile</p>
Budget nécessaire à la mise en place	 <p>Faible Élevé</p>	Impact	Court et long termes

⁷² Chambre de Commerce et d'Industrie

Action 1.2	CRÉER UN RÉSEAU ET MUTUALISER LES COMPÉTENCES POUR AIDER LES PME À L'ÉTRANGER		
Type d'action	Organisation et/ou structuration	Renforcement de l'existant	
	Communication		
Constat	Des pratiques « solidaires » sont observées dans certains pays : chasse « en tandem » en Islande, positionnement groupé en Allemagne, rôle du JOGMEC au Japon dans la recherche de partenariats et marchés à l'étranger. Les réseaux des associations professionnelles existent, mais ont une difficulté à repérer et impliquer les PME. Des initiatives régionales créent des réseaux de connaissance (pôle Avenia, CCI Lyon...). Les PME ne sont pas toujours armées face aux contraintes et règlements à l'étranger et sont demandeuses d'aide juridique. Dans chaque pays, il existe des structures françaises qui connaissent très bien les pratiques locales.		
Stratégie(s)	Faciliter la capacité des entreprises à se connaître et faire profiter de la connaissance des représentants français des conditions d'accès aux différents marchés à l'export		
Descriptif de l'action	Mettre en place et rendre visible une ossature (type « portail national ») qui permette de mettre en communication les réseaux déjà constitués Créer/désigner un service (à partir de structures existantes) qui puisse être le relais pour la bonne mise en relation entre la PME et les structures locales et apporter une aide juridique		
Outils à utiliser	Utiliser les réseaux de mise en communication entre les entreprises, <i>speed-meeting</i> , réalisation d'un annuaire interfilières, partage d'I. Eco. Volontariat International en Entreprise (VIE) Accompagnement par les grands groupes ou les EPICs spécialisés dans le domaine (le BRGM, IFPEN) <i>via</i> des partenariats à l'étranger		
Initiateur(s)/ participants	Associations professionnelles, CCI, acteurs productifs, conseillers du commerce extérieur, Business France, Missions des ambassades, pôles de compétitivité		
Résultats attendus et indicateurs de succès	Gain de parts de marché à l'export ; possibilité de constitution d'offres communes interfilières et capacité pour les PME à concentrer leurs efforts sur leur offre technique		
Facteurs de succès	Modifications des comportements culturels des acteurs productifs et volonté de travailler ensemble Capacité à agglomérer l'ensemble des informations existantes pour les mettre à disposition de manière pratique, concrète et accessible à tous		
Intérêt pour les acteurs		Faisabilité	
Budget nécessaire à la mise en place		Impact	Court terme

Levier 2 : promouvoir et défendre la compétence française à l'international

Le diagnostic des filières énergétiques du sous-sol profond a montré les constats suivants :

- ✓ Les filières sont dynamiques, de renommées internationales et compétitives à l'export. Elles disposent d'acteurs productifs pour lesquels le positionnement technologique reste l'un des atouts majeurs de la compétitivité à l'international.
- ✓ Les PME rencontrent d'importantes difficultés à exercer dans certains pays.
- ✓ Les entreprises des différentes filières énergétiques du sous-sol profond souffrent, dans certaines situations et selon le pays, de l'absence de soutien diplomatique.

Recommandation relative au levier 2 :

2.1 Défendre et soutenir les entreprises à l'étranger : rôle de la diplomatie française

Action 2.1	DÉFENDRE ET SOUTENIR LES ENTREPRISES A L'ÉTRANGER : RÔLE DE LA DIPLOMATIE FRANÇAISE		
Type d'action	Organisation et/ou structuration	Communication et sensibilisation	
Constat	Dans certains pays, les entreprises françaises, et plus particulièrement les PME, peuvent se trouver confrontées à des pratiques douteuses les mettant en difficulté (ou en péril)		
Stratégie(s)	Montrer localement que la diplomatie française appuie (et protège) les intérêts et la probité des entreprises françaises		
Descriptif de l'action	Venir en soutien systématique et au plus haut niveau possible (émetteur et récepteur) pour décourager les tentatives de déstabilisation		
Outils à utiliser	Voie diplomatique (solennité et <i>Hard Power</i>) Réaliser une brochure en plusieurs langues sur l'expertise française des filières concernées (formation, technologie...) Réunion annuelle/pluriannuelle de suivi et d'information Formation technique des conseillers sectoriels dans les ambassades à l'étranger par les acteurs des filières		
Initiateur(s)/ participants	<u>Ministère des Affaires étrangères et du Développement international</u> , associations professionnelles, acteurs productifs		
Résultats attendus et indicateurs de succès	Un meilleur respect vis-à-vis des entreprises françaises et de la France Un effet potentiellement dissuasif à moyen terme Entrée de nouveaux acteurs sur les marchés à l'export		
Facteurs de succès	Interventions rapides et systématiques, importance des filières du sous-sol dans les priorités sectorielles diplomatiques Communication/échange des services de l'État avec les PME potentiellement victimes (sensibilisation) Capacité des filières à montrer l'intérêt d'être défendues		
Intérêt pour les acteurs	 <p>Faible Fort</p>	Faisabilité	 <p>Facile Difficile</p>
Budget nécessaire à la mise en place	 <p>Faible Élevé</p>	Impact	Court et long termes

Affirmer l'expertise française

Pour répondre aux enjeux des filières énergétiques du sous-sol profond à devenir une référence au niveau de l'expertise de l'exploitation propre du sous-sol profond, nous avons identifié trois principaux leviers d'action.

Levier 3 : développer un réseau technique des acteurs productifs

Le diagnostic des filières énergétiques du sous-sol profond a montré les constats suivants :

- ✓ Il y a un déficit de connaissance entre les différents acteurs des filières énergétiques du sous-sol profond et le fonctionnement en réseau entre filières est quasi inexistant.
- ✓ Les filières de l'E&P, du stockage et de la géothermie profonde partagent des éléments et des problématiques communes.
- ✓ Il existe un besoin de collecte, de traitement, de conservation et de mise à disposition des données (forage en particulier) ainsi que des expériences acquises dans les projets géothermiques, à l'image de ce qui est réalisé par le BEPH⁷³ pour les hydrocarbures.
- ✓ Les pouvoirs publics ont une volonté générale de partager, mutualiser et de valoriser les données.

Recommandations relatives au levier 3 :

3.1 Créer un comité technique d'échanges entre filières

3.2 Étendre à toutes les filières le dispositif de gestion et de diffusion des données du sous-sol mis en place pour les hydrocarbures

⁷³ Le Bureau Exploration-Production des Hydrocarbures est chargé de la collecte, de la conservation et de la mise à disposition des données recueillies dans le cadre de cette activité. Depuis 2006, une partie de cette mission est déléguée au BRGM dans le cadre d'une convention.

Action 3.1	CRÉER UN COMITÉ TECHNIQUE D'ÉCHANGES ENTRE FILIÈRES		
Type d'action	Organisation et/ou structuration	Communication et sensibilisation	
Constat	Existence d'éléments et problématiques communs aux trois filières Déficit de connaissance mutuelle entre acteurs et fonctionnement en réseau quasi inexistant		
Stratégie(s)	Créer les conditions qui permettent aux acteurs des filières d'échanger sur des problématiques communes en termes de technologies et des défis techniques auxquels ils sont confrontés		
Descriptif de l'action	Créer un comité technique entre les trois filières. Ce comité aurait un rôle de structuration des échanges et de la coopération technique interfilières. Ce comité pourrait intervenir dans la création de filières de formation sur le sous-sol profond (Bac + 2)		
Outils à utiliser	Définir des modalités de partage de connaissances sur le modèle des <i>technical sessions</i> de la SPE qui permettent de mettre l'accent sur des problèmes rencontrés en préservant un caractère informel Évènements techniques communs/journée(s) annuelle(s) de la valorisation du sous-sol profond Plan de communication pour sensibiliser et renseigner sur la démarche Établissement d'une feuille de route technologique (recensement des moyens, la ou les cibles, la priorité des tâches, un calendrier) en accord avec le modèle national d'exploitation responsable et durable du sous-sol profond (Action 6.1)		
Initiateur(s)/ participants	ANCRE (copiloté avec le monde industriel), associations professionnelles, acteurs productifs		
Résultats attendus et indicateurs de succès	Création d'une dynamique interfilières Existence de ce comité		
Facteurs de succès	Volonté de coopérer de la part de l'ensemble des acteurs Visibilité à long terme, Intérêt économique des acteurs Créer une dynamique stratégique interfilières (structurer les échanges interfilières et définir des objectifs techniques communs) Capacité de l'ANCRE à mobiliser		
Intérêt pour les acteurs		Faisabilité	
Budget nécessaire à la mise en place		Impact	Long terme

Action 3.2	ÉTENDRE À TOUTES LES FILIÈRES LE DISPOSITIF DE GESTION ET DE DIFFUSION DES DONNÉES DU SOUS-SOL MIS EN PLACE POUR LES HYDROCARBURES		
Type d'action	Organisation et/ou structuration	Renforcement de l'existant	
Constat	<p>Besoin de collecte, de traitement, de conservation et de mise à disposition des données et expériences acquises dans les projets géothermiques (forage et sismique)</p> <p>Existence d'éléments et problématiques communs aux trois filières</p> <p>Déficit de connaissance entre acteurs et fonctionnement en réseau quasi inexistant</p>		
Stratégie(s)	<p>Mise à disposition des données aux différents acteurs productifs dans les meilleures conditions</p> <p>Créer les conditions qui permettent aux acteurs des filières d'échanger sur des problématiques communes en termes de technologies et de défis technologiques.</p>		
Descriptif de l'action	<p>Préciser le statut légal des données relatives au stockage et à la géothermie</p> <p>Étendre le dispositif mis en place pour les hydrocarbures à toutes les filières</p>		
Outils à utiliser	Exploiter l'expertise du BEPH et l'expérience du BRGM dans la gestion des données		
Initiateur(s)/ participants	<p><u>Pouvoirs publics : Medde (DGEC), MEIN</u></p> <p>Le BRGM comme pour les hydrocarbures pourrait assurer la gestion des données de forage et de sismique concernant l'activité de géothermie</p>		
Résultats attendus et indicateurs de succès	<p>Mise en place d'une banque de données filières du sous-sol profond centralisée et disponible</p> <p>Rassembler, classer et conserver les informations recueillies sur le sous-sol du territoire français</p>		
Facteurs de succès	Élargissement des missions déléguées par la DGEC et maintien des capacités financières, techniques et humaines du BRGM dédiées au BEPH		
Intérêt pour les acteurs	 <p>Faible Fort</p>	Faisabilité	 <p>Facile Difficile</p>
Budget nécessaire à la mise en place	 <p>Faible Élevé</p>	Impact	Long terme

Levier 4 : promouvoir les métiers du sous-sol profond

Le diagnostic des filières énergétiques du sous-sol profond a amené les constats suivants :

- ✓ Les métiers relatifs aux filières du sous-sol suscitent une faible attractivité, notamment auprès des jeunes.
- ✓ La France dispose d'une offre de formation couvrant de nombreux domaines et un large spectre de qualifications. Mais l'ensemble des filières est confronté à des difficultés pour recruter et/ou conserver son personnel.
- ✓ Les besoins identifiés couvrent l'ensemble des métiers sur toute la chaîne de valeur, et pour tous les niveaux d'études.
- ✓ La formation sur les métiers du sous-sol est segmentée par filière.
- ✓ Il existe de nombreux partenariats entre universités et entre universités et industries à travers les chaires industrielles, qu'il est nécessaire de dynamiser et/ou de renforcer.

Recommandation relative au levier 4 :

4.1 Développer l'attractivité de la formation et des métiers

Action 4.1	DÉVELOPPER L'ATTRACTIVITÉ DE LA FORMATION ET DES MÉTIERS		
Type d'action	Organisation et/ou structuration	Communication et sensibilisation	
	Renforcement de l'existant		
Constat	<p>Faible attractivité des filières du sous-sol profond L'offre de formation couvre de nombreux domaines et un large spectre de qualifications, cependant il n'existe pas de formation spécifique au niveau technicien (BTS) Difficultés pour recruter et/ou conserver les collaborateurs Les besoins identifiés couvrent l'ensemble des métiers sur toute la chaîne de valeur, et pour tous les niveaux d'études</p>		
Stratégie(s)	Conserver des compétences sur chacune des filières et développer une approche transverse des formations sur le territoire national afin d'élargir les possibilités sur le marché de l'emploi		
Descriptif de l'action	<p>Rendre la formation plus généraliste avec un socle commun de compétences sur les trois filières, tout en conservant les spécialisations existantes Renforcer les éléments spécifiques de géosciences au collège Renforcer les partenariats entre universités et industriels et les chaires existantes</p>		
Outils à utiliser	Cartographier et segmenter les formations, les compétences et les chaires existantes en France et à l'étranger, organismes de formation existants, salons, journées portes ouvertes... Réaliser une brochure des formations en France pour une diffusion <i>via</i> les ambassades à l'étranger, mettre en place des modules et <i>cursums</i> de formation suivant une logique partenariale entre organismes français et étrangers, création de formations doctorales interfilières		
Initiateur(s)/ participants	<u>Organismes de formation (copilotage avec les associations professionnelles)</u> , Comité technique d'échanges des filières du sous-sol, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche avec UPPA		
Résultats attendus et indicateurs de succès	Augmenter le nombre d'étudiants et doctorants, meilleure visibilité et reconnaissance des formations françaises à l'étranger		
Facteurs de succès	Mobilisation des organismes de formation, du ministère de l'Éducation et des acteurs productifs, rassembler une masse critique nécessaire au développement des formations communes <i>via</i> l'ouverture des formations aux étrangers, développer la coordination entre organismes de formation existants, augmentation du nombre d'étudiants		
Intérêt pour les acteurs	 <p>Faible Fort</p>	Faisabilité	 <p>Facile Difficile</p>
Budget nécessaire à la mise en place	 <p>Faible Élevé</p>	Impact	Long terme

Levier 5 : affirmer l'excellence technologique sur l'ensemble des filières

Le diagnostic des filières énergétiques du sous-sol profond a montré les constats suivants :

- ✓ Le positionnement technologique des acteurs et leur excellence sont parmi les atouts majeurs de la compétitivité des filières.
- ✓ L'innovation est nécessaire pour faire face aux divers défis technologiques observés sur les différents marchés des filières de notre étude.
- ✓ Les entreprises, notamment les PME, manquent de possibilité de réaliser leurs premières références en France.

Recommandations relatives au levier 5 :

5.1 Créer un réseau de sites de démonstration en France

5.2 Favoriser les échanges avec les pouvoirs publics

Action 5.1	CRÉER UN RÉSEAU DE SITES DE DÉMONSTRATION EN FRANCE		
Type d'action	Organisation et/ou structuration		
Constat	<p>Excellence technique des filières</p> <p>Le positionnement technologique est un atout majeur de la compétitivité à l'export des filières</p> <p>L'activité de ces filières repose sur un processus constant d'innovations et sur la recherche de technologies en rupture</p>		
Stratégie(s)	Promouvoir en France et à l'étranger l'excellence technique des filières du sous-sol profond <i>via</i> l'implantation de démonstrateurs et références		
Descriptif de l'action	Favoriser la création d'un réseau de sites de démonstration en France ouverts aux différents acteurs de la filière		
Outils à utiliser	Cartographier les sites de démonstration et leurs conditions d'accessibilité, identifier les manques et mettre en place les financements des projets d'innovation associés pour créer de tels outils (à l'aide des dispositifs existants ou en y fléchant les redevances issues des activités du sous-sol)		
Initiateur(s)/ participants	ANCRE et pôle Avenia, pouvoirs publics, comité technique des filières, acteurs productifs, associations professionnelles		
Résultats attendus et indicateurs de succès	<p>Implantation de démonstrateurs en France</p> <p>Obtention de références pour les marchés à l'export</p> <p>Renforcement de l'avantage comparatif lié à la technologie des différents acteurs productifs</p> <p>Participation à l'ancrage des effectifs de recherche et d'innovation en France</p>		
Facteurs de succès	<p>Implication forte de l'ensemble des acteurs : pouvoirs publics (financement), comité technique de filières (feuille de route technologique), acteurs productifs et associations professionnelles</p> <p>Financement</p> <p>Acceptabilité sociale (ensemble des acteurs)</p> <p>Gestion du transfert de responsabilité pour une utilisation de sites existants</p>		
Intérêt pour les acteurs	 <p>Faible Fort</p>	Faisabilité	 <p>Facile Difficile</p>
Budget nécessaire à la mise en place	 <p>Faible Élevé</p>	Impact	Long terme

Action 5.2	FAVORISER LES ÉCHANGES AVEC LES POUVOIRS PUBLICS		
Type d'action	Communication et sensibilisation	Renforcement de l'existant	
Constat	Peu de projets sur les filières du sous-sol profond bénéficiant de financement public		
Stratégie(s)	Faciliter le financement de la R & D du sous-sol profond en France		
Descriptif de l'action	Communiquer sur l'excellence des filières et de leurs retombées économiques Favoriser le financement de la R & D des filières à travers des mécanismes non spécifiques déjà existants		
Outils à utiliser	Profiter de la création du comité technique des filières et du positionnement de l'ANCRE pour renforcer la communication sur l'excellence des filières Financement des agences de l'État		
Initiateur(s)/ participants	ANCRE, Comité technique des filières, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, ministère de l'Environnement, du Développement durable et de l'Énergie, ministère de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique		
Résultats attendus et indicateurs de succès	Financement d'un nombre minimum de projets dans les filières du sous-sol profond Affirmation du positionnement technologique des filières du sous-sol profond à l'international		
Facteurs de succès	Capacité à communiquer sur l'excellence des filières Maintien au minimum des capacités de financement des agences de l'État (Ademe, ANR) Adhésion politique		
Intérêt pour les acteurs	 <p>Faible Fort</p>	Faisabilité	 <p>Facile Difficile</p>
Budget nécessaire à la mise en place	 <p>Faible Élevé</p>	Impact	Court terme mais durable pour les filières

Construire un modèle d'exploitation responsable et durable du sous-sol profond et valoriser les forces de la filière pour ancrer l'emploi en France

Pour répondre aux enjeux des filières énergétiques du sous-sol profond à s'ancrer sur le territoire national, nous avons identifié trois principaux leviers d'action.

