

Réduction des émissions de CO₂ :

les réponses IFP

Olivier Appert, Président
Alexandre Rojey, Directeur Développement Durable

Mesdames et messieurs, bonjour,

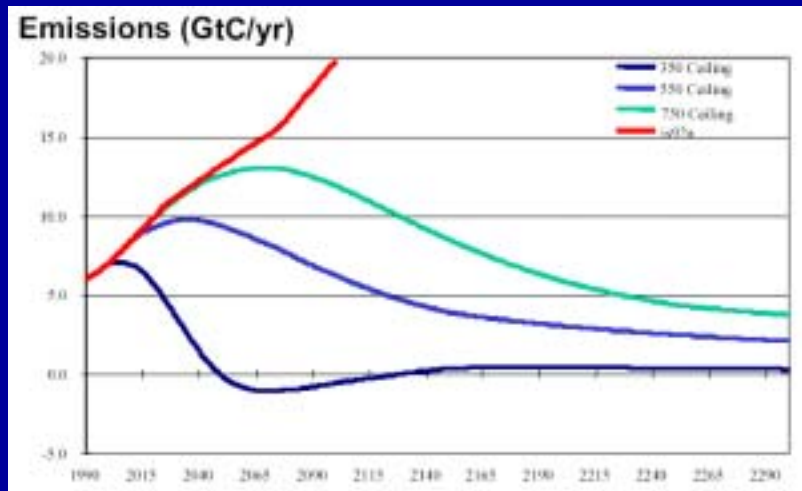
La réduction des émissions de CO₂ constitue à présent une des priorités du programme de recherche de l'IFP et je vais vous présenter la façon dont nous abordons ce problème.

1) Les enjeux

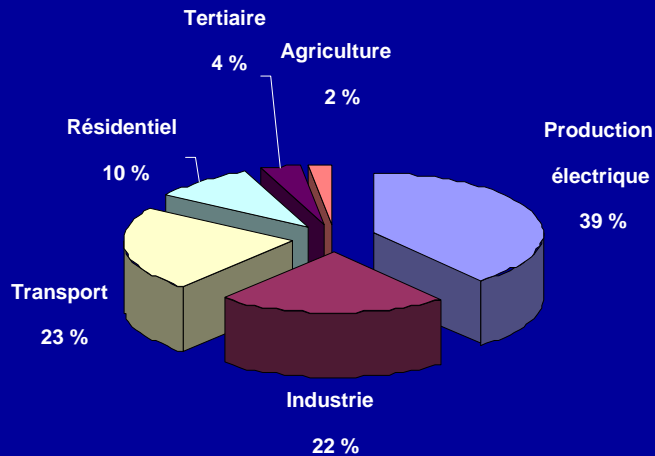
2) Les solutions

3) Les programmes et actions en coopération

Je vais commencer par évoquer les enjeux, puis je vous parlerai des solutions que nous étudions à l'IFP et enfin, je présenterai les programmes et les actions an association, dans lesquels nous sommes impliqués.



Les enjeux sont bien sûr directement liés aux risques de changement climatique qu'entraînent les émissions de CO₂. Selon un premier constat, la température globale au sol a augmenté depuis le début de l'ère industrielle de 0,6 à 0,9 degré. En même temps, on observe une augmentation de la teneur en gaz à effet de serre dans l'atmosphère et notamment en CO₂, dont la teneur est passée de 280 à 360 ppm aujourd'hui. La plupart des experts établissent une corrélation entre ces deux phénomènes. Compte tenu de la progression de la demande en énergie, en l'absence de toutes mesures, cette valeur continuerait à monter régulièrement, entraînant une élévation de température, qui pourrait atteindre selon les scénarios établis par le Groupement International d'Étude du Changement Climatique de 2 à 6°C d'ici la fin du siècle. Pour que la teneur en CO₂ dans l'atmosphère se stabilise à 550 ppm, il faudrait que les émissions en CO₂ passent par un maximum d'ici 2040 et diminuent ensuite.



