



DOSSIER DE CONCERTATION

Projet pilote de **captage et de stockage**
géologique de CO₂ dans le bassin de Lacq



TOTAL

4 Le réchauffement climatique

6 Les gaz à effet de serre et le réchauffement climatique

L'effet de serre, un processus normalement bénéfique
Le rôle perturbateur des activités humaines
Les conséquences du réchauffement climatique

9 Les engagements internationaux pour lutter contre le réchauffement climatique

Le premier Sommet de la Terre
Le protocole de Kyoto
Les objectifs ultérieurs pour lutter contre le réchauffement climatique
La situation particulière de la France
L'inventaire des émissions de CO₂ en France

12 Les solutions mises en œuvre pour diminuer l'effet de serre

La maîtrise de l'énergie
Le recours aux énergies renouvelables
L'utilisation des énergies fossiles plus pauvres en carbone
La reforestation, le captage et stockage du CO₂, une option complémentaire

16 La technologie du captage et du stockage du CO₂

18 Les opportunités offertes par le captage et le stockage du CO₂

La place du CSC dans les différentes voies de réduction des gaz à effet de serre
Le captage et le stockage des émissions industrielles

19 Les différentes technologies existantes ou à l'étude

Les techniques de captage
Le transport du CO₂
Les techniques de stockage

22 Les programmes expérimentaux mondiaux

Les projets les plus importants
Le coût actuel des opérations de CSC

26 Le pilote du bassin de Lacq : objectifs et caractéristiques

28 Les objectifs du projet

Les objectifs de la phase de captage
Les objectifs de la phase de stockage

31 Les caractéristiques du projet

Le captage du CO₂ à Lacq
> Le choix du site
> Les installations de captage
Le transport du CO₂ par canalisation
Le choix du gisement de Rousse pour le stockage du CO₂
> Les installations pour le stockage

36 Le pilote du bassin de Lacq : les conditions de mise en œuvre

38 Les impacts du projet et leur maîtrise

La maîtrise des risques et des impacts sur l'environnement
> Les caractéristiques du CO₂
> Les études réalisées avant le choix du site
> Le risque de fuite
> La simulation des scénarios d'accident
Les impacts sur l'environnement
Les retombées socio-économiques, scientifiques et technologiques du pilote

45 Les conditions de la mise en œuvre

Le financement du pilote
Maîtrise des risques et surveillance du site
> Pendant le pilote
> La surveillance du site à long terme
Le comité de suivi scientifique
La concertation : ses objectifs et ses modalités
Le calendrier prévisionnel du pilote

49 L'engagement de Total en matière de développement durable

51 Glossaire





La lutte contre le réchauffement climatique s'intensifie et nécessite désormais de ne négliger aucune piste



Le 8 février 2007, Total a annoncé le lancement d'un projet pilote de captage et de stockage géologique du CO₂ dans le bassin de Lacq. Il s'agit d'une première mondiale au moment où les pays développés s'apprêtent à prendre des mesures draconiennes de réduction de leurs émissions de CO₂ à l'origine de l'effet de serre.

La lutte contre le réchauffement climatique s'intensifie et nécessite désormais de ne négliger aucune piste : la maîtrise de la consommation énergétique, le recours aux énergies renouvelables, l'amélioration des pratiques agricoles et la reforestation, l'utilisation d'énergies fossiles plus pauvres en carbone... Dans ce contexte, la technologie de captage et stockage géologique du CO₂ constitue l'une des options innovantes et prometteuses pour le futur proche. Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), cette technologie pourrait traiter d'ici à 2050, de 20 à 40% des émissions mondiales de CO₂.

Sur le site de Lacq, dont les atouts sont multiples pour un tel projet, Total se prépare donc à tester toute la chaîne de captage et stockage du CO₂ en oxycombustion, à un niveau d'intégration jamais réalisée. En amont des procédures d'autorisation administratives et, le cas échéant, de sa mise en oeuvre, depuis plusieurs mois, l'entreprise a engagé le dialogue avec différents acteurs du territoire afin d'échanger sur les enjeux de ce projet pilote. Elle s'est aussi entourée d'un Comité scientifique pour qu'un regard d'experts externes soit porté sur le projet. Aujourd'hui, Total souhaite initier une concertation avec tous ceux qui sont concernés : élus, citoyens, acteurs économiques, sociaux et associatifs.

Cette concertation doit être l'occasion de partager les connaissances, d'informer, de répondre aux questions, de permettre à chacun de s'exprimer sur les objectifs, les caractéristiques et le dispositif de surveillance et de contrôle du projet.

Total attend d'une telle démarche qu'elle soit utile à tous et constitue une aide aux décisions futures que le Groupe prendra.

clima

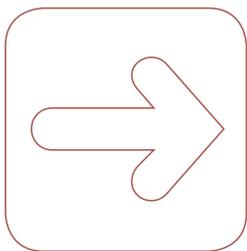


le réchauffement climatique

“

Le constat fait à présent pratiquement l'unanimité : la Terre se réchauffe anormalement. Depuis 1861, date des premières mesures, sa température a globalement augmenté de 0,74° C et de 0,9° C en France, selon la Mission interministérielle sur l'effet de serre. Cette augmentation est l'explication la plus probable de modifications climatiques qui se manifestent par des inondations, des périodes de canicule et de sécheresse, une fonte des glaciers ou encore une élévation du niveau des mers. Le réchauffement climatique est, de l'avis de la communauté scientifique, très probablement lié aux activités humaines et aux fortes émissions de gaz à effet de serre (GES) qui s'accumulent dans l'atmosphère.



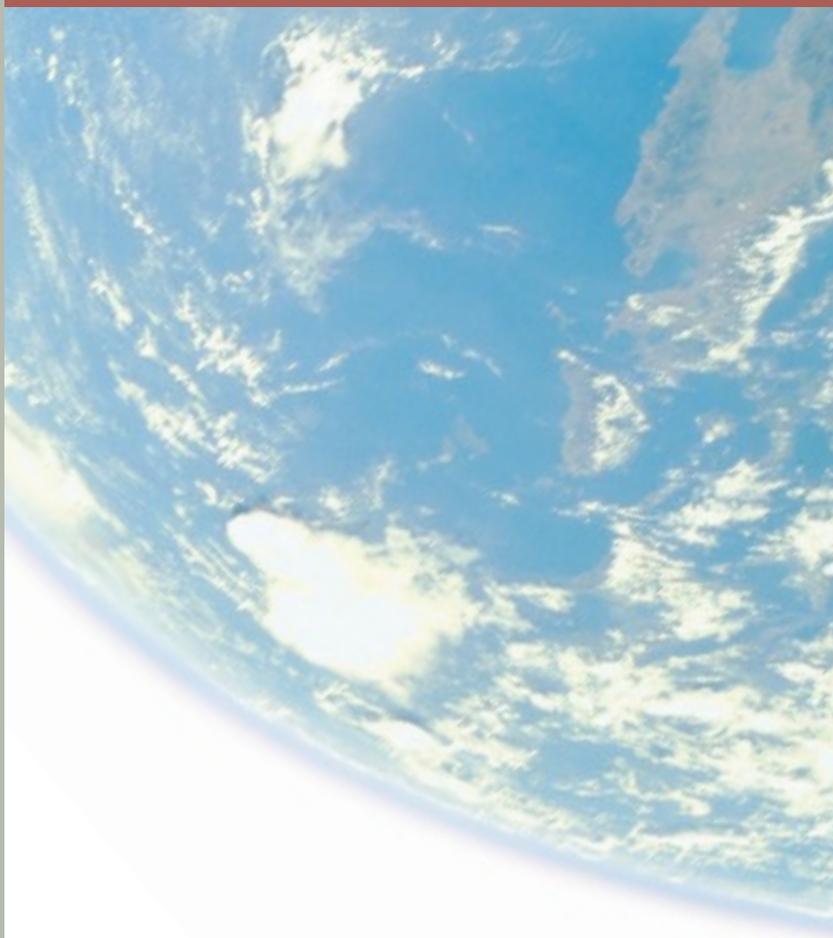


L'EFFET DE SERRE, UN PROCESSUS NORMALEMENT BÉNÉFIQUE

La surface du globe absorbe environ la moitié de l'énergie reçue du soleil, et le sol réémet cette énergie sous forme de chaleur. A son tour, une partie de ce rayonnement est absorbée par les nuages et certains gaz. Ce sont les gaz à effet de serre¹ (GES) qui ne constituent qu'1% de l'atmosphère. Ces gaz dispersés dans l'atmosphère de la Terre absorbent une partie du rayonnement infrarouge réémis par notre planète. C'est ce processus que l'on appelle l'effet de serre.

Il est, en lui-même, naturel et bénéfique car il permet de maintenir à la surface de la Terre une température positive, compatible avec le développement de la vie. Sans lui, la température moyenne de la surface du globe serait d'environ -18° C au lieu de +15° C. A l'inverse, sur Vénus, où le gaz carbonique est très abondant, la température atteint 420°. Après la vapeur d'eau, principal GES, dont l'abondance est déterminée par la température de l'atmosphère, le dioxyde de carbone (CO₂) joue, par son effet de serre intense et sa persistance dans l'atmosphère, un rôle prépondérant.

les gaz à effet de serre et le réchauffement climatique



LE RÔLE PERTURBATEUR DES ACTIVITÉS HUMAINES

La circulation du carbone, sous forme gazeuse, dissoute dans l'eau ou solide, est un élément clé de la compréhension du climat et des changements qui peuvent s'opérer. Composé d'un atome de carbone et de deux atomes d'oxygène, le gaz carbonique est prélevé par les plantes, les bactéries et le plancton. Ces derniers absorbent le carbone et rejettent l'oxygène. Le processus inverse s'effectue lors de la respiration ou bien lors de la décomposition de la matière organique². Lorsque la biomasse ne change pas, ce cycle d'échanges maintient un équilibre entre la masse de gaz carbonique prélevée et celle rejetée. Le gaz carbonique s'échange également avec les océans par dissolution dans l'eau ou dégazage vers l'atmosphère. Si la température des eaux n'évolue pas, dissolution et dégazage s'équilibrent.

Depuis la moitié du XIX^e siècle et le début de l'ère industrielle, les activités humaines ont commencé à perturber ce cycle par un recours croissant aux énergies fossiles - charbon, pétrole, gaz naturel - dont la combustion utilisée pour le chauffage, l'éclairage, les transports et l'industrie, engendre des émissions de gaz carbonique.



Les émissions mondiales de gaz carbonique liées à ces activités atteignent aujourd'hui 29 milliards de tonnes (Gt) par an. La concentration de CO₂ dans l'air est ainsi passée de 280 ppm³ en moyenne à la fin du XVIII^e siècle, avant la révolution industrielle, à 380 ppm en 2005 et continue d'augmenter chaque année de 1 à 3 ppm. La rapidité avec laquelle le CO₂ s'accumule ainsi que la signature isotopique⁴ du carbone ne laissent aucun doute sur l'origine anthropique, c'est-à-dire humaine, du phénomène. Cette augmentation rapide de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère est telle que la moitié seulement des émissions générées par les activités humaines dans une année semble pouvoir être absorbée par la planète. En effet, le rythme d'absorption par les océans et les forêts qui agissent en véritables puits de carbone, dans la mesure où ils peuvent absorber le CO₂ en surplus, ne permet pas d'absorber tout le flux des émissions anthropiques.



**D'ici à 2100,
la température
pourrait augmenter
de 2 à 5°C**



LES CONSÉQUENCES DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

La durée de vie des gaz à effet de serre dans l'atmosphère varie beaucoup d'un gaz à un autre. Si, par exemple, le méthane n'y survit qu'une douzaine d'années, le gaz carbonique y reste stocké une centaine d'années. Pour cette raison, son effet persistera très longtemps.

Conséquence de cet effet, d'ici à 2100, la température pourrait augmenter de 2 à 5° C, selon les scénarios du GIEC, le Groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat⁵.

Cette fourchette large s'explique, d'un côté, par les incertitudes sur les scénarios d'émission du XXI^e siècle, qui dépendent des futures décisions politiques et de la technologie, et, de l'autre, par la complexité des phénomènes à prendre en compte pour prévoir l'évolution du climat.

1. Les autres gaz à effet de serre, au sens du protocole de Kyoto, sont : le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), les hydrofluorocarbones (HFC), les hydrocarbures perfluorés (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆).

2. Matière organique : matière provenant des êtres vivants ou non, végétaux et animaux, contenant du carbone.

3. ppm : partie par million, indique un rapport de 10⁻⁶ ; soit : 1 gramme par tonne.

4. Isotopique : les isotopes du carbone permettent une datation au carbone 14 du CO₂ d'origine fossile.

5. Le GIEC est un organisme créé en 1988 par les Nations Unies. Il a pour mandat d'évaluer les informations scientifiques, techniques et socio-économiques disponibles en rapport avec la question du changement climatique pour informer le public et les décideurs. Le GIEC rend compte des différents points de vue et des incertitudes, tout en dégagant les éléments qui relèvent d'un consensus de la communauté scientifique. Il a été nommé co-lauréat du Prix Nobel de la Paix en octobre 2007.

Ce réchauffement équivaldrait à celui qui a mis fin aux glaciations, il y a 15 000 ans, mais il ne prendrait cette fois qu'une centaine d'années, contre plusieurs milliers d'années à l'époque et, surtout, il se produirait à partir d'une période déjà chaude. C'est cette situation qui est inédite. Des phénomènes climatiques se produisent déjà, qui sont très probablement les conséquences du réchauffement, même s'il est impossible d'attribuer chaque événement climatique particulier à ce der-

nier : les périodes de sécheresse se prolongent dans de nombreuses régions, tandis que, dans d'autres régions les précipitations dépassent la moyenne, comme en Europe de l'Est ou en Asie de l'Ouest. L'Europe n'est pas épargnée par des vagues de chaleur comme celles de l'été 2003, ou dans l'Europe du Sud, de l'été 2007. Les impacts du changement climatique se font aussi sentir sur les écosystèmes, ainsi que sur les activités humaines, comme l'agriculture.