Levier 6 : définir un modèle commun d'exploitation responsable et durable des ressources du sous-sol profond

Le diagnostic des filières énergétiques du sous-sol profond a montré les constats suivants :

- ✓ Il n'existe pas de feuille de route nationale pour l'exploitation du sous-sol profond en France.
- ✓ Dans le domaine de l'exploitation minière, dans le cadre de la stratégie nationale pour la transition écologique et le développement durable, un projet de « Mine responsable » a été initié pour réduire les impacts environnementaux, sanitaires ainsi que les nuisances (destruction du paysage, bruit...) à toutes les étapes de son cycle de vie.
- ✓ Il existe des initiatives de ce type, notamment en Alsace, en géothermie, qui demandent à être formalisées au niveau national.

Recommandation relative au levier 6 :

6.1 Définir un modèle commun d'exploitation responsable et durable des ressources du sous-sol profond

Action 6.1	DÉFINIR UN MODÈLE COMMUN D'EXPLOITATION RESPONSABLE ET DURABLE DES RESSOURCES DU SOUS-SOL PROFOND		
Type d'action	Organisation et/ou structuration	Information	
	Création d'un outil		
Constat	Il n'existe pas de feuille de route nationale pour l'exploitation du sous-sol profond en France. Dans le domaine de l'exploitation minière, dans le cadre de la stratégie nationale pour la transition écologique et le développement durable, un projet de « Mine responsable » a été initié pour réduire les impacts environnementaux, sanitaires ainsi que les nuisances (destruction du paysage, bruit...) à toutes les étapes de son cycle de vie. Il existe des initiatives de ce type, notamment en Alsace, en géothermie, qui demandent à être formalisées au niveau national		
Stratégie(s)	Guider la France en l'amenant à devenir une référence en matière d'exploitation responsable et durable des ressources du sous-sol profond		
Descriptif de l'action	Rédaction d'un livre blanc décrivant le principe d'un projet d'exploitation du sous-sol profond, ses différentes phases, les types de techniques employées et les moyens pour éviter, réduire ou compenser ses impacts. Une convention d'engagement volontaire des opérateurs filières sera également élaborée.		
Outils à utiliser	Comité de pilotage		
Initiateur(s)/ participants	DGEC ⁷⁴ , DGALN ⁷⁵ , DGPR ⁷⁶ , comité technique de filières, acteurs productifs, société civile, élus, représentants des salariés		
Résultats attendus et indicateurs de succès	Renforcement de la performance environnementale des filières et de leur acceptabilité Visibilité pour l'ensemble des acteurs des filières du sous-sol profond Attractivité pour les métiers du sous-sol profond Une meilleure adéquation entre les évolutions des aspects réglementaires et les réalités du développement des filières		
Facteurs de succès	Volonté politique de soutien au développement des filières du sous-sol profond ; capacité des acteurs à se mobiliser sur le territoire français, à se coordonner et à communiquer ; capacité de l'IFPEN à assumer sur les plans financiers, humains et techniques l'établissement du modèle commun d'exploitation responsable et durable du sous-sol profond		
Intérêt pour les acteurs		Faisabilité	
Budget nécessaire à la mise en place			Impact

⁷⁴ Direction générale de l'Énergie et du Climat.

⁷⁵ Direction générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature.

⁷⁶ Direction générale de la Prévention de Risques.

Levier 7 : engager les parties prenantes autour des retombées locales et des impacts environnementaux

Le diagnostic des filières énergétiques du sous-sol profond a montré les constats suivants :

- ✓ Le public est demandeur d'informations relatives aux projets développés par les trois filières de notre étude.
- ✓ Des initiatives existent pour que l'ensemble des parties prenantes prennent connaissance, en amont et durant le développement des projets, des aspects technologiques de ces derniers.
- ✓ En parallèle d'une obligation morale de transparence, les acteurs du sous-sol profond ne mettent pas assez en avant les bénéfices en matière de retombées locales du développement de leurs activités.

Recommandations relatives au levier 7 :

7.1 Communiquer plus généralement autour des retombées locales

7.2 Partager les connaissances/savoirs sur les technologies du sous-sol profond

Action 7.1	COMMUNIQUER AUTOUR DES RETOMBÉES LOCALES		
Type d'action	Communication et sensibilisation	Information	
Constat	Des expériences internationales montrent qu'une bonne communication autour des retombées économiques locales favorise l'implantation des projets En France, cet aspect pourrait être développé et visible		
Stratégie(s)	Faciliter l'acceptabilité des projets relatifs au sous-sol profond en France		
Descriptif de l'action	Communiquer autour des retombées locales en matière d'emplois, de revenus et des effets indirects Améliorer l'image des filières au niveau national à travers un engagement politique		
Outils à utiliser	Outils de communication à l'échelle locale et nationale : conférences et débats, brochures sur les retombées locales de projets similaires... Création d'un baromètre de perception des projets dans les filières du sous-sol (enquête d'opinion)		
Initiateur(s)/ participants	UFIP et autres associations professionnelles, acteurs productifs, pouvoirs publics et élus		
Résultats attendus et indicateurs de succès	Délais de mise en place des projets réduits Amélioration de la perception des projets par les parties prenantes		
Facteurs de succès	Soutien des politiques Capacité des acteurs productifs à quantifier et expliciter les retombées locales		
Intérêt pour les acteurs	 <p>Faible Fort</p>	Faisabilité	 <p>Facile Difficile</p>
Budget nécessaire à la mise en place	 <p>Faible Élevé</p>	Impact	Long terme

Action 7.2	PARTAGER LES CONNAISSANCES/SAVOIRS SUR LES TECHNOLOGIES DU SOUS-SOL PROFOND		
Type d'action	Communication et sensibilisation		Information
Constat	Méconnaissance du public des aspects techniques des projets et de l'excellence technologique des filières du sous-sol profond Ce manque de connaissances suscite des rejets du public et contribue à rendre peu attractives les filières		
Stratégie(s)	Faciliter l'acceptabilité des projets relatifs au sous-sol profond en France à travers une sensibilisation aux technologies et à leurs impacts		
Descriptif de l'action	Réaliser à grande échelle et sous multiples formes des campagnes de sensibilisation		
Outils à utiliser	Expositions temporaires Outils de communication (organisation de conférences...) Organisation de visites de sites à large échelle pour le grand public Renforcement ou introduction des enseignements liés aux filières dans les cursus scolaires Réalisation d'un jeu éducatif (plateau ou en ligne) sur les filières du sous-sol profond		
Initiateur(s)/ participants	UFIP, GEP-AFTP, AFIG, AFG, organismes de formation, acteurs productifs, sociétés savantes (SPE ⁷⁷ , SGF ⁷⁸)		
Résultats attendus et indicateurs de succès	Délais de mise en place des projets réduits Amélioration de la perception des projets par les parties prenantes		
Facteurs de succès	Capacité de communiquer de manière intelligible Pédagogie Transparence en matière d'environnement		
Intérêt pour les acteurs		Faisabilité	
Budget nécessaire à la mise en place		Impact	Long terme

⁷⁷ Society of Petroleum Engineers.

⁷⁸ Société géologique de France.

Levier 8 : améliorer la visibilité sur le contexte réglementaire et économique de projets du sous-sol profond en France

Le diagnostic des filières énergétiques du sous-sol profond a montré les constats suivants :

- ✓ La réglementation existe et est bien perçue malgré quelques simplifications envisageables. L'application des règles en revanche et notamment les délais d'instruction posent plus de problèmes, surtout pour les titres miniers donnant le droit d'accès au sous-sol.
- ✓ Les DREAL qui sont en charge des dossiers montrent des compétences inégales sur les différents dossiers à instruire dans le domaine du sous-sol profond.
- ✓ Les filières énergétiques du sous-sol profond ne sont pas assez représentées au niveau européen.
- ✓ Des mécanismes nationaux et/ou des initiatives plus régionales existent pour la promotion des filières énergétiques du sous-sol profond. Toutefois, il n'existe pas de lieux physiques ou virtuels de centralisation de l'information.
- ✓ Il n'existe pas de guichet unique pour les différents acteurs des filières visant à les informer de la création ou du développement de leurs activités.

Recommandations relatives au levier 8 :

8.1 Diffuser des informations sur les mécanismes existants de soutien et de promotion des filières

8.2 Favoriser les échanges avec les décideurs français et européens

8.3 Assurer et développer les compétences des agents de l'État

8.4 Améliorer l'efficacité de l'instruction et de la réglementation

Action 8.1	DIFFUSER DES INFORMATIONS SUR LES MÉCANISMES EXISTANTS DE SOUTIEN ET DE PROMOTION DES FILIÈRES		
Type d'action	Communication et sensibilisation	Renforcement de l'existant	
	Information		
Constat	<p>Excepté pour la géothermie, il n'existe plus de mécanismes spécifiques de soutien aux filières du sous-sol profond. Cependant, les trois filières sont éligibles à différents mécanismes généraux de soutien, multiples et qui impactent différentes branches des acteurs productifs (R & D, export...).</p> <p>Dans la filière de l'E&P, de nombreuses entités (PME) sont actuellement en difficultés et recherchent des financements</p>		
Stratégie(s)	<p>Informers les acteurs français sur les aides disponibles en France afin de favoriser l'implantation ou le développement des activités sur le territoire dans le contexte d'arbitrage international</p>		
Descriptif de l'action	<p>Communication autour des aides/actions existantes Créer un guichet unique d'information</p>		
Outils à utiliser	<p>Brochure des mécanismes existants Utilisation de BusinessFrance comme guichet unique et de son site internet comme vecteur d'information</p>		
Initiateur(s)/ participants	<p>BPI France, ANR, acteurs régionaux (CCI...), associations professionnelles, pôle Avenia, pouvoirs publics</p>		
Résultats attendus et indicateurs de succès	<p>Plus de visibilité des acteurs sur les mécanismes de soutien existants Ancrage des entreprises en France</p>		
Facteurs de succès	<p>Financement continu des mécanismes de soutien Prise de conscience que les filières n'ont pas de mécanisme de soutien spécifique afin de favoriser l'arbitrage dans leur éligibilité aux mécanismes généraux Capacité à informer sur l'existant</p>		
Intérêt pour les acteurs	 <p>Faible Fort</p>	Faisabilité	 <p>Facile Difficile</p>
Budget nécessaire à la mise en place	 <p>Faible Élevé</p>	Impact	Court terme

Action 8.2	FAVORISER LES ÉCHANGES AVEC LES DÉCISIONNAIRES FRANÇAIS ET EUROPÉENS		
Type d'action	Communication et sensibilisation	Renforcement de l'existant	
	Organisation et/ou structuration		
Constat	L'activité productive dans le sous-sol profond en France dépend des réglementations nationales et européennes À l'heure actuelle, il existe peu de communication entre les acteurs productifs des filières, les associations professionnelles et les principaux décideurs français et européens		
Stratégie(s)	Renforcer la communication entre les différents acteurs des filières et les principaux décideurs pour donner de la visibilité au potentiel du sous-sol profond en France et aux enjeux d'emplois liés aux activités à l'export Renforcer la compréhension mutuelle des enjeux (techniques, environnementaux et économiques) des filières du sous-sol profond		
Descriptif de l'action	Communiquer sur l'excellence des filières et de leurs retombées économiques Demander à multiplier les comités consultatifs avec les décideurs sur les sujets relatifs aux filières du sous-sol profond Défense des intérêts des acteurs des filières par les pouvoirs publics français au niveau des décideurs européens		
Outils à utiliser	Création d'un portail d'information sur les ressources énergétiques à l'image de MinerallInfo Création d'une revue électronique sur les questions relatives à l'énergie et au sous-sol profond à l'image d'Écomine Comités consultatifs Rencontres régulières avec les décideurs français et européens		
Initiateur(s)/ participants	Associations professionnelles, comité technique, pouvoirs publics français, acteurs productifs		
Résultats attendus et indicateurs de succès	Une meilleure adéquation entre les lois et les réalités du développement des filières		
Facteurs de succès	Capacité à communiquer Volonté de soutenir les filières par les pouvoirs publics Coordination des acteurs dans les échanges avec les différents décideurs		
Intérêt pour les acteurs	 <p>Faible Fort</p>	Faisabilité	 <p>Facile Difficile</p>
Budget nécessaire à la mise en place	 <p>Faible Élevé</p>	Impact	Long terme

Action 8.3	ASSURER ET DÉVELOPPER LES COMPÉTENCES DES AGENTS DE L'ÉTAT		
Type d'action	Information	Renforcement de l'existant	
Constat	Les filières du sous-sol profond sont des filières techniques avec des fonctionnements particuliers qui nécessitent une compréhension de l'ensemble de la chaîne de valeur pour les encadrer au mieux Au sein des agences traitant des questions relatives aux filières du sous-sol profond, il y a de moins en moins de personnel ayant une connaissance approfondie de ces problématiques		
Stratégie(s)	Renforcer la compréhension technique et économique des filières du sous-sol profond		
Descriptif de l'action	Assurer et développer les compétences des agents de l'État sur les questions (enjeux) techniques et économiques des filières		
Outils à utiliser	Utiliser les catalogues de formation professionnelle existants (IFP Training...) Création de sessions de formation particulière dédiées aux agents de l'État sur les sujets relatifs au sous-sol profond (MOOC...)		
Initiateur(s)/ participants	Pouvoirs publics (ministère, DREAL...), organismes de formation		
Résultats attendus et indicateurs de succès	Communication facilitée entre les acteurs productifs, les associations professionnelles et les agents de l'État Meilleure adéquation entre les lois et les réalités du développement des filières Renforcement des échanges entre les différents ministères concernés Une meilleure visibilité des filières		
Facteurs de succès	Collaboration des DREAL avec les instituts (le BRGM, Ineris, IFPEN) Capacité financière de l'État pour renforcer la formation de ses agents		
Intérêt pour les acteurs	 <p>Faible Fort</p>	Faisabilité	 <p>Facile Difficile</p>
Budget nécessaire à la mise en place	 <p>Faible Élevé</p>	Impact	Long terme

Action 8.4	AMÉLIORER L'EFFICACITÉ DE L'INSTRUCTION ET DE LA RÉGLEMENTATION		
Type d'action	Réglementation	Communication et sensibilisation	
Constat	Les délais d'instruction des dossiers sont excessifs pour certains projets principalement pour l'obtention des titres miniers Il existe un manque de lisibilité du processus d'instruction		
Stratégie(s)	Clarifier et borner le processus d'instruction pour donner de la visibilité aux porteurs de projets		
Descriptif de l'action	Respecter les délais d'instruction des demandes de permis : engagement clair et ferme de la part de l'État et de ses agences sur les délais d'instruction Homogénéiser les délais et modalités de gestion au niveau national Préciser les modalités de gestion de la coactivité et de la concurrence Pour la géothermie : afin de prévenir la variabilité du traitement régional des dossiers administratifs, placer la DRIEE Île-de-France comme référent national pour les permis de recherche, d'exploitation et de travaux de géothermie basse température, et la DREAL Alsace pour les permis de géothermie haute température		
Outils à utiliser	Mise en place d'un processus qualité : mesure des délais moyens et objectifs de réduction des retards dans le traitement des dossiers Communiquer sur le processus qualité Faire évoluer la loi dans le sens d'une moindre complexité		
Initiateur(s)/ participants	Pouvoirs publics (DGEC, DGALN, DGPR et DREALs)		
Résultats attendus et indicateurs de succès	Respect des délais annoncés Homogénéité des délais		
Facteurs de succès	Évolution de la réglementation Limiter la juxtaposition des lois qui entraîne la multiplication des cas différents et une indéniable complexité pour le porteur de projet d'une part et pour le public d'autre part		
Intérêt pour les acteurs	 <p>Faible Fort</p>	Faisabilité	 <p>Facile Difficile</p>
Budget nécessaire à la mise en place	 <p>Faible Élevé</p>	Impact	Court terme

