



# une technologie dévoilée

EDF R&D FÉVRIER 2013

[innovation.edf.com](http://innovation.edf.com)



Centrale thermique du Havre

## Une arme incontournable contre l'effet de serre

Dans le cadre de la lutte contre le réchauffement climatique, la technologie dite « CSC » (Captage et stockage géologique de CO<sub>2</sub>) est identifiée comme une solution nécessaire pour diminuer les émissions de CO<sub>2</sub> dues à l'activité humaine. Ces émissions atteignent aujourd'hui 30 milliards de tonnes par an, dont la moitié seulement est piégée naturellement dans les océans, les sols et les forêts. 22 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> proviennent du transport et 66 % des installations industrielles (centrales de production électrique à partir de combustibles fossiles, usines sidérurgiques, cimenteries, raffineries, etc.). Tous les scénarios, tels que ceux de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et de l'Union européenne, s'appuient sur le CSC pour contribuer à réduire les émissions de CO<sub>2</sub>. La France s'est par exemple engagée à diviser par quatre les siennes à l'horizon 2050 par rapport au niveau de 1990. Le CSC est pratiquement la seule solution permettant de réduire les émissions des installations industrielles.

## Le captage du CO<sub>2</sub>

GRÂCE AU CAPTAGE, LES FUMÉES ÉMISES PAR LES USINES OU LES CENTRALES SONT SANS CO<sub>2</sub>

Ne pas rejeter de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère mais le séparer dans un procédé industriel grâce à l'utilisation de technologies innovantes : c'est le principe du captage. Le CO<sub>2</sub> est ensuite comprimé puis transporté par canalisation ou bateau pour être injecté dans des formations géologiques profondes qui présentent des caractéristiques adéquates, notamment en termes de garantie de confinement. Le groupe EDF fait figure de cas particulier dans le paysage des producteurs d'électricité avec moins de 100 gCO<sub>2</sub>/kWh (contre 346 gCO<sub>2</sub>/kWh en moyenne en Europe) grâce à son parc nucléaire français et britannique. Néanmoins le Groupe a une démarche proactive de réduction continue de ses émissions : un programme sur le CSC, alliant production et ingénierie thermique, recherche & développement et filiales, est en place depuis 2007. L'objectif est de se doter d'une vision intégrée des évolutions des filières technologiques concernées et des coûts afin de se préparer au mieux aux choix qui seront à faire.



### Les émissions de CO<sub>2</sub> du charbon

Concernant la production d'électricité, c'est le charbon qui est le combustible particulièrement visé. Le taux de captage envisagé étant généralement de 90 %, une centrale au standard de performance actuel approvisionnée en charbon de qualité internationale verrait ses émissions baisser d'environ 850 à 230 gCO<sub>2</sub>/kWh (ces chiffres intègrent également les émissions des phases d'extraction et d'approvisionnement du charbon).

## COMMENT ÇA FONCTIONNE

# Trois façons de capter le CO<sub>2</sub>

## UN OBJECTIF : LIMITER L'EFFET DE SERRE

Les technologies de captage existantes s'appuient sur de nombreux projets de démonstration. L'évaluation des performances énergétiques de ces technologies, basée sur des résultats de pilotes et extrapolée à l'échelle 1 par simulation, ne permet pas actuellement de les différencier significativement.

## Les technologies de captage

Trois filières existent :

- La post-combustion est la plus mature. Le CO<sub>2</sub> est capté dans les fumées après combustion ou post-combustion. L'absorption dans un solvant chimique en post-combustion revient à séparer le CO<sub>2</sub> des autres gaz présents dans les fumées issues des chaudières. Une technologie similaire est en fait utilisée depuis une cinquantaine d'années dans l'industrie pétro-gazière pour séparer le CO<sub>2</sub> présent naturellement dans certains réservoirs de gaz naturel. L'application à la production d'électricité ou aux autres secteurs industriels nécessite une phase de recherche, développement et démonstration car les fumées sont plus complexes à traiter que le gaz naturel. Les deux autres filières sont à un stade moins avancé de développement.
- L'oxy-combustion consiste à assurer une combustion du charbon en présence d'oxygène pur (et non d'air) afin que les fumées ne soient plus composées que de CO<sub>2</sub> et d'eau, facilitant ainsi la séparation du CO<sub>2</sub>. L'oxygène comburant est obtenu par séparation avec l'azote de l'air par un procédé cryogénique.
- La pré-combustion est basée sur une gazéification préalable du charbon qui produit un mélange de CO et d'hydrogène, puis sur une conversion de ce mélange en présence de vapeur d'eau pour obtenir CO<sub>2</sub> et hydrogène, suivie d'une séparation sous pression du CO<sub>2</sub>.