SYNTHÈSE

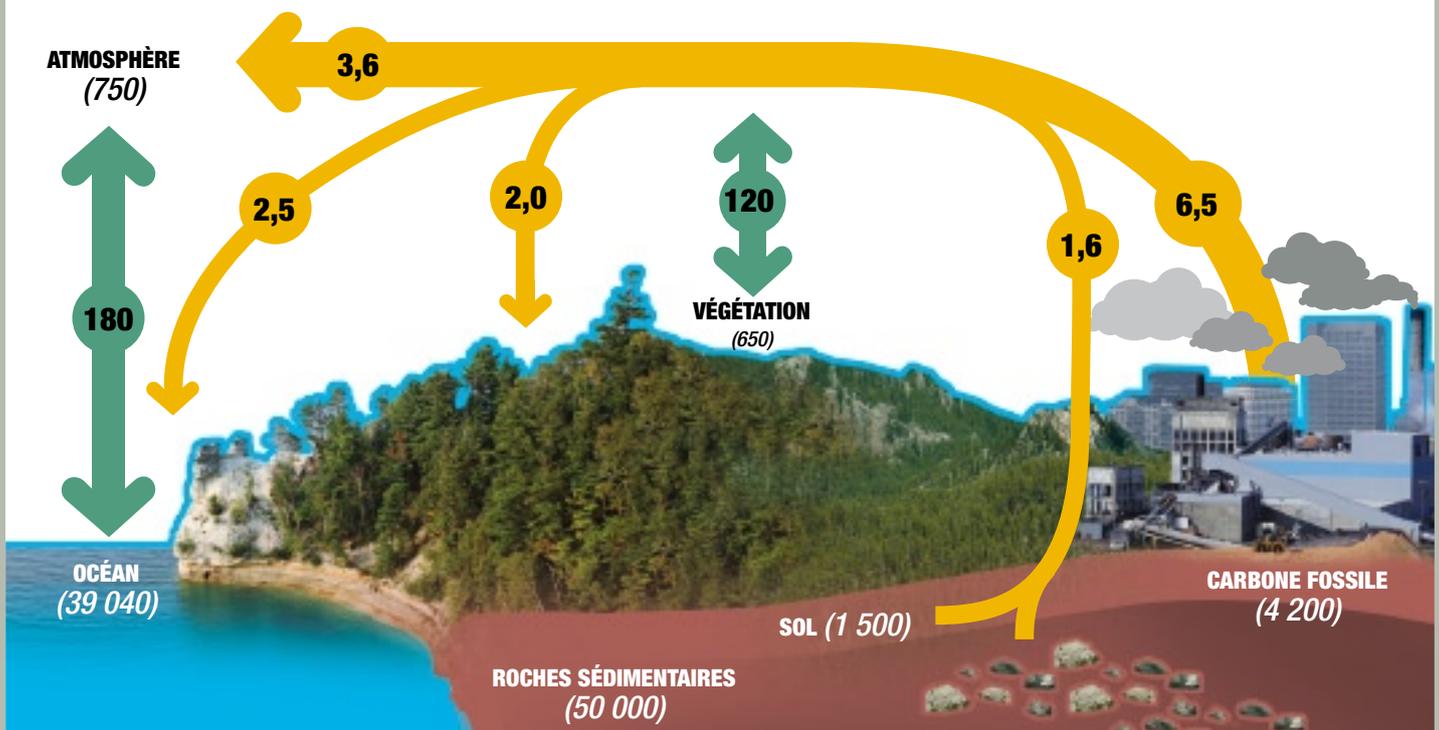
Depuis 1861, la température de la Terre a augmenté globalement de 0,74 à 0,9° C. Ce réchauffement climatique est très probablement dû aux émissions et à la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère liées à l'activité humaine. Si aucune mesure n'était prise, l'élévation de la température moyenne de la Terre entraînerait des dérèglements climatiques sur toute la planète.

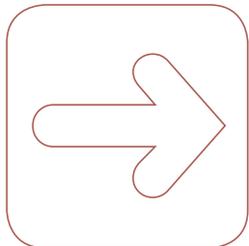
FLUX NETS DE CARBONE TERRE/ATMOSPHERE EN MILLIARDS DE TONNES (1997)

(4 200) = Stock de carbone

→ = Flux naturels

→ = Flux anthropiques





Depuis que les scientifiques attribuent une responsabilité majeure aux émissions de gaz à effet de serre dans le changement climatique, la communauté internationale se mobilise pour lutter contre ce phénomène.



les engagements internationaux pour lutter contre le réchauffement climatique

LE PREMIER SOMMET DE LA TERRE

La mobilisation de la communauté internationale pour lutter contre les émissions excessives de CO₂ et ses effets sur le climat commence en 1988. Cette année-là, l'Organisation météorologique mondiale et le Programme des Nations unies pour l'environnement créent le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, le GIEC.

Ses 2 500 membres sont chargés de rassembler à intervalles réguliers (environ tous les six ans) les données scientifiques, d'en faire la synthèse et d'évaluer l'état des connaissances sur le risque de changement climatique. Son premier rapport est publié en 1990.

Le premier Sommet de la Terre se tient à Rio de Janeiro (Brésil) en juin 1992, où la plupart des pays adoptent la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC). Elle impose à ses 166 pays signataires de lutter contre le réchauffement climatique d'origine anthropique.

En 1997, les signataires de la Convention se retrouvent à Kyoto pour adopter des objectifs quantifiés de réduction des GES.

LE PROTOCOLE DE KYOTO

Le protocole de Kyoto entre en vigueur en février 2005 après avoir été ratifié par suffisamment de pays représentant plus de la moitié des émissions de GES. A ce jour, 175 pays et organisations ainsi que la Communauté européenne l'ont entériné. Parmi les pays développés, seuls les Etats-Unis et l'Australie ne l'ont pas encore fait.

Il prévoit, uniquement pour les pays développés, un objectif de réduction des émissions de GES entre 2008 et 2012 de 5% par rapport à l'année 1990, date de publication du premier rapport du GIEC qui devient la date de référence.

Lors de ces négociations, l'Europe a été parmi les signataires les plus engagés, en acceptant un objectif de réduction de 8% de ses émissions.

Pour faciliter la réalisation de ces engagements, le Protocole prévoit pour les pays signataires, en complément des politiques et des mesures nationales, la mise en œuvre de trois mécanismes dits de flexibilité :

> Un marché mondial de « permis d'émission ».

Cette disposition permet d'échanger, entre pays industrialisés, des droits

à émettre des GES, libellés en tonne de CO₂ équivalent ;

> Des mécanismes de « mise en œuvre conjointe » (MOC).

Ils permettent, entre pays développés, de procéder à des investissements visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre en dehors de leur territoire national et de bénéficier des crédits d'émission générés par les réductions ainsi obtenues ;

> Des « mécanismes de développement propre » (MDP).

Ils sont proches du dispositif précédent, à la différence que les investissements sont effectués par un pays développé, dans un pays en développement.

Pour atteindre ses objectifs pour la période 2008-2012, l'Union européenne a mis en place un marché interne de quotas d'émissions de CO₂ depuis 2005 (Directive 2003/87/CE). Ce marché concerne les émissions provenant d'activités de certains secteurs industriels des 25 états membres, soit environ 11 500 installations.

SYNTHÈSE

Après la création, en 1988, du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, le GIEC, et le premier Sommet de la Terre en 1992, le Protocole de Kyoto entre en vigueur en février 2005. Il prévoit, pour les pays développés, une réduction des émissions de CO₂ de 5% entre 2008 et 2012, par rapport au niveau de 1990.

LES OBJECTIFS ULTÉRIEURS POUR LUTTER CONTRE LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Les objectifs fixés par le Protocole de Kyoto pour la période 2008-2012 ne sont qu'une étape. Pour stabiliser les températures à un niveau acceptable, but de la Convention Cadre des Nations Unies, des objectifs plus ambitieux doivent être définis par les Etats membres.

Selon le GIEC, il serait nécessaire de limiter le réchauffement planétaire à 2° C en moyenne par rapport à l'ère industrielle pour éviter des catastrophes majeures. Cela nécessiterait, à l'échelle mondiale, de réduire de 50% à 85% d'ici à 2050, par rapport à 1990, les rejets de CO₂. Notons que pour les pays les plus émetteurs, cela signifie un effort de réduction des émissions de 75 à 80% : c'est ce que l'on appelle le Facteur 4. L'enjeu des négociations internationales consiste à définir un régime mondial qui comprenne l'ensemble des grands émetteurs de gaz à effet de serre en incluant notamment les Etats-Unis, mais aussi les pays émergents, tels que la Chine, l'Inde et le Brésil. Une révision du Protocole de Kyoto doit être négociée pour 2012.

LA SITUATION PARTICULIÈRE DE LA FRANCE

Au sein de l'Union européenne, l'Hexagone occupe une situation particulière, en raison des caractéristiques de sa production d'électricité. Au niveau mondial, la production d'électricité est responsable de 40% des émissions de CO₂.

En France, elle provient très largement de sources d'énergie ne rejetant pas de CO₂: nucléaire (77%), hydraulique (12%) et éolien (moins de 1%). 10% seulement de l'électricité sont donc obtenus par la combustion d'énergies fossiles.

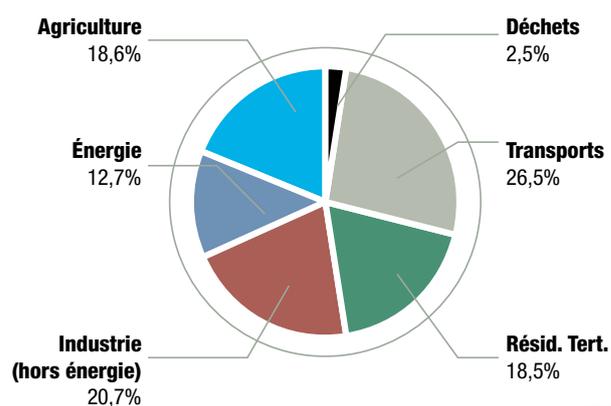


LES ÉMISSIONS DE CO₂ EN FRANCE MÉTROPOLITAINE



(source : Observatoire de l'énergie)

RÉPARTITION DES ÉMISSIONS DE CO₂ EN FRANCE EN 2005 PAR SECTEUR



(source : CITEPA/Inventaire CCNUCC décembre 2006)

Une révision du Protocole de Kyoto est prévue pour 2012, qui doit avoir l'ambition de mobiliser tous les principaux pays émetteurs. La France a pris un ensemble de décisions visant à respecter ses engagements.

Ainsi, la France émet globalement 2,2 fois moins de tonnes de CO₂ que l'Allemagne et 1,4 fois moins que le Royaume-Uni.

Depuis l'an 2000, les émissions de CO₂ n'augmentent plus en France. Malgré cette situation plutôt favorable, plusieurs initiatives ont été prises par les pouvoirs publics français pour lutter contre l'effet de serre. Un Programme national de lutte contre le changement climatique (PNLCC) a ainsi été adopté en janvier 2000 tandis que, la même année, le Gouvernement mettait en place le Programme national d'amélioration de l'efficacité énergétique (PNAEE). En outre, le Plan Climat 2004-2012, élaboré par le ministère chargé de l'Environnement avec les différents acteurs sociaux, regroupe les mesures prises dans tous les secteurs de l'économie et de la vie quotidienne pour lutter contre le changement climatique. Il a été renforcé, en novembre 2006, par le Comité interministériel pour le Développement durable, visant à maintenir la tendance actuelle à la stagnation de ces émissions, sécuriser le respect de nos engagements au titre du Protocole de Kyoto et préparer la division par quatre des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050.

D'autres démarches seront sans doute initiées à la suite du « Grenelle de l'environnement »

L'INVENTAIRE DES ÉMISSIONS DE CO₂ EN FRANCE

Chaque année, le Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique, le CITEPA, dresse pour le ministère chargé de l'Environnement, un inventaire des émissions de GES en France. Voici les derniers résultats :

Avec une quantité de 554,1 Mteq CO₂¹, hors UTCF², contre 564,2 en 1990, la France affiche une baisse de ses émissions entre 1990 et 2005 de 1,8%. Entre 2004 et 2005 la baisse est de 0,5%. Cette réduction provient d'une baisse pratiquement générale de tous les secteurs d'activité.

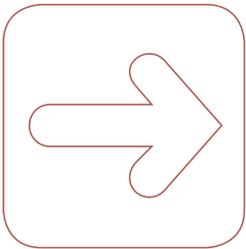
1. Mteq : Millions de tonnes d'équivalent CO₂.

2. UTCF : Utilisation des terres, leurs changements et la forêt.



Panneaux solaires photovoltaïques dans un village cubain équipé par Tenesol (filiale de Total et EDF)

les **solutions** mises en œuvre pour diminuer l'effet de serre



Aux pays signataires, le Protocole de Kyoto fixe des objectifs de réduction des émissions de GES. Ils peuvent mettre en œuvre, pour respecter leurs engagements internationaux, plusieurs outils.

LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE

La combustion des énergies fossiles primaires que sont le charbon, le gaz naturel et le pétrole, pour les transformer en énergies finales (essence ou fioul, charbon purifié, électricité, etc.) génère, comme nous l'avons vu précédemment, des émissions de GES, et en particulier de CO₂.

La première solution pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre, consiste à maîtriser la consommation d'énergie. Il s'agit d'inciter les usagers à modifier leurs comportements, à choisir des équipements plus économes et les industriels à concevoir des produits moins émetteurs en CO₂.

Dans le domaine du logement comme dans celui du transport, des gisements importants d'économie d'énergie s'offrent aux particuliers. Selon l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), l'utilisation d'appareils électroménagers efficaces (les réfrigérateurs ou machines à laver de classe A ou B) permettrait de réduire jusqu'à 50% sa consommation d'énergie. La pose d'un vitrage isolant diminue les besoins en chauffage de 7% tandis qu'une isolation des murs engendre une baisse de 10 à 15% de la consommation d'énergie. Le même procédé appliqué à la toiture entraîne jusqu'à 20% d'économie.

En ce qui concerne le transport, l'ADEME rappelle également que la voiture particulière est la plus émettrice de CO₂, surtout en ville et dans les encombrements, lorsque la circulation oblige à des arrêts et des démarrages fréquents. La quantité de carburant consommé peut alors doubler et le volume de gaz rejeté être multiplié d'autant. Outre le recours accru aux transports en commun et aux modes de conduite « doux », un bon entretien du filtre à air permet de diminuer de 10% la consommation de carburant.



L'ENGAGEMENT DE TOTAL POUR RÉDUIRE SES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Total a engagé de nombreuses actions qui s'inscrivent dans les politiques développées par les pays signataires du protocole de Kyoto pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre.

Celles-ci proviennent, pour l'essentiel, du brûlage à la torche des « gaz associés » aux productions de pétrole, et de l'autoconsommation d'hydrocarbures nécessaire

au fonctionnement des divers équipements des installations de production. En ce qui concerne le brûlage des « gaz associés », Total a décidé en 2001, de ne plus entreprendre de nouveaux projets avec brûlage continu. De plus, fin 2006, le Groupe s'est engagé à réduire de moitié, d'ici à 2012, le brûlage des gaz associés sur toutes ses installations d'extraction. Quant à l'autoconsommation de gaz,

chaque entité opérationnelle de Total s'est fixé des objectifs de réduction de son intensité d'émission de GES.

RÉSULTAT :

> à la fin 2006, les émissions de GES par unité de production avaient diminué de 39% pour l'activité d'Exploration et Pro-duction, de 17% à la tonne traitée pour le Raffinage et de 22% pour la Chimie

par rapport à 1990.

> En outre, Total développe des programmes de Recherche et Développement et d'investissement en matière d'énergies renouvelables (biocarburants, solaire, éolien, hydrogène, pile à combustible...) et s'engage dans le développement des technologies de captage et de stockage géologique de CO₂.