SIGLES

AFOM	Atouts, Faiblesses, Opportunités, Menaces
AIE	Agence internationale de l'Énergie
CA	Chiffre d'affaires
CSC	Captage et stockage du CO ₂
CIR	Crédit Impôt Recherche
CEP&M	Comité d'études pétrolières et marines
CITEPH	Concertation pour l'innovation technologique dans l'exploration production d'hydrocarbures
DROM	Départements et régions d'outre-mer
EGS	Enhanced Geothermal System
E&P	Exploration et production pétrolière et gazière
EPIC	Établissement public à caractère industriel et commercial
ETI	Établissement de taille intermédiaire
FSH	Fonds de soutien aux hydrocarbures
M€	Millions d'euros
Mds \$	Milliards de dollars
Mtep	Millions de tonnes équivalent pétrole
MW	Méga Watt
MWh	Méga Watt-heure
PER	Permis exclusif de recherches
PME	Petite et moyenne entreprise
R & D	Recherche et développement
RAH	Récupération assistée d'hydrocarbures (EOR/EGR pour Enhanced Oil/Gas Recovery en anglais)
SPE	Society of petroleum engineers
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats (Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces)

INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les grands chiffres des filières énergétiques du sous-sol profond	9
Tableau 2 : Récapitulatif des recommandations pour les filières énergétiques du sous-sol profond	14
Tableau 3 : Ordre de grandeur des emplois salariés de quelques filières industrielles en France	25
Tableau 4: Compétences manquantes les plus citées (rang dans les réponses)	41
Tableau 5 : Aide au financement de projets R & D dans la filière de l'E&P	42
Tableau 6 : Les initiatives pour la structuration de la filière de l'E&P	42
Tableau 7 : Initiatives de structuration de la filière du stockage géologique de gaz naturel en France	52
Tableau 8 : Initiatives de structuration de la filière du stockage de CO ₂ en France	53
Tableau 9 : Initiatives de structuration de la filière de la géothermie en France	62
Tableau 10 : Récapitulatif global des maturités et efficacités par pays et par filière	67
Tableau 11 : Les grands chiffres de la filière de l'E&P	68
Tableau 12 : Capacité de production de chaleur et d'électricité par géothermie dans les pays concernés en 2012	71
Tableau 13 : Les grands chiffres de la filière de l'E&P pétrole et gaz en Allemagne	72
Tableau 14 : Les chiffres de la filière de la géothermie en Allemagne	73
Tableau 15 : Les chiffres de la filière de l'E&P aux États-Unis	74
Tableau 16 : Les chiffres de la filière de l'E&P au Royaume-Uni	76
Tableau 17 : Les chiffres de la filière de l'E&P en Chine	78
Tableau 18 : Les chiffres de la filière de la géothermie en Islande	80
Tableau 19 : Les chiffres de la filière de l'E&P en Norvège	82
Tableau 20 : Opportunités de transferts de technologies interfilières	91
Tableau 21 : Principaux instituts de formation (formation diplômante, formation continue) dans le domaine des géosciences	100
Tableau 22 : Perspectives de croissance de la production d'électricité et de chaleur par géothermie dans le scénario DIV de l'ANCRE, par pas de cinq ans (référence 2010)	113
Tableau 23 : Part de la filière française de l'E&P dans le monde	113
Tableau 24 : Valeurs annuelles moyennes des investissements en E&P - historique et prévisions par région (G\$)	116
Tableau 25 : Part de la filière française de stockage dans le monde	117
Tableau 26 : Hypothèses de prix du CO ₂ dans quelques régions pour le scénario « politiques actuelles » de l'AIE (en dollars 2012 par tonne de CO ₂ évitée)	118
Tableau 27 : Part de la filière française de la géothermie dans le marché mondial	119
<i>Pipame – Les filières de la valorisation énergétique du sous-sol profond</i>	149

Tableau 28 : CA des activités implantées en France et part de ces activités sur le marché mondial	122
Tableau 29 : Récapitulatif des recommandations pour les filières énergétiques du sous-sol profond	123
Tableau 30 : Caractéristiques des entreprises suivant leur typologie	161
Tableau 31 : Durée d'existence des entreprises (en 2013, en %)	162
Tableau 32 : Répartition des entreprises par tranches de taille (en 2013, en %)	162
Tableau 33 : Répartition des entreprises par pourcentage du chiffre d'affaires réalisé à l'export (en 2012, en %)	163
Tableau 34 : Chiffre d'affaires total (en millions d'euros) des entreprises en fonction de leur taille et de leur typologie	163
Tableau 35 : La représentativité de l'enquête	165
Tableau 36 : Quelques exemples de participations de l'État au sein du secteur E&P	171
Tableau 37 : Définition des quatre types de géothermie profonde	182
Tableau 38 : Mécanismes financiers directs ou indirects de soutien existants	183
Tableau 39 : Principaux métiers et compétences en exploration, mise en production et en exploitation de site pétrolier ou géothermique	185

INDEX DES FIGURES

Figure 1 : Représentation générale d'une dynamique de filière	22
Figure 2 : Représentation générale des filières énergétiques du sous-sol profond.....	27
Figure 3 : Segmentation des acteurs productifs et des principales compétences des filières du sous-sol profond	28
Figure 4 : Déclinaison des trois niveaux d'acceptabilité.....	28
Figure 5 : Organisation des acteurs de l'aide à l'export	30
Figure 6 : Taux de croissance du CA mondial du secteur parapétrolier et taux de croissance du prix du baril de pétrole brut (Brent)	31
Figure 7 : Volume et coûts d'investissement en E&P (Upstream Capital Costs Index) et prix du pétrole et du gaz	32
Figure 8 : Évolution des investissements mondiaux en E&P.....	33
Figure 9 : Production de pétrole et de gaz naturel en France depuis 1985 (gauche) et répartition de la production de pétrole brut en France par société en % du volume produit en octobre 2014 (droite)	34
Figure 10 : Bassins sédimentaires et localisation des titres d'exploitation (gauche) et évolution du domaine minier d'exploration en nombre de permis (droite)	35
Figure 11: Activité de forage d'exploration depuis 1965	35
Figure 12 : Positionnement géographique des acteurs (et emplois) de la filière de l'E&P ayant répondu au questionnaire	37
Figure 13 : État de santé autodéclaratif des sociétés en fonction de leur taille à la mi-2014	40
Figure 14 : Relations d'interactions ressenties par les acteurs de la filière de l'E&P.....	44
Figure 15 : Types de stockage par gamme de profondeur et produits concernés.....	45
Figure 16 : Profil de l'approvisionnement européen de gaz naturel durant l'hiver 2013-2014	46
Figure 17 : Répartition en 2013 par région du monde des sites de stockage (gauche) et de la capacité utile de stockage de gaz naturel (droite).....	46
Figure 18 : Capacité utile maximum de stockage de gaz en Europe par pays (Mds m ³)	47
Figure 19 : Réductions des émissions de gaz à effet de serre à horizon 2050 par type de technologie	48
Figure 20 : Cartographie des projets de CSC dans le monde par industrie et par type de stockage	49
Figure 21 : État de santé autodéclaratif des sociétés en fonction de leur taille.....	51
Figure 22 : Relations d'interactions ressenties par les acteurs de la filière du stockage du gaz naturel	52
Figure 23 : Structure de l'industrie géothermique mondiale	56
Figure 24 : Production géothermique d'électricité (gauche) et de chaleur par usage direct (droite) dans le monde en 2014.....	57
Figure 25 : Échelle de risque d'un projet géothermique en milieu volcanique.....	58

Figure 26 : État de santé autodéclaratif des sociétés en fonction de leur taille.....	61
Figure 27: Relations d'interactions ressenties par les acteurs de la filière de la géothermie	63
Figure 28 : Principe de fonctionnement du fonds de mutualisation.....	64
Figure 29 : Comparaison internationale dans la filière de l'E&P	68
Figure 30 : Comparaison internationale dans les filières du stockage de gaz et de CO ₂	70
Figure 31 : Comparaison internationale pour la filière de la géothermie.....	71
Figure 32 : Analyse des articulations et des transversalités potentielles interfilières.....	89
Figure 33 : Les principaux métiers du sous-sol profond	90
Figure 34 : Du bassin au réservoir : le cycle de vie « amont » d'un projet d'exploitation du sous-sol	92
Figure 35 : Répartition des étudiants sur les formations IFP <i>School</i> en Géosciences – Promotion 2013 (total : 107 étudiants diplômés).....	99
Figure 36 : Répartition de la consommation d'énergie primaire en France métropolitaine en 2013 (total 259,6 Mtep).....	109
Figure 37 : Consommation d'énergie finale de la France dans les scénarios de l'ANCRE.....	111
Figure 38 : Part des énergies fossiles, fissiles et renouvelables dans la consommation énergie finale (en %).....	112
Figure 39 : Prévisions à court terme du prix du pétrole.....	114
Figure 40 : Prévisions du prix du pétrole à horizon 2040	115
Figure 41 : Les investissements en E&P pour la période 2013-2020.....	116
Figure 42 : Évolution de la capacité utile de stockage de gaz naturel dans le monde entre 2013 et 2030	117
Figure 43 : Statut des projets de CSC identifiés par le Global CCS Institute par date de mise en service et zone géographique	118
Figure 44 : Perspectives de la production d'électricité par géothermie dans le monde.....	120
Figure 45 : Perspectives de la production de chaleur par la géothermie dans le monde.....	121
Figure 46 : L'organisation administrative en matière de mines	169
Figure 47 : Nombre de projets et financement des <i>sponsors</i> au sein du CITEPH	175
Figure 48 : Carte des sites de stockage souterrains de gaz naturel en France	178
Figure 49 : Carte des ressources géothermiques profondes en France.....	181

BIBLIOGRAPHIE

1. **Insee.** *Filière - Définition*. [En ligne] Janvier 2015. <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/filiere.htm>.
2. **Arena R, et al., et al.** *Traité d'économie industrielle*, p.224. 1991. p. p.224.
3. **DGE.** *Les comités stratégiques de filière*. [En ligne] Janvier 2015. <http://www.economie.gouv.fr/cni/comites-strategiques-filieres-0>.
4. **Rouaud Thierry.** Enquête sur l'activité de l'industrie parapétrolière et paragazière française. 2014. GEP-AFTP, Présentation aux journées annuelles des hydrocarbures, 8-9 octobre 2014.
5. **Hureau G., Serbutoviez S. et Silva C.** *Les investissements en exploration-production et raffinage*. IFPEN. 2014.
6. **Direction générale de l'Énergie et du Climat (DGEC).** *Panorama énergies-climat*. Édition 2014. 2014.
7. **Bureau exploration-production des hydrocarbures (BEPH).** *Bulletin d'information du BEPH n° 89 - Novembre 2014*. 2014.
8. **Total.** *Factbook*. 2013.
9. **ENTSOG.** *Winter Supply Outlook 2014/15*. 2014.
10. **Cedigaz.** *Underground Gas Storage in the World 2013*. 2013.
11. **Hureau Geoffroy.** Gas Storage in Europe, recent developments and outlook to 2035. 2015. Presentation to European Gas Conference, 27-29 January 2015, Vienna.
12. **Agence internationale de l'Énergie.** *Technology Roadmap - Carbon capture and storage*. 2013.
13. **NER 300.** [En ligne] <http://www.ner300.com/>.
14. **Global CCS Institute.** *The global status of CCS*. 2014.
15. **Zero emissions Platform.** *The Costs of CO₂ Capture, Transport and Storage*. 2011.
16. **Ademe.** *Le captage, transport, stockage géologique et la valorisation du CO₂ - Feuille de route stratégique*. 2011.
17. **Lecomte Fabrice, Broutin Paul et Lebas Étienne.** *Le captage du CO₂ : Des technologies pour réduire les émissions de gaz à effet de serre*. Éditions Technip. 2009.
18. **Mines ParisTech.** Chaire « Captage, transport et stockage du CO₂ ». [En ligne] <http://www.dep.mines-paristech.fr/Chaires/CTSC/>.
19. **ESMAP.** *Guide géothermique : planification et financement de la production d'énergie*. 2012.
20. **Ademe.** *Géothermie : feuille de route stratégique*. 2011.
21. *Développement de la géothermie dans la Caraïbe.* **Laplaige Philippe, Durimel Harry et Mompelat Jean-Marc.** 2013, Géosciences, p. 26-35.
22. **Ipsos.** *Les Français et les énergies renouvelables - Résultats de l'étude menée par Ipsos pour le SER*. 2013.
23. **Conseil constitutionnel.** *Décision n° 2013-346 QPC du 11 octobre 2013*. [En ligne] Mai 2015. <http://www.conseil-constitutionnel.fr/conseil-constitutionnel/francais/les-decisions/acces-par-date/decisions-depuis-1959/2013/2013-346-qpc/decision-n-2013-346-qpc-du-11-octobre-2013.138283.html>.

24. **Association française des professionnels de la géothermie (AFPG).** *La géothermie en France : Étude du marché en 2011.* 2012.
25. **Deutsche Bank.** *Oil & Gas for beginners.* 2013.
26. **DECC, OGA.** *Oil and Gas Authority framework document.* 2015.
27. **IFPEN.** *Oil and Gas Exploration and Production - Reserves, costs, contracts.* s.l. : Technip.
28. *Vol. 342 n° spécial Soultz.* **Soultz, CR Geoscience Vol. 342 n° spécial.** 2010.
29. **Sanjuan B., Pinault J.-L., Rose P., Gérard A., Brach M., Braibant G., Cruzet C., Foucher J.-C., Gautier A., Touzelet S.** Tracer testing of the geothermal heat exchanger at Soultz-sous-Forêts (France) between 2000 and 2005. *Geothermics* 35. pp. 622 - 653.
30. **MIT.** The future of geothermal energy, Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on United States in the 21st century. 2006, p. 372.
31. **Zimmermann Günter, Blöcher Guido, Huenges Ernst, Deutsches GeoForschungsZentrum.** Enhanced Geothermal Systems (EGS) - potential and Stimulation treatments. 2010.
32. *The Geothermal Power Plant Bruchsal.* **Herzberger P., Münch W., Kölbl T., Bruchmann U., Schlagermann P., Hötzl H., Wolf L., Rettenmaier D., Steger H.,** Bali : s.n., 2010. Proceedings World Geothermal Congress.
33. **Jacquelin L.-M., Bader A.-G.** Le stockage souterrain de l'énergie.
34. Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, « Le crédit d'impôt recherche en 2012 ». 2014.

SITES INTERNET

1. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie <http://www.developpement-durable.gouv.fr/>
2. Ministère de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique <http://www.entreprises.gouv.fr/>
3. Union française des industries pétrolières <http://www.ufip.fr/ufip>
4. Bureau d'exploitation-production des hydrocarbures <http://www.beph.net/>
5. Association française des professionnels de la géothermie <http://www.afpg.asso.fr/>
6. Groupement des entreprises et des professionnels des hydrocarbures GEP-AFTP <http://www.gep-aftp.com/>
7. Agence nationale de la recherche <http://www.agence-nationale-recherche.fr/>
8. Total <http://www.total.fr/>
9. GDFSuez <http://www.gdfsuez-dolcevita.fr/>

PUBLICATIONS ET RAPPORTS

10. *Repères chiffres clés de l'énergie*, Commissariat général au développement durable, édition 2013
11. *Pétrole, gaz, énergies décarbonées – rapport sur l'industrie en 2011*, Direction générale de l'énergie et du climat
12. *Annual report*, IEA Geothermal, édition 2012
13. *Baromètre 2013 des énergies renouvelables électriques en France*, Observ'ER
14. *La géothermie en France, étude de marché en 2013*, AFPG
15. *Report on underground gas storage*, Cedigaz, 2014
16. *Les investissements en exploration-production et raffinage 2014*, IFPEN

ANNEXES

Liste des participants à la journée d'échanges sur les filières industrielles de valorisation énergétique du sous-sol profond (mai 2015)

AGEORGES Bruno	UFIP
ALAZARD-TOUX Nathalie	Alliance ANCRE, IFP Énergies nouvelles
BAIN Pascal	ANR
BALLAZ Jean-Philippe	CCI Rhône-Alpes
BARRIERE Benoît	CGG
BAUQUIS Pierre-René	Professeur associé
BOIS Maria	Curistec
BONIJOLY Didier	BRGM
BOUCHET Lionel	Électerre de France
BRILLAUD Loïc	DRILSCAN
CASTAGNA Franck	CVT ANCRE, IFP Énergies nouvelles
CHABRELIE Marie-Françoise	CVT ANCRE, IFP Énergies nouvelles
CRABEL Jean-Paul	Flodim
D'ARCO Nicolas	DGE
DECARRE Sandrine	GEP-AFTP - CITEPH
DUMEUNIER Michaël	UFIP
FAVENNEC Jean-Pierre	Consultant
FRIEDENBERG Roselyne	Géorex
GENTER Albert	Électricité de Strasbourg Géothermies
GHOREYCHI Mehdi	Ineris
GIOUSE Hélène	Storengy
GOYENECHÉ Olivier	BRGM
GRAFF Jean-Jacques	Électricité de Strasbourg Géothermies
HACHE Emmanuel	CVT ANCRE, IFP Énergies nouvelles
HAGYAK Agnès	BusinessFrance
HAMMANN Étienne	Total
HEIDMAN Jean-Claude	IFP School
JAMMES Laurent	ENEA Consulting
JARRIGE Jean-Jacques	Société géologique de France
JOUFFRAY Patrick	Sofresid
JOURDREN Maelle	Entrepose
KALAYDJIAN François	Alliance ANCRE, IFP Énergies nouvelles
LASNE Éric	CFG Services
LELONG Pierre	ENEA Consulting
LODEHO Olivier	SUBSEA 7
MERCEREAU David	ENEA Consulting
MERCIER Carole	DGEC
MONNEYRON Nicolas	Cofely Réseaux

MUNIER Gilles
PORTENART Philomène
SILVA Constancio
SIMARD Jean-Pascal
VAN DEN BOGAARD Michel
VINCKE Olivier

Géostock
CVT ANCRE, IFP Énergies nouvelles
CVT ANCRE, IFP Énergies nouvelles
Vermilion
DRIEE Île-de-France
IFP Énergies nouvelles

Méthodologie d'obtention des chiffres des filières du sous-sol profond⁷⁹

Dans un premier temps, un travail d'identification de 925 entreprises dont les activités concernent en totalité ou en partie les activités de la filière, a été opéré, principalement sur la base des annuaires existants et par recoupements avec des experts de la filière. Il s'agit d'entreprises produisant des services ou des biens spécifiques à la filière mais non de leurs propres sous-traitants. Autrement formulé, il s'agit des opérateurs et leurs sous-traitants de rang 1 et 2.

