

INSTITUT MONDIAL DU CHARBON / PROGRAMME DE RECHERCHE ET
DE DÉVELOPPEMENT SUR LES GAZ À EFFET DE SERRE DE L'AIE

STOCKAGE DU CO₂ DANS LE SOL

Programme de recherche et de développement sur les gaz à effet de serre de l'AIE

Le Programme de recherche et de développement sur les gaz à effet de serre de l'AIE (IEA GHG) est un programme de recherche collaboratif international. Il s'agit également d'un accord de mise en œuvre élaboré avec l'appui de l'Agence Internationale de l'Énergie. Établi en 1991, l'IEA GHG a pour objectif d'offrir à ses membres des informations éclairées sur le rôle pouvant être joué par la technologie en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Le programme est divisé en trois activités principales : l'évaluation des technologies de réduction des émissions de gaz à effet de serre, la promotion et la dissémination des données et résultats issus des études d'évaluation, ainsi que le soutien aux activités de recherche pratique, de développement et de démonstration (R,D&D).

Institut Mondial du Charbon

L'Institut Mondial du Charbon (WCI, World Coal Institute) est une association non gouvernementale à but non lucratif qui regroupe plusieurs intervenants et entreprises de l'industrie du charbon. Il s'agit du seul organisme international travaillant à un niveau mondial pour le compte de cette industrie. Le WCI jouit de relations et de contacts étroits avec d'importantes agences internationales, dont l'Agence Internationale de l'Énergie et la Banque Mondiale, ainsi que d'un statut consultatif accrédité aux Nations Unies.

Le rapport intitulé *Stockage du CO₂ dans le sol* a été préparé dans le cadre du Programme de recherche et de développement sur les gaz à effet de serre de l'AIE, puis produit et distribué dans ce format par l'Institut Mondial du Charbon.



LE CO₂ PEUT-IL ÊTRE STOCKÉ EN PROFONDEUR ?

Le dioxyde de carbone (CO₂) est la principale cause du réchauffement de la planète et les activités humaines augmentent sa concentration dans l'atmosphère.

Les experts s'accordent sur le fait que plusieurs mesures devront être prises rapidement pour réduire la quantité de CO₂ entrant dans l'atmosphère. Une partie de la solution pourrait revenir à capturer des millions de tonnes de CO₂ issu de processus industriels et à stocker ce CO₂ en profondeur dans le sol – cette méthode est appelée capture et stockage géologique du CO₂ (CCS, Capture and Geological Storage). Ce livret présente le stockage géologique du CO₂ et répond aux questions les plus fréquemment posées :

- >> Le CO₂ peut-il être stocké en profondeur ?
- >> Quelle solution le CCS peut-il apporter au réchauffement de la planète ?
- >> Comment le CO₂ peut-il être capturé à partir des processus industriels ?
- >> Où le CO₂ peut-il être stocké géologiquement ?
- >> Pourquoi le CO₂ reste-t-il dans le sol ?
- >> Où se trouvent les bons sites de stockage géologique ?
- >> Où le CO₂ est-il actuellement stocké géologiquement ?
- >> Quel est l'avenir du stockage géologique du CO₂ ?

Des informations plus détaillées sont disponibles dans le rapport spécial sur la capture et le stockage du dioxyde de carbone (www.ipcc.ch) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) des Nations Unies.

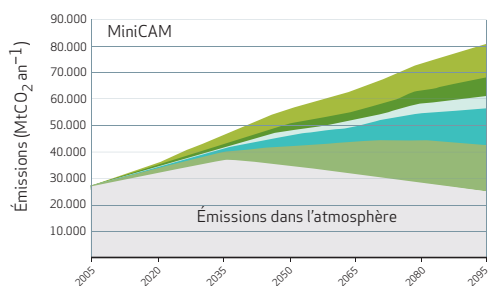
Plusieurs projets de stockage de millions de tonnes de CO₂ dans le sol ont déjà commencé et de nombreux autres projets sont en cours de planification. Les compagnies de gaz et de pétrole possèdent plusieurs dizaines d'années d'expérience dans le domaine du stockage du gaz naturel en profondeur et de l'utilisation du CO₂ dans les champs de pétrole pour « pousser » le pétrole vers les puits de production – une technique appelée récupération assistée du pétrole (EOR, Enhanced Oil Recovery).

La réussite de ces projets nous autorise à croire au potentiel de stockage de grandes quantités de CO₂ dans le sol, en toute sécurité et sans risque de fuite. L'utilisation du CCS à une échelle industrielle dans le but de réduire les émissions de CO₂ implique l'adaptation de technologies qui existent déjà et sont largement utilisées par diverses industries (telles que la fabrication d'engrais et la production pétrolière).