## Des pilotes aux démonstrateurs

Plusieurs dizaines de pilotes industriels (échelle 1/1000 à 1/100) sont en exploitation. La prochaine étape est celle des démonstrateurs, des unités proches de la taille industrielle nécessaires pour valider les coûts industriels. L'Union européenne prévoit de contribuer au financement de deux ou trois démonstrateurs industriels de CSC. D'autres sont prévus aux Etats-Unis, en Chine, en Australie et au Moyen-Orient. Dans le contexte actuel de difficulté de financement liée à la crise, cette étape de démonstration industrielle prend du retard. En France, Total exploite à Lacq une chaudière au gaz naturel en oxy-combustion, d'une capacité de 10 tonnes de CO<sub>2</sub> captées par heure. Au Havre, EDF teste une technologie avancée sur les fumées d'une unité charbon.



Pilote de captage de CO<sub>2</sub>, centrale du Havre

## La filière post-combustion

Le captage de CO<sub>2</sub> par absorption chimique est basé sur un lavage des fumées par une solution aqueuse d'amine. Les fumées, nettoyées des particules, des oxydes d'azote et de soufre et refroidies (environ 45°C), sont admises dans une colonne qui permet de maximiser le contact liquide/gaz (facilitant

## REPÈRES

Emissions mondiales de gaz à effet de serre

Dans son scénario

« business as usual » (+6°C d'augmentation moyenne de température), l'AIE table sur des émissions de GES de 58 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> à l'horizon 2050 (doublement par rapport à 2009). La part de la production électrique à base de combustible fossile se maintiendrait à environ 40 % de ces émissions.

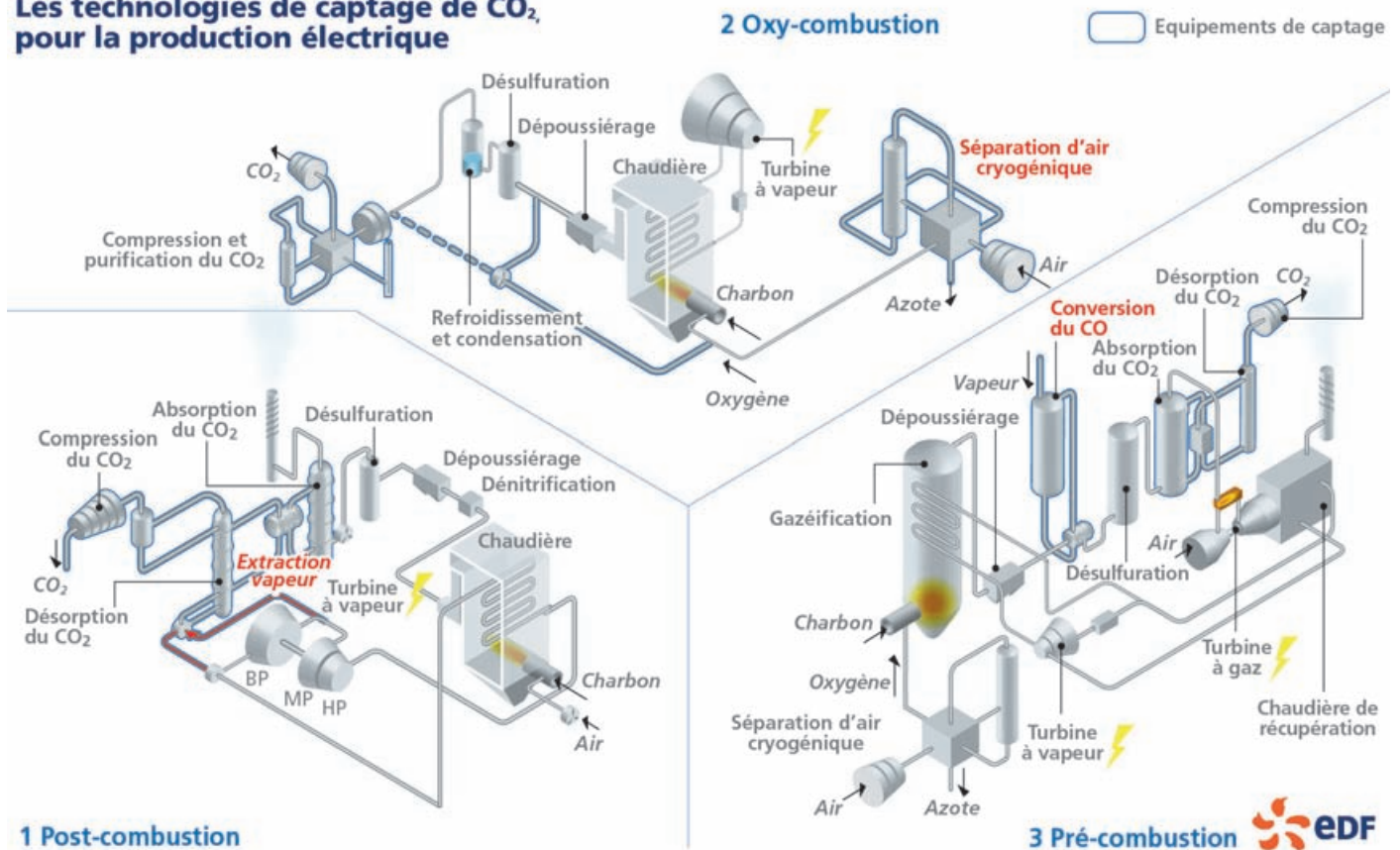
Dans le scénario « +2°C », les émissions en 2050 sont diminuées à environ 16 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>. Le CSC représente un peu moins de 20 % de cette réduction, répartie également entre production d'électricité (charbon, gaz) et industrie (aciéries, cimenteries, raffineries, etc.).