Cette liste d'entreprises impliquées dans la filière a été établie à dire d'expert sur la base :

- d'annuaires et d'études (GEP-AFTP, AFIG, Avenia, Citeph, GEODEEP, CLAR, Terinov, SER Géothermie, Subsea, UFIP, Ademe),
- de listes de participants à des conférences (OTC, SPE, journées du pôle Avenia, journées de la géothermie 2014),
- des connaissances des membres du comité de pilotage de l'étude (DGE, DGEC, GEP-AFTP, Ademe, Avenia, AFIG),
- d'informations fournies par les Direccte et les CCI (Lyon en particulier),
- d'informations fournies par d'autres entités (Total, ENEA Consulting, BpiFrance, IFPEN, le BRGM, entités ayant répondu au questionnaire en ligne ou aux entretiens dans le cadre de l'étude),
- d'extractions Kompass et Insee.

Il est possible que quelques entreprises impliquées dans les filières du sous-sol profond n'aient pas été identifiées, mais les volumes associés devraient être en tout état de cause relativement limités.

Après analyse, ces entreprises et leurs filiales ont été classées en trois groupes à dire d'expert, selon leur proximité avec les activités du « noyau » de la filière :

- spécialisées dans l'activité sous-sol (149 entreprises, soit 16 %), c'est-à-dire qui réalisent au moins 90 % de leur chiffre d'affaires dans la filière,
- opérateurs sur le sol français (23) ou à l'international mais qui conservent des implantations en France (12), soit en tout 35 entreprises (4 %) : il s'agit d'entreprises financières qui engagent des campagnes de prospection de gisement et prennent le risque financier de les exploiter.
- complémentaires (ni spécialisées, ni opérateurs, 741 entreprises, soit 80 %).

Les nomenclatures d'activité de la statistique publique ne sont pas assez précises pour isoler les activités relevant spécifiquement de la filière du sous-sol. Aussi, un travail de délimitation des activités susceptibles de relever de la filière, s'appuyant sur les connaissances des activités des entreprises et les données de l'Insee (plus précisément les branches et produits des nomenclatures de l'Insee) a été mené. Ce périmètre réduit donne donc une indication des activités qui profitent directement de l'activité dans la filière du sous-sol, mais ne restreint pas l'analyse à cette seule filière. À titre d'exemple, la branche « Fabrication d'autres pompes et compresseurs » a été considérée comme compatible avec la filière. Ainsi, pour les entreprises identifiées comme relevant de la filière et qui ont une activité dans la branche « Fabrication d'autres pompes et compresseurs », on ne peut avec ces seules informations connaître la part de l'activité de la branche consacrée spécifiquement à la filière, mais on sait seulement que le volume de cette activité dépend en partie de l'activité dans la filière (directement par l'activité qui y est réalisée mais aussi grâce au partage de compétences, de coûts mutualisés...).

Sur cette base, ont été utilisées plusieurs enquêtes de l'Insee, qui permettent de ventiler l'activité d'une entreprise en sous-divisions de plus en plus précises d'activité : d'abord des branches d'activité⁸⁰, puis, au sein d'une même branche, chacun des biens et services (industriels) que produit la branche. La délimitation de la part de l'activité de l'entreprise consacrée à la filière a été obtenue par les trois étapes suivantes :

- si l'entreprise est enquêtée par l'enquête EAP (Enquête annuelle de production), qui indique le chiffre d'affaires réalisé pour chaque bien et service (exprimé dans une nomenclature fine) que produisent les entreprises industrielles interrogées (environ 40 000 chaque année, dont la totalité des grandes entreprises), seule la part de l'activité (notamment le chiffre d'affaires) de l'entreprise imputable à des biens et services qui ont été estimés relever de la filière est prise en compte ;

⁷⁹ Travail réalisé par la sous-direction de la prospective, des études et de l'évaluation économiques de la Direction générale des entreprises.

⁸⁰ Une branche d'activité regroupe des unités de production homogènes, c'est-à-dire qui fabriquent des produits (ou rendent des services) qui appartiennent au même item de la nomenclature d'activité économique considérée.

- sinon, si l'entreprise est enquêtée par l'enquête É sane-Vac (Élaboration des statistiques annuelles d'entreprise), qui ventile le chiffre d'affaires d'une entreprise par branches d'activité (donc un ensemble de produits homogènes), seule la part de l'activité (notamment le chiffre d'affaires) de l'entreprise imputable à des branches relevant de la filière est prise en compte ;
- sinon, si l'entreprise ne figure dans aucune des sources précédentes (principalement de petites entreprises), le recours à l'activité principale de l'entreprise (fournie par le fichier É sane-Fare) a permis de statuer sur leur appartenance ou non à la filière. Dans ce cas, c'est donc le chiffre d'affaires total de l'entreprise qui est utilisé pour évaluer le chiffre d'affaires de la branche.

Par ailleurs, pour les entreprises « complémentaires » pour lesquelles une réduction au périmètre des activités compatibles avec la filière a été réalisée mais ne permet pas de connaître plus précisément la part de leurs activités dans la filière spécifiquement, une estimation de cette part a été obtenue grâce à des données déclaratives. Suite à deux enquêtes (questionnaire en ligne dans le cadre de l'étude répondu par 184 entreprises et l'enquête réalisée par la CCI de Lyon auprès de 78 entreprises), 100 entreprises « complémentaires » ont indiqué de manière déclarative le chiffre d'affaires qu'elles réalisent dans les filières du sous-sol profond. Les valeurs déclarées aboutissent à conclure que sur cet échantillon, ces entreprises réalisent en moyenne 22 % de leur chiffre d'affaires dans les filières étudiées. Au vu de la diversité des situations et du biais de l'échantillonnage (part importante provenant de la région de Lyon), la significativité de ce chiffre d'affaires n'est pas connue mais celui-ci permet d'apporter un ordre de grandeur intéressant.

Enfin, les données de la statistique publique d'entreprise ne permettent pas de ventiler l'effectif employé suivant son utilisation principale (par produit ou par branche). Aussi, les estimations des effectifs employés dans chaque branche d'activité s'appuient sur une convention. Elles sont égales à l'effectif des établissements⁸¹ de l'entreprise dont l'activité principale est celle de la branche. À noter que ces effectifs sont proches de ceux au *pro rata* de la part du chiffre d'affaires de l'entreprise consacré aux activités compatibles avec la filière du sous-sol.

L'ensemble des résultats ne portent que sur les grandeurs économiques et sociales de l'activité des entreprises en France.

⁸¹ L'établissement est une unité de production géographiquement individualisée, mais juridiquement dépendante d'une entreprise : usine, boulangerie, magasin de vêtements, un des hôtels d'une chaîne hôtelière, boutique d'un réparateur de matériel informatique... L'entreprise est, elle, définie comme la plus petite combinaison d'unités légales qui constitue une unité organisationnelle de production de biens et de services jouissant d'une certaine autonomie de décision, notamment pour l'affectation de ses ressources courantes.

Les grands chiffres des filières du sous-sol profond

À partir de la méthodologie décrite en annexe, la Direction générale des entreprises a obtenu les données suivantes pour les trois filières :

Au total, les 925 entreprises étudiées employaient 188 000 salariés (au 31/12/2013) et totalisaient un chiffre d'affaires de 94 milliards d'euros. Les activités du sous-sol représentent environ un tiers du chiffre d'affaires global des entreprises (36 milliards d'euros) et emploient approximativement 66 000 salariés. À l'aide des estimations faites par ailleurs sur les seules filières de la géothermie profonde et du stockage de gaz naturel, ces données ont permis d'obtenir que la seule filière de l'E&P réalise en France un chiffre d'affaires d'environ 35 milliards d'euros pour 64 000 emplois. Cet ordre de grandeur est confirmé par une étude du GEP-AFTP, qui, sur la base d'un retraitement des résultats de son enquête parapétrolière (qui inclut l'aval mais exclut les opérateurs) aboutit à une fourchette pour les activités de la filière de l'E&P hors opérateurs de 24 à 29 milliards d'euros, soit après ajout du CA réalisé par les opérateurs pétroliers depuis la France de 33 à 38 milliards d'euros.

Tableau 30 : Caractéristiques des entreprises suivant leur typologie

Typologie d'entreprise	Nombre d'entreprises	CA total (en million d'euros)	CA à l'export (en million d'euros)	Proportion du CA à l'export (en %)	Emploi total	Valeur ajoutée (en million d'euros)	CA sur les activités compatibles avec celles de la filière (en million d'euros)	Emploi sur les activités compatibles avec celles de la filière
Spécialisées	149	9 027	6 840	75,8	23 595	2 301,0	8 757,9	20 912
Opérateurs en France	23	1 490	3	0,2	5 948	889,1	1 482,0	1 121
Opérateurs à l'étranger	12	9 153	8 271	90,4	1 770	417,2	9 121,4	5 840
Complémentaires	741	74 816	29 973	40,1	157 038	11 344,9	22 427,6	93 765
Total	925	94 487	45 087	47,7	188 351	14 952,3	41 788,9	121 638
Total dans les filières étudiées*	925	36 130	21 708	60,1	65 861	6 103,18	-	-

Sources : É sane-Fare 2012, Sirene 2013.

Notes : CA/emplois sur les activités de la filière : correspond au CA et à l'emploi réalisé dans des activités (branche et produits Insee) compatibles avec celles de la filière.

Total dans les filières étudiées : le total sur les filières étudiées a été obtenu en considérant que 22 % de l'activité des entreprises complémentaires est réalisée sur les filières étudiées (coefficient appliqué à toutes les grandeurs de manière arbitraire).

Les caractéristiques des entreprises

Un quart des entreprises sont assez jeunes (créées depuis moins de dix ans). Les plus jeunes entreprises sont, sans surprise, moins souvent des entreprises industrielles (Tableau 31).

Tableau 31 : Durée d'existence des entreprises (en 2013, en %)

Ancienneté par type d'entreprise	Au plus 5 ans	De 6 à 10 ans	De 11 à 20 ans	21 ans ou plus
Entreprise industrielle	5,8	8,9	25	60,6
Entreprise de services	17,4	16,3	27	39,5
Total	13,7	14,0	26	46,2
Complémentaires	13,6	13,0	25,2	48,2
Opérateurs en France	26,1	30,4	21,7	21,7
Opérateurs à l'étranger	8,3	16,7	25,0	50,0
Spécialisées	12,8	16,1	31,5	39,6
Entreprise industrielle en France	22,1	23,1	23,1	31,7
Entreprise de services en France	26,6	26,9	23,0	23,4
Entreprise en France	26,4	26,7	23,0	23,9

Source : répertoire Sirene 2013.

Note de lecture : 5,8 % des entreprises industrielles du sous-sol ont été créées il y a au plus 5 ans. 46,2 % des entreprises du sous-sol ont été créées il y a 21 ans ou plus.

Les entreprises industrielles sont plus souvent des entreprises de services de grande taille (Tableau 32). Elles sont aussi plus souvent tournées à l'export (Tableau 33). Les opérateurs sont, elles, plutôt des petites entreprises de moins de dix salariés n'exportant pas. Les spécialisées exportent plus.

Tableau 32 : Répartition des entreprises par tranches de taille (en 2013, en %)

Entreprises	De 0 à 9 salariés	De 10 à 49 salariés	De 50 à 249 salariés	De 250 à 999 salariés	1 000 salariés ou plus	Proportion
Industrielles	23,0	26,0	24,7	19,2	7,2	31,6
De services	48,2	29,9	12,5	6,8	2,7	68,4
Complémentaires	37,9	30,4	16,9	10,3	4,6	80,1
Opérateurs en France	78,3	8,7	4,4	8,7	0,0	2,5
Opérateurs à l'étranger	75,0	0,0	0,0	16,7	8,3	1,3
Spécialisées	43,0	25,5	16,8	12,8	2,0	16,1
Proportion des entreprises des filières du sous-sol	40,2	28,7	16,3	10,7	4,1	100,0
Proportion des entreprises en France	94,9	4,2	0,7	0,1	0,0	100,0
Proportion des entreprises de service en France	95,6	3,7	0,6	0,1	0,0	100,0
Proportion des entreprises industrielles en France	85,1	11,5	2,7	0,6	0,1	100,0

Source : répertoire Sirene 2013.

Lecture : 23 % des entreprises industrielles (qui représentent 31,6 % des entreprises du sous-sol) emploient de 0 à 9 salariés au 31/12/2013. 40,2 % des entreprises du fichier appartiennent à cette tranche de taille d'entreprise.

Tableau 33 : Répartition des entreprises par pourcentage du chiffre d'affaires réalisé à l'export (en 2012, en %)

Entreprises	0%	Plus de 0 et moins de 10 %	Plus de 10 % et moins de 50 %	Entre 50 % et 100 %	Proportion
Industrielles	25,3	12,3	26,0	36,3	31,6
De services	54,0	16,9	13,1	16,0	68,4
Complémentaires	45,8	17,4	18,1	18,8	80,1
Opérateurs en France	95,7	0,0	4,4	0,0	2,5
Opérateurs à l'étranger	75,0	0,0	0,0	25,0	1,3
Spécialisées	30,9	9,4	16,1	43,6	16,1
Proportion des entreprises des filières du sous-sol	45,0	15,5	17,2	22,4	100,0
Proportion des entreprises en France	95,6	2,2	1,1	1,1	100,0
Proportion des entreprises de service en France	95,6	3,7	0,6	0,1	0,0
Proportion des entreprises industrielles en France	85,1	11,5	2,7	0,6	0,1

Source : Ésane-Fare 2012.

Lecture : 25,3 des entreprises industrielles (qui représentent 31,6 des entreprises du sous-sol) réalisent 0 % de leur chiffre d'affaires à l'export, 45 % des entreprises du fichier sont dans ce cas.

Tableau 34 : Chiffre d'affaires total (en millions d'euros) des entreprises en fonction de leur taille et de leur typologie

Entreprises	De 0 à 9 salariés	De 10 à 49 salariés	De 50 à 249 salariés	De 250 à 999 salariés	1 000 salariés ou plus
Complémentaires	5 620,6	1 587,8	4 198,3	9 652,2	53 757,1
Opérateurs en France	139,5	1 350,8			
Opérateurs à l'étranger	84,9	9 068,5			
Spécialisées	1 293,9	345,5	1 123,4	4 236,3	2 028,0

Source : Ésane-Fare 2012, Sirene 2013.

Note : très peu d'entreprises « opérateurs » de plus de 10 salariés dans le fichier, ce qui explique pourquoi les données ne sont pas ventilées pour ces catégories.

Les branches selon leur activité principale

Les branches qui emploient le plus dans les activités des filières du sous-sol sont : ingénierie, études techniques (22 800 salariés), recherche-développement en autres sciences physiques et naturelles (13 600 salariés), fabrication de matériel de distribution et de commande électrique (6 200 salariés), activités des sièges sociaux (6 100 salariés), fabrication d'autres pompes et compresseurs (5 800 salariés).

Aides à l'export

La Coface est un des acteurs clés du financement de l'export. Elle gère des garanties publiques à l'exportation pour le compte et avec la garantie de l'État : assurance-crédit, assurance prospection, assurance risque exportateur, garanties de change, garantie des investissements.

Les pouvoirs publics jouent également un rôle dans la diplomatie économique et dans le soutien à la prospection et aux projets *via* le ministère des Affaires étrangères et le ministère de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique. La Direction générale du Trésor fournit ainsi des soutiens aux projets spécifiquement dans les pays émergents *via* la Réserve Pays Émergents (RPE)⁸² et le Fonds d'étude et d'aide au secteur privé (Fasep)⁸³.