Source : ENERDATA

Ce diagramme montre comment les émissions de CO₂ se répartissent entre différents secteurs de consommation. On constate que les émissions proviennent surtout du secteur de production électrique des transports et dans une moindre mesure de l'industrie. Il est intéressant de noter que production d'électricité et le transport sont les deux secteurs pour lesquels la demande en énergie progresse le plus rapidement et ce sont donc ceux qui demandent les efforts les plus importants.



Respecter les engagements de **Kyoto** pris en 1997 afin de réduire l'effet de serre

échéance 2008-2012 : réduction de 5.2 % des émissions en CO₂ par rapport à 1990

- *pour l'Europe : réduction de 8 %*
- *pour la France : maintien au niveau de 1990*

Les engagements de Kyoto ont été pris pour apporter un début de solution au problème. Je rappelle qu'ils visent d'ici 2012 à réduire de 5,2 % les émissions de CO₂ par rapport au niveau de 1990, cet engagement se traduisant pour l'Europe par une réduction de 8% et pour la France par un simple maintien au niveau de 1990.

- ***Juillet 2003*** : Directive instaurant un **marché européen des permis d'émission négociables** votée par le Parlement
- ***Début 2004*** : Finalisation des Plans Nationaux d'Allocation
- ***2 périodes*** :
 - **2005 – 2007** : pénalité de 40 €/t CO₂
 - **2008-2012** : pénalité de 100 €/t CO₂

Au niveau européen, ces engagements ont conduit à la mise en place d'une Directive instaurant un marché européen des permis d'émissions négociables. Chaque pays de l'Union européenne doit définir un Plan National d'Allocation, établissant des quotas d'émissions. Au delà des limites fixées par ces quotas, il est nécessaire d'acheter des permis, sous peine d'une pénalité qui atteindrait 40 €/t de CO₂ dans une première phase et 100 €/t au cours d'une deuxième phase, cette pénalité ne dispensant pas par ailleurs de se mettre en conformité.

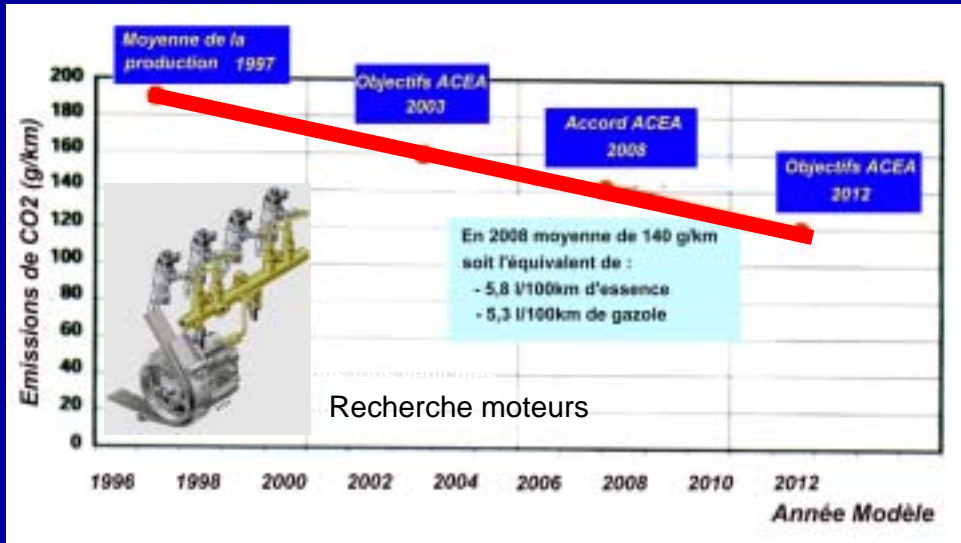
- Réduire la consommation d'énergie
- Réduire les émissions de CO₂ par unité d'énergie produite (H/C accru, biomasse)
- Capturer et séquestrer le CO₂

Quelles sont les solutions ? Elles sont clairement de trois types : tout d'abord réduire la consommation d'énergie, notamment en améliorant les rendements de l'ensemble des installations utilisant ou transformant de l'énergie et en particulier des moteurs à combustion interne équipant les véhicules automobiles.

