

Perspectives à l'horizon 2020 et au-delà

La Rédaction¹.

Plusieurs organismes proposent des feuilles de route sur les perspectives du captage-stockage du CO₂ (CCS) aux horizons 2020 et 2050. Nous nous plaçons ici dans l'hypothèse de la *Blue Map* proposée par l'AIE (voir article dans les généralités) qui estime que la part du CCS dans les solutions pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) couvrira environ 20% du besoin à l'horizon 2020. Quelle que soit la pondération effective qui s'établira entre les différentes solutions envisagées pour réduire les émissions de GES, – l'efficacité énergétique se plaçant en 1^{ère} position –, l'approche CCS jouera un rôle important.

Feuille de route Ademe²

Le premier document auquel nous pouvons nous référer, à valeur nationale française, est la feuille de route de l'Ademe, diffusée en 2008 et qui confirme les options de la stratégie nationale de recherche dans le domaine de l'énergie. L'Ademe a en charge la gestion d'un fonds démonstrateur de recherche qui soutient des projets sélectionnés notamment en matière de CCS. Comme nous l'avons évoqué dans les généralités, quatre projets de CCS, que nous rappelons ici, sont maintenant soutenus au titre de pilotes de démonstration :

- Pil-Ansu : captage du CO₂ par antisublimation (givrage/dégivrage des gaz) sur les fumées d'une centrale à charbon ;
- France Nord : stockage en aquifère salin ;
- ULCOS (Ultra-low CO₂ Steelmaking) : essai de CCS sur l'usine sidérurgique Arcelor-Mittal à Florange ;
- C2A2 : captage par postcombustion dans la centrale thermique EDF du Havre.

Rappelons que Véolia Environnement n'a pas maintenu un 5^{ème} projet envisagé, celui de Claye-Souilly (77), dont l'objectif était le captage et stockage en profondeur de CO₂ issu des incinérateurs de déchets.

Les projets de l'Ademe prennent leur place dans la stratégie française ancrée dans le Grenelle de l'Environnement. Cette stratégie s'appuie aussi sur les nombreux projets de R&D soutenus par l'ANR³ sur la période 2005-2011 (voir tableau p. 42), les nombreux projets européens réalisés ou en cours depuis les années 90 (voir tableau p. 43) et s'insère dans un éventail de près de

130 projets mondiaux à la date de septembre 2009 (voir tableau p. 41).

Selon les termes mêmes de la feuille de route, celle-ci poursuit trois grands objectifs qui sont rappelés ici :

- « développer l'offre technologique nationale sur le captage, transport et stockage du CO₂ et renforcer sa base industrielle et économique ;
- expliciter et réduire les incertitudes liées à son exploitation et mettre en place un environnement politique, économique, réglementaire et social propice à sa diffusion et son appropriation par les acteurs industriels ;
- développer et consolider son intégration technologique dans les secteurs de l'énergie et de l'industrie manufacturière ».

D'ici 2020, le calendrier proposé par l'Ademe se découpe en trois phases :

- phase préparatoire sur l'ensemble de la filière, ainsi que sur les conditions réglementaires et sociales, permettant le lancement d'un pilote instrumenté de stockage ;
- lancement des premières opérations de CCS de taille industrielle, tout en poursuivant des programmes de R&D orientés en conséquence ;
- sur la base d'une filière CCS mature, multiplication des exploitations industrielles.

La feuille de route de l'ADEME est en cours de réactualisation. Elle portera sur captage, stockage et valorisation du CO₂.

Feuille de route technologique du CSLF⁴

La mise en place du CSLF correspond à une initiative internationale au niveau ministériel dont l'objectif est le développement de technologies économiques pour la filière CCS. Il incombe au CSLF de faciliter le développement et le déploiement de ces technologies, en s'attachant aux points critiques techniques, économiques, réglementaires et environnementaux les concernant. Le CSLF compte aujourd'hui 24 membres, dont 23 pays⁵ et la Commission européenne.