Aux côtés de ces acteurs, Bpifrance offre aux PME et ETI des prêts de développement export en cofinancement avec des banques commerciales. En 2014, ces prêts ont cumulé un volume de 404 M€ d'engagements, en très forte hausse. Bpifrance lance par ailleurs en 2015 une offre de crédits-exports, qui sont des crédits acheteurs ou des rachats de crédits fournisseurs.

⁸² Depuis 2000, la RPE a soutenu 86 projets dans 27 pays pour un montant total de 3,8 Mds €. En 2014, les décisions de financement représentaient 344 M€ pour 4,2 Mds € d'encours.

⁸³ Depuis 2000, le Fasep a soutenu 508 prestations de plus de 200 entreprises françaises pour un montant de 327 M€.

Représentativité de l'enquête réalisée dans le cadre de l'étude auprès des acteurs de la filière⁸⁴

Une enquête en ligne a été envoyée aux entreprises de la filière. 256 réponses (30 % des enquêtées) ont été reçues dont 184 complètes, ce qui est faible pour considérer l'enquête comme représentative. Cependant, l'une des sources principales de biais d'une enquête apparaît lorsque l'enquête surreprésente certains types d'entreprises qui ont un profil et un comportement différents des autres.

Pour évaluer l'importance de ce problème, nous avons cherché à comparer les taux de réponses par grandes caractéristiques des entreprises. On s'aperçoit alors que la proportion d'entreprises par tranche de taille, durée de vie, chiffre d'affaires ou secteur d'activité est très proche que l'entreprise ait ou non répondu (Tableau 35). On peut donc en conclure que l'échantillon des répondants est assez représentatif des entreprises interrogées, de sorte que les résultats de l'enquête semblent exploitables.

Tableau 35 : La représentativité de l'enquête

Taille de l'entreprise	Enquêté	Répondu
0-9 salariés	30,7	27,4
10-49 salariés	33,6	28,3
50-249 salariés	18,3	20,4
250-999 salariés	11,0	15,0
1 000 salariés ou plus	6,4	8,9
Total	69,6	30,4

Durée de vie	Enquêté	Répondu
0-5 ans	8,6	9,4
6-10 ans	15,0	11,9
11 à 20 ans	26,3	26,6
21 ans ou plus	50,1	52,1

CA (en millier d'euros)	Enquêté	Répondu
0-130	9,9	9,8
130-1 100	15,8	14,5
1 100-5 000	25,8	22,1
5 000-38 000	26,0	23,0
38 000-160 000	14,1	17,0
160 000-	8,4	13,6

⁸⁴ Réalisée par la sous-direction de la Prospective, des Études et de l'Évaluation Économiques de la Direction générale des entreprises.

Secteur d'activité (NA38)	Enquêté	Répondu
Activités juridiques, comptables, de gestion, d'architecture, d'ingénierie, de contrôle et d'analyses techniques	29,3	30,3
Construction	13,1	16,0
Fabrication de machines et équipements n.c.a.	11,5	7,4
Commerce; réparation d'automobiles et de motocycles	8,5	6,6
Métallurgie et fabrication de produits métalliques à l'exception des machines et des équipements	3,9	4,9
Fabrication de produits informatiques, électroniques et optiques	4,4	2,1

Lecture : proportion d'entreprises (en %) dans la population et dans les répondants selon la variable.

L'encadrement juridique de l'exploration et de l'exploitation du sous-sol en France

Description du cadre juridique

La propriété et les droits de l'État sur le sous-sol sont inscrits dans le Code civil et le Code minier. En France, seul l'État est habilité à délivrer des droits permettant d'explorer puis d'exploiter les ressources naturelles du sous-sol quand elles sont classées dans la catégorie des mines⁸⁵.

Ces droits se déclinent tout d'abord à travers les « titres miniers » qui confèrent au titulaire un droit exclusif (droit immobilier distinct de la propriété de la surface) pour explorer ou exploiter une ressource située dans le sous-sol d'une surface limitée par le périmètre du titre. Ils se déclinent ensuite à travers les « travaux miniers » qui permettent de mettre en œuvre de manière concrète ce droit d'exploration et/ou d'exploitation.

Le Code minier prévoit deux grandes phases pour l'activité minière : la recherche puis l'exploitation

Phase de recherche (parfois aussi appelée phase d'exploration)

Conformément à la réglementation en vigueur, le permis de recherches (titre minier d'exploration) est délivré par le(s) ministre(s) en charge des mines par arrêté ministériel après publication au Journal Officiel, avis du préfet (instruction à l'échelon local avec consultation des différents services concernés) et avis du Conseil général de l'économie, l'industrie, de l'énergie et des technologies (CGEJET).

Dans la demande de permis de recherches, le pétitionnaire doit, entre autres, démontrer ses capacités techniques et financières et présenter une évaluation des enjeux environnementaux sur l'ensemble de la zone concernée par la demande. Le permis de recherches donne à son détenteur un droit exclusif d'explorer les substances de mines à l'intérieur du périmètre de son permis. Le permis exclusif de recherches est attribué pour cinq ans au plus et sa durée de validité peut être prolongée à deux reprises, chaque fois de cinq ans au plus (avec une réduction obligatoire de superficie pour les hydrocarbures).

Ce permis donne à son détenteur un droit exclusif d'explorer les substances de mines à l'intérieur du périmètre défini. Tous les permis d'exploration ont pour objectifs d'accéder à une meilleure connaissance géologique du sous-sol et de recenser les ressources minières d'une zone.

Les permis de recherches à eux seuls ne donnent pas l'autorisation de mener les travaux. Suivant la gravité des dangers ou des inconvénients qu'ils peuvent représenter, ces travaux sont soumis soit à déclaration, soit à autorisation. Par exemple, tous les forages sont soumis à autorisation et les entreprises doivent déposer auprès de l'administration locale un dossier comprenant notamment une étude d'impact, un document indiquant les incidences des travaux sur la ressource en eau et une étude de danger. Ces dossiers de « demande d'autorisation de travaux » sont instruits et font l'objet d'un arrêté préfectoral les autorisant et les encadrant.

Les projets d'exploration n'aboutissent que rarement à une demande de titre d'exploitation. Le recensement des ressources conduit dans le cadre de ces projets miniers permet cependant de contribuer à la connaissance du sous-sol français car, en application du Code minier, les données issues de cette exploration sont collectées et rendues publiques suivant les règles de confidentialité qu'il prévoit.

Phase d'exploitation (concession⁸⁶)

Une fois le potentiel géologique vérifié et l'existence d'un gisement exploitable démontrée, la phase d'exploitation se déroule également en deux temps.

Il est d'abord nécessaire d'obtenir un titre minier d'exploitation (aussi appelé concession), sur une zone déterminée en fonction des résultats des évaluations conduites lors de la phase d'exploration. Pendant la période de validité d'un permis exclusif de recherches, seul son titulaire peut obtenir une concession sans mise en concurrence⁸⁷. La concession est attribuée par décret du Premier ministre, après enquête publique, consultation des maires et des services administratifs locaux, avis du CGEJET puis du Conseil d'État. Le concessionnaire doit être une société constituée sous le régime d'un État membre de l'Union européenne. Une telle concession est habituellement accordée pour une période de 25 ou 50 ans et peut être renouvelée plusieurs fois pour 25 ans au plus chaque fois.⁸⁸

Il faut ensuite obtenir une/des autorisation(s) pour réaliser les ouvrages nécessaires à l'exploitation : l'autorisation préfectorale ne peut être donnée qu'à l'issue d'une nouvelle enquête publique et d'une consultation des maires dans la zone concernée par les travaux eux-mêmes sur la base d'un dossier comprenant notamment une étude d'impact et une étude de danger.

⁸⁵ Les substances de mines sont définies à l'article L 111-1 du Code minier (nouveau).

⁸⁶ Le Code minier stipule que les mines ne peuvent être exploitées que lorsqu'une concession a été accordée.

⁸⁷ Pour autant il n'y a pas d'automatisation des procédures et l'opérateur doit déposer une nouvelle demande.

⁸⁸ Medde.

L'instruction des dossiers se ferait selon la réglementation (Code minier et Code de l'environnement) qui exige notamment que soient maîtrisés les impacts environnementaux.

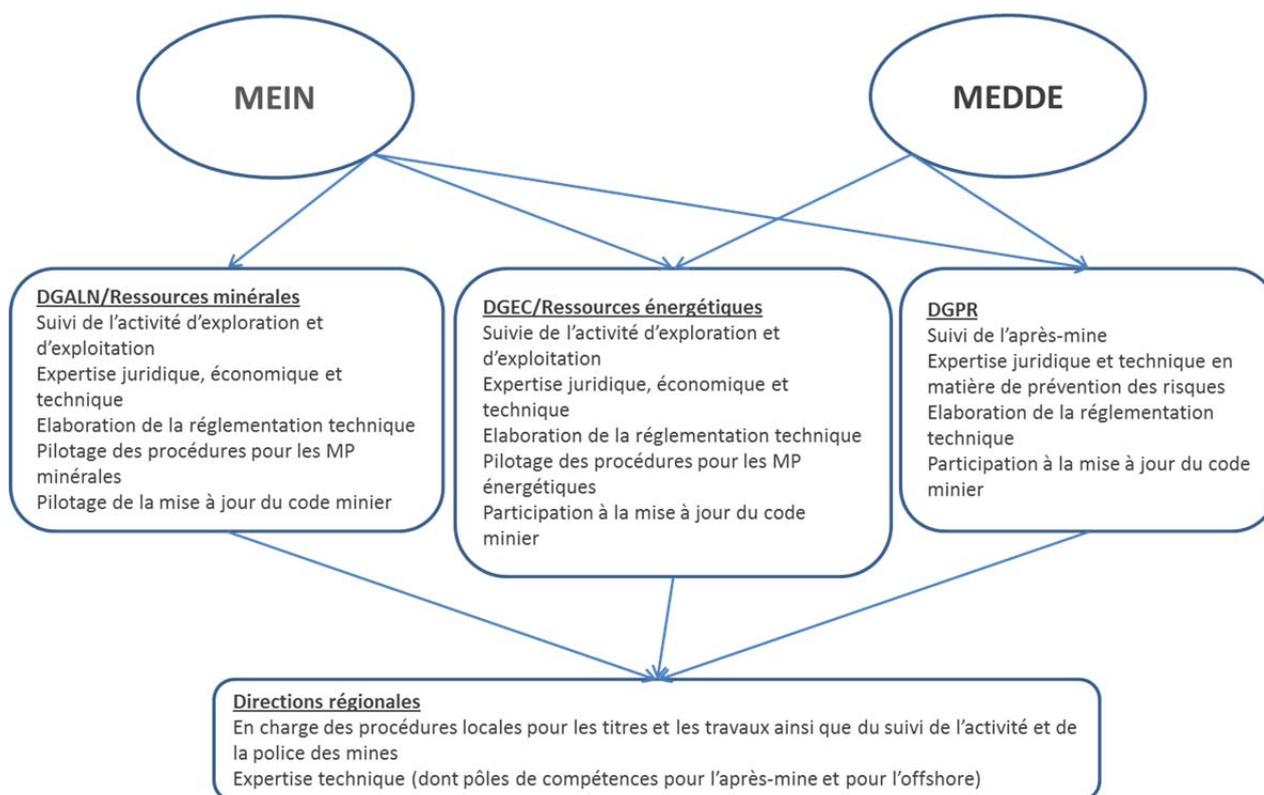
Pendant la phase d'exploitation, le titulaire du titre minier est tenu d'appliquer, à l'exploitation du gisement, les méthodes confirmées les plus propres à porter au maximum compatible avec les conditions économiques le rendement final de ces gisements, sous réserves de sa capacité à les concilier principalement⁸⁹ avec la protection des enjeux environnementaux.

La fermeture et la remise en état du site minier sont conduites à l'échelon local sous l'autorité du préfet qui peut prescrire des mesures de surveillance. Lorsque des risques importants susceptibles de mettre en cause la sécurité des personnes et des biens subsistent après l'accomplissement de toutes les opérations de fermeture, les installations de surveillance sont transférées à l'État.

Sauf spécificités inscrites dans le Code minier (par exemple : dérogation au Code civil pour l'accès au sous-sol, dérogation au Code de l'urbanisme pour l'accès à la surface, protection des travailleurs, prévention des risques pour les stockages souterrains et la gestion de la fin de l'exploitation), les autres législations sont applicables à cette activité.

⁸⁹ Les enjeux à prendre en compte sont mentionnés aux articles L161-1 et L 163-1 à 9 du Code minier (nouveau).

Figure 46 : L'organisation administrative en matière de mines



Source : ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Directions régionales : elles rassemblent les DREAL (Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement), les DEAL (dans les DOM) et la DRIEE (Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie) pour l'Île-de-France.

Medde : ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

MEIN : ministère de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique. Le MEIN ne dispose de l'autorité sur la DGPR, la DGEC et la DGALN que pour les sujets se rapportant aux « mines ».

Encadrement technique et guides de bonnes pratiques

Les guides pratiques élaborés en concertation entre les sociétés et l'Administration font partie des principaux éléments structurants du cadre commun auquel sont soumises les filières énergétiques du sous-sol profond en France. Ces guides pratiques portent principalement sur la sécurité du personnel, la prise en compte des enjeux environnementaux, l'intégration du *local content* et la transparence.

Liste non exhaustive des guides pratiques élaborés dans les filières énergétiques du sous-sol profond :

Fermeture des puits pétroliers
Abandon des canalisations d'exploitation
Notice d'impact forages
Notice d'impact ouverture de travaux de géophysique à terre
Étude d'impact ouverture de travaux à terre
Guide d'élaboration du document de sécurité et de santé exploitation des gisements à terre
Guide d'élaboration du document de sécurité et de santé travaux de forage à terre
Guide d'élimination des fluides et déblais de forage à terre
Traitement et élimination des eaux de producteur à terre
Notice d'impact pour les permis de recherches
Notices d'impact pour les concessions
Terminologie sécurité
Code de conduite en exploration production
etc.

S'agissant d'une activité à risque et potentiellement à forte empreinte environnementale, la sécurité comme les enjeux environnementaux sont pris en compte dans le cadre de l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures et dès la loi n° 77-620 (1977) avec l'obligation de mettre en œuvre les meilleures techniques disponibles (MTD⁹⁰) pour exploiter les gisements, sans s'affranchir des enjeux environnementaux. La filière de l'E&P a donc toujours été très en avance par rapport à d'autres secteurs industriels dans l'intégration des différents enjeux à travers la création des guides de bonnes pratiques. Cependant depuis le début des années 2000, ces guides passent de plus en plus dans la réglementation ce qui conduit à une certaine rigidification du système, la réglementation normalisant désormais les techniques utilisées. La France a toujours été un pays avant-gardiste sur ces points, capable de diffuser son savoir-faire dans d'autres secteurs et dans d'autres régions. Cependant, avec la baisse de l'activité en E&P sur le territoire français, il est pertinent de s'interroger sur la disparition d'une filière française faiseuse de normes au profit d'une filière soumise aux normes internationales. En outre, il est à noter que l'Union européenne, à travers la DG Environnement, a commencé à lancer des discussions spécifiquement sur ce sujet.

⁹⁰ Les MTD se définissent comme le stade de développement le plus efficace et le plus avancé des activités et de leurs modes d'exploitation. Définies à l'article 2 de la directive européenne 96/61/CE, dite IPPC (Prévention et réduction intégrées de la pollution) du Conseil du 24 septembre 1996 sur la pollution par les processus industriels, directive ultérieurement codifiée (directive 2008/1/CE), les MTD sont contenues dans des documents techniques dénommés BREF (« *Best available techniques REference documents* »).

Les participations de l'État au sein du secteur E&P

Tableau 36 : Quelques exemples de participations de l'État au sein du secteur E&P⁹¹

Entreprises	Type de participations
CGG	Bpifrance Participations : 7,04 % IFP Energies Nouvelles : 3,58 %
Engie	Agence des participations de l'État : 33,24 %
Technip	Bpifrance participations : 5,20 % IFP nergies Nouvelles : 2,48 %
Vallourec	Bpifrance Participations : 7,19 %

État des lieux effectué au 31 mars 2015.

Encadrés

Encadré 1 : Le Groupement des entreprises et des professionnels des hydrocarbures et des énergies connexes (GEP-AFTP) :

Issu du rapprochement entre l'Association des techniciens et professionnels du pétrole (AFTP) et le Groupement des entreprises parapétrolières et paragazières (GEP) réalisé en 2011, le GEP-AFTP est une association régie par la loi du 1^{er} juillet 1901. Au 30 janvier 2015, le GEP-AFTP rassemblait près de 250 entreprises membres et 1 100 professionnels de l'industrie des hydrocarbures (techniciens, ingénieurs). Ces 1 350 membres représentent l'ensemble de la chaîne de valeur de la filière. Les missions du GEP-AFTP sont organisées autour de trois lignes directrices :

Promouvoir l'excellence et l'accès aux réseaux en favorisant la diffusion des connaissances scientifiques et techniques, des retours d'expérience et des bonnes pratiques ; en encourageant le développement de réseaux de professionnels adaptés à chaque zone géographique et en développant les relations avec les organisations similaires partout dans le monde.

Anticiper l'évolution des métiers en encourageant les travaux collectifs, les réflexions prospectives tant dans les domaines techniques qu'économiques ; en soutenant l'innovation et les partenariats et en facilitant l'accès des étudiants, des chercheurs et des jeunes professionnels aux réseaux existants.