La part de la production électrique à base de combustible fossile diminuerait à environ 15 %.

Emissions d'une centrale au charbon

Une centrale actuelle au charbon pulvérisé (rendement net = 45 %) d'une puissance de 800 ou 1000 MWe, émet environ 550 tCO<sub>2</sub>/h ou 700 tCO<sub>2</sub>/h (émissions directes).

## Les technologies de captage de CO<sub>2</sub> pour la production électrique



## LE SAVIEZ-VOUS ?

EDF et ASLTOM, avec le soutien de l'ADEME, développent un démonstrateur de recherche de captage de CO<sub>2</sub> par post-combustion à la centrale du Havre. EDF pilote l'ensemble du projet. ALSTOM est en charge de l'étude du procédé et de la construction. Dow Chemical fournit le solvant testé. Le pilote sera exploité et les résultats interprétés conjointement par EDF et ALSTOM pendant l'année 2013. Les tests permettront de valider les performances énergétiques et environnementales de ce procédé (moins consommation d'énergie et de solvant, etc.), et sa flexibilité en exploitation.

le transfert du CO<sub>2</sub> entre fumées qui montent et solvant qui ruisselle) tout en limitant la perte de pression des fumées. En pied de colonne d'absorption, le solvant chargé en CO<sub>2</sub> est pompé vers la tête d'une colonne de régénération où les conditions de pression et température (2,5 bar, 120°C) sont adaptées pour désorber le CO<sub>2</sub>, qui est comprimé après une étape de déshydratation. En pied de colonne de régénération, le solvant peu chargé en CO<sub>2</sub> est recyclé vers la tête de colonne d'absorption pour y absorber à nouveau le CO<sub>2</sub>. La chaleur nécessaire pour maintenir la colonne de régénération en température est prélevée sur le cycle vapeur de la centrale à charbon. Cette vapeur prélevée ne travaille plus jusqu'au bout dans la turbine et diminue la production électrique. C'est la principale cause de pénalité énergétique par l'unité de captage sur l'unité de production d'électricité.

### La filière oxy-combustion

Une unité de séparation cryogénique des gaz de l'air produit de l'oxygène typiquement à 95% de pureté.

Cet O<sub>2</sub> comburant est mélangé à une grande part des fumées de combustion (composées d'eau et de CO<sub>2</sub>) qui est recyclée et injectée en chaudière pour y contrôler la combustion. L'atmosphère dans la chaudière étant différente d'une combustion à l'air, les problèmes de corrosion sont plus importants. Le CO<sub>2</sub> est séparé de l'eau par simple condensation. Une étape de purification du CO<sub>2</sub> est encore nécessaire, laquelle est intégrée avec la compression. En oxy-combustion, la principale cause de pénalité énergétique correspond à la consommation des procédés actuels de production d'O<sub>2</sub>.

### La filière pré-combustion

Cette filière plus complexe basée sur des centrales IGCC (gazéification préalable du charbon) semble moins intéressante. L'hydrogène est brûlé seul pour produire de l'électricité dans un cycle combiné (ou utilisé pour d'autres applications industrielles). Une fois capté, le CO<sub>2</sub> obtenu est déshydraté et comprimé dans une unité pour le conditionner pour son transport.