Après une première version en 2004, le CSLF

1. Remerciements à Isabelle Czernichowski-Lauriol (BRGM et CO₂GeoNet) pour son aide dans l'élaboration de cet article.

2. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie.

3. Agence Nationale de la Recherche.

4. Carbon Sequestration Leadership Forum Technology Roadmap.

5. Allemagne, Afrique du Sud, Arabie Saoudite, Australie, Brésil, Canada, Chine, Colombie, Corée du Sud, Danemark, États-Unis, France, Grèce, Inde, Italie, Japon, Mexique, Nouvelle Zélande, Pays-Bas, Norvège, Pologne, Royaume-Uni, Russie.

propose, en 2009, une 2^{ème} version tenant compte des développements intervenus depuis dans le monde et confirmant l'intérêt de la filière CCS pour la réduction des émissions de GES. Le CSLF se propose d'ailleurs d'actualiser régulièrement la feuille de route.

L'objectif de la feuille de route est de proposer une démarche conduisant au développement commercial de la filière CCS en mettant l'accent sur sa faisabilité commerciale et son intégration industrielle, l'évaluation des possibilités globales de stockage, l'analyse des risques et la mise en place d'une compétence technique partagée. Dans cette perspective, la feuille de route est subdivisée en quatre modules :

- état actuel de la technologie ;
- activités en cours concernant la filière CCS ;
- besoins et verrous technologiques à aborder sur la prochaine décennie ;
- diversité des approches en vue d'une filière intégrée : capture - transport - stockage.

Le module 1 rappelle l'état des connaissances sur les différents volets de la filière CCS : émissions, captage, transport, stockage en profondeur, sécurité et risques, coûts. Pour le module 2, le CSLF distingue trois thèmes (réduction des coûts, sécurité des réservoirs, surveillance et contrôle) et quatre périodes qui vont de 2004 à 2014 et au-delà. La phase 2004-2008 est celle du choix des meilleures approches. La phase 2 (2009-2013) est celle des pilotes de démonstration, des tests de terrain et de l'estimation du potentiel de stockage mondial. Au-delà de 2014, il s'agit d'implanter la filière sur une large échelle.

Pour présenter la situation actuelle des projets, le CSLF distingue :

- les projets liés à la production de pétrole et de gaz : Sleipner (Norvège), Snøvit (Norvège), Weyburn-Midale (Canada) ; Sleipner et Weyburn-Midale font l'objet d'un article dans ce numéro ;
- les projets orientés vers le captage et stockage de CO₂ dans le domaine énergétique : Ketzin et Schwarze Pumpe (Allemagne), Lacq (France, voir article ce numéro) ;
- plusieurs dizaines d'autres projets en cours ou à venir à travers le monde.

Le CSLF rappelle aussi les nombreuses initiatives internationales soutenues par divers organismes, en particulier :

- AIE (Agence Internationale de l'Énergie)⁶ : Greenhouse Gas R&D Programme (IEAGHG).
- GCCSI (Global CO₂ Capture and Storage Institute)⁷ :

20 projets de CCS intégrés en 2020.

- Union européenne et ZEP (Zero Emission Platform)⁸ ; 12 projets de démonstration à l'échelle commerciale en 2020.
- NZEC (Near-Zero Emissions Coal)⁹ : collaboration entre le Royaume-Uni, les États-Unis et la Chine pour construire et gérer en Chine une centrale de 450 MW et l'injection de CO₂ dans un stockage en 2015.
- TCM (Technology Center Mongstad, Norvège)¹⁰ : implantation d'une filière CCS dans une raffinerie et stockage dans un aquifère salin.

Sans oublier des initiatives plus nationales : UK CCS Competition (Royaume-Uni), US CCS Effort (États-Unis), Rotterdam Climate Initiative (RCI), Northern Netherlands CCS Coalition) ou les nombreux projets canadiens (dont Weyburn) ou australiens (Latrobe, Otway...).

Cette liste, qui est loin d'être limitative, témoigne de l'ampleur de l'effort international actuel sur la filière CSC dans son ensemble.