(source : Total, rapport sociétal et environnemental 2006, résumé)

Des efforts sont également entrepris par les constructeurs, en collaboration avec l'industrie pétrolière pour rendre les moteurs plus économes.

LE RECOURS AUX ÉNERGIES RENOUVELABLES

Les énergies renouvelables (solaire, éolien, hydraulique, etc.) sont appelées à jouer un rôle croissant car leur transformation en électricité génère de faibles émissions de CO₂.

Ainsi, les pays européens se sont engagés à produire 20% de leur électricité à partir de ces énergies à l'horizon 2010.

Mais, si la capacité de production d'électricité photovoltaïque croît de 40% par an dans le monde, cette croissance ne peut cependant pas déboucher sur une substitution significative de la consommation d'énergie fossile avant plusieurs décennies.



Total produit et distribue des biocarburants depuis 1993

L'UTILISATION DES ÉNERGIES FOSSILES PLUS PAUVRES EN CARBONE

La substitution entre elles des énergies fossiles est également préconisée. En effet, le remplacement du charbon par du gaz naturel comme combustible s'accompagne d'une réduction de plus de 40% des émissions de CO₂. Le gaz naturel est la ressource fossile qui a connu la plus forte progression depuis les années 70. Cependant, la croissance de la consommation de charbon demeure forte, notamment aux Etats-Unis et en Chine. 70% de l'électricité produite en Chine est ainsi produite à partir du charbon.



Barrage hydraulique de Manantali au Mali

SYNTHÈSE

La maîtrise de la consommation d'énergie est le premier levier pour réduire les émissions de GES. Les autres solutions consistent à la fois à utiliser de façon croissante les énergies non carbonées et, parmi les énergies fossiles, à privilégier le gaz naturel. Cependant, la consommation des énergies fossiles, fortement

LA REFORESTATION, LE CAPTAGE ET STOCKAGE DU CO₂, UNE OPTION COMPLÉMENTAIRE

Selon le scénario de référence de l'Agence internationale de l'énergie, la consommation mondiale d'énergie devrait progresser de plus de 50% entre 2004 et 2030, en raison, notamment, de la croissance des pays en développement. Les énergies fossiles vont continuer à satisfaire jusqu'à 90% de la demande, même si les énergies renouvelables permettent de satisfaire une partie croissante des besoins. Les émissions globales de CO₂ issues de la combustion des produits fossiles devraient donc croître pendant la même période. Une estimation raisonnable évaluée à 62% cette croissance.

Pour concilier l'utilisation des ressources fossiles et la diminution des émissions de GES liées aux activités humaines, toutes les solutions doivent donc être explorées. La reforestation peut contribuer à augmenter le puits de carbone en absorbant naturellement une partie du CO₂ émis dans l'atmosphère.



la consommation mondiale d'énergie devrait progresser de plus de 50% entre 2004 et 2030



Le dernier rapport du GIEC insiste sur le bénéfice de cette approche, mais rappelle que ce bénéfice n'est pérenne que si les forêts sont exploitées et leur bois stocké.

Dans ce contexte, une option technologique complémentaire est actuellement étudiée. Il s'agit du captage et du stockage géologique du CO₂. Elle consiste à récupérer ce gaz à effet de serre dès sa source de production et à le réinjecter dans le sous-sol. Il ne pourra donc plus contribuer au réchauffement climatique planétaire. Les institutions européennes et françaises encouragent cette voie, en complément des autres mesures.

Ainsi, la Présidence du Conseil européen des 8 et 9 mars 2007, demandait « *instamment aux Etats membres et à la Commission d'œuvrer au renforcement des activités de Recherche et de Développement et de définir le cadre technique, économique et réglementaire nécessaire pour mettre en œuvre, si possible d'ici 2020, des technologies de piégeage et de stockage du dioxyde de carbone respectueuses de l'environnement ainsi que de nouvelles centrales électriques à combustibles fossiles* » et se félicitait « *de l'intention de*



émettrices de GES, va demeurer très forte. Une technologie complémentaire, pour concilier croissance économique et lutte contre le réchauffement climatique, réside dans le captage et le stockage du CO₂. Développer cette technologie est encouragé par les pouvoirs publics, aux niveaux national et international.

la Commission d'élaborer un mécanisme visant à stimuler la construction et l'exploitation, d'ici à 2015, d'un certain nombre (pouvant aller jusqu'à 12) d'installations de démonstration de technologies durables d'utilisation de combustibles fossiles pour la production commerciale d'électricité».

Au plan français, le Comité interministériel pour le Développement durable du 13 novembre 2006 proposait « d'examiner les possibilités d'imposer que les éventuelles demandes d'installations de production d'électricité à partir de charbon anticipent le développement de la capture et du stockage de CO₂ et prévoient leur mise en place effective dès que les techniques seront disponibles ».





la tech

du captage et

“

En dehors de la vapeur d'eau, le CO₂ est le principal gaz à effet de serre, à la fois en termes de quantité et d'impact global. Son augmentation dans l'atmosphère provient essentiellement de la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz).

Pour en diminuer les émissions, le procédé de captage et de stockage géologique du CO₂ (ou CSC¹), ouvre, à côté de la maîtrise et de la réduction des émissions à la source, une voie complémentaire de l'efficacité énergétique et du développement des énergies non carbonées.

1. En anglais, CCS : Carbone (dioxyde) Capture and Sequestration (ou Storage)



nologie

du stockage du CO₂



En complément de la maîtrise de l'énergie, d'une meilleure efficacité énergétique et du développement des alternatives non fossiles, comme le développement du nucléaire et des énergies renouvelables, le CSC suscite des espoirs considérables car cette technologie a le potentiel de réduire les sources concentrées d'émission de CO₂.

les opportunités offertes par le **captage et le stockage** du CO₂

LA PLACE DU CSC DANS LES DIFFÉRENTES VOIES DE RÉDUCTION DES GAZ À EFFET DE SERRE

La technologie du CSC peut être considérée comme une solution de transition, à mettre au point rapidement pour obtenir des effets positifs sur la quantité globale de CO₂ dans l'atmosphère dès les prochaines décennies.

En raison du coût d'investissement et des particularités techniques du CSC, les sources d'émissions concernées sont celles qui dépassent les 100 000 tonnes de CO₂ par an, soit environ 7 000 sites dans le monde, selon le rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur évolution du climat (GIEC).

En particulier, la production d'électricité à partir de centrales thermiques représente, à elle seule, plus de 40 % de la totalité des émissions de CO₂ anthropiques émises chaque année dans le monde et quasiment 80 % des émissions totales de sources industrielles.

LE CAPTAGE ET LE STOCKAGE DES ÉMISSIONS INDUSTRIELLES

Ces centrales électriques (et notamment celles fonctionnant à partir de charbon ou de lignite) ainsi que, dans une moindre mesure, quelques autres installations industrielles telles que les cimenteries, les raffineries, les installations de production d'engrais, de la sidérurgie et de la pétrochimie, sont, à ce jour, celles pour lesquelles le captage de CO₂ apparaît le plus adapté.

Au total, selon le GIEC, la technologie pourrait capturer de 80 à 90% du CO₂ émis par une usine électrique (avec une consommation d'énergie supérieure à l'énergie normalement consommée), et traiter, toujours d'ici à 2050, de 20 à 40% des émissions mondiales de CO₂. Cela dépendrait bien sûr de la volonté politique des pays concernés et des moyens technologiques mis en œuvre. Cette technique pourrait contribuer pour 10 à 55% à l'effort total de réduction des émissions d'ici à 2100. Pour que ce développement puisse s'effectuer, il est nécessaire de réaliser dès à présent des projets pilotes : c'est dans ce cadre que s'inscrit le projet du bassin de Lacq.



**Capter de 80 à 90%
du CO₂ émis par
une usine
électrique**





les différentes technologies existantes ou à l'étude



Le CSC comporte trois étapes : le captage, le transport et le stockage. Il s'agit de capter le CO₂ provenant d'une source importante et fixe, de le concentrer et de le transporter vers un site adéquat pour son stockage.

A chacune de ces phases, différentes techniques sont disponibles ou testées.

LES TECHNIQUES DE CAPTAGE

La première phase du CSC a pour objectif de capter dans les fumées de combustion le CO₂ émis et de le séparer des autres composants principaux, notamment la vapeur d'eau et l'azote.

Les techniques reposent essentiellement sur des processus physiques ou chimiques qui ont fait leurs preuves. En effet, la séparation des fumées et le captage du CO₂ s'effectuent déjà dans de grandes usines, notamment lors de la transformation du gaz naturel, de la production d'ammoniac, de la fabrication d'engrais. Mais, dans ces cas, le CO₂ généralement extrait est ensuite rejeté dans l'atmosphère.

Il existe trois techniques de captage du CO₂. Elles sont compatibles avec la plupart des installations actuelles de production d'énergie.

> **Le captage par précombustion** : il consiste à produire, par un processus chimique, un gaz de synthèse à partir du combustible carboné, puis à en séparer le CO₂ avant de brûler l'hydrogène pour produire de l'énergie. Cette combustion ne produit alors plus que de la vapeur d'eau. Le captage du CO₂ s'effectue donc en amont des installations de production d'énergie.

> **Le captage par postcombustion** : le CO₂ est extrait des fumées issues de la combustion classique du charbon, du gaz, du pétrole ou encore de la biomasse, donc en aval des opérations. Les procédés utilisés sont physiques ou chimiques en fonction des types de solvants utilisés. Cette technique est la mieux maîtrisée, mais reste coûteuse et consommatrice d'énergie, au stade de développement actuel.

> **le captage par oxycombustion** : c'est ce procédé qui va être testé à Lacq. Il consiste à utiliser dans la chaudière de l'oxygène au lieu de l'air pour obtenir, à la sortie, une fumée très concentrée en CO₂, soit une concentration de 90%, voire 95%.

La combustion à l'oxygène est utilisée avec succès depuis de nombreuses années pour améliorer les performances des procédés industriels, dans l'industrie du verre en particulier, mais elle en est encore au stade de démonstration dans les opérations de captage du CO₂.



SYNTHÈSE

Le captage et le stockage de CO₂ émis par les sources d'émissions concentrées pourraient traiter, d'ici à 2050, de 20 à 40% des émissions mondiales de ce gaz. A chaque étape du processus, plusieurs techniques sont disponibles ou expérimentales.

LE TRANSPORT DU CO₂

Après son captage, le CO₂ doit être dirigé vers son lieu de stockage. Les solutions pour ce transport à grande échelle sont la voie maritime ou le gazoduc. Dans les deux cas, le CO₂ occupant beaucoup de volume, le transport s'effectue le plus souvent en phase « dense », forme comprimée ou refroidie du CO₂. Le but est de réduire son volume.

> **La voie maritime** : les bateaux sont du même type que ceux qui transportent du GPL (gaz de pétrole liquéfié).

> **Le gazoduc** : de Lacq au champ de Rousse, le transport du CO₂ va s'effectuer grâce à un pipeline existant qui a servi jusqu'à présent à l'extraction du gaz du champ de Rousse. Là encore, la technologie n'est pas nouvelle : les premiers gazoducs de transport du CO₂ sont entrés en service aux États-Unis au début des années 70, mais pour des activités liées au pétrole et à l'exploitation du gaz des mines de charbon. Ils s'y étendent aujourd'hui sur plus de 2 500 km et transportent plus de 40 millions de tonnes de CO₂ par an. L'enjeu est surtout économique et réside dans le développement d'un véritable réseau capable d'effectuer ce

transport à grande échelle depuis les lieux d'émissions jusqu'aux sites de stockage.

LES TECHNIQUES DE STOCKAGE

Une fois transporté, il faut pouvoir stocker le CO₂ pendant de longues durées, c'est-à-dire des centaines ou des milliers d'années, de manière à ce qu'il ne contribue pas à l'effet de serre.

La technologie est déjà connue et utilisée dans l'industrie pétrolière et gazière où le CO₂ est injecté dans les gisements en cours d'exploitation pour réduire la viscosité du pétrole : le gaz se dissout dans le pétrole brut qui devient ainsi plus fluide et donc plus mobile. Le taux de récupération du pétrole est, de cette manière, plus important.

Pour le CSC, le stockage géologique, c'est-à-dire dans le sous-sol, est l'axe retenu par la majorité des pays industrialisés. Il consiste à injecter du CO₂ dans une roche souterraine.

Cette capacité des réservoirs géologiques à stocker du gaz carbonique existe déjà dans la nature puisque l'on trouve dans le sous-sol de nombreux sites qui retiennent du CO₂ depuis des millions d'années. Il existe trois sortes de formations géologiques souterraines dans lesquelles du CO₂ peut être emprisonné.



Fondées sur les connaissances acquises lors de la production et de l'exploitation des hydrocarbures, elles sont envisageables pour de nombreuses infrastructures énergétiques actuelles.

> Les gisements d'hydrocarbures épuisés ou en phase de déclin (dits « déplétés ») :

c'est cette option qui est envisagée sur le site de Rousse dans le bassin de Lacq. Elle offre plusieurs avantages. Les réservoirs de pétrole ou de gaz ont prouvé leur étanchéité pendant plusieurs millions d'années. En outre, le milieu géologique est bien connu car exploité depuis plusieurs décennies par l'industrie pétrolière et gazière. Les capacités mondiales de stockage dans de tels gisements seraient de l'ordre de 930 milliards de tonnes de CO₂, selon l'Agence internationale de l'énergie.

A titre de comparaison, l'humanité émet, chaque année, 29 milliards de tonnes de CO₂ dans l'atmosphère, et le captage et le stockage envisagés pour les grosses installations industrielles et centrales thermiques, concerneraient, à l'horizon 2050, 20 à 40% de ces émissions. Cependant, ces gisements ne sont pas répartis sur toute la planète, à proximité des sources de CO₂.

> Les formations salines profondes. Il s'agit des nappes souterraines d'eau très salée - jusqu'à trois fois la concentration en sel de l'eau de mer - impropre à la consommation ou à l'irrigation.



Les réservoirs de pétrole ou de gaz ont prouvé leur étanchéité pendant plusieurs millions d'années



Ces aquifères se trouvent dans des bassins sédimentaires, sous la terre ou sous la mer.

Ils sont présents partout dans le monde et peuvent s'étendre sur des centaines, voire des milliers de kilomètres carrés, parfois sur plusieurs kilomètres d'épaisseur.

Les capacités mondiales de stockage de CO₂ y seraient de 400 milliards à 10 000 milliards de tonnes, selon l'Agence internationale de l'énergie. Mal connus à ce jour, ces sites nécessitent un effort de recherche important pour caractériser et préciser leur comportement à long terme.

> Les veines de charbon non exploitables car trop profondes ou trop peu épaisses.

Le CO₂ est adsorbé, c'est-à-dire retenu par le charbon. Ce mécanisme provoque, en outre, la libération du méthane naturellement fixé à la surface du charbon, qui peut être produit et récupéré. La capacité mondiale de stockage de CO₂ serait de l'ordre de 40 milliards de tonnes. Des travaux de recherche doivent étudier la porosité et la perméabilité des veines de charbon, qui risquent d'être trop faibles, empêchant ainsi le CO₂ de s'y fixer en quantités importantes.