## Perspectives

Les feuilles de route tablent sur une disponibilité commerciale de cette technologie à partir de 2020. L'étape de démonstration industrielle prenant du retard, les premières réalisations à échelle 1 sont plutôt attendues autour de 2025. Les prochaines années seront décisives pour le planning de développement. La problématique clé des technologies de captage existantes est leur impact sur le rendement de la centrale électrique : vu d'aujourd'hui, il est diminué de 15 à 25 % par rapport à la centrale sans captage, ce qui revient à presque doubler le coût du kWh électrique produit. Par ailleurs, les centrales brûlant des combustibles fossiles devront plus que jamais être flexibles, adapter leur niveau de production à la demande instantanée et venir en complément d'une production renouvelable intermittente (éolien, solaire) en constante augmentation. De nombreux points restent à valider pour garantir la flexibilité d'une centrale avec captage de CO<sub>2</sub>. Elle pourrait en particulier différer selon la technologie de captage retenue. Des améliorations sont nécessaires pour maîtriser ces enjeux. Au-delà des programmes

visant à améliorer les procédés actuels de captage, EDF s'oriente vers des procédés innovants, en rupture, annonçant des performances énergétiques bien meilleures, mais restant à un stade de développement moins avancé. Parmi ces procédés, on peut citer : les solvants non aqueux, les membranes, l'adsorption ou la boucle chimique. L'avenir de la technologie dépendra aussi de la valorisation économique de la tonne de CO<sub>2</sub>. Le développement et le déploiement de la technologie CSC se heurtent aujourd'hui à des limites non techniques. En ce qui concerne le captage, citons :

- les mécanismes de financement, insuffisants pour les démonstrateurs et pas assez stables dans le temps,
- un risque financier accru pour les projets induits,
- des enjeux environnementaux, spécifiques à chaque filière, encore en cours d'étude,
- le déploiement de la filière industrielle requise pour la fabrication des principaux composants et des consommables.

**Fabrice CHOPIN, chef de projet CSC, EDF R&D**

**Nicolas VAISSIERE, responsable de programme, EDF R&D**

## Lexique

**Amine** : composé organique dérivé de l'ammoniac dont l'un au moins des atomes d'hydrogène est remplacé par un groupe carboné. Les amines sont largement utilisées dans l'industrie.

**CSC** : captage et stockage géologique de CO<sub>2</sub>. CCS en anglais (Carbon capture and geological storage).

**EEPR** : Fonds européen de soutien à la reprise pour le secteur de l'énergie.

**Emissions directes** : émissions de CO<sub>2</sub> lors de la combustion, ne prenant pas en compte les émissions liées aux phases d'extraction et d'approvisionnement du combustible.

**Emissions spécifiques** : quantité de CO<sub>2</sub> émise lors de la production d'un kWh électrique, exprimée en gCO<sub>2</sub>/kWh.

**GES** : gaz à effet de serre. La vapeur d'eau est le principal GES d'origine naturelle. Le CO<sub>2</sub> est le principal et le plus connu des GES d'origine anthropique. Mais d'autres gaz ont des potentiels de réchauffement supérieurs, même s'ils sont émis en quantité bien moindre à l'atmosphère : le méthane (23 fois le potentiel de réchauffement à 100 ans du CO<sub>2</sub>), le protoxyde d'azote (310 fois), les gaz industriels fluorés (CFC, etc. – 1000 à 7000 fois).

**IGCC** : Integrated Gasification Combined Cycle. Centrale de production d'électricité composée d'une unité de gazéification du charbon couplée à un cycle combiné.

**NER300** : New Entrants Reserve. Autre fonds européen de soutien au secteur énergétique, utilisable pour des opérations de démonstration pour des projets innovants dans les énergies renouvelables et le CSC. La valeur de la tonne de CO<sub>2</sub> sur le marché européen s'étant effondrée, le budget du programme NER300 a été largement revu à la baisse en 2011/12.

**Pénalité énergétique** : énergie nécessaire pour capter une quantité donnée de CO<sub>2</sub>. Pour les centrales de production électrique, elle s'exprime en points de rendement consommés pour capter 90% du CO<sub>2</sub> des fumées.

### > pour en savoir plus

#### En France

Club CO<sub>2</sub> : <http://www.captage-stockage-valorisation-co2.fr/>

#### En Europe

ZEP (Zero Emission Platform) : <http://www.zeroemissionsplatform.eu/>

#### Au niveau international

AIE (Agence internationale de l'énergie) : <http://www.iea.org/topics/ccs/>

N'imprimez que si vous en avez l'utilité.

**EDF**  
22-30 avenue de Wagram 75382 Paris Cedex 08  
FRANCE

SA au capital de 924 433 331 euros - 552 081 317 R.C.S. Paris

[www.edf.fr](http://www.edf.fr)

**Publication EDF R&D** - 1 av Général de Gaulle 92141 Clamart Cedex  
Directeur de la publication : **Stéphane ANDRIEUX**  
Secrétaire de rédaction : **Florence METGE-LAYMAJOUX**  
Le contenu de cette publication n'engage que son auteur et en aucune manière la responsabilité d'EDF.

© 2013 EDF

Toute reproduction interdite sans l'autorisation de l'auteur.  
Crédits photos : EDF, Marc DIDIER - Guy CASTELLANO  
et Yann LE MOULLEC.

Le groupe EDF est certifié ISO 14001

#### Contact :

[communication-rd@edf.fr](mailto:communication-rd@edf.fr)  
<http://innovation.edf.com>