Ensuite, réduire les émissions de CO₂ par unité d'énergie produite en jouant sur la nature du combustible ou du carburant : ainsi, si on substitue du gaz naturel au charbon on divise par environ deux et demi les émissions de CO₂ par unité d'énergie produite. Si on utilise des biocarburants, la biomasse est produite avec captation de CO₂ dans l'atmosphère et le bilan CO₂ est également amélioré.

Enfin, une troisième voie consiste à capturer et à séquestrer le CO₂ dans le sous-sol.

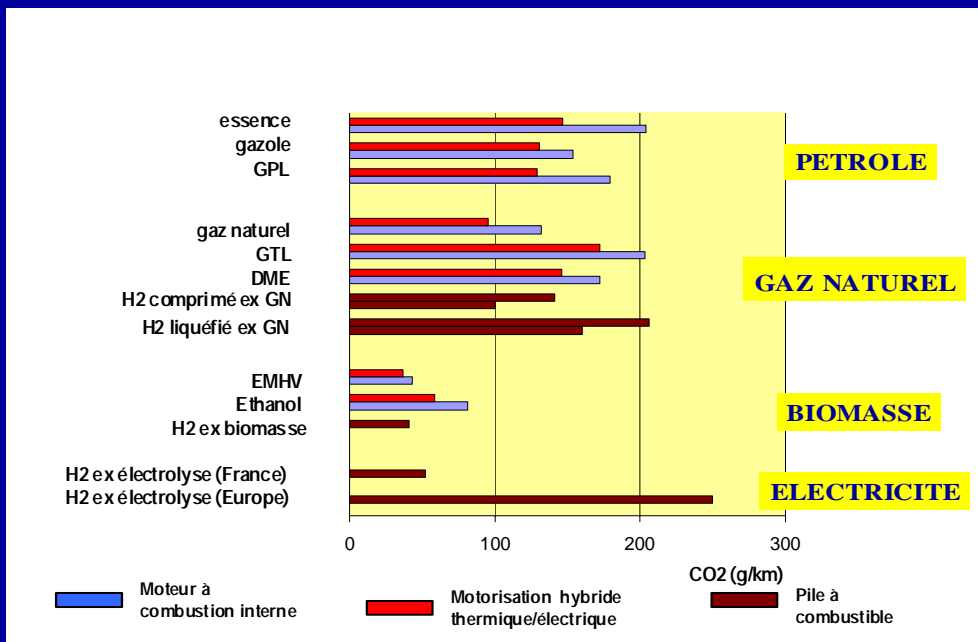
L'IFP intervient dans ces trois domaines.



Dans le domaine du transport, les constructeurs ont pris des engagements importants de réduction des émissions de CO₂, pour passer à 140 g/km parcouru en 2008, ce niveau pouvant être encore abaissé à 120 g/km parcouru en 2012. Toute la difficulté consiste à concilier les augmentations de rendement que ceci implique avec des spécifications de plus en plus sévères concernant la réduction des émissions de polluants. L'IFP travaille sur la conception optimale des moteurs, que ce soit les moteurs essence à allumage commandé ou les moteurs Diesel ; dans l'avenir, de nouveaux modes de combustion, de type combustion homogène, devraient permettre de concilier des rendements très élevés avec des niveaux d'émissions de polluants très faibles.

- GNV
- Biocarburants
- Hydrogène

En ce qui concerne les carburants alternatifs, les voies qui paraissent les plus intéressantes sont le GNV, gaz naturel comprimé pour véhicules, les biocarburants, pour les raisons que j'ai déjà mentionnées et à plus long terme l'hydrogène, même si les obstacles à son utilisation sur véhicules restent pour le moment très importants.



Réduction des émissions de CO2, octobre 2003

Pour obtenir un bilan correct des émissions de CO2, il est nécessaire d'effectuer une analyse complète, du puits à la roue, en prenant en compte l'ensemble des étapes de production et d'utilisation du carburant, ce que l'on appelle une analyse de cycle de vie. C'est ainsi par exemple que l'utilisation de l'hydrogène qui paraît très satisfaisante peut s'avérer pénalisante si sa production s'accompagne d'émissions importantes de CO2.