Valoriser les compétences de l'industrie parapétrolière française en promouvant notre excellence technologique auprès des donneurs d'ordres publics ou privés ; en développant la représentation des entreprises et des professionnels auprès des instances européennes et internationales et en contribuant aux travaux de certification et de normalisation des organismes français, européens et internationaux.

Le GEP-AFTP est constitué de quatre entités principales qui se partagent les différentes missions :

Le programme Concertation pour l'Innovation Technologique dans l'Exploration Production des Hydrocarbures (CITEPH)

Le Bureau de Normalisation du pétrole (BN) : il est en charge de la normalisation française, européenne et internationale des entités de la filière. Il agit par délégation de l'Afnor et a reçu l'agrément du ministère de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique.

Le GEP-APAC : association à but non lucratif de droit singapourien, le GEP-APAC a pour principale mission de promouvoir le développement des activités de ses membres dans la zone Asie-pacifique.

Le CLAR (Club de Liaison d'Actions de Réflexion ou de Recherche)⁹² pour les actions de recherches sur les ouvrages en mer (Clar-om) : c'est un groupement de coopération d'entreprises et d'organismes techniques sur les sujets relatifs aux ouvrages en mer. Plusieurs types d'actions sont menés dans ce cadre :

« des actions générales destinées à développer des échanges d'informations par l'organisation de séminaires, la publication de résultats et de guides pratiques, le développement de relations internationales des actions d'échanges d'information et des financements de projets de recherche ».

« des projets de recherche préparés par des groupes de compétences spécialisés, financés et opérés par les membres intéressés⁹³ ».

Le GEP-AFTP a développé différents types d'outils pour animer la filière et permettre les échanges d'information entre les adhérents. Cette politique de réseau comporte notamment des missions à l'étranger, l'organisation du pavillon français sur les grandes expositions à l'international de l'industrie des hydrocarbures, des séminaires techniques, des conférences, des dîners annuels et des expositions. Il organise également *Les Journées Annuelles des Hydrocarbures* (congrès de deux jours), haut lieu de rencontre des professionnels du secteur pour échanger sur les grandes tendances de la filière. Le GEP-AFTP décerne également chaque année les prix GEP-AFTP récompensant les talents des acteurs du secteur : prix de l'innovation, prix à l'international, trophée GEP-AFTP et organise le concours *Énergia Challenge* à destination des étudiants⁹⁴. En 2014, le GEP-AFTP a réalisé un film sur les gaz de schiste⁹⁵.

⁹² Un CLAR sur les actions de recherche sur le CO₂ (Clar CO₂) a également été lancé début 2014 avec pour premier objectif d'informer ses membres et l'ensemble de la communauté GEP-AFTP sur la problématique du CO₂ dans le contexte pétrolier en proposant notamment des conférences scientifiques. À court terme, il vise aussi à initier et promouvoir des synergies de sorte que l'industrie pétrolière puisse réduire ses propres émissions de CO₂ par la mise en œuvre d'actions innovantes, pragmatiques et efficaces s'inscrivant dans une démarche de développement durable et écoresponsable.

⁹³ Le Clar-om compte aujourd'hui 25 adhérents (<http://www.clar-om.com/Societes-adherentes.asp>) dont des sociétés privées, des EPICs ou instituts de recherche.

⁹⁴ Pour plus de détails, consulter le site du GEP-AFTP : <http://www.gep-aftp.com/association/prix.php>

⁹⁵ Ce film est disponible à l'adresse suivante : <http://www.gep-aftp.com/association/actus-regions-fiche.php?id=1551> (Consulté le 29 janvier 2015).

Encadré 2 : Pôle de compétitivité des géosciences pour l'énergie et l'environnement (pôle Avenia) :

Le positionnement du pôle Avenia, labellisé en 2010, est unique, puisqu'il est le seul mobilisé sur les sujets ayant trait aux ressources et activités du sous-sol profond. Ses objectifs s'inscrivent dans la valorisation du sous-sol profond dans le contexte de la transition énergétique et doivent permettre « d'impulser une forte dynamique technologique et économique en capitalisant sur les compétences des acteurs des géosciences et du génie pétrolier pour renforcer l'attractivité du territoire aquitain et favoriser le développement des entreprises, en particulier les PME, de son écosystème ». Les missions d'Avenia sont les suivantes : il participe à la structuration de la filière géosciences, il aide au rayonnement international des adhérents et à la structuration de l'offre de formations géosciences et labellise les dossiers de dépôts de projets auprès des instances de financement. Une composante importante des missions d'Avenia repose sur la notion de transversalité entre les différentes filières.

Les efforts de R & D déployés au sein du pôle Avenia sont soutenus par des dispositifs de financement propres aux pôles de compétitivité, octroyés par l'État à travers le Fonds unique interministériel (FUI) qui finance :

- les projets de R & D collaboratifs labellisés par les pôles ;
- les projets de R & D structurants des pôles de compétitivité (PSPC) qui sont des projets collaboratifs visant à structurer des filières industrielles existantes ou à en faire émerger de nouvelles.

Encadré 3: L'Union Française des Industries Pétrolières (UFIP) :

L'UFIP est un syndicat professionnel qui rassemble des acteurs exerçant sur le territoire français dans les secteurs de l'E&P, le raffinage et de la distribution. Ses principales missions sont⁹⁶ :

Faire connaître la situation pétrolière nationale et internationale et les enjeux auxquels l'industrie pétrolière est confrontée ;

Veiller au maintien de la compétitivité de l'industrie pétrolière en France et à l'égalité de traitement entre pays, entre énergies et entre opérateurs ;

Favoriser le dialogue social au sein de la branche « pétrole », négocier les accords de branche avec les partenaires sociaux ;

Promouvoir des réglementations techniques appropriées et efficaces.

Encadré 4 : Neopolia Oil&Gas :

Neopolia est un réseau créé par des entrepreneurs et qui fédère, en 2013, 168 entreprises industrielles de la région Pays de la Loire. Il anime cinq business *clusters* (Aerospace, Rail, EMR, Marine et Oil&Gas) qui ont pour objectif de générer du chiffre d'affaires pour ses membres, sur un modèle collaboratif. Neopolia Oil&Gas représente une trentaine d'entreprises qui unissent leurs savoir-faire et collaborent pour répondre de façon innovante au marché de l'industrie Oil&Gas.

96 Brochure de l'UFIP disponible sur son site web : <http://www.ufip.fr/> (Consulté le 29 janvier 2015).

Encadré 5 : Society of Petroleum Engineer France (SPE France) :

La section française de la SPE, Association professionnelle internationale, a été créée en 1984 et compte près de 800 membres. Elle organise diverses conférences, symposiums, tables rondes et autres forums sur des sujets liés à la filière E&P. Des sections étudiantes (SPE Student Chapter IFP *School*, Mines de Paris, Centrale Supélec, université de Lorraine (INPL), université de Pau (UPPA)), ainsi que des sections de jeunes professionnels existent également.

Encadré 6 : L'Association française des professionnels de la géothermie (AFPG) :

Créée en juin 2010, l'Association comptait, fin 2013, 91 adhérents représentatifs des différents métiers de l'énergie géothermique en France métropolitaine et dans les DROM. Elle est organisée en trois principales filières : la haute énergie, les usages directs de la chaleur et la géothermie assistée par pompe à chaleur. Son rôle s'inscrit dans le cadre de la feuille de route 2020 fixé par les objectifs nationaux. Son objectif est de promouvoir et d'accélérer le recours à la géothermie, énergie renouvelable, locale et disponible 24h/24 capable de produire de l'électricité, de la chaleur et du froid. Ses missions se déclinent en trois axes majeurs : représenter et fédérer les professionnels de la filière en France métropolitaine et dans les DROM ; informer les collectivités, les industriels et les particuliers des ressources et de la diversité de l'offre géothermique ; et accompagner les pouvoirs publics en matière de réglementation, de législation et de certification.

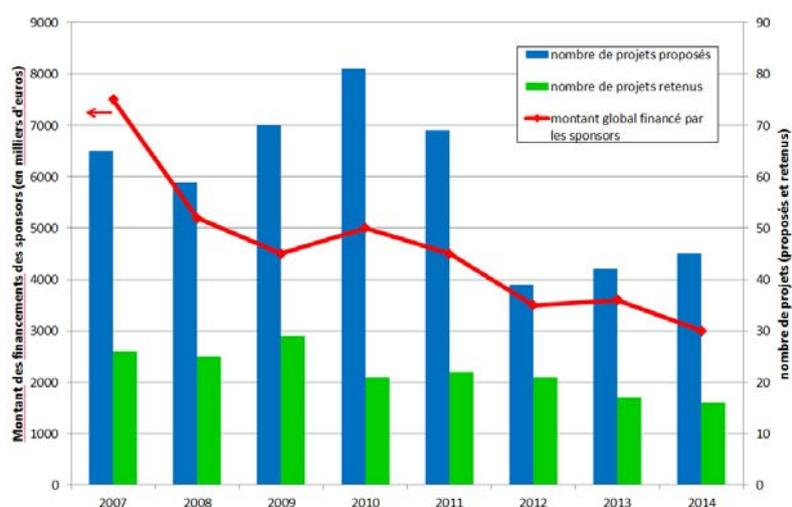
Encadré 7 : RACE (initiative de la Chambre de commerce et des industries de Lyon) :

Construction d'offres communes, implantations locales mutualisées, partage d'agents, aide au référencement, mise en visibilité, etc.

CITEPH

Le mécanisme du CITEPH permet, grâce à l'aide de *sponsors*⁹⁷, l'aide au développement de projets de recherche pour l'ensemble de la filière de l'E&P. Les *sponsors* du CITEPH apportent un financement à hauteur de 50 % du projet. À l'heure actuelle, 75 projets sont financés par le CITEPH sur des thématiques couvrant l'ensemble de la filière. Depuis sa création en 2007, le CITEPH a financé 178 projets pour un montant global de 37 millions d'euros (91 terminés, 75 en cours et 12 abandonnés). La diminution progressive du montant global financé par les *sponsors* est, entre autre, due à une baisse du nombre de projets proposés (Figure 47). Des actions de communication permettant une plus grande attractivité du mécanisme envers les industriels semblent nécessaires pour renforcer ce système de financement original dans la filière de l'E&P.

Figure 47 : Nombre de projets et financement des *sponsors* au sein du CITEPH



Sources : données CITEPH.

⁹⁷ La liste des *sponsors* susceptibles d'apporter leur concours financier aux projets présentés dans le cadre de ce programme est disponible à l'adresse suivante : <http://www.citeph.fr/sponsors/liste>. Les acteurs les plus importants de la filière E&P y sont représentés : Total, Engie, CGG, Technip, Schlumberger...

Recherche E&P

De nombreuses entités, alliances, agences ou organismes (EPST et EPIC) sont engagés dans la recherche sur la filière de l'E&P (financements, travaux spécifiques, réflexions).

L'**Alliance nationale de la coordination de la recherche en énergie** (ANCRE) : créée en 2009, l'ANCRE a pour mission « de mieux coordonner et renforcer l'efficacité des recherches sur l'énergie menée par les organismes publics nationaux. Elle participe à la mise en œuvre de la stratégie française de R & D dans ce secteur⁹⁸. »

L'ANCRE est organisée en dix groupes programmatiques (GP). Le GP 2 -Énergies fossiles et géothermiques - consacre une large part de son activité aux réflexions sur la recherche sur les technologies et la recherche en E&P.

Le **Bureau de recherches géologiques et minières** (BRGM) : établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), créé en 1959, le BRGM est le service géologique national français.

Il a cinq missions principales⁹⁹ : la recherche scientifique liée à la connaissance géologique et la compréhension des phénomènes liés au sol et au sous-sol ; l'appui aux politiques publiques à travers des missions d'expertise et de surveillance ; la coopération internationale (200 projets dans 40 pays) ; la sécurité minière et la formation, l'École nationale d'applications des géosciences (ENAG).

Le **Centre nationale de la recherche scientifique** (CNRS) : organisme public de recherche organisé autour de dix instituts, dont l'Institut des sciences de l'univers (INSU) est consacré, en partie, à la recherche sur les géosciences.

L'**Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer** (Ifremer) : établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) créé en 1984, l'Ifremer « contribue, par ses travaux et expertises, à la connaissance des océans et de leurs ressources, à la surveillance du milieu marin et du littoral et au développement durable des activités maritimes. À ces fins, il conçoit et met en œuvre des outils d'observation, d'expérimentation et de surveillance, et gère des bases de données océanographiques. Il opère également une part très significative de la flotte océanographique, dont l'ensemble des systèmes sous-marins et équipements lourds mobiles (sismiques, pénétrromètre...)¹⁰⁰ ».

IFP Énergies nouvelles (IFPEN) : établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) créé en 1944 et anciennement Institut français du pétrole, IFPEN est un acteur central de la recherche organisé autour de cinq priorités stratégiques¹⁰¹ : « les énergies renouvelables (produire à partir de sources renouvelables des carburants, des intermédiaires chimiques et de l'énergie) ; la production écoresponsable (produire de l'énergie en réduisant l'impact sur l'environnement) ; les transports innovants (développer des transports économes et à faible impact environnemental) ; les procédés éco-efficacients (produire à partir de ressources fossiles des carburants et intermédiaires chimiques à faible impact environnemental) et les ressources durables (proposer des technologies respectueuses de l'environnement et repousser les limites actuelles des réserves d'hydrocarbures) ».

IFPEN est également un acteur central de la formation aux géosciences avec *IFP School*¹⁰², pour les formations ingénieurs, et *IFP Training*¹⁰³ pour la formation continue dans ce domaine.

L'enquête réalisée montre que les interactions entre les centres de recherche et les acteurs productifs pourraient être plus développées. Toutefois le modèle développé par IFPEN pourrait être généralisé afin de renforcer les liens avec les milieux productifs. En effet, les innovations d'IFPEN sont valorisées au travers de partenariats étroits avec des industriels et des filiales de son groupe. Sur des marchés émergents ou matures, IFPEN crée des sociétés ou prend des participations dans des entreprises prometteuses, que ce soit directement ou par le biais de structures de capital-investissement. Par ailleurs, IFPEN accompagne le développement de PME dans le cadre d'accords de collaboration leur permettant de bénéficier de son savoir-faire technique et juridique.

⁹⁸ Site internet de l'Alliance nationale de la coordination de la Recherche en énergie (ANCRE) : <http://www.allianceenergie.fr/> (Consulté le 3 février 2015).

⁹⁹ Site internet du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) : <http://www.brgm.fr/brgm/le-brgm-service-geologique-national/brgm-service-geologique-national> (Consulté le 3 février 2015).

¹⁰⁰ Site internet de l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer) : <http://www.ifremer.fr/L-institut> (Consulté le 3 février 2015).

¹⁰¹ Site internet d'IFP Énergies nouvelles (IFPEN) : <http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/IFPEN/En-bref> (Consulté le 3 février 2015).

¹⁰² Site internet d'IFP School : http://www.ifp-school.com/jcms/j_6/fr/accueil (Consulté le 3 février 2015).

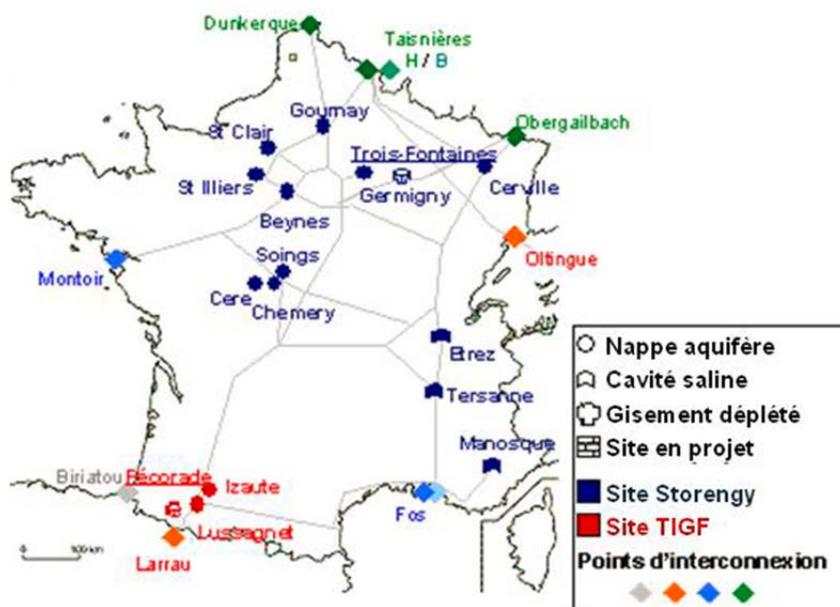
¹⁰³ Site internet d'IFP Training : <http://www.ifptraining.fr/> (Consulté le 3 février 2015).