Parmi les verrous identifiés dans le module 3 figure le passage de la technologie bien maîtrisée de la filière CCS dans l'industrie pétrolière à d'autres secteurs industriels (production d'électricité et autres) au niveau de la réduction des émissions et de la diminution des coûts afférents. Dans les différentes voies de captage, les enjeux portent sur la baisse des coûts et la réduction des obstacles à l'efficacité des filières, notamment pour les centrales électriques. Des recherches doivent également être menées concernant de nouvelles voies de captage : combustion en boucle chimique, cycles de postcombustion en boucle carbonate, séparation gazeuse membranaire et processus d'adsorption pour le CO₂, membranes de transport ionique pour la séparation de O₂.

Les verrous en matière de transport ont été évoqués dans un article spécifique dans ce numéro et le CSLF insiste notamment sur l'impact des impuretés dans le gaz, la traversée des zones urbaines, la technologie du transport maritime. Pour le stockage, le CSLF confirme l'effort à mener en matière de bonnes pratiques, de modèles prévisionnels, d'impacts sur l'environnement, de surveillance et de coûts. Les formations géologiques prioritaires sont celles qui ont été présentées dans l'introduction (réservoirs salins profonds, gisements d'hydrocarbures déplétés, couches de charbon profondes).

Cette présentation très condensée souligne l'importance des coûts (captage, transport), la recherche d'une efficacité optimisée dans un process industriel (captage), la nécessité d'une efficacité à long terme du stockage, le besoin de démonstration de projets intégrés, l'analyse

6. Site internet : www.iea.org

7. Site internet : www.globalccsinstitute.com

8. Site internet : www.zeroemissionsplatform.eu

9. Site internet : www.nzec.info

10. Site internet : www.statoil.com

des risques à long terme.

Le module 4 est conforme à la stratégie du CSLF depuis sa création en 2003 de soutenir l'adoption et le déploiement de la technologie CSC parmi les pays membres et cela, à la fois sur les différents champs de la filière et sur leur intégration.

Feuille de route technologique de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE)

Créée en 1974, l'AIE développe un programme très large de coopération dans le domaine énergétique entre pays membres de l'OCDE¹¹, notamment en matière d'information, de politique énergétique, de marché, de technologie et d'impact environnemental. Les objectifs de la feuille de route, établis en réponse aux interrogations des membres du G8 et autres dirigeants, sont similaires à ceux exprimés par le CSLF et portent sur les coûts, le financement, la technologie, la réglementation, ainsi que la collaboration internationale, notamment les relations avec les pays en développement. De même la présentation de l'état des connaissances ne nécessite pas de commentaire particulier.

Ce qui fait l'originalité de cette feuille de route, au-delà de l'accent mis sur le passage à l'industrialisation de la filière CCS et de l'importance donnée aux questions de financement, de réglementation et d'acceptabilité par le public, c'est le calendrier qu'elle propose (*Blue Map Scenario*) pour l'installation de systèmes industriels de captage - stockage de CO₂ d'ici à 2050, calendrier que nous résumons ci-après :

- 2015 : 18 projets, dont 72% OCDE ;
- 2020 : 100 projets, dont 50% OCDE ;
- 2030 : 850 projets, dont 49% OCDE ;
- 2040 : 2 100 projets dont 40% OCDE ;
- 2050 : 3 400 projets, dont 35% OCDE.

Au premier plan des industries concernées se placent les centrales à charbon. Elles sont suivies par les industries chimiques et la sidérurgie. Des éléments plus détaillés sur la répartition mondiale et les coûts d'investissements sont donnés dans le tableau 1.

Pour l'AIE, le passage du stade pilote au stade commercial implique, pour les centrales électriques, les changements de puissance indiqués dans le tableau 2, selon le type de combustible. À souligner également que selon les projections de l'AIE, le développement des unités de grande échelle se fera majoritairement dans les pays de l'OCDE jusqu'en 2030-2035. Au-delà de cette date ce sont les pays en développement qui prendront la tête.