- Stocker des quantités très importantes de CO₂
- Réduire les coûts
- Assurer la sûreté à long terme du stockage

Une voie nouvelle qui s'ouvre à présent consiste à capturer le CO₂ et à le séquestrer dans le sous-sol.

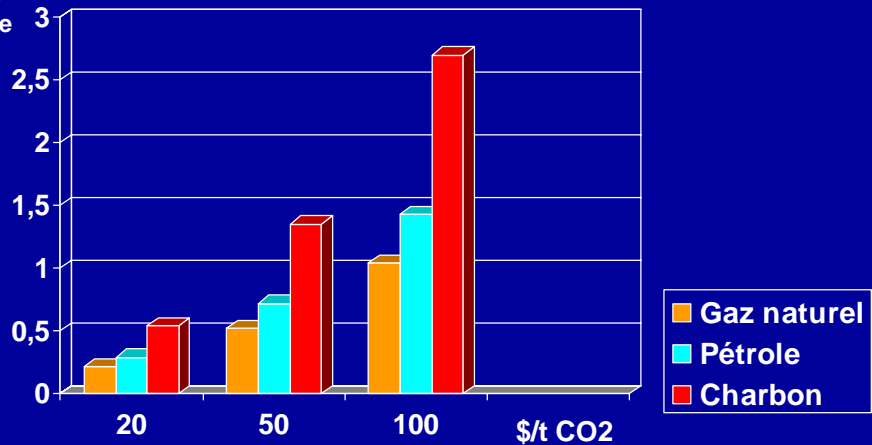
Les difficultés à surmonter sont néanmoins importantes:

- Il faut pouvoir stocker des quantités très importantes de CO₂
- Il faut réduire les coûts, qui restent élevés à l'heure actuelle
- Enfin, il faut pouvoir assurer la sûreté et l'intégrité à long terme du stockage

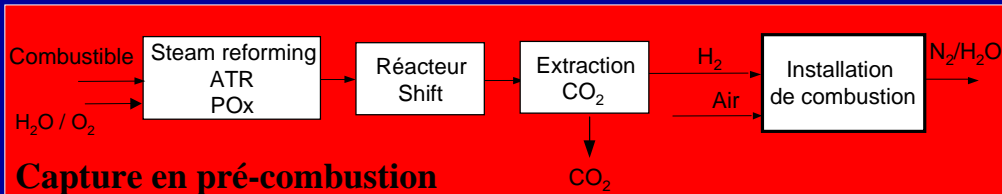
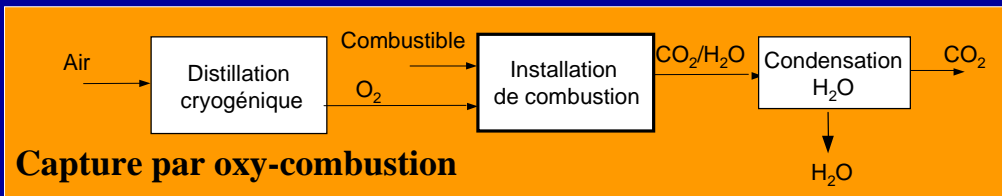
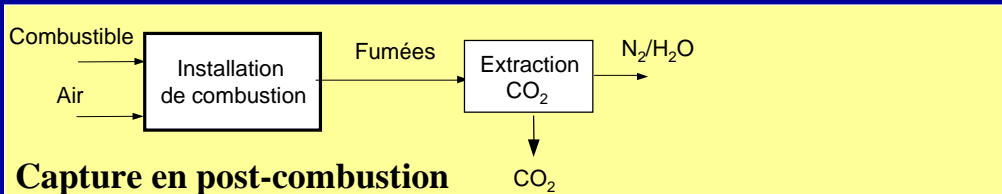


Lorsqu'on examine l'ensemble des coûts qu'impliquent la capture et la séquestration de CO₂, on s'aperçoit que le coût global pour une tonne de CO₂ ainsi récupérée est compris entre 50 et 100 \$ par tonne, le coût de capture représentant la part la plus importante de ce coût global.