Ce modèle est construit autour de la combinaison :

- d'un centre de recherche international centré sur l'innovation en relation avec l'administration, les milieux académiques et les industriels. Les programmes de R & D d'IFPEN ont pour objectif de lever des verrous scientifiques et technologiques permettant de déboucher sur des innovations valorisables par l'industrie. ;
- d'une école de renommée internationale dont les étudiants (en moyenne 350 étudiants, dont 50 % étrangers) sont à 80 % parrainés et financés par l'industrie (plus de 50 sociétés) qui disposent d'un corps professoral composé d'académiques et de professionnels de l'industrie (350 intervenants issus de l'industrie)
- d'une filiale de formation continue qui participe au développement des compétences de 15 000 professionnels par an, opérateurs, techniciens, cadres, ingénieurs ou dirigeants, de plus de 80 pays.

Carte des stockages existants en France

Figure 48 : Carte des sites de stockage souterrains de gaz naturel en France



Note : en plus de ces sites, un site supplémentaire est en opération en Alsace (Alsace sud) et un site de stockage d'hydrocarbures liquides existe à Manosque.
 Source : DGEC.

Stockage de gaz naturel : le rôle de la régulation du marché gazier en France

L'introduction de la concurrence dans les secteurs de l'électricité et du gaz ces dernières années a une forte influence sur les développements du marché du stockage de gaz naturel en Europe et en France.

En Europe, cet enjeu s'est matérialisé notamment avec l'accès des tiers au stockage (ATS), introduit par la directive européenne 2009/73/CE. Cette directive définit des règles communes pour le marché intérieur du gaz naturel et laisse libre choix aux États membres de mettre en place un accès régulé ou négocié au stockage. D'autre part, le Conseil des régulateurs européens de l'énergie (CEER) a publié des lignes directrices volontaires (guide des bonnes pratiques d'accès des tiers aux stockages - GGPSSO) en vue d'harmoniser les règles concernant l'allocation des capacités et les mécanismes de gestion de la congestion.

Lors de la transposition de cette directive européenne, la France a opté pour un accès négocié au stockage¹⁰⁴. La loi prévoit par ailleurs que l'ATS est organisé suivant les principes suivants¹⁰⁵ :

- Les fournisseurs de gaz ont un droit d'accès au stockage en fonction du profil de consommation de leurs clients. Les profils et les droits unitaires de stockage associés sont fixés chaque année par arrêté.
- Tout fournisseur détenteur ou non d'un portefeuille de clients peut réserver, au-delà de ses droits de stockage, des capacités correspondant à des droits non exercés encore disponibles.
- Tous les fournisseurs de gaz naturel ont l'obligation de posséder un stock de gaz naturel avant l'hiver dans des proportions définies par décret et dépendant d'une part des autres moyens de flexibilité dont le fournisseur dispose (par exemple GNL), d'autre part des caractéristiques de la clientèle de chaque fournisseur. Cette obligation se traduit par un volume et un débit de soutirage de pointe afin de garantir la fourniture de leurs clients en cas de pointe de froid.
- Une fois que les droits d'accès des fournisseurs à des capacités de stockage sont satisfaits, les capacités excédentaires de stockages sont mises sur le marché dans des conditions transparentes et non discriminatoires.

La Commission de régulation de l'énergie (CRE) est garante de la transparence et de la non-discrimination de l'ATS.

¹⁰⁴ Ordonnance n° 2011-504 du 9 mai 2011.

¹⁰⁵ Cet accès est organisé par le décret n° 2006-1034 du 21 août 2006, modifié par les décrets n° 2010-129 du 10 février 2010 et n°2014-328 du 12 mars 2014.

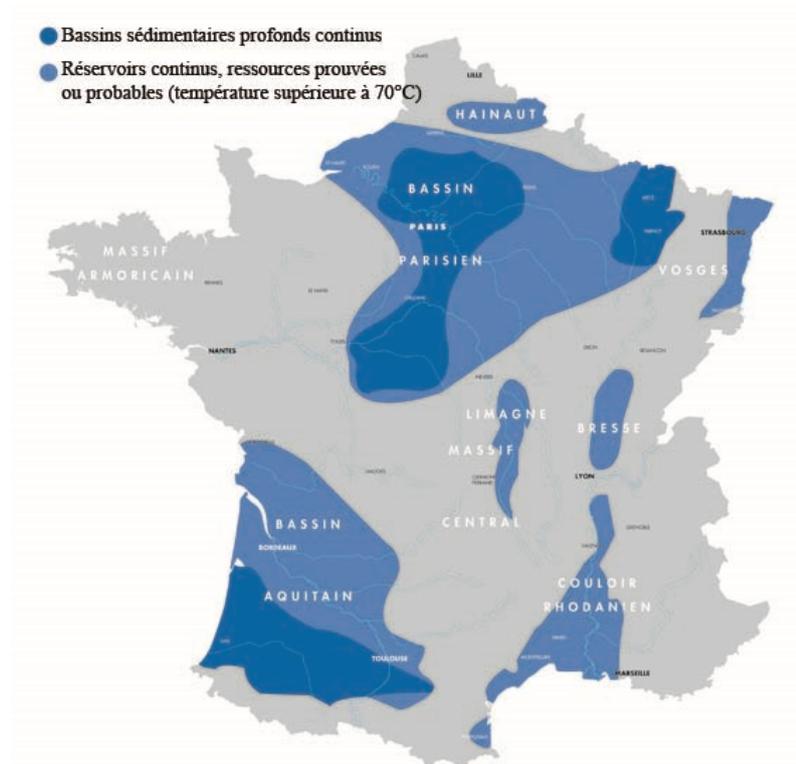
Stockage de CO₂ : dispositions réglementaires

En parallèle des engagements sur les réductions d'émissions, le stockage de CO₂ présente différentes spécificités qui ont été incluses dans la réglementation. En Europe, la directive européenne 2009/31/CE relative au stockage géologique du dioxyde de carbone est le texte central pour cette filière. Cette directive a été transposée en France au travers de la loi plus large du Grenelle 2 du 12 juillet 2010. Cette loi prévoit notamment des dispositions particulières incluses dans le Code minier et le Code de l'environnement et n'ont donc pas nécessité de législation dédiée :

- Le permis d'exploration fait appel à la modification de l'article 28 du Grenelle de l'environnement (Grenelle 2), au Code minier et au Code de l'environnement. Il est octroyé pour une durée de cinq ans au plus, renouvelable deux fois. Si des titres miniers ou de stockage existent déjà sur le secteur considéré, il est nécessaire d'avoir un accord des détenteurs de ces titres. Ce permis autorise également la réalisation d'essais d'injection (à la charge de l'explorateur et pour une quantité limitée).
- Le permis de stockage qui résulte de la transposition de la directive européenne 2009/31/CE et qui s'appuie sur des engagements pris au niveau européen. Les projets de permis de stockage doivent donc être transmis à la Commission européenne et sont sujets à des inspections, au moins une fois par an.
- L'exploitant doit assurer la surveillance du site pendant une période minimale de 20 ans, période au-delà de laquelle il peut transférer la responsabilité du site de stockage à l'État en assurant le financement de la surveillance du site pendant 30 ans. Une réserve financière doit par ailleurs être constituée par l'opérateur pour permettre à l'État d'agir en cas de comportement non conforme du site de stockage.

Géothermie

Figure 49 : Carte des ressources géothermiques profondes en France



Source : BRGM.

Définitions géothermies

Tableau 37 : Définition des quatre types de géothermie profonde

Basse température (30°C-90°C)	Moyenne température (90°C-150°C)
<p>Elle valorise directement, ou <i>via</i> des pompes à chaleur, la chaleur de ressources géothermales rencontrées dans des formations sédimentaires profondes de hautes porosité et perméabilité (calcaires, grès, conglomérats, sables), situées entre 500 et 2 500 mètres de profondeur, dans des zones géologiquement stables. La température des eaux de ces gisements y est typiquement comprise entre 30 et 90°C. C'est ce type de ressources que l'on rencontre en France dans les Bassins parisien et aquitain.</p>	<p>Ces ressources peuvent être exploitées directement pour des usages thermiques et pour de la production d'électricité <i>via</i> la technologie ORC ¹⁰⁶. Elles se rencontrent dans les zones propices à la géothermie haute énergie de type volcanique, à une profondeur inférieure à 1 000 mètres. Elles peuvent aussi se rencontrer dans des bassins sédimentaires ou bassins d'effondrement (zones géologiquement stables), à des profondeurs allant de 2 000 à 4 000 mètres.</p>
Haute température (>150°C)	<i>Enhanced Geothermal Systems (EGS>150°C)</i>
<p>Ces ressources sont exploitées pour la production d'électricité en utilisant le mélange eau-vapeur prélevé dans les réservoirs. Elles se rencontrent dans des réservoirs naturels fortement fracturés présents dans des zones de volcanisme actif ou récent, aux frontières des plaques tectoniques (500-1 500 mètres de profondeur). En France, les ressources sont potentiellement présentes dans les DROM insulaires.</p>	<p>Ce type de géothermie est utilisé pour la production d'électricité et/ou de chaleur. Il s'adresse à des réservoirs à perméabilité non régulière (bassins d'effondrement, zones de socle), fracturés naturellement, profonds de quelques milliers de mètres, situés en zones géologiquement stables, et qu'il est nécessaire de stimuler par voie hydraulique et/ou chimique, soit pour augmenter la perméabilité de la connexion du puits à son réservoir (EGS Hydrothermal), soit plus généralement pour créer ou améliorer une faible perméabilité générale des fractures (EGS non conventionnel). En France, ces ressources sont principalement localisées dans le Bassin rhénan, les Limagnes et le Couloir rhodanien. Un projet est également en cours d'études au pied des Pyrénées.</p>

Notes : les géothermies basse, moyenne et haute température sont également dénommées basse, moyenne et haute enthalpie ou énergie.

¹⁰⁶ Technologie utilisant un fluide intermédiaire évoluant en circuit fermé. Cette technologie est nécessaire du fait de la relative faible température pour la production d'électricité et également du fait de l'agressivité du fluide que l'on ne pourrait pas utiliser directement sous sa forme vapeur.

Mécanismes de soutien à la géothermie

Tableau 38 : Mécanismes financiers directs ou indirects de soutien existants

Nom	Descriptif
Fonds de garantie géothermie profonde	<p>Dispositif constitué d'un système assurantiel financé par l'Ademe et géré par la Société auxiliaire de Financement (SAF Environnement, filiale de la Caisse des dépôts et consignations - CDC). Il couvre le risque « court terme » de ne pas obtenir une ressource géothermale aux caractéristiques de débit et de température suffisantes, et le risque « long terme » de voir cette ressource diminuer ou disparaître avant l'amortissement des installations, ainsi que les risques de sinistres affectant les puits, les matériels et les équipements de la boucle géothermale. Ses résultats à ce jour sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il a permis la réalisation d'environ 80 opérations de géothermie sur aquifère profond pour la fourniture de chaleur (essentiellement l'aquifère du Dogger mais aussi l'Albien et le Néocomien). • 2/3 des opérations sont toujours en fonctionnement aujourd'hui. • Il a un effet incitatif fort pour réaliser les opérations et un effet de levier important (7 millions d'euros de dotations publiques).
Fonds de garantie électricité géothermique GEODEEP	Fonds de garantie public-privé doté de 50 M€ (25 M€ de l'Ademe, 15 M€ des opérateurs privés et 10 M€ de la CDC) lancé en mars 2015.
Subventions du fonds Chaleur Ademe	Lancé en 2009 dans le cadre du Grenelle 1 de l'environnement, et géré par l'Ademe, le Fonds chaleur renouvelable a été doté de 1,12 Md € jusqu'en 2013. Il s'adresse aux installations de bois énergie, de solaire ou de géothermie, réalisées dans le tertiaire, le résidentiel collectif, l'industrie ou l'agriculture. Il a permis de soutenir financièrement près de 3 000 réalisations pour une production totale de 1,4 Mtep. Vingt opérations de géothermie profonde ont bénéficié d'une aide à l'investissement pour un budget global de 48,4 M€. Dans le cadre de la politique de transition énergétique, le doublement sur trois ans, à raison d'un tiers par an a été annoncé en avril 2015.
Elan 2020 de la Caisse des dépôts et consignations (CDC)	La CDC a mis en place en 2009 un programme stratégique intitulé « Elan 2020 » destiné à soutenir quatre champs d'intervention dont le développement durable. Au total, fin 2011, ce programme de soutien a débloqué 193 M€ qui ont été investis dans les énergies renouvelables, permettant ainsi de réaliser 667 MW d'installations. Pour le projet géothermique Roquette en Alsace ¹⁰⁷ , la CDC a investi 6,7 M€ à travers le consortium Écogi, ce qui représente près de 20 % du coût total du projet. Par ailleurs, elle a confirmé en 2012 examiner la possibilité de prendre part, en tant qu'investisseur, aux projets de développement de la géothermie en Guadeloupe.
Programme d'investissements d'avenir (AMI géothermie)	<p>Les ministres chargés de l'écologie, de l'économie, de l'industrie, de la recherche et le commissaire général à l'Investissement ont annoncé le lancement fin 2011 d'un appel à manifestations d'intérêt (AMI) dédié à la géothermie. Cet AMI s'inscrit dans le cadre de l'action « Démonstrateurs en énergies renouvelables et décarbonées » des investissements d'avenir, qui est dotée d'une enveloppe de 1,35 Md €.</p> <p>Deux projets candidats visant la production d'électricité de type EGS ou sur réservoirs conventionnels ont été retenus dans ce cadre. Ces projets ont pour objectifs la réalisation de démonstrateurs et de programmes d'actions concernant à la fois les composants, les techniques et la connaissance des ressources géothermiques et leur exploitation.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fongéosec : Le projet Fongéosec vise à concevoir et réaliser un démonstrateur innovant d'une centrale géothermique haute température, reproductible sur la quasi-totalité du globe, présentant des gites géothermiques jusqu'alors inexploitable, grâce à la réalisation d'un échangeur de chaleur souterrain très innovant. Les objectifs en termes de puissance sont de 5,5 MW pour la production d'électricité et de 15 MW pour la production de chaleur. L'acceptation sociétale et l'intégration environnementale font partie

¹⁰⁷ Voir détails du projet ci-après.

	<p>intégrante du projet. Le cœur du projet concerne la réalisation d'un échangeur souterrain profond (5 000-6 000 mètres), semi-ouvert, permettant de limiter l'aléa géologique, reproductible industriellement, et présentant de hautes performances avec un rendement énergétique global proche de 50 %.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Géotref est une plateforme pluridisciplinaire d'innovation et de démonstration pour l'exploration et le développement de la géothermie haute température dans les réservoirs fracturés. Elle est le fruit du travail conjoint de 14 partenaires localisés en France hexagonale, en Guadeloupe et en Martinique. Sa mise au point nécessitera quatre années de travail et un budget de 68 millions d'euros. Les connaissances provenant du secteur pétrolier seront utilisées et adaptées pour produire cette plateforme logicielle unique qui servira à modéliser un réservoir géothermique. Les retours escomptés sont très prometteurs. Géotref devrait permettre d'identifier les ressources géothermiques des territoires insulaires, et d'apporter la connaissance technologique pour faire de ces deux régions françaises des Antilles, la vitrine dans le domaine de la géothermie haute température.
LabEx G-Eau-Thermie profonde	<p>Le laboratoire d'excellence G-EAU-THERMIE PROFONDE est un projet mixte Industrie/Université à long terme (8 ans), intégré dans le projet IDEX de l'université de Strasbourg. Il contribuera au développement de l'utilisation de la géothermie profonde, grâce à une meilleure connaissance des réservoirs géothermiques profonds et au développement de nouvelles technologies permettant de les exploiter.</p> <p>Il vise à développer les connaissances dans ce domaine en rapprochant des compétences académiques de l'EOST (avec la collaboration de l'IMFS) et industrielles (groupe Électricité de Strasbourg - GEIE Exploitation Minière de la Chaleur - EMC- de Soultz-sous-Forêts) pour étudier la structure et le fonctionnement des réservoirs géothermiques profonds du Fossé Rhénan supérieur. Il est doté d'un financement public de 3 millions d'euros.</p>
Groupement d'Intérêt Scientifique GEODENERGIES	<p>S'agissant d'étendre à la géothermie profonde l'étude sur des technologies potentiellement communes aux trois filières, le constat repose davantage sur des travaux de recherche à mener. Tel est l'objectif du nouveau projet de Groupement d'Intérêt Scientifique Géodénergies. Regroupant des partenaires des secteurs public et privé (douze entreprises, sept établissements publics de recherche et deux pôles de compétitivité), Géodénergies pourrait être un outil de développement technologique et de services intégrés à forte valeur ajoutée du domaine des énergies décarbonées utilisatrices du sous-sol.</p>
Impulsion européenne NER300	<p>En complément des leviers français, plusieurs projets bénéficient de l'impulsion du « NER 300 », (<i>New Entrant Reserve 300</i>). Ce fonds européen est un outil de financement de projets démonstrateurs dans les domaines du captage et stockage de CO₂ et des énergies renouvelables. Créé en 2008 sous la présidence française dans le cadre du 3^e Paquet énergie-climat, il dispose d'une enveloppe de financement de plus de 2 Mds €. Dans le cadre du deuxième appel à projets, la France a soumis en juillet 2013 un projet franco-allemand de géothermie profonde « <i>Géostras</i> » porté par Fonroche. Géostras sera réalisé sur le permis exclusif de recherches de Strasbourg avec un partenariat industriel franco-allemand fort. Ce projet a pour objectif la réalisation d'une centrale de cogénération de 6,7 MWe brut et près de 35 MWth. Au niveau national, le forage sera réalisé par Foragelec, une entreprise dont Fonroche est coactionnaire avec Herrenknecht Vertical GmbH et Angers&Soehne GmbH. Ce co-investissement a pour objectif de créer un outil de forage dédié à la géothermie profonde, ce qui permettra à Fonroche de se doter de compétences supplémentaires et de mieux se positionner sur la chaîne de valeur de cette filière de la géothermie.</p> <p>Malgré l'existence de ces leviers, les acteurs privés doivent, pour les projets innovants, s'associer à plusieurs partenaires et bénéficier de fonds de financement public pour lancer leurs projets. En témoigne le montage financier du projet Écogi en Alsace</p>