LES PROJETS LES PLUS IMPORTANTS

Parmi les projets sur lesquels Total est impliqué, trois projets se distinguent par leur importance :

> **Le projet de stockage et de surveillance du CO₂ dans le gisement de pétrole partiellement épuisé de Weyburn, au Canada.** Ce programme de recherche international a débuté en 2000, sous l'égide de l'Agence internationale de l'énergie. Il s'agit de la première réalisation industrielle de grande envergure couplant stockage géologique du CO₂ et activités industrielles de récupération améliorée de pétrole.

les programmes expérimentaux mondiaux



De multiples programmes internationaux sont menés pour tester les technologies de captage et les sites de stockage, à des fins industrielles et/ou de recherche. Ils bénéficient du soutien de nombreux gouvernements et partenaires privés et de la participation d'équipes de recherche françaises, publiques et privées.

Depuis le milieu des années 90, Total est engagé, aux côtés d'instituts et de centres de recherche français et internationaux, dans des programmes de recherche sur la physicochimie du CO₂ injecté et stocké, l'intégrité des stockages et des puits sur le long terme, les mesures nécessaires à la surveillance de ces stockages et les méthodologies d'analyse des risques. Les enjeux de ces programmes de Recherche & Développement auxquels participe Total sont :

- > l'établissement de la faisabilité et de la fiabilité de l'injection et du stockage pérenne du CO₂,
- > la réduction des coûts et l'amélioration énergétique de ces procédés de CSC,
- > le développement des outils et mécanismes de surveillance à long terme du stockage.





**Concilier
récupération de
pétrole et stockage
à long terme**



Son but est d'examiner comment concilier récupération de pétrole et stockage à long terme. Il est prévu d'injecter 1,8 million de tonnes de CO₂ par an pendant 15 ans, ce qui permettra de stocker définitivement plus de 20 millions de tonnes de CO₂ tout en produisant 130 millions de barils de pétrole.

Le CO₂ stocké provient d'une unité de gazéification de charbon située dans le Dakota du Nord aux Etats-Unis. Il est acheminé jusqu'à Weyburn par un pipeline transfrontalier de 300 kilomètres conçu spécialement pour ce transport.

L'Union européenne participe au financement de ce projet de recherche.

L'enjeu est considérable : l'expérience acquise dans ce domaine sera déterminante pour l'avenir du stockage géologique dans les réservoirs d'hydrocarbures.



Plate-forme du champ gazier de Sleipner en mer de Norvège

En France, les capacités de stockage actuellement recensées avec précision correspondent aux gisements d'hydrocarbures.

Il faut y ajouter le potentiel des aquifères salins profonds. Le potentiel des gisements déplétés de Chaunoy dans

le Bassin parisien est estimé à 50 millions de tonnes (Mt) de CO₂, celui de Lacq à 250 Mt CO₂ et celui de Parentis¹ à 125 Mt CO₂, soit au total environ 400 millions de tonnes de CO₂. Le potentiel des aquifères profonds, qui reste à préciser, devrait être de 1 à 25 milliards de tonnes de CO₂.

Rappelons que les émissions annuelles françaises sont de 554 millions de tonnes équivalent CO₂, dont 82 millions pour l'ensemble industrie-agriculture.

Au plan européen, le potentiel de stockage dans les gisements déplétés serait de 50 milliards de tonnes de CO₂ et, dans

les formations salines profondes, de 30 à 600 milliards de tonnes de CO₂, selon une étude de Gaz de France. Selon le BRGM², les capacités de stockage profond représenteraient près de 900 années d'émissions.

> **Le projet de Sleipner en Norvège.** C'est sur le champ de Sleipner qu'a été lancée, en 1996, la première expérience mondiale de stockage de CO₂ à l'échelle industrielle dans une formation saline. La teneur en CO₂ du gaz naturel exploité par le pétrolier Statoil doit être diminuée pour respecter les critères de vente. Il a donc été décidé de l'acheminer sur une autre plate-forme en mer pour en extraire le CO₂. Séparé par des procédés de traitement de gaz classiques, ce CO₂ est depuis injecté dans la formation saline de l'Utsira, située à 1 000 m de profondeur. Un million de tonnes de CO₂ est injecté chaque année. Total est partenaire de l'opérateur norvégien Statoil sur la concession de Sleipner, mais a aussi été un partenaire du projet de recherche et développement, CO2Store, destiné à interpréter les données issues des opérations d'injection, ainsi qu'à prédire le comportement à long terme du CO₂ dans cette formation, et notamment son interaction avec les différents minéraux de la roche. Plusieurs techniques de surveillance sont testées et plus particulièrement un suivi sismique en trois dimensions à intervalles répétés.

> **Le projet de Snohvit, également en Norvège.** Initié en 2006, le projet consiste à séparer le CO₂ à terre, en amont d'une usine de gaz naturel liquéfié, de le convoier par pipeline sur 130 km pour l'injecter dans l'aquifère salin de Tubaen, à 2 600 m de profondeur, à raison de 2 000 tonnes par jour (soit près de 700 000 tonnes par an). Total est à nouveau partenaire de l'opérateur norvégien Statoil sur la concession et l'exploitation du gaz de Snohvit. Ce projet permet, parallèlement à celui de Sleipner, de préciser, comprendre et modéliser les contraintes liées au transport du CO₂ par gazoduc.

Les résultats des travaux sur ces projets deviennent des éléments de référence dont bénéficient les différentes équipes de recherche et les industriels. Ce retour d'expérience améliore la qualité des nouveaux programmes, comme celui envisagé dans le bassin de Lacq. Quelques exemples parmi d'autres : c'est grâce au projet mené à Sleipner que les équipes de Total vont intégrer, dès le départ, des modèles de prédiction des interactions entre le CO₂ et les roches présentes dans le gisement de Rousse.



Comprendre et modéliser les contraintes liées au transport du CO₂ par gazoduc



1. Dans le Bassin d'Aquitaine.

2. BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières.



Le site de Snohvit
au nord de la Norvège



Le site de Snohvit
au nord de la Norvège

SYNTHÈSE

De nombreux projets industriels et de recherche sont menés pour tester les technologies de captage et les sites de stockage, avec le soutien de partenaires publics et privés. Total est engagé dans une dizaine de projets de R&D dont Weyburn au Canada, Sleipner et Snohvit en Norvège.

C'est aussi grâce à différents travaux de recherche, menés dans le cadre de programmes de l'Agence nationale de la recherche et de l'ADEME, que la surveillance des émanations naturelles de CO₂ provenant du sol va être prise en compte dans le système de contrôle du pilote du bassin de Lacq. Le but étant de ne pas confondre ces émissions naturelles avec des émanations éventuelles du réservoir de stockage.

Dernier exemple : les résultats de recherches spécifiques menées depuis plusieurs années vont être mis en oeuvre pour prédire le comportement mécanique du gisement de Rouse au cours et à la suite de l'injection du CO₂.

LE COÛT ACTUEL DES OPÉRATIONS DE CSC

Le coût des opérations de captage, transport et stockage du CO₂ est estimé en fonction des expérimentations en cours. Il dépend de nombreux paramètres que sont les technologies de captage employées, les infrastructures industrielles concernées (leur puissance, leur rendement, le type et le coût du combustible utilisé, etc.), les distances à parcourir pour le transport et les méthodes de stockage sélectionnées.

Au stade actuel des programmes engagés à travers le monde, le coût de l'ensemble de la chaîne varie de 60 à 100 euros par tonne de CO₂ stockée.

A elle seule, la phase du captage, qui intègre la séparation du gaz carbonique et sa compression, représente les deux tiers de ce coût. Par ailleurs, elle génère, en elle-même, une consommation de 10 à 40% d'énergie supplémentaire, par rapport à une infrastructure équivalente et dépourvue de système de captage. Les technologies à l'étude, comme celles du bassin de Lacq, devraient permettre une réduction substantielle de ces coûts et de la surconsommation d'énergie de ces procédés, permettant ainsi la diffusion de la technologie.

De nombreuses études économiques, dont celles du GIEC, estiment que le CSC pourra prendre une place significative si son coût est réduit à un niveau voisin de 25 euros par tonne de CO₂ stockée. La baisse des coûts du CSC est donc un enjeu essentiel des développements actuels.



le pilot



e

du bassin
de Lacq : objectifs
et caractéristiques



Lacq

Pont d'As

Saint-Faust

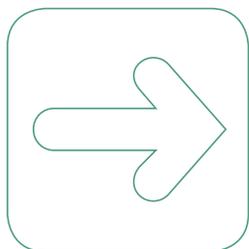
Rousse

30 bar

60 bar

Le CO₂ utilisera le chemin inverse du gaz qui a été produit, via un gazoduc existant enterré sur la majorité du parcours et à une pression inférieure à 30 bar. Des vannes automatiques d'isolation sont installées le long du parcours et notamment dans les stations de Pont d'As et de Saint-Faust.

les objectifs du projet



Si de nombreuses expériences sont en cours de développement sur tous les continents, le projet pilote du bassin de Lacq présente des caractéristiques qui en font une contribution importante pour la maîtrise technologique de Total et, plus largement, pour le développement du captage stockage du CO₂ en général. Il s'agit de tester en France, pour la première fois, la chaîne complète du processus, depuis l'installation émettrice de CO₂ dans la chaudière, jusqu'au lieu de stockage, avec les particularités suivantes :

> une expérimentation de captage par oxycombustion à une échelle industrielle de 30 Mégawatt jamais encore réalisée jusqu'à présent.

> un stockage dans un champ gazier déplété, à proximité d'un site d'émission de CO₂
> un transport par gazoduc de CO₂, appelé aussi « carboduc ».

Un objectif général du projet consiste à tester la faisabilité industrielle d'une chaîne intégrée. La volonté d'entreprendre un tel essai participe de l'engagement de Total dans la lutte contre le changement climatique par la mise en oeuvre de nouvelles technologies plus respectueuses de l'environnement, et découle d'efforts de recherche et développement sur plusieurs années.

Les enjeux de ces programmes de R & D auxquels participe Total sont l'établissement de la faisabilité et de la fiabilité de l'injection et du stockage pérenne du CO₂, la réduction des coûts et l'amélioration énergétique de ces procédés de CSC, et le développement des outils et mécanismes de surveillance à long terme du stockage.

LES OBJECTIFS DE LA PHASE DE CAPTAGE

Pour la phase de captage, Total s'est fixé deux objectifs :

> maîtriser à un niveau industriel la technologie de captage d'une grande partie des émissions directes et indirectes d'une chaudière fonctionnant au gaz. Les fumées de combustion au gaz contiennent en général entre 3% et 20% de CO₂. C'est ce que l'on appelle les émissions directes. Le CSC engendre une consommation d'énergie, qui peut-être d'origine fossile et donc émettrice de CO₂. C'est ce que l'on appelle les émissions indirectes.



LA QUESTION DE LA RÉGLEMENTATION

Les étapes de captage et de transport du CO₂ seront traitées dans le cadre de réglementations existantes, celui des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement et celui du Code minier pour le transport par gazoduc. En revanche, il n'existe pas, pour l'instant, de réglementation spécifique au stockage souterrain du CO₂ pour lutter contre l'effet de serre. Le développement de cette réglementation est en cours tant au niveau européen qu'au niveau national.

Le projet du bassin de Lacq bénéficie, quant à lui, d'une situation particulière puisque l'injection se déroulera dans le cadre du permis d'exploitation du gaz : il sera donc du ressort du code minier pour la partie stockage. Ce projet pilote permettra également à l'opérateur et à l'administration de coopérer pour définir et éventuellement proposer au législateur un cadre réglementaire adapté à cette nouvelle activité, à plus long terme.

SYNTHÈSE

Le projet de pilote du bassin de Lacq présente des caractéristiques originales. Toute la chaîne du CSC, intégrant pour la première fois un procédé d'oxycombustion, sera testée à une échelle encore jamais réalisée. L'expérience permettra de vérifier les hypothèses déjà élaborées en termes de diminution des coûts, de diminution de la consommation énergétique du captage...

suite page 30

Dans le cas de Lacq, il s'agit de vérifier un bilan théorique qui montre que le système de captage par oxycombustion permet de diminuer de moitié les émissions que rejetterait la même chaudière sans installation de traitement, en supposant que les émissions indirectes ne soient pas captées.

> viser une réduction de 50% du coût de captage par rapport aux procédés classiques existants. Or le captage représente la partie la plus coûteuse du processus de CSC ; ce qui limite le développement industriel de cette technologie. L'objectif de Total est donc de démontrer que, dans ce contexte, l'oxycombustion permet de faire baisser les coûts du captage de manière importante. C'est cette hypothèse que doit confirmer l'expérimentation de Lacq réalisée en partenariat avec Air Liquide.

> démontrer la faisabilité de la conversion à l'oxycombustion d'une chaudière industrielle existante de 30 MW. Cette transformation sera réalisée avec l'aide d'Alstom et ouvrira des perspectives de réduction d'émissions de CO₂ à court terme pour de nombreuses installations en fonctionnement dans le monde.



Démontrer la fiabilité et la pérennité du stockage géologique du CO₂ à long terme



LES OBJECTIFS DE LA PHASE DE STOCKAGE

En ce qui concerne le stockage, l'objectif est de développer des outils, une méthodologie et des techniques de surveillance pour établir et démontrer à plus large échelle la fiabilité et la pérennité du stockage géologique du CO₂ à long terme.

Ainsi, avec le retour d'expérience du pilote de Lacq, Total pourra mettre à la disposition des pouvoirs publics les éléments utiles à la définition d'un cadre réglementaire et des modalités de contrôle du stockage. La technologie étant au stade expérimental, ses règles et modalités sont en effet en cours d'élaboration aux niveaux national, européen et mondial. Le but de la phase de stockage n'est pas quantitatif, mais qualitatif.

Il s'agit de valider les conditions de fiabilité et d'efficacité du stockage géologique à grande échelle et à longue échéance, pour les biens et les personnes situés à proximité.



suite de la page 29

...et de mettre au point les outils nécessaires au contrôle et à la surveillance à long terme du stockage géologique. Le pilote contribuera également à définir un nouveau cadre réglementaire pour l'activité de stockage du CO₂, activité appelée à se développer dans le futur en France et dans le monde.

Pour cela, plusieurs technologies vont être mises en œuvre sur le pilote, comme l'utilisation du traçage du devenir du gaz carbonique injecté, les mesures de pression et de température en fond et le long du puits, des mesures de concentration du CO₂ dans le sol à proximité de la tête de puits ou encore un réseau d'enregistrement en continu de la micro-sismicité.

Ces diverses techniques ont déjà été employées avec succès sur différents sites de production de gaz ou de pétrole, certaines lors des différentes phases de l'exploitation du gisement de Lacq.