Augmentation relative du prix
Base : 30 \$/boe



Un tel coût a un impact significatif sur le prix de l'énergie. Ce diagramme présente l'augmentation relative du prix de l'énergie qui en résulte, sur la base d'un prix de l'énergie de 30\$ par baril équivalent pétrole. On peut voir qu'un coût compris entre 50 et 100 \$ par tonne de CO2 conduit à un facteur pouvant aller de 2 à 4 sur le prix de l'énergie et il est donc nécessaire de ramener ce coût dans la gamme de 20 à 50 \$ par tonne, pour revenir à un impact plus acceptable.



Réduction des émissions de CO₂, octobre 2003

Dans le cas des installations existantes, la capture du CO₂ doit être effectuée sur les fumées. Cette opération est coûteuse en investissement et en frais opératoires et conduit à une réduction significative du rendement énergétique global.

Pour réduire ce coût, une première solution consiste à réaliser la combustion en présence d'oxygène, ce qui permet de séparer le CO₂ plus facilement en sortie. Des travaux de recherche sont menés actuellement et notamment par l'IFP pour transférer directement cet oxygène, plutôt que le fournir par une distillation cryogénique.

Une autre solution consiste à passer par une production de gaz de synthèse et d'hydrogène. L'hydrogène est séparé du CO₂ et peut être ensuite employé dans un cycle combiné pour produire de l'électricité. Un tel schéma est à la base du programme américain FutureGen pour produire de l'électricité de façon propre à partir du charbon et l'IFP est engagé dans le projet européen ENCAP en association avec un ensemble d'industriels, pour mettre au point une telle opération à partir de différents combustibles pouvant être le charbon, le gaz naturel ou encore la biomasse.

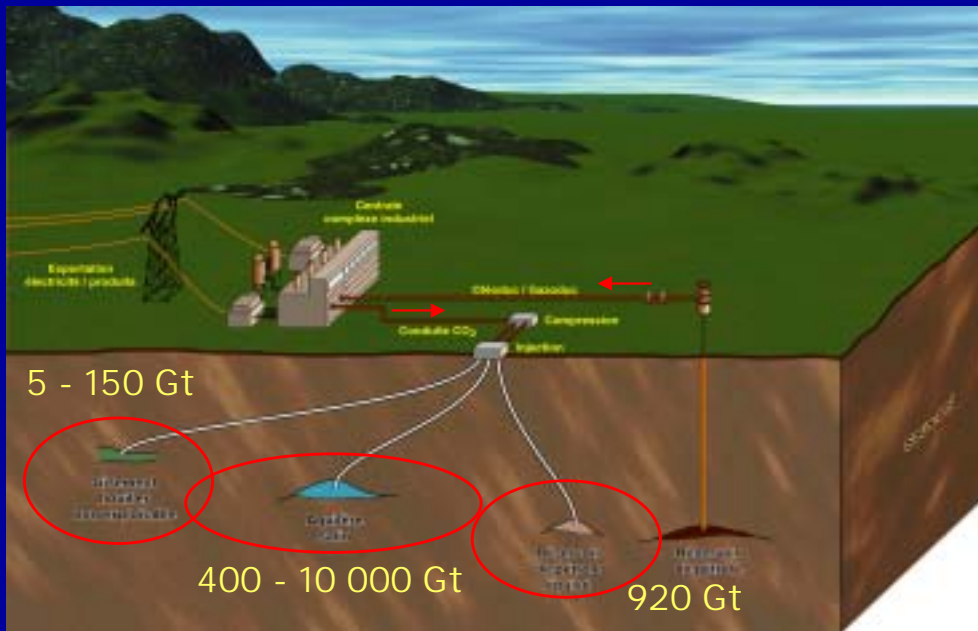


- Gisements d'hydrocarbures déplétés
- Aquifères salins
- Gisements de charbon non exploités