Métiers et compétences dans les filières du sous-sol profond

Tableau 39 : Principaux métiers et compétences en exploration, mise en production et en exploitation de site pétrolier ou géothermique

Domaine	Descriptif des compétences
Exploration	<ul style="list-style-type: none"> ○ L'ingénieur géo-information (<i>diplôme d'ingénieur ou universitaire</i>) est en charge du cycle de vie complet de la donnée, de son acquisition, son positionnement, sa qualification, son traitement, son organisation et sa conservation. Il a des compétences autour de l'information technique et géographique (géomatique) : gestion de données, cartographie, topographie, géodésie, numérique pour améliorer les algorithmes en traitement d'images et en simulation réservoirs. ○ Le géologue d'exploration (<i>diplôme d'ingénieur ou universitaire</i>) met en œuvre les techniques et les outils nécessaires à l'acquisition de données, puis interprète ces données pour l'évaluation des bassins sédimentaires ou la description de l'architecture des réservoirs pétroliers ou des aquifères. Il a pour mission de chercher de nouveaux sites de forage, comprendre et prévoir le fonctionnement des bassins pétroliers dans le temps et dans l'espace. C'est à partir de ses travaux, et en particulier, des modélisations sédimentaires des pièges pétroliers prédisant les volumes d'hydrocarbures en place, que les ingénieurs réservoir peuvent estimer la productivité des gisements ou gîtes découverts (<i>via</i> la modélisation de la dynamique des fluides en production), et aider les architectes d'installations à optimiser le schéma de développement pour ces champs. ○ Le géophysicien (<i>École d'ingénieur complétée par une spécialisation en géophysique – ou université</i>) cherche à reconstituer l'image du sous-sol afin de cerner les emplacements où ont pu se piéger le pétrole ou l'eau. Ainsi, dans un premier temps, il met en œuvre les outils de l'acquisition sismique, de la gravimétrie et la magnétotellurique. Des ondes acoustiques créées par des vibrations sur la surface du sol ou de la mer, sont partiellement réfléchies, au fil de leur propagation dans le sous-sol, par les différentes couches géologiques qu'elles rencontrent. L'enregistrement de ces réflexions en surface permet ensuite de construire une image des couches traversées afin d'obtenir une modélisation en 3D de l'enveloppe des pièges pétroliers et de leur architecture interne. Le géophysicien traite les données et les interprète. Il peut travailler sur le terrain, c'est le cas du géophysicien d'acquisition qui recueille les données ou du géophysicien « interpréteur ». Il peut aussi travailler dans un bureau avec des outils logiciels, c'est le cas du géophysicien de traitement. Dans le cadre de son travail, ce professionnel doit être capable de déterminer l'impact environnemental, voire culturel et patrimonial, de l'exploration du sous-sol (contraintes administratives archéologiques et environnementales du pays). ○ L'hydrogéologue (master professionnel ou recherche ou doctorat ou ingénieur) intervient principalement lors de la conception d'un ouvrage de géothermie, sa mise en œuvre et le suivi des dispositifs de captage et de rejet. Il s'agit en tout premier lieu de définir comment les écoulements s'effectuent au sein des réservoirs géothermiques en vue d'évaluer le potentiel du champ. Ses principales fonctions consistent donc à analyser des données hydrogéologiques pour identifier les nappes souterraines disponibles et les contraintes qui peuvent s'appliquer puis à élaborer des modèles numériques. L'hydrogéologue va ensuite réaliser ou faire réaliser des travaux de reconnaissance (forage d'essai par exemple) puis définir le potentiel et dimensionner le dispositif d'exploitation dans le respect des normes environnementales. Il accompagne le foreur (suivi technique) et organise une surveillance de différents paramètres (niveaux d'eau à l'arrêt et en fonctionnement, débit d'exploitation, température, profondeur du forage).

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Le géotechnicien (<i>BTS Géologie appliquée, diplôme d'ingénieur ou universitaire</i>) intervient en amont des projets de géothermie notamment. Il étudie la résistance des sols et du sous-sol (roches) et a pour mission d'organiser et contrôler un chantier de recherche, de traiter des informations techniques et économiques sur le projet et de s'assurer de leur fiabilité et de la possibilité de les exploiter immédiatement par des essais et des tests. Outre ses compétences en mécanique des roches, il maîtrise aussi les outils pour sonder les sols ainsi que les logiciels métiers spécifiques. ○ L'ingénieur de forage (<i>diplôme d'ingénieur ou universitaire</i>). En fonction des objectifs et de tous les paramètres collectés (données géologiques, retour d'expériences), cet ingénieur conçoit un programme de forage en prévoyant la durée et les coûts des opérations. Ces programmes tiennent compte de facteurs de sécurité importants et les opérations sont conduites suivant des normes strictes de sécurité et de respect de l'environnement. Suivant l'appareil de forage utilisé, il définit et commande les équipements nécessaires, étudie les techniques et les outils les mieux adaptés, définit la trajectoire de forage. Avec toute l'équipe de foreurs, il assure le suivi de la réalisation du puits et participe à la résolution des problèmes techniques au quotidien. Il livre ensuite l'ouvrage, prêt à produire à l'ingénieur exploitation. L'ingénieur forage est aussi celui qui synthétise, rend compte des réalisations et optimise les programmes des puits suivants (courbe d'apprentissage) en temps et donc en coûts. ○ Le géothermicien (<i>master en géologie, dans les secteurs techniques ou scientifiques ou ingénieur</i>), très souvent géologue et hydrogéologue, est chargé de capter la chaleur terrestre pour l'exploiter et l'utiliser au quotidien (production d'électricité, chauffage, rafraîchissement, climatisation). Il étudie les données géologiques, géophysiques de sols, sous-sols, gisements et analyse leurs caractéristiques (composition, nature, risque géologique). Il peut suivre et contrôler l'exploitation des ressources naturelles et peut-être amené à coordonner une équipe. Outre la maîtrise de l'utilisation de Systèmes d'Information Géographique et des outils de cartographie, l'ingénieur en géothermie a des connaissances dans de nombreuses disciplines (géophysique, géochimie, géotechnique, météorologie, géomatique et analyse statistique).
<p>Développement – Mise en production</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Le géologue et le géophysicien de réservoir (<i>diplôme d'ingénieur ou universitaire</i>) travaillent tout d'abord à décrire la géométrie et l'architecture des réservoirs et à les caractériser. Ensuite, ils évaluent et quantifient les réserves du gisement afin de pouvoir déterminer la production future. Le géologue travaille directement sur les forages géologiques d'exploration, prélève des roches (<i>cuttings</i> et carottes) et des fluides. Il s'appuie sur les données enregistrées ou analysées par ses collègues sur les champs découverts pour établir des modèles géologiques et décrire les caractéristiques du réservoir. Quelle que soit la spécialité, l'informatique et les logiciels spécifiques du métier sont des outils incontournables du géologue pour transcrire ses observations de terrain. Lorsque le gisement a été découvert, il synthétise les données que lui transmettent les géophysiciens et les géologues qui sont sur la plateforme. Son expérience de terrain est indispensable pour rester conforme aux réalités. Le géophysicien met en œuvre des techniques spécifiques à l'échelle du réservoir. ○ L'ingénieur réservoir (<i>diplôme d'ingénieur</i>) a pour mission d'étudier le potentiel de production des gisements ainsi que des moyens techniques à mettre en œuvre pour optimiser les taux de récupération. Au carrefour de l'exploration et de la production, il doit communiquer avec les géologues, les géophysiciens, les foreurs, les producteurs. La première étape de son travail consiste à prévoir le comportement du gisement en analysant les données recueillies sur la roche-réservoir, les fluides qu'elle contient et les lois physiques qui sont en jeu. Dans ce cadre, il cherche notamment à acquérir des mesures de propriétés d'écoulement des roches, des propriétés d'interactions fluides-roches. Dans un deuxième temps, il élabore des scénarios de développement (nombre de puits, leur nature, leurs emplacements). L'ingénieur réservoir traite beaucoup d'informations « sensibles », susceptibles d'intéresser la concurrence car, outre son travail de

	<p>valorisation de gisements existants, une de ces missions consiste à participer à l'acquisition de nouveaux gisements. Ce métier demande beaucoup de force de persuasion car il doit défendre en interne, dans son entreprise, mais aussi auprès des partenaires et des autorités concernées dans le pays d'intervention, ses recommandations sur l'intérêt technique des gisements évalués. Cette recommandation peut déboucher sur une acquisition ou une prise de participation dans ces gisements.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ L'ingénieur installations pétrolières (<i>Écoles d'ingénieurs généralistes ou plus spécialisées : génie chimique, procédés, IFP School</i>) conçoit les installations qui vont permettre de traiter et de transporter le pétrole et le gaz. Il travaille en étroite collaboration avec les autres équipes du projet (ingénieurs réservoir et gisement, foreurs, spécialistes de matériaux, de corrosion, de sécurité). Les études qu'il mène font appel à des connaissances dans de nombreux domaines (thermodynamique, génie des procédés, écoulements). Plusieurs ingénieurs interviennent à différentes phases du projet. En avant-projet, l'ingénieur « procédés » va définir les différents équipements (structure, taille, construction en fonction du terrain). L'ingénieur « projet » intervient lorsque le cahier des charges est défini pour réaliser le projet, notamment trouver les matériaux, voir les sous-traitants pour construire ces équipements et suivre l'avancement des travaux. ○ En géothermie, l'ingénieur énergétique (<i>diplôme d'ingénieur ou universitaire</i>) prend en charge la conception et la construction des infrastructures aval du projet, depuis les forages de production et le réseau de surface, la construction de la plateforme de forages, les pompes de production, la centrale électrique et la connexion au réseau pour les géothermies ME et HE, échangeurs de chaleur, station de traitement contre la corrosion/dépôts pour la BE. Ce collaborateur est multidisciplinaire et aura des compétences dans le forage de production (instrumentation et <i>logging</i>), le développement de la productivité des puits, en conception et ingénierie de réseau de surface, en logistique (transport de pièces et composants de centrales électriques), en construction-génie civil, en électrotechnique, en électronique de puissance, etc.
Exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ○ Une fois les installations de production construites, l'ingénieur d'exploitation va calculer le rendement du gisement, installer les puits et produire les hydrocarbures en respectant au mieux l'environnement ainsi que les contraintes techniques et économiques. ○ Le technicien pétrolier dans l'exploitation (peut être titulaire d'un BTS en électricité, en mécanique, en électrotechnique, en instrumentation, ou d'un DUT génie thermique et énergie, ou d'une licence pro Transformations industrielles spécialité instrumentation pour E&P pétrolières). Ce technicien exerce son activité en production ou en maintenance, le plus souvent à l'étranger. Le technicien production pilote les installations du puits (à terre ou en mer) jusqu'au stockage du pétrole (ouverture/fermeture des puits, veille à la sécurité des installations) à partir d'interfaces électroniques situées dans une salle de contrôle. Son panel d'activités est très varié (électronique, traitement des fluides, analyse des données physiques...). Le technicien maintenance contrôle le maintien en état les installations (mise en œuvre des opérations d'entretien, organisation du travail de sous-traitants).

Les rapports Pipame déjà parus

- Diffusion des nouvelles technologies de l'énergie (NTE) dans le bâtiment, juin 2009
- Étude de la chaîne de valeur dans l'industrie aéronautique, septembre 2009
- La logistique en France : indicateurs territoriaux, septembre 2009
- Logistique mutualisée : la filière « fruits et légumes » du marché d'intérêt national de Rungis, octobre 2009
- Logistique et distribution urbaine, novembre 2009
- Logistique : compétences à développer dans les relations « donneur d'ordre – prestataire », novembre 2009
- L'impact des technologies de l'information sur la logistique, novembre 2009
- Dimension économique et industrielle des cartes à puces, novembre 2009
- Le commerce du futur, novembre 2009
- Mutations économiques pour les industries de la santé, novembre 2009
- Réflexions prospectives autour des biomarqueurs, décembre 2009
- Mutations économiques dans le domaine de la chimie, février 2010
- Mutations économiques dans le domaine de la chimie – volet compétences, février 2010
- Mutations économiques dans le domaine automobile, avril 2010
- Maintenance et réparation aéronautiques : base de connaissances et évolution, juin 2010
- Pratiques de logistique collaborative : quelles opportunités pour les PME/ETI ?, février 2011
- Dispositifs médicaux : diagnostic et potentialités de développement de la filière française dans la concurrence internationale, juin 2011
- Étude prospective des bassins automobiles : Haute-Normandie, Lorraine et Franche-Comté, novembre 2011
- M-tourisme, décembre 2011
- Marché actuel des nouveaux produits issus du bois et évolutions à échéance 2020, février 2012
- La gestion des actifs immatériels dans les industries culturelles et créatives, mars 2012
- Le développement industriel futur de la robotique personnelle et de service en France, avril 2012
- Enjeux et perspectives des industries agroalimentaires face à la volatilité du prix des matières premières, octobre 2012
- Potentiel et perspectives de développement des plates-formes d'échanges interentreprises, janvier 2013
- Étude sur la location de biens et services innovants : nouvelles offres, nouveaux opérateurs, nouveaux modèles économiques ?, janvier 2013
- Enjeux économiques des métaux stratégiques pour les filières automobiles et aéronautiques, mars 2013
- Chaînes logistiques multimodales dans l'économie verte, mars 2013
- Évolutions technologiques, mutations des services postaux et développement de services du futur, juillet 2013
- Imagerie médicale du futur, octobre 2013
- Relocalisations d'activités industrielles en France, décembre 2013
- Benchmark européen sur les plateformes chimiques, quels sont les leviers pour améliorer la compétitivité des plateformes françaises ?, septembre 2014
- Les innovations technologiques, leviers de réduction du gaspillage dans le secteur agroalimentaire : enjeux pour les consommateurs et pour les entreprises, novembre 2014
- Mutations économiques du secteur de l'industrie des métaux non ferreux, mars 2015
- Enjeux et perspectives de la consommation collaborative, juillet 2015
- Usages novateurs de la voiture et nouvelles mobilités, janvier 2016
- E-santé : faire émerger l'offre française en répondant aux besoins présents et futurs des acteurs de santé, février 2016

Crédits photographiques

Couverture (horizontalement de gauche à droite) : © ÉS – Alexandre Nachbauer ; © Patrick DUMAS ; © prapann – Thinkstock ;
© curraheeshutter – Thinkstock.

Les trois filières industrielles de la valorisation énergétique du sous-sol profond (exploration et production de produits pétroliers, géothermie profonde, stockage géologique d'hydrocarbures et de CO₂) emploient plus de 66 000 salariés sur le territoire français pour un chiffre d'affaires d'environ 36 milliards d'euros. 60 % du chiffre d'affaires est réalisé à l'export, principalement par des champions nationaux de taille internationale à la pointe de la technologie. Derrière ces chiffres se cachent une grande disparité au sein de ces filières : la filière d'exploration et de production de produits pétroliers regroupant un vaste écosystème d'entreprises de toute taille et rassemblant à elle seule 96 % des emplois.

Ces trois filières partagent néanmoins des problématiques communes : forte concurrence sur leur marché à l'export et étroitesse du marché national avec des opportunités de développement sur le territoire français très limitées et fortement encadrées par la législation. L'étude insiste donc sur la nécessité de mieux accompagner les PME dans leur développement à l'international.

Par ailleurs, soumises aux mêmes types d'aléas géologiques et techniques, ces trois filières reposent sur des compétences et des technologies largement communes. Leurs différents degrés de maturité suggèrent que des transferts de technologies et de compétences des filières les plus matures (exploration et production de produits pétroliers, stockage d'hydrocarbures) vers les filières les plus jeunes (géothermie profonde à haute température en particulier et stockage de CO₂) sont autant d'opportunités d'accélérer le développement de ces dernières.

Une analyse du fonctionnement des filières du sous-sol a également permis d'analyser les bonnes pratiques dans sept pays : Allemagne, Chine, États-Unis, Islande, Japon, Norvège et Royaume-Uni.

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME)
Association des Professionnels de la Géothermie (AFPG)
Direction générale des Entreprises (DGE)
Direction générale de l'Énergie et du Climat (DGEC)
Groupement des Entreprises et des Professionnels
des Hydrocarbures et des Énergies connexes (GEP-AFTP)
Pôle Avenia