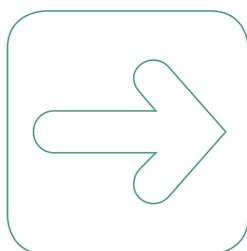
Ainsi, les équipes de Total vont s'appuyer sur les technologies éprouvées que le Groupe utilise déjà en exploration pétrolière et gazière, mais aussi sur le retour d'expérience des programmes internationaux, pour que les critères de surveillance du site à long terme puissent être mieux définis aux côtés des administrations concernées.

Total s'entoure également des compétences de la communauté scientifique : IFP¹, BRGM, CREGU², CNRS³, Universités.

Enfin, un Comité de suivi scientifique, regroupant des experts extérieurs parmi les plus éminents va accompagner le Groupe dans sa démarche. Ces experts sont chargés d'émettre des recommandations sur l'élaboration des méthodes et outils adéquats, pour garantir la sécurité de la filière à long terme.



1. IFP : Institut français du pétrole
2. CREGU : Centre de recherches sur la géologie des matières premières minérales et énergétiques
3. CNRS : Centre national de la recherche scientifique



Le projet pilote se déroule sur deux sites différents : à Lacq, où le CO₂ sera capté à partir des fumées d'une chaudière existante, convertie en oxycombustion pour le pilote, et sur le champ de Rousse près de la Chapelle de Rousse, où le CO₂ sera injecté pendant deux ans dans le réservoir naturel déplété (c'est-à-dire presque complètement vidé du gaz naturel). Ces deux sites présentent une combinaison d'avantages qui justifient ce choix.



les caractéristiques du projet

LE CAPTAGE DU CO₂ À LACQ

Le choix du site

Le site de Lacq bénéficie des conditions optimales en termes d'installations et de dispositifs de sécurité nécessaires à une telle expérimentation. En effet, son exploitation remonte à 1957 et, malgré le déclin de la production des champs aquitains de gaz naturel, il reste le premier producteur d'hydrocarbures liquides de l'Hexagone. Les unités de Total Exploration & Production France (TEPF), maître d'oeuvre du pilote, s'y étendent sur une superficie de près de 220 hectares pour extraire, traiter, stocker et expédier les hydrocarbures gazeux et liquides issus des gisements aquitains. Le site accueille actuellement un peu plus de 1000 personnes réparties entre les différentes entreprises. Les installations sont soumises à la Directive européenne relative à la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses, dite Seveso II.

Un site en cours de ré-industrialisation

En prévision de l'arrêt de l'exploitation du gisement, en 2013, le site de Lacq accueille de nouvelles entreprises pour développer une ré-industrialisation pérenne.

Ainsi, TEPF à Lacq, a mis en place, en 2000, Industlacq. Il s'agit d'une plate-forme offrant ses prestations d'utilités (eau, air, vapeur, électricité), de services (traitement des déchets...) et de coordination en matière de sécurité, à des entreprises nouvelles, essentiellement du secteur des bio-énergies. Ainsi, la société espagnole Abengoa y a installé en 2006 sa nouvelle unité de production de bioéthanol, à partir du maïs, contribuant au développement d'une activité industrielle nouvelle sur le site. En outre, plusieurs autres projets sont en cours d'étude dont un projet de chaudière utilisant la biomasse, porté par la société Elyo, en collaboration avec TEPF.

Chaudière de l'usine de Lacq



QUELQUES CHIFFRES

- > La **chaudière** concernée a une puissance de **30 MW thermiques**. Elle est haute de **25 m** pour une circonférence de **10 m** et produit environ **40 tonnes** par heure de vapeur. Chacun des nouveaux brûleurs de cette chaudière mesure **1 m de diamètre** et pèse près d'**une tonne**. Les besoins en oxygène du pilote s'élevaient à **240 tonnes** par jour.
- > Le débit de gaz injecté s'établit en moyenne à **100 000 Sm³/j**¹. Pendant les deux ans du pilote, les installations permettront de capter les **150 000 tonnes de CO₂** émises par la chaudière, soit plus de **200 tonnes par jour**.

SYNTHÈSE

Pour la phase de captage, le site de Lacq a été choisi en raison de ses avantages multiples (existence des équipements, connaissance des activités concernées, conditions optimales de sécurité). L'une des cinq chaudières produisant de la vapeur pour les industries de Lacq sera convertie en chaudière à oxycombustion, ce qui nécessitera l'installation d'une unité

Le site de TEPF à Lacq a également une longue histoire de collaboration avec la Recherche et le Développement. Vitrine technologique du Groupe depuis son origine, notamment sur le sujet du traitement des gaz acides, le site héberge aujourd'hui le pilote SPREX, Special Pre-Extraction, lancé en février 2005. Il s'agissait de tester une technique de pré-traitement des gaz bruts hyper acides.

Les résultats de ce pilote devraient contribuer à la mise en valeur des réserves considérables de ce type de gaz, situées au Proche-Orient et en mer Caspienne. Le projet pilote de captage et de stockage bénéficiera donc d'un contexte favorable aux interactions avec les chercheurs.

Les installations de captage

Le processus de captage consiste à convertir l'une des cinq chaudières actuelles en combustion à l'air en une chaudière en combustion à l'oxygène - en oxycombustion - et à en capter les fumées (émissions de CO₂).

En fonctionnement, certaines depuis 1957, et constamment modernisées, les cinq chaudières existantes fabriquent de la vapeur utilisée pour réchauffer différents flux de gaz et de liquides des industries du site et produire de l'électricité pour ces mêmes installations. Le CO₂ qui émane de ces chaudières est, pour l'instant, rejeté dans l'atmosphère.

Cette conversion au système d'oxycombustion nécessite l'installation de nouveaux équipements :

- > Une unité cryogénique², qui va produire l'oxygène destiné à remplacer l'air dans la combustion. L'unité cryogénique sera conçue et installée par Air Liquide, déjà implanté sur le site, dans le cadre d'un partenariat industriel. Elle sera contrôlée depuis le site industriel de Pardies.
- > Quatre nouveaux brûleurs, conçus et fournis par Air Liquide et testés lors du pilote.
- > L'adaptation de la chaudière pour permettre une recirculation d'une partie du CO₂ permettant un contrôle de la température. Cette partie sera réalisée par Alstom.



La transformation du site de Lacq en une vitrine technologique



1. Sm³/j : mètres cubes standard de gaz par jour.
2. Cryogénie : qui produit du froid.

Après la combustion à l'oxygène pur, les fumées obtenues, concentrées à plus de 90% de CO₂, seront refroidies pour atteindre une température de 50°C. Après une phase de compression à 27 bar, celui-ci sera déshydraté, avant d'être injecté dans les canalisations existantes pour être acheminé vers la zone de stockage.

LE TRANSPORT DU CO₂ PAR CANALISATION

Une fois capté, le CO₂ sera transporté sous pression dans les canalisations existantes jusqu'au puits de Rousse, parcourant ainsi le chemin inverse du gaz naturel exploité depuis trente ans. Ces canalisations sont enterrées sur la quasi-totalité de leur parcours (27 km).

Avant de démarrer le pilote, une vérification approfondie de l'état de ces canalisations est effectuée.

cryogénique et de quatre brûleurs. 150 000 tonnes de CO₂ vont ainsi être captées sur deux ans (soit l'équivalent des émissions de gaz carbonique de 50 000 voitures sur la même période). Le gaz sera transporté de Lacq à Rousse dans un gazoduc existant, celui qui a transporté le gaz de Rousse, à l'époque où le champ produisait du gaz, mais en sens inverse.



Vue de la chaudière qui fournit les «utilités» à l'usine de Lacq

Morceau («carotte») de la roche réservoir dite «du Mano» dans laquelle le CO₂ sera injecté.

LE CHOIX DU GISEMENT DE ROUSSE POUR LE STOCKAGE DU CO₂

En même temps qu'était sélectionné le site de Lacq pour le captage, il fallait trouver le lieu approprié pour le stockage du CO₂. Des études préliminaires ont été menées, en 2006, sur des gisements déplétés (en fin d'exploitation) gérés par Total dans la région.



SYNTHÈSE

Les études préliminaires, effectuées en 2006, ont permis de sélectionner le site de Rouse parmi les sites favorables autour de Lacq, car il offre le plus de garanties d'intégrité.

Le champ de Rouse, qui ne sera plus en exploitation au moment du démarrage du pilote, a été préféré aux autres sites pour quatre raisons :

> Géologiquement, il est totalement isolé des réservoirs de la région et sa structure est très favorable, en termes de sécurité et de pérennité. En effet, du gaz naturel, dont la composition inclut du CO₂, y a été naturellement piégé pendant trente-cinq millions d'années à une pression de plus de 400 bar dans une roche réservoir dite « du Mano » (cf. photo ci-contre) ; au-dessus de ce réservoir, on rencontre une formation d'argile et de marne, le Flysch, étanche au gaz et à l'eau, épaisse de plus de 2 000 mètres. La stabilité du réservoir est telle que les fortes secousses sismiques qui se sont produites avant la formation de la chaîne des Pyrénées, à l'ère tertiaire, n'ont pas altéré la couche étanche qui piège le gaz.

> Ce champ contient très peu d'eau et n'est directement connecté à aucun aquifère : cet élément est favorable au maintien du CO₂ sous forme chimiquement peu réactive.

> Depuis le début de son exploitation, aucun incident ne s'y est produit.





Vues de la carothèque du Centre Scientifique et Technique Jean Feger (CSTJF) de Pau, spécialisé dans la recherche géologique et les hydrocarbures.

La reprise du puits va nécessiter l'installation temporaire d'une plateforme de forage. Des travaux d'aménagement seront effectués, pour améliorer l'aspect du site.

> Ce compartiment du gisement comporte un seul puits, ce qui garantit une meilleure intégrité du stockage à long terme.

Les installations pour le stockage

Le CO₂ sera injecté dans l'ancien réservoir de gaz naturel. Ce dernier est une roche poreuse, située à une profondeur de 4 500 m, et perméable, où le CO₂ va s'infiltrer (ce n'est donc pas une poche vide, cf. photo ci-contre). Ce réservoir s'étend sur une longueur d'environ 2 km, une dimension modeste par rapport au champ de Lacq.

Le puits 1 du gisement de Rousse

Il fera l'objet de travaux avant l'injection de CO₂ :

- > Son étanchéité sera précisément re-vérifiée lors de la reprise du puits à l'été 2008 et ses vannes de sécurité seront remplacées ;
- > Un appareil de forage sera temporairement utilisé pour les travaux de reprise du puits.
- > Un compresseur de gaz va, en outre, être installé à une quinzaine de mètres de la tête de puits pour comprimer de nouveau le CO₂ avant son injection.



Le CO₂ sera injecté dans l'ancien réservoir de gaz naturel



Il sera équipé d'une isolation phonique adaptée. L'étude de bruit effectuée indique que, pour les habitations les plus proches, l'impact sonore ne devrait pas dépasser celui d'une conversation à voix basse.

> D'autres travaux d'aménagement vont être effectués, mais uniquement pour améliorer l'aspect visuel du site. Il s'agit de :

- l'enfouissement sous terre d'une grande partie de la ligne électrique située autour du site : cet enfouissement est prévu du dernier pylône électrique jusqu'au transformateur alimentant les installations situées dans l'emprise du puits,
- la suppression du transformateur en entrée de site,
- l'installation de nouveaux lampadaires,
- le nettoyage de tous les supports.

De la même manière qu'à Lacq, les travaux menés à la Chapelle de Rousse ne modifieront pas le périmètre de l'installation ni celui de sécurité en vigueur actuellement.

le pilote

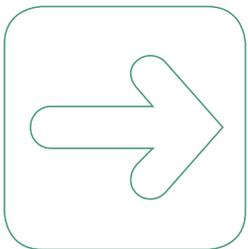


E du bassin de Lacq : les conditions de mise en œuvre





les impacts du projet et leur maîtrise



Le pilote du bassin de Lacq participe, avec les autres expériences menées au niveau international, à l'élaboration de procédures et de protocoles nouveaux, notamment pour la surveillance des impacts potentiels.

LA MAÎTRISE DES RISQUES ET DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT

Les caractéristiques du CO₂

Le gaz carbonique pur est un gaz chimiquement très stable, peu réactif aux conditions atmosphériques, incolore et inodore et plus lourd que l'air ; il n'est ni inflammable, ni explosif. C'est un gaz qui fait partie du cycle de la vie : la respiration humaine produit du CO₂ alors que les plantes ont besoin de CO₂ pour leur croissance. Nous vivons dans une atmosphère qui contient en permanence du CO₂, à des teneurs de quelques centaines de ppm, c'est-à-dire à des teneurs comprises entre 0,03% et 0,06%.

Le CO₂ est régulièrement par l'industrie : dans les extincteurs, comme propulseur dans les aérosols, pour le traitement des eaux potables, pour la conservation par le froid des aliments, pour la fabrication de boissons gazeuses, etc.

Enfin, pour ce qui concerne son transport, il est classé comme « gaz non inflammable et non toxique » par la réglementation européenne sur le transport des marchandises dangereuses.

Cependant, le CO₂ peut présenter un risque pour l'homme en cas d'inhalation de quantités importantes, donc de concentration élevée (*cf. encadré*).

Dans le cas du transport de CO₂ par canalisation ou du stockage géologique, le seul risque est donc une fuite massive dans des conditions bien spécifiques (absence de vent, concentration de la fuite, cuvette géographique...) qui conduirait, à l'endroit de la fuite, à une forte concentration de CO₂ voisine de 100 fois la concentration naturelle du CO₂ dans l'atmosphère.



LES SEUILS DE TOXICITÉ DU CO₂

Le CO₂ n'est pas classé toxique par la réglementation française, mais c'est un gaz asphyxiant dont l'importance des effets dépend de la concentration dans l'atmosphère, ainsi que de facteurs physiologiques (propres à l'organisme concerné) ou climatiques (température, teneur en oxygène).

> Les premières manifestations apparaissent lors de l'inhalation d'une atmosphère contenant 2% de CO₂ : elles se traduisent par

une augmentation de l'amplitude respiratoire ;
> À partir de 4%, la fréquence respiratoire s'accélère, puis la respiration peut devenir chez quelques sujets laborieuse. Une exposition à une concentration de 4%, (soit environ 100 fois la concentration normale dans l'atmosphère) pendant plus de 30 minutes peut conduire à des effets irréversibles ;
> À partir de 10%, on peut observer des céphalées, des troubles visuels,

des tremblements, une hypersudation et une hypertension artérielle. Si l'exposition dure plusieurs minutes, il peut y avoir perte de connaissance ;
> Des cas de morts accidentelles brutales ont été constatés. Ils étaient liés à l'inhalation de fortes concentrations de CO₂ accumulé dans des lieux confinés (silos, caves) ou à des catastrophes environnementales.