Réduction des émissions de CO₂, octobre 2003

Le CO₂ peut être ensuite injecté dans le sous-sol et stocké à demeure. Nous avons écarté le stockage dans les océans, qui a été également envisagé, mais qui comporte de nombreuses incertitudes. Trois modes de stockage géologique peuvent être envisagés :

- Le stockage dans des gisements de pétrole et de gaz déplétés
- Le stockage dans des aquifères salins profonds
- Le stockage dans des veines de houille inexploitées



Réduction des émissions de CO₂, octobre 2003

Une première question qui se pose est de savoir si le potentiel de stockage est suffisant. En fait, il existe encore une marge d'incertitude relativement importante, mais la réponse paraît positive.

Le potentiel de stockage est d'environ 920 Gt pour les gisements de pétrole et de gaz déplétés, ce qui représente environ la moitié des émissions cumulées de CO₂ d'ici 2050; dans le cas des aquifères salins, même si la fourchette indiquée ici est très large, on peut dire qu'il est considérable. Enfin, dans le cas des veines de houille, il est plus réduit, mais reste significatif.

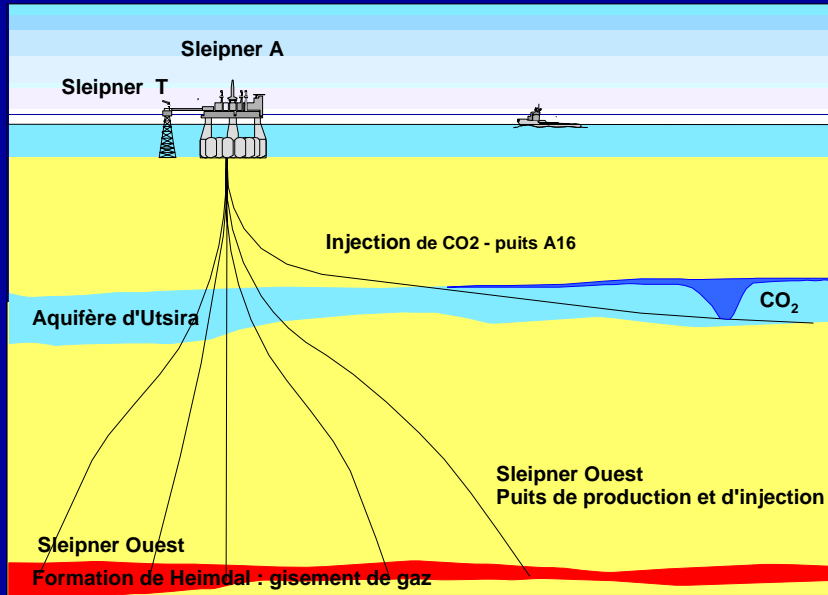
- **Gisements de pétrole et de gaz**
 - + bonne étanchéité
 - + possibilité de récupération assistée (EOR)
- **Aquifères salins**
 - + grande capacité de stockage
 - comportement à long terme encore mal connu
- **Veines de houille**
 - + forte adsorption du CO₂
 - + possibilité de production de gaz de houille (ECBM)
 - faibles perméabilité et injectivité

Quels sont les avantages et les inconvénients de ces trois types de stockage ?

Les gisements de pétrole et de gaz représentent un cas de figure particulièrement intéressant. En effet, d'une part, on peut considérer qu'ils sont très sûrs, étant donné qu'ils ont été étanches aux hydrocarbures pendant des millions d'années. D'autre part, dans le cas d'un gisement de pétrole, il est possible au cours d'une première phase, d'utiliser le CO₂ pour effectuer une opération de récupération assistée.