Les hypothèses présentées ci-dessus supposent que des efforts importants de R&D et d'évaluation de faisabilité technique et économique des projets soient réalisés au cours des années qui viennent. Nous ne rentrerons pas dans les différents champs concernés qui sont proches de ceux présentés pour le CSLF.

Conclusions

Selon l'AIE, la filière CCS contribuera pour environ 20%¹² dans les solutions proposées pour la réduction des émissions de GES, un chiffre élevé qui justifie l'effort

Secteur	Projets 2020	Projets 2050	Coûts additionnels 2010-2020 (G\$ US)*	Coûts additionnels 2010-2050 (G\$ US)*	Investissements totaux 2010-2050 (G\$ US)**
OCDE NA	29	590	23,6	1 635	1 130
OCDE Europe	14	320	6,8	590	475
OCDE Pacifique	7	280	5,9	645	530
Chine et Inde	21	950	7,6	1 315	1 170
Non OCDE	29	1 260	9,7	1 625	1 765
Total	100	3 400	54	5 810	5 070***

Tableau 1. Développement des projets de CSC entre 2010 et 2050 (source : AIE Technology Roadmap CCS).

Légende :

OCDE NA : États-Unis, Canada, Mexique.

OCDE Europe : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Slovaquie, Suède, Suisse, Turquie.

OCDE Pacifique : Australie, Corée du Sud, Japon, Nouvelle Zélande.

*Coûts de transport et de stockage inclus.

** Coûts de transport et de stockage non inclus.

***Chiffre à comparer avec 130 G\$ US pour la période 2010-2020.

À noter que le Chili et la Slovénie, qui ont adhéré en 2010, ne sont pas inclus dans le tableau.

11. Organisation de Coopération et de Développement Économique. Comprend 32 pays membres qui ont adhéré depuis 1961, les deux derniers étant le Chili (mai 2010) et la Slovénie (juillet 2010).

12. Selon le scénario de la Fondation Bellona (www.bellona.org/reports_section), la contribution du CCS stricto sensu ne serait que de 13%, chiffre auquel on peut ajouter 18% de carbone énergie négative (centrale sur biomasse avec carbone stocké), l'efficacité énergétique tombant alors à 24% et les renouvelables à 13% contre 17% dans le scénario AIE.

CONCLUSIONS

Combustible	Pilote	Démonstration commerciale	Petite unité commerciale	Grosse unité
Biomasse	75	100	175	250
Charbon	200	300	500	1 000
Gas	150	250	400	800

Tableau 2. Hypothèses de taille d'usine, en MW (source : AIE Technology Roadmap CCS).

de R&D à mener et surtout le passage au stade industriel à une très large échelle. Cette stratégie nécessite une volonté politique très forte, des moyens importants et une rentabilité économique assurée. Face à ces contraintes, la feuille de route de l'AIE propose un calendrier de réalisation très ambitieux passant de 100 projets industriels en 2020 à 3 400 en 2050. La décennie qui vient est donc clairement affichée comme celle de la poursuite de la R&D, des pilotes de démonstration puis, dans la foulée, celle des installations industrielles.

Les développements à venir sont clairement pluridisciplinaires puisqu'il s'agira à la fois d'améliorer techniquement et de rendre économiquement viable les différentes composantes de la filière CCS, mais également de l'intégrer dans une vision industrielle d'ensemble, économiquement jouable, dans un marché du carbone établi sur des bases saines.

Comme nous avons essayé de l'expliquer dans les réponses faites sur les questions que certains se posent sur le changement climatique, la vision proposée par le GIEC sur la contribution des activités humaines sur le changement climatique paraît largement partagée scientifiquement et reconnue politiquement. Même si personne ne peut dire avec précision ce qui se passera effectivement d'ici un siècle, le risque de déséquilibre climatique si on laisse les émissions de GES se poursuivre à leur rythme actuel risque d'entraîner des catastrophes dont on ne fait que soupçonner l'ampleur et la pérennité. Dans un tel contexte, il est clair que les géosciences prendront toute leur place dans l'inventaire et la caractérisation de sites de stockage de CO₂ pérennes, surveillés et contrôlés sur la durée.