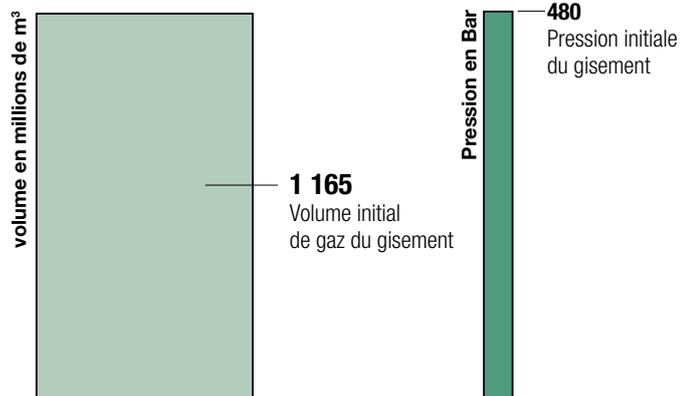
(source : Institut national de l'environnement industriel et des risques)

Les études réalisées avant le choix du site

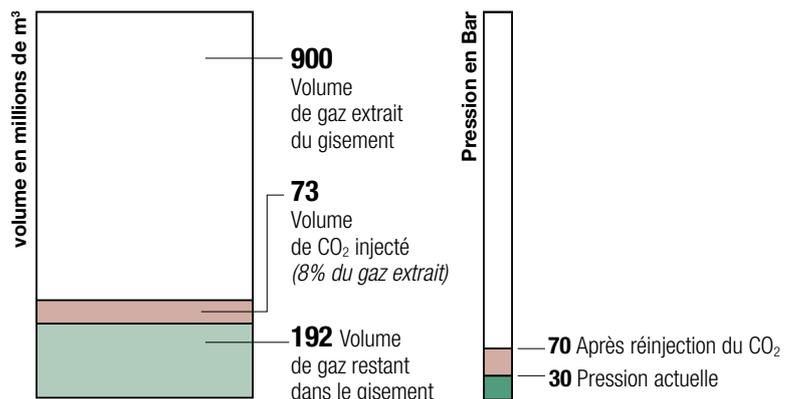
Les études de risques propres à la phase de captage sur le site de Lacq entrent dans le cadre des dispositions relatives aux installations classées pour la protection de l'environnement. Elles permettent d'évaluer les risques liés à une fuite de CO₂ afin d'optimiser l'implantation des installations et des équipements de sécurité. Les résultats de ces études seront soumis à la Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement d'ici à la fin de l'année 2007. Quant au site de Rouse, des études de risque préliminaires de géosciences ont été menées en 2006 également. Elles portent notamment sur la re-interprétation des données sismiques du gisement, la simulation de la pression dans le réservoir lors de l'injection, la stabilité mécanique des failles, la réactivité du CO₂ avec les roches du gisement ou l'utilisation d'outils spécifiques pour vérifier l'état de l'acier et du ciment au fond du puits. Ces études montrent que les sites choisis présentent les garanties de sécurité maximales pour une expérimentation de cette taille, limitée dans le temps et dans le volume injecté.

VOLUMES ET PRESSIONS DES QUANTITÉS PRODUITES ET RÉINJECTÉES

SITUATION INITIALE



SITUATION APRÈS INJECTION DE CO₂

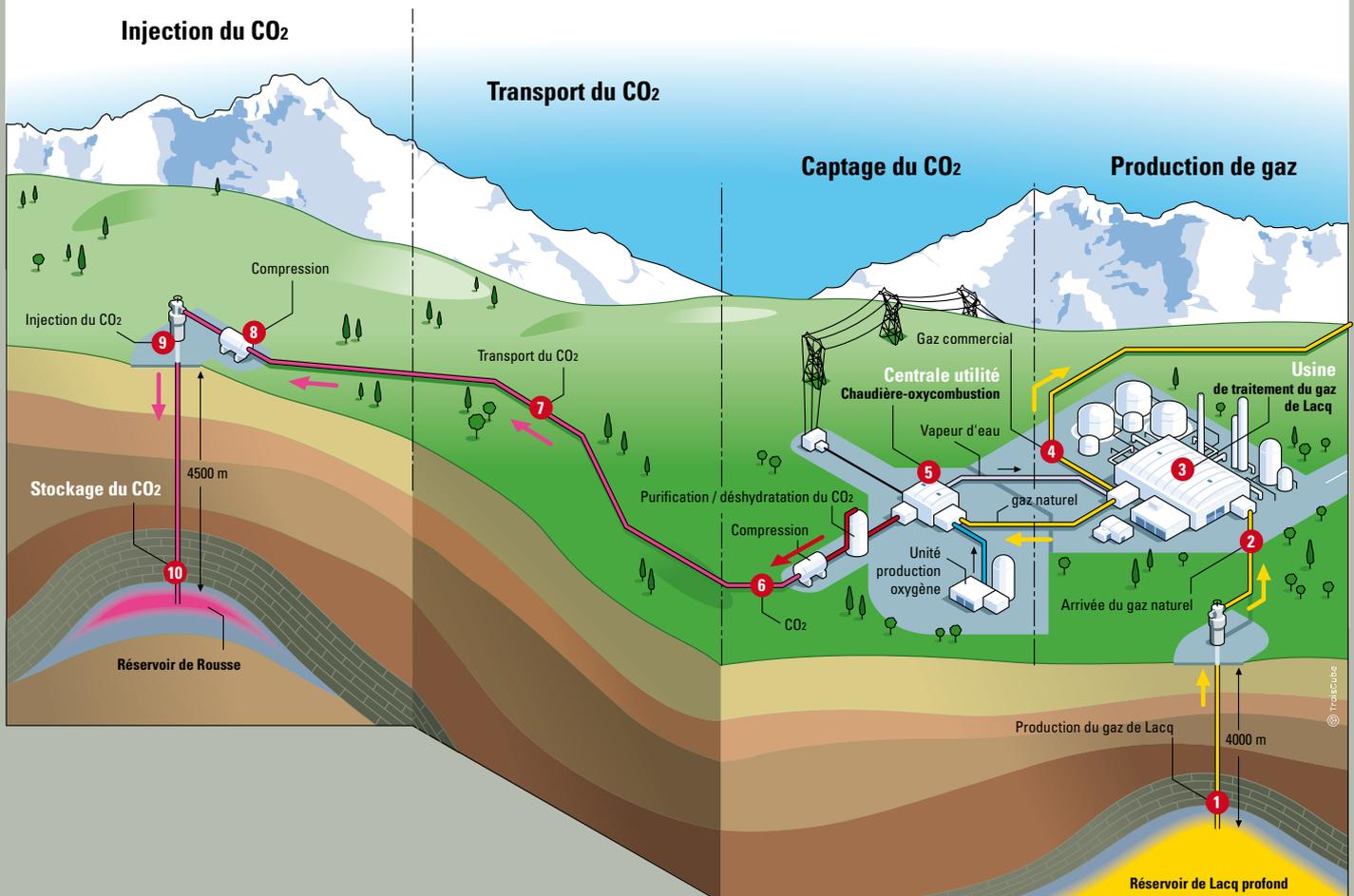


En particulier, comme il a été rappelé dans le chapitre précédent, le site choisi a contenu sans incident du gaz naturel et du CO₂ pendant des millions d'années, naturellement piégé, et le pilote va injecter en deux ans des quantités de CO₂ qui ne représentent en volume, qu'une fraction des gaz qui ont été extraits du gisement ; la pression atteinte à la fin de cette injection sera donc bien inférieure à la pression initiale lorsque le champ contenait du gaz. Le retour du CO₂ dans le gisement qui en a contenu naturellement n'ajoute pas de risque supplémentaire par rapport à l'exploitation normale du gisement de gaz naturel.

Le risque de fuite

Compte tenu des caractéristiques du CO₂, on a vu que le seul risque pour l'homme est la fuite massive et soudaine, pouvant conduire à une concentration trop forte de CO₂ dans l'air. Dans les zones à fort volcanisme, comme en Italie ou dans les montagnes Rocheuses aux Etats-Unis, on recense de nombreuses sources naturelles de CO₂, aux débits parfois élevés. Ces sites permettent de bien connaître le comportement du CO₂ dans ces cas et l'on constate que les accidents sont très rares. Dans la zone de Rouse, non volcanique, il n'existe pas de cheminement naturel pour le gaz.

LE PILOTE DU BASSIN DE LACQ



La catastrophe du Lac Nyos, en 1986, au Cameroun a fait apparaître un risque de libération du CO₂ lié à des conditions géologiques très particulières : la remontée en surface d'un nuage d'un km² de CO₂, formé après le remuement des eaux profondes par un phénomène naturel, provoqua la mort de près de 1700 personnes. Depuis, des équipes françaises ont installé une canalisation qui descend au fond du lac et purge en continu le CO₂.

Les conditions géologiques étaient bien spécifiques : le CO₂ s'était accumulé pendant des décennies par dissolution dans l'eau au fond d'un lac de cratère volcanique à 200 m de profondeur. Le renversement soudain des eaux du lac a libéré ce nuage de CO₂ à l'intérieur du cône du volcan. De manière générale, des processus violents de dégazage en grandes quantités sont improbables en dehors de phénomènes volcaniques.

Les conditions du site de Rousse sont très différentes de celles du Lac Nyos, avec un stockage dans une roche poreuse à 4 500 m de profondeur, protégée par une épaisse couche d'argile. Les scientifiques intègrent toutefois ces risques dans leurs scénarios. Ainsi, à Rousse, une étude sur les conséquences d'un séisme souterrain va également être menée par modélisation et ses résultats seront connus à la mi-2008.



Modélisation par ordinateur de la sismique au centre scientifique et technique Jean Feger (CSJF) de Pau.

Une fuite massive ne pourrait donc pas se produire à travers la roche très peu perméable. Il faut donc imaginer des scénarios particuliers, comme un cheminement du CO₂ à travers une faille encore non détectée ou une rupture de l'étanchéité d'un puits. Dans le cas du réservoir de Rousse, étant donné les caractéristiques du site, connues de Total depuis plusieurs décennies, ce risque est extrêmement faible, mais il doit être, évidemment, pris en compte. Tel est l'objet de la surveillance (décrite ci-après) qui sera mise en place.

La simulation des scénarios d'accident

Différents scénarios d'accident définis en accord avec les pouvoirs publics sont en cours de modélisation. Les ingénieurs de Total vont appliquer, pour les simuler, les technologies les plus récentes développées dans l'industrie pétrolière et gazière. Ils vont également bénéficier de l'expérience accumulée par la communauté scientifique internationale.

Ces scénarios sont testés par simulation informatique. Ces études vont jusqu'à tester le cas d'un accident d'avion sur la tête du puits. Qu'advient-il alors ?



Différents scénarios d'accident définis en accord avec les pouvoirs publics sont en cours de modélisation



La tête de puits qui isole le réservoir de l'atmosphère se casserait, une vanne automatique, située au fond du puits, se fermerait comme un clapet. Cependant, les calculs sont fait en supposant que ce système de sécurité ne fonctionnerait plus. Le CO₂ viendrait alors en communication avec l'atmosphère et s'écoulerait de la roche vers la surface à travers le puits, avec un débit décroissant dans le temps. Des études ont été effectuées pour mesurer le temps de dispersion du gaz et sa concentration maximale dans l'atmosphère. Ces études vont être poursuivies, en tenant compte des reliefs notamment.

Toutes ces études d'impacts figureront dans le dossier réglementaire qui sera soumis en fin d'année 2007 à la Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement, et mis à la disposition du public.

Enfin, le plan existant pour les installations d'hydrocarbures sera adapté aux installations CO₂, et notamment la mise en place de systèmes de détection de CO₂ en surface et en profondeur.

LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT

Les impacts potentiels du projet pilote du bassin de Lacq sur l'environnement sont à rechercher dans le domaine de l'air et dans celui de l'eau.

Pour ce qui concerne la qualité de l'air, le captage du CO₂ aura des impacts positifs. En effet, le projet pilote va permettre de traiter les émissions de CO₂ de la chaudière qui auraient été, sinon, rejetées dans l'atmosphère. Le gaz stocké dans le réservoir sera composé à plus de 90% de CO₂. Le reste sera composé d'oxygène, d'azote et d'argon, qui seront injectés avec le CO₂.



SYNTHÈSE

La fuite accidentelle est le risque principal du stockage de CO₂. Les chercheurs de Total appliquent, pour les études de risques et les simulations à long terme, les technologies déjà éprouvées avec efficacité dans l'industrie pétrolière et gazière.

Concernant l'eau, il est à noter que le CO₂, sous forme de gaz, est un élément très stable, qui réagit donc peu avec les minéraux. Cependant, lorsqu'il se dissout dans l'eau, il produit une solution modérément acide - l'acide carbonique - qui peut réagir avec les minéraux présents dans le sous-sol, notamment les carbonates. Dans le cas de Rousse, le réservoir de gaz naturel est carbonaté et ne contient que très peu d'eau. Il a contenu du CO₂ en grande quantité depuis la formation du gisement il y a plusieurs dizaines de millions d'années. Ce CO₂ « natif » était donc en équilibre chimique avec les minéraux dans lequel il était piégé. Lorsque le CO₂ sera injecté depuis la surface, les quantités de CO₂ remises dans le réservoir resteront voisines des quantités extraites en même temps que le gaz naturel. Aucune difficulté de compatibilité avec la roche ne devrait donc se poser. Cependant, ce point fera l'objet d'un suivi spécifique notamment au voisinage du puits. Le CO₂ ne sera pas en contact avec les nappes phréatiques ; celles-ci sont beaucoup moins profondes que le réservoir et séparées de la formation par plus de 2 000 m de couches d'argile et de marnes étanches. Des expériences et des simulations sont d'ailleurs déjà engagées sur cette couverture pour démontrer son étanchéité dans