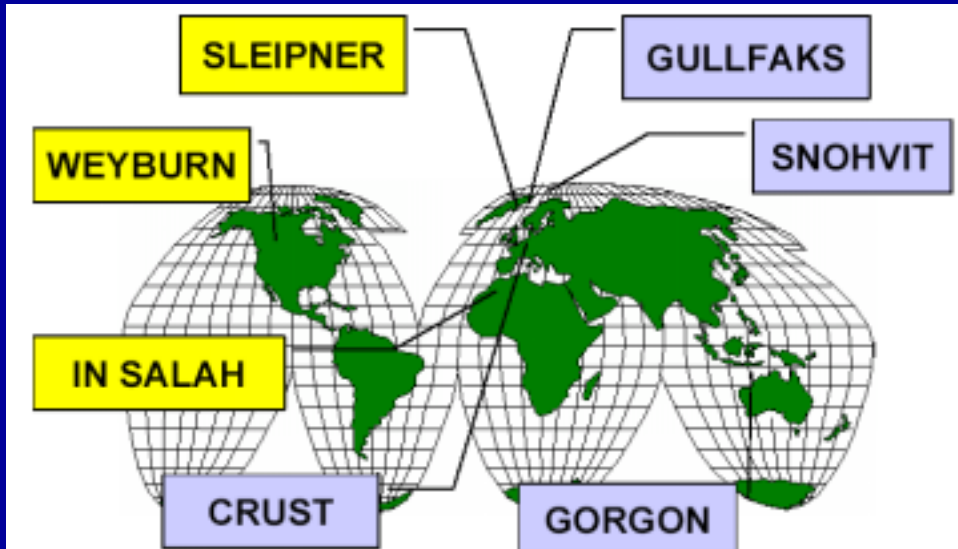
Les aquifères salins sont déjà utilisés pour le stockage souterrain du gaz naturel et permettent une grande capacité de stockage ; on peut considérer néanmoins que leur comportement à long terme nécessite des études complémentaires.

Enfin, les veines de houille, permettent un stockage en principe très sûr, le CO₂ étant fortement adsorbé dans les micropores du charbon ; en outre, il est possible d'utiliser l'injection de CO₂ pour produire du gaz de houille. Par contre la porosité et la productivité restent faibles, ce qui entraîne la nécessité d'un nombre important de puits d'injection.

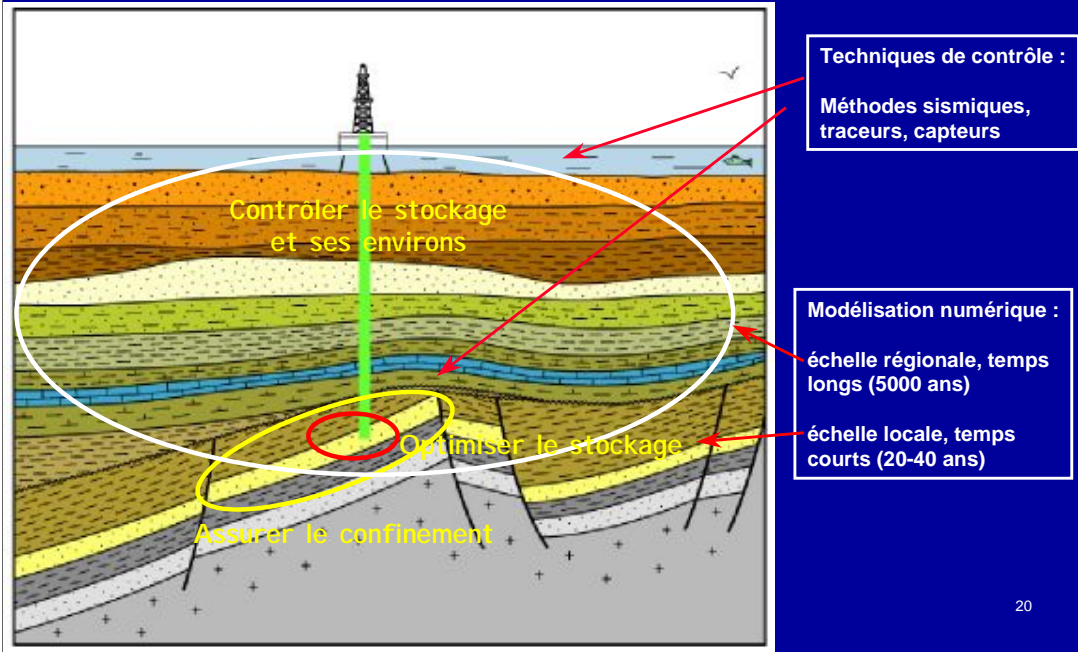


La séquestration géologique du CO₂ est déjà pratiquée. La principale opération en cours est celle qui est menée sur le gisement de Sleipner en Norvège. Un million de tonnes par an de CO₂ provenant du gaz naturel produit est réinjecté dans un aquifère.

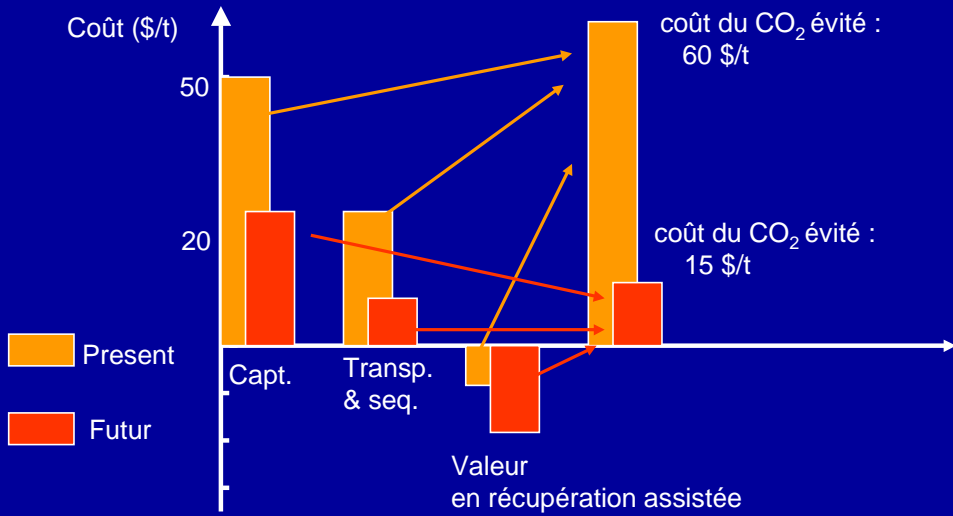
L'IFP est impliqué dans ce programme, en participant notamment à l'interprétation des données obtenues en monitoring sismique de ce stockage de CO₂.



Actuellement, différentes opérations sont déjà engagées : ce sont ici les opérations indiquées en jaune, ou prévues : ce sont les opérations notées en bleu. Les opérations de Weyburn au Canada et USA et l'opération de In Salah en Algérie consistent à injecter du CO₂ avec un but de récupération assistée. A cela, il faut ajouter l'opération pilote en Pologne du projet Recopol, qui consiste à étudier l'injection de CO₂ dans une veine de houille.



La séquestration géologique nécessite encore des travaux de R&D à au moins deux niveaux : d'une part pour comprendre le comportement du CO2 au sein de la formation géologique, à l'aide d'une modélisation numérique appropriée à différentes échelles, et d'autre part pour disposer d'une technologie de contrôle par surveillance sismique. L'IFP intervient dans ces deux domaines.



Ce diagramme illustre les réductions de coût qui sont visées.

Actuellement, même si le CO₂ est utilisé en récupération assistée, le coût de capture et de séquestration reste relativement élevé, de l'ordre de 60 \$ par tonne.

Dans le futur, en réduisant ces coûts et en valorisant mieux le CO₂, on devrait arriver à un bilan économique beaucoup plus favorable.

- La réduction des émissions de CO₂ représente un enjeu majeur, pour répondre aux risques de changement climatique
- Des solutions techniques pour réduire les émissions de CO₂ existent et l'IFP étudie les voies de progrès dans ce domaine
- La séquestration géologique de CO₂ apparaît comme une des solutions les plus prometteuses pour l'avenir

En conclusion, la réduction des émissions de CO₂ représente un enjeu capital pour l'avenir. Des solutions existent pour réduire ces émissions. En particulier, la capture et la séquestration géologique du CO₂ apparaît comme une voie prometteuse pour l'avenir. L'IFP est engagé dans ces programmes avec le souci de rendre ces solutions opérationnelles dès que possible.