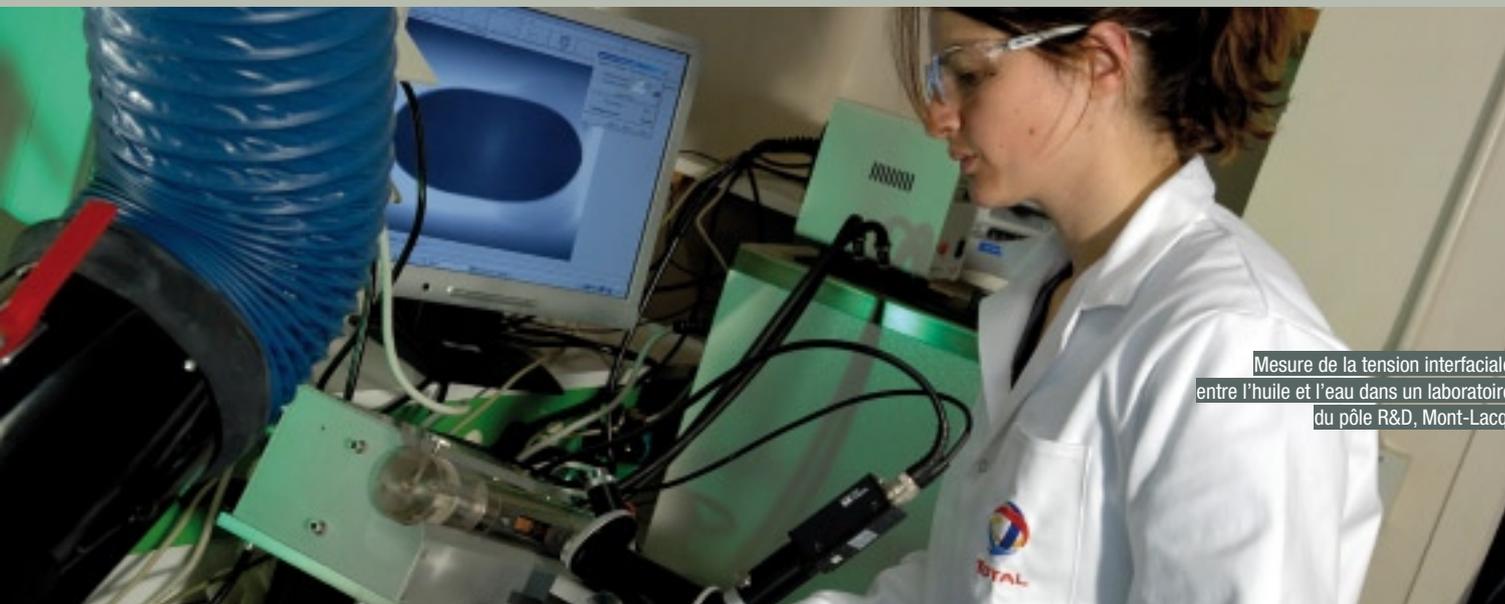
TRANSPORT DU CO₂ PAR GAZODUC : LES EFFETS SUR LA SANTÉ ET L'ENVIRONNEMENT

Selon le rapport du GIEC de 2005, les effets locaux liés au transport de CO₂ par gazoduc pourraient être équivalents ou inférieurs à ceux qu'entraîne le transport d'hydrocarbures par des oléoducs déjà en service. Pour les gazoducs de transport de CO₂ existants, qui sont pour

la plupart situés dans des zones peu peuplées, le nombre d'accidents signalé par kilomètre de gazoduc est très faible et se compare au nombre relevé pour les oléoducs. Cependant, comme on l'a vu au préalable, des précautions sont à prendre pour éviter des relâchements soudains et

importants de CO₂. Il s'agit des précautions habituelles du transport des produits chimiques ou des hydrocarbures : organisation en tronçons (pour limiter les volumes éventuellement relâchés en cas d'accidents), protection contre la surpression, systèmes de détection de fuites, etc.

toutes les situations possibles. On peut rappeler utilement que les risques induits par le pilote tant en matière de sécurité, que d'environnement sont très inférieurs par leur nature aux risques maîtrisés par Total sur le site de Rousse ou l'extraction du gaz a été faite depuis 50 ans avec un gaz très toxique et corrosif à des pressions et volumes beaucoup plus élevé. Pour ce qui concerne l'évaluation des risques, leur potentiels et la mise en place des mesures de prévention et de protection, Total a décidé d'appliquer exactement la même méthodologie que pour se activités d'extraction.



Mesure de la tension interfaciale entre l'huile et l'eau dans un laboratoire du pôle R&D, Mont-Lacq.

Ces études sont soumises aux autorités qui délivrent les autorisations d'exploitation. Tous les scénarios d'accident sont testés par simulation et modélisation.

LES RETOMBÉES SOCIO-ÉCONOMIQUES, SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES DU PILOTE

Les retombées socio-économiques

Dans un premier temps, les chantiers pour la construction et l'installation des nouveaux équipements vont s'étaler sur neuf mois et nécessiteront le travail d'environ 100 personnes, issues d'entreprises locales. Le pilote lui-même, qui attire déjà l'intérêt du monde scientifique et technologique international, occasionnera la visite de nombreux scientifiques et industriels sur le site, au profit de l'économie locale. L'exploitation du pilote sera assurée par les équipes de Total Exploration & Production France basées à Lacq et qui réalisent l'ensemble des opérations liées à l'extraction et à la production des hydrocarbures en France. Un suivi sera également effectué par les équipes du Centre scientifique et technique Jean Feger, (du nom de l'ingénieur qui découvrit le gisement de Lacq) à Pau. Le Centre rassemble quelque 1 700 spécialistes des métiers de l'exploration-production, au service des filiales et des partenaires de Total dans le monde entier. Le pilote du bassin de Lacq contribue avant tout au développement des connaissances et de la technologie du captage et stockage géologique en



Le travail d'environ 100 personnes, issues d'entreprises locales



France et dans le monde. Les retombées après le pilote dépendent, évidemment, de ses résultats.

> Les applications potentielles de l'oxycombustion sont très importantes dans le traitement de fumées des chaudières d'unités industrielles et la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Au-delà des applications potentielles au sein du groupe Total, il existe des milliers de chaudières comparables à celles de Lacq susceptibles d'être converties en oxycombustion. Par ailleurs, la chaîne complète du captage-stockage devra être mise en œuvre dans les prochaines décennies à une très grande échelle, notamment pour les nouvelles centrales électriques au charbon et au gaz naturel.



Vue 3D d'un réservoir, dans la salle de géovision du CSTJF.

Dans ce contexte, le bassin de Lacq présente des atouts incontestables qui seront mis en valeur par le pilote.

Les retombées scientifiques et technologiques

Ces retombées constituent la partie majeure de l'intérêt du projet. Le pilote va permettre de collecter un grand nombre de données expérimentales indispensables à l'amélioration de cette technologie. Outre les données relatives à l'oxycombustion, jamais testée à cette échelle, la partie transport et stockage va permettre notamment



Collecter un grand nombre de données expérimentales indispensables



de valider et de développer des modèles de simulation, des outils de surveillances et des méthodes d'analyse de risque.

Concernant le partage de ces résultats, les collaborations mises en place durant la phase de construction avec différents instituts et universités, ainsi que les présentations au Comité de suivi scientifique, permettront des synergies scientifiques et des échanges de connaissances.

Puis, durant la phase d'injection et d'exploitation des résultats, les données seront accessibles aux chercheurs et au public selon un cadre qui reste à préciser.

SYNTHÈSE

Les retombées socio-économiques directes du pilote dépendent des résultats de l'essai. A terme, et en fonction des résultats d'autres pilotes dans le monde, des milliers d'installations pourraient bénéficier du dispositif de captage et de stockage du CO₂. Les travaux de construction vont créer une activité génératrice d'une centaine d'emplois dans les entreprises de la région.



Vue des installations de l'usine de Lacq.



les conditions de la mise en œuvre



Les conditions de la mise en œuvre du pilote sont liées au financement du projet, à l'obtention des autorisations administratives, à sa surveillance, à son suivi scientifique, et à la concertation proposée par Total.

LE FINANCEMENT DU PILOTE

Le projet de pilote est financé essentiellement par Total, sans financement public. Son coût s'élève à environ 60 millions d'euros.

Il comprend principalement :

- > A Lacq, la construction de l'unité de séparation de l'oxygène de l'air et de l'unité de compression du CO₂, l'utilisation de nouveaux brûleurs, dont la mise au point a été réalisée en partenariat avec Air Liquide, ainsi que des modifications de la chaudière pour une combustion au mélange Oxygène / CO₂.
- > A Rouse, la reprise du puits et une unité de compression du CO₂ avant injection.

MAÎTRISE DES RISQUES ET SURVEILLANCE DU SITE

Pour maîtriser les risques, Total appliquera exactement la même méthodologie que pour ses activités de production de gaz, en ce qui concerne l'évaluation des risques et la mise en place de mesures

de prévention et de protection. Cependant, cette expérience de captage-stockage intégrée est une première pour un certain nombre de ses caractéristiques. L'adaptation des mesures de surveillance du site pendant cette phase d'expérimentation est un objectif prioritaire pour Total et sera soumise à l'autorisation de la Direction régionale de l'industrie, de la recherche et l'environnement.

Pendant le pilote

Plusieurs technologies basées sur la surveillance et le contrôle, employées avec succès lors de l'exploitation du gaz de Lacq, vont être utilisées à Rouse. Des capteurs vont être répartis à la tête du puits et en fond de puits pour contrôler les paramètres de fonctionnement (pression, température, concentration en CO₂).

Un enregistrement microsismique en continu va être effectué pour « écouter » les événements sismiques. L'objectif est de vérifier les connaissances théoriques dans ce domaine et de démontrer qu'il n'y a pas de mouvement souterrain lié à l'injection et aucune fracturation induite par cette injection pouvant favoriser une fuite.

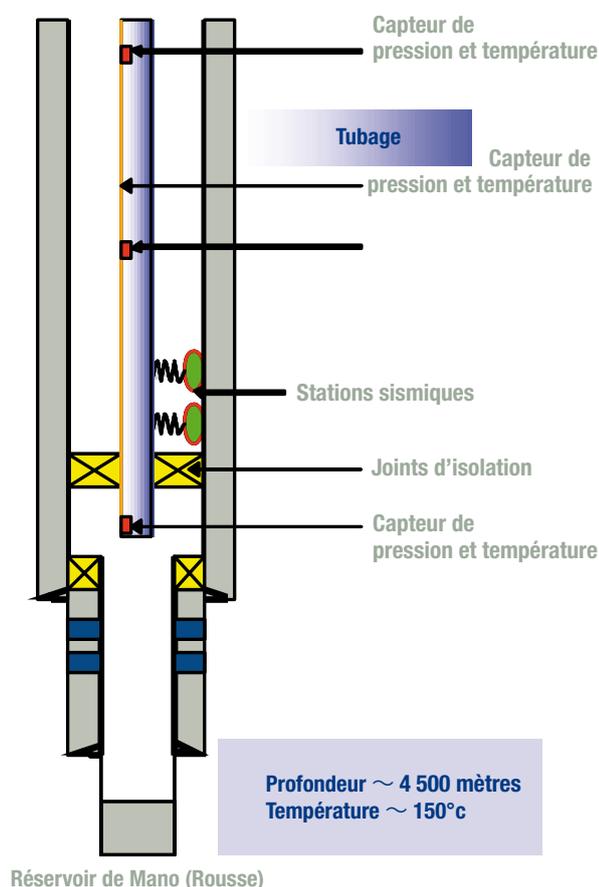
Ces techniques nécessitent l'installation de sondes micro-sismiques dans le sol, à quelques dizaines de mètres de profondeur, et réparties à la verticale du stockage, à quelques kilomètres autour du puits injecteur. Les données seront enregistrées en continu et stockées. Leur interprétation pourra être revue par des laboratoires ou universités extérieurs au projet.

Un état des lieux et un suivi régulier des émanations naturelles du CO₂ en provenance du sol seront aussi effectués avant, pendant et après l'injection pour établir un niveau de référence.

Les mesures seront poursuivies pendant et après l'injection. Une fois l'injection terminée, le puits sera maintenu actif et la formation sera accessible pour des mesures *in situ* (échantillons de fluide, de roche, ou de ciments).

Quant aux mesures de garantie à prendre en fin d'exploitation, elles ne seront définies avec la Direction régionale de l'industrie de la recherche et de l'environnement, qu'après examen des études menées pendant et après injection, et après définition des risques résiduels et des systèmes de surveillance à maintenir.

MONITORING DU PILOTE D'INJECTION ET DE STOCKAGE DU CO₂.



La surveillance du site à long terme

La durée de la surveillance adaptée à un stockage de CO₂ n'est pas encore, de manière générale, une question tranchée avec précision. Le pilote de Rousse est prévu pour une durée de deux ans, mais va permettre de tester les technologies de surveillance, au-delà de la période d'injection, pour établir des protocoles et des normes fiables à long terme. En tout état de cause, les installations continueront d'être surveillées et exploitées par les équipes de TEPF, dans le cadre de ses activités opérationnelles d'extraction et de production.

LE COMITÉ DE SUIVI SCIENTIFIQUE

Pour cette expérience très innovante, Total s'entoure des compétences de la communauté scientifique publique : Universités, CNRS, Institut français du pétrole (IFP), Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), Centre de recherches sur la géologie de matières premières minérales et énergétiques de Nancy (CREGU).

En outre, un Comité de suivi scientifique, réunissant les autorités publiques et les experts français parmi les plus éminents et non engagés dans le projet, a été créé.

LE COMITÉ DE SUIVI SCIENTIFIQUE EST ACTUELLEMENT COMPOSÉ DES PERSONNALITÉS SUIVANTES :

Jean-Louis Caruana,
représentant le ministère de
l'Écologie, du Développement et
de l'Aménagement durables.

Vincent Courtillot,
directeur de l'Institut physique du
Globe de Paris, (IPGP), et membre
de l'Académie des Sciences,
section sciences de la Terre.

Christian Fouillac,
directeur de la Recherche et du
Développement du Bureau de
recherches géologiques et minières
(BRGM), représentant français au
Carbon Sequestration Leadership
Forum.

Philippe Geiger,
sous-directeur de la Direction
des ressources énergétiques et
minérales (DIREM) au ministère de
l'Écologie, du Développement et de
l'Aménagement durables.

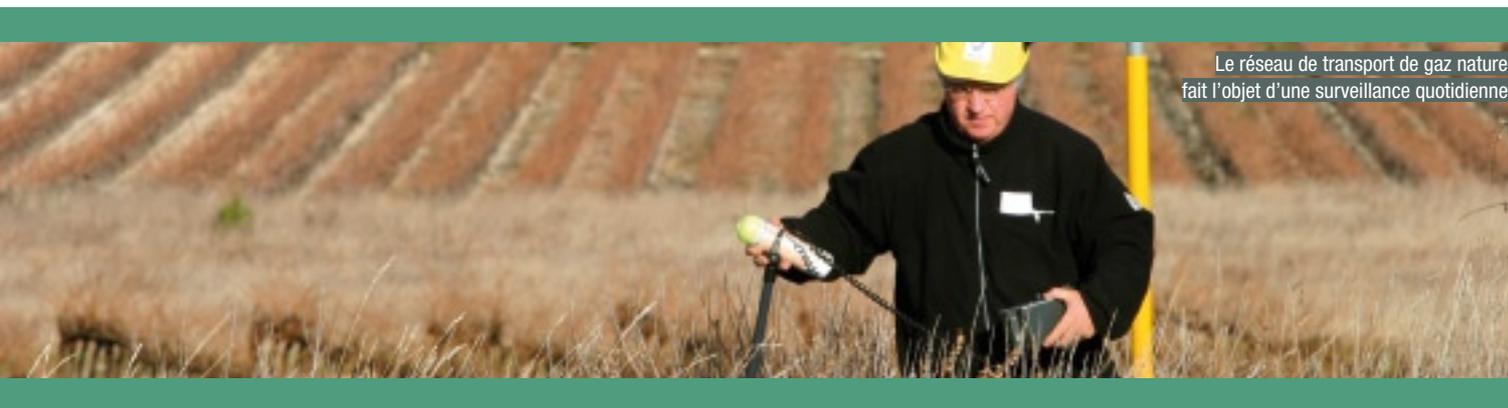
François Moisan, responsable
de la Direction exécutive, Stratégie
et Recherche de l'Agence de
l'environnement et de la maîtrise
de l'énergie (ADEME).

Michel Petit,
membre de l'Académie des
Sciences, section sciences de la
Terre.

Jacques Pironon,
animateur du réseau CO₂ du CNRS,
Directeur de recherche au CNRS.

Philippe Ungerer,
directeur scientifique, Institut
français du pétrole (IFP).

**Ce Comité pourrait être
complété d'experts d'autres
pays, pour donner au suivi
du projet une dimension
internationale.**



Le réseau de transport de gaz naturel
fait l'objet d'une surveillance quotidienne.

Il est chargé d'émettre des avis, d'accompagner Total dans la prise en compte des enjeux scientifiques et technologiques, en particulier au moment de la phase de stockage. Il permet aussi de donner un bon niveau de retour d'information du pilote vers le monde académique, permettant à tous de tirer le meilleur parti de l'opportunité d'envergure présentée par le pilote CO₂ de Lacq, et d'identifier des opportunités de collaborations susceptibles de naître autour ou au-delà du pilote entre les acteurs impliqués dans le captage et le stockage géologique. Le Comité s'est déjà réuni en mai 2007.

De son côté, Total s'est engagé à présenter au Comité les études et les mesures prévues, à lui fournir régulièrement l'état d'avancement du programme, des études et des résultats, de façon à ce qu'il puisse émettre des avis et donner des conseils à l'équipe projet.

LA CONCERTATION : SES OBJECTIFS ET SES MODALITÉS

Après des études préliminaires menées en 2006, Total a annoncé, le 8 février 2007, le lancement en France, dans le bassin de Lacq, du premier projet intégré de captage et de stockage géologique du CO₂.



**Débattre
ouvertement
des différents sujets
qui intéressent
et préoccupent
les acteurs locaux
et la population**



Dans ce contexte, la concertation sur le pilote organisée à la fin 2007 à l'initiative de Total, en amont des procédures d'autorisations administratives et d'enquêtes publiques, s'inscrit dans la volonté du Groupe d'informer largement, de répondre à toutes les questions et de débattre ouvertement des différents sujets qui intéressent et préoccupent les acteurs locaux et la population. Cela sous le regard d'experts scientifiques extérieurs à l'entreprise. Cette concertation se déroule de la mi-octobre au début décembre au travers de réunions publiques et sur la base d'un dossier sur le projet et d'une synthèse diffusés largement, d'une exposition avec des registres pour recueillir les avis, et d'un site internet. Les compte-rendu des réunions seront rendus publics et un bilan de l'ensemble des débats et points de vue exprimés sera établi et rendu public à la suite de la concertation afin d'éclairer les décisions de Total qui suivront.

LE CALENDRIER PRÉVISIONNEL DU PILOTE

Au terme de deux années d'études, d'une phase de concertation préalable et d'une enquête publique, et sous réserve des autorisations administratives nécessaires, les premières injections de CO₂ devraient intervenir à la fin 2008.

Les autorisations administratives qui sont demandées portent sur une période d'essai de deux ans. Une fois les essais réalisés, s'ils sont satisfaisants, les résultats devront être exploités pour permettre d'optimiser la conception du procédé, avant une utilisation éventuelle à plus grande échelle.

La suite du projet n'est pas définie à ce stade. En particulier, la chaudière peut, soit revenir à une utilisation normale, soit faire l'objet d'une nouvelle phase d'essais.



Les premières injections de CO₂ devraient intervenir à la fin 2008



Pour ce qui concerne le stockage, la mise en place d'un système de surveillance à long terme est prévue dans le cadre du projet. Une prolongation de l'injection est possible car la capacité théorique du réservoir est au moins quatre fois plus importante que la quantité de CO₂ prévue pour être injectée dans le cadre du pilote. De même, d'autres réservoirs de stockage pourraient être envisagés. Dans tous les cas, si une suite est donnée au pilote, elle nécessitera des études, une concertation, le lancement d'un nouveau projet, et, bien entendu, des autorisations administratives.

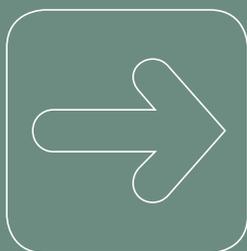
SYNTHÈSE

Un Comité de suivi scientifique, rassemblant les autorités publiques et les experts français parmi les plus éminents et non engagés dans le projet, a été créé. Il accompagnera le pilote pendant toutes ses phases.

PLANNING DU PILOTE DE CAPTAGE ET STOCKAGE GÉOLOGIQUE DE CO₂ DANS LE BASSIN DE LACQ

ÉTAPES DU PROJET	2006			2007			2008				
	J	F	M	M	J	J	A	S	O	N	D
Études conceptuelles et d'avant-projet	■										
Accord interne Total 12/12/2006											★
Étape d'information publique					■						
Concertation								■			
Études d'ingénierie					■	■	■				
Construction de l'unité d'extraction d'oxygène							■	■	■	■	■
Construction de l'unité de captage/compression/transport du CO ₂							■	■	■	■	
Intervention sur puits injecteur du CO ₂										■	
Consultations/préparation du dossier réglementaire					■	■	■	■	■	■	■
Demande d'autorisation d'exploiter										■	■
Enquête publique (date à confirmer)										■	
Autorisation administrative											★
Démarrage injection du CO ₂											★

l'engagement de Total en matière de développement durable



La politique de développement durable de Total s'est fortement structurée ces dernières années, après la création d'une Direction Développement durable et Environnement, en janvier 2002. Cette dernière a notamment pour missions de susciter, animer, soutenir et coordonner les actions des différentes entités du Groupe et de piloter des projets sur des thèmes communs tels que l'impact de ses activités sur l'eau, l'air et les sols et le changement climatique.

Souhaitant être l'un des partenaires de la société civile dans son ambition collective de développement durable, Total articule sa contribution autour de trois axes :

- > maîtriser et réduire l'impact de ses activités sur les personnes et l'environnement
- > contribuer au développement économique et social des parties prenantes
- > anticiper les besoins de demain.

En France, le Groupe a décidé d'investir, d'ici à 2010, 500 millions d'euros dans les secteurs suivants du développement durable :

- > La lutte contre le changement climatique (*dont le projet pilote du bassin de Lacq*)
- > Le développement des énergies renouvelables (*photovoltaïque, énergie de la houle et des vagues notamment...*).
- > Le développement des biocarburants et des produits issus de la biomasse.
- > Les programmes de Recherche et Développement portant sur de nouveaux procédés de production de carburants (hydrocarbures liquides à partir de biomasse, de charbon ou de gaz).
- > Les développements technologiques sur l'efficacité énergétique dans le système de production du Groupe (*additifs dans essences, lubrifiants, plastiques*).
- > La recherche sur les nouvelles motorisations (*dont le système hydrogène - pile à combustible*).



DES INVESTISSEMENTS POTENTIELS DE PLUSIEURS CENTAINES DE MILLIARDS D'EUROS

Il est délicat d'avancer aujourd'hui une estimation du marché futur lié au captage et au stockage du gaz carbonique puisque celui-ci est, et restera, fortement dépendant des décisions politiques, notamment sur les engagements post-Kyoto. Toutefois, on peut noter qu'il existe

aujourd'hui dans le monde environ 7 000 sites industriels émettant plus de 100 000 tonnes de gaz carbonique par an. Environ 5 000 sont des centrales électriques. Sur une période de vingt ou trente ans, les investissements additionnels liés à la mise en œuvre de technologies

de captage et de stockage pourraient s'élever à plusieurs centaines de milliards d'euros au niveau mondial (dont une grande partie dans des pays comme l'Inde ou la Chine, où est construite une grande partie des nouvelles usines et centrales électriques).

SYNTHÈSE

D'ici à 2010, Total consacrera 500 millions d'euros à diverses opérations permettant de concilier efficacité et diversification énergétiques d'une part, et respect de l'environnement, d'autre part. Parmi ces projets, figure celui du pilote de captage, transport et stockage du CO₂ du bassin de Lacq.

La maîtrise des émissions de gaz à effet de serre provenant de ses propres structures constitue un axe important des actions de la Direction du développement durable, tout comme la réduction des émissions d'oxydes d'azote et de dioxyde de soufre ou encore la minimisation de l'impact des activités de Total sur les écosystèmes fragiles.

En partenariat avec de nombreux instituts et universités, industriels et scientifiques, la branche Exploration & Production du Groupe a mis en place, dès 2001, un programme de Recherche et Développement, consacré à la maîtrise des gaz résiduels, notamment le CO₂.

A plus long terme, Total a pour objectif de diversifier son offre énergétique et de trouver des solutions permettant de concilier la satisfaction des besoins énergétiques et la lutte contre le changement climatique.



ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. Etablissement public français qui participe à la mise en œuvre des politiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

AIE : Agence internationale de l'énergie (ou IEA, en anglais). Créée en 1974 à la suite du premier choc pétrolier, cette organisation internationale a pour but d'assurer la sécurité des approvisionnements énergétiques, tout en contribuant à la protection de l'environnement et à la réflexion sur un système énergétique mondial durable dans le cadre de la lutte contre le changement climatique.

Aquifère : Couche de terrain suffisamment poreuse (pour contenir de l'eau) et perméable (où l'eau puisse circuler librement). De nombreux aquifères sont salins et impropres à la consommation d'eau potable.

Bassin de Lacq : Le bassin de Lacq est au cœur d'une aventure industrielle directement liée à la découverte et à l'exploitation du gisement de gaz naturel de Lacq à partir de 1951. Le complexe industriel alors créé était centré au départ sur le gaz, avant de se diversifier pour devenir aujourd'hui un pôle industriel majeur dans le domaine de la chimie fine et, bientôt, de la chimie « verte ».

Biomasse : Première source d'énergie renouvelable de la Planète, la biomasse est constituée de l'ensemble des matières organiques issues du vivant. Elle peut servir non seulement à produire de la chaleur et de l'électricité mais aussi des biocarburants et des bioproduits, limitant par son caractère renouvelable les émissions de gaz à effet de serre.

Brûlage : La production de pétrole s'accompagne en général d'une production de gaz associé. Dans la plupart des cas, ce gaz est valorisé pour des usages industriels ou domestiques. Quand aucune solution économique viable n'a pu être trouvée, ce gaz est brûlé : c'est ce que l'on appelle le brûlage (ou torchage).

Captage et Stockage du CO₂, CSC : voir dossier.

Carbonate : En chimie, désigne un ion formé d'un atome de carbone et de trois atomes d'oxygène portant une double charge électrique négative, ainsi qu'un composé chimique comprenant cet anion. Les roches carbonatées sont des roches sédimentaires composées d'une grande proportion de carbonate, souvent du carbonate de calcium (CaCO₃).

Efficacité énergétique : L'efficacité énergétique dans des installations industrielles consiste pour l'essentiel à diminuer les consommations d'énergie inhérentes aux procédés. Il s'agit aussi, pour une entreprise de l'énergie, de fournir à ses clients des produits « économiseurs » d'énergie et de les aider à mieux gérer leur consommation individuelle.

Émissions anthropiques : Émissions de gaz à effet de serre consécutives aux activités humaines.

EOR (Enhanced Oil Recovery) : Technique de récupération améliorée du pétrole, dite aussi récupération tertiaire, qui consiste à injecter du CO₂ dans un gisement pour récupérer davantage de pétrole qu'au moyen des méthodes traditionnelles. Une partie du CO₂ reste ainsi stockée dans le gisement.

Fin de vie (gisement en) ou gisement dépleted : Un gisement est en fin de vie dès que le pétrole ou le gaz commencent à coûter plus cher à produire que ce qu'ils rapportent à la vente. En général, cela se produit à cause de la baisse de production qui accompagne la diminution de pression du gisement, ou quand la proportion d'eau produite augmente rapidement.

Gaz à effet de serre (GES) : Gaz dont les propriétés physiques sont telles que leur présence dans l'atmosphère contribue à un effet de serre à la surface de la Terre. Les principaux GES sont le dioxyde de carbone, ou gaz carbonique, le méthane, le protoxyde d'azote, l'hydrofluorocarbure, le polyfluorocarbure et l'hexafluorure de soufre.

Gaz résiduels : Gaz associés à la production de pétrole et de gaz qui ne peuvent être valorisés.

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (en anglais, IPCC). Créé en 1988 et placé sous l'égide de l'ONU, il a pour vocation de faire le point sur les connaissances scientifiques ayant trait au climat. Un réseau planétaire de quelque 2 500 scientifiques est ainsi chargé d'estimer les risques de changement climatique liés aux émissions de GES et projette les scénarios d'évolution des climats d'ici à la fin du XXI^e siècle. Il formule et évalue des stratégies possibles de prévention, d'adaptation et de réduction des changements climatiques. Le GIEC est co-lauréat du Prix Nobel de la Paix 2007.

Huiles lourdes : Les huiles lourdes sont aussi du pétrole ; mais à la différence du « pétrole conventionnel », que l'on exploite facilement car il se trouve sous forme liquide, ces huiles se caractérisent par une densité et une viscosité élevées.

Oxycombustion : voir dossier.

Postcombustion : voir dossier.

Précombustion : voir dossier.

Protocole de Kyoto : Traité international signé en 1997 et entré en vigueur le 16 février 2005, le protocole de Kyoto propose l'institution d'un calendrier de diminution des émissions de six gaz à effet de serre. 168 pays – dont 34 pays industrialisés – ont ratifié. D'ici à 2012, les pays industrialisés signataires doivent réduire leurs émissions de 5,2 % par rapport à 1990. Les pays en développement ont l'obligation de mesurer leurs émissions de GES, mais pas d'objectifs quantifiés.

Sables bitumineux : Les sables bitumineux ou pétrolifères sont un mélange de sable, d'eau, d'argile et de bitume brut. Pour récupérer le bitume, il faut donc le séparer de l'eau, de l'argile et du sable.

Solvant : Liquide ayant la propriété de dissoudre et de diluer d'autres substances sans les modifier chimiquement et sans lui-même se modifier. L'eau est le solvant le plus courant.

Stockage de CO₂ : voir dossier.

Crédit Photos : Mireille Gaspard, Photothèque Total, Marco Dufour, Frederic Atlan, Marc Roussel, Philippe Schaff, (DR. Tous droits réservés Total), Sipa Press, Statoil.

Coordination : Guy Zahan, Direction de la communication

Rédaction : C&S Conseils

Conception-réalisation : Parimage

Total S.A. - Octobre 2007 - Imprimé avec des encres végétales sur papier recyclé sans chlore.



TOTAL

Total S.A.
Siège social : 2, place de la Coupole
La Défense 6 - 92400 Courbevoie
Capital social : 5 981 907 382,50 euros
542 051 180 RCS Nanterre

www.total.com