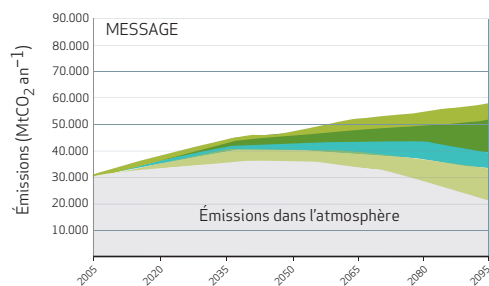
Quelle solution le CCS peut-il apporter ?

Les graphes de l'IPCC fournis ci-dessous illustrent le rôle vital pouvant être joué par le CCS dans la réduction des émissions de CO₂ au cours de ce siècle (avec d'autres techniques telles que l'utilisation d'énergies renouvelables et l'amélioration de l'efficacité énergétique). Dans chaque cas, la capture et le stockage du carbone contribuent à environ un quart de la réduction des émissions requise pour permettre le contrôle du réchauffement de la planète.

Contribution mondiale potentielle du CCS



- Conservation et efficacité énergétique
- Énergies renouvelables
- Nucléaire
- Substitution du charbon par le gaz
- CCS



- Conservation et efficacité énergétique
- Énergies renouvelables
- Substitution du charbon par le gaz
- CCS

Exemples de la contribution mondiale potentielle du CCS basés sur deux modèles d'évaluation intégrés (MiniCAM et MESSAGE) provenant du rapport spécial du GIEC sur la capture et le stockage du dioxyde de carbone.

COMMENT LE CO₂ PEUT-IL ÊTRE CAPTURÉ À PARTIR DES PROCESSUS INDUSTRIELS ?

Le CCS implique la capture du CO₂ produit par la combustion d'hydrocarbures (tels que le gaz naturel et le charbon) avant qu'il n'entre dans l'atmosphère, ainsi que son stockage en profondeur, dans des formations rocheuses, où il restera indéfiniment. Le CCS est une technique particulièrement rentable lorsqu'il est appliqué à d'importantes sources stationnaires de CO₂ (centrales électriques et aciéries, par exemple), qui représentent plus de la moitié des émissions de CO₂ résultant d'activités humaines. Le CO₂ peut être capturé à partir des hydrocarbures avant, pendant ou après leur combustion et la technologie nécessaire est déjà largement utilisée dans de nombreux secteurs industriels (traitement du gaz et production d'engrais, par exemple). Les figures 1 à 3 présentent les trois méthodes de capture du CO₂ – pour une centrale électrique alimentée au gaz.

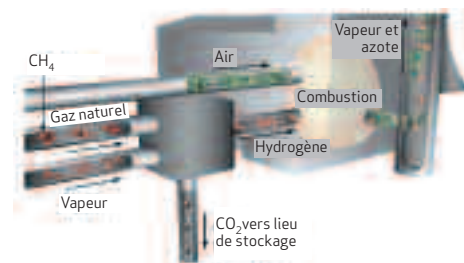


Figure 1 Avant la combustion – Capture pré-combustion

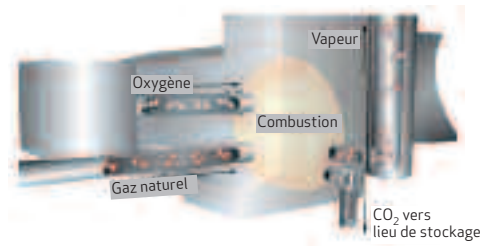


Figure 2 Pendant la combustion – Capture par oxycombustion

L'un des avantages de la capture du CO₂ avant la combustion (capture pré-combustion) est le fait que cette technique sépare l'hydrogène des hydrocarbures. L'hydrogène est un combustible « propre », qui ne produit que de l'eau pendant sa combustion. Une autre possibilité revient à utiliser le CCS avec des biocombustibles (tels que des résidus de cultures). Les plantes capturent le CO₂ de l'atmosphère (par photosynthèse) mais, lorsqu'elles meurent, la majeure partie de ce CO₂ retourne dans l'atmosphère. La capture et le stockage géologique du CO₂ produit par la combustion de biocombustibles aurait l'effet inverse de celui de notre économie de combustibles fossiles actuelle – en supprimant le CO₂ de l'atmosphère de manière permanente et en le stockant en profondeur dans le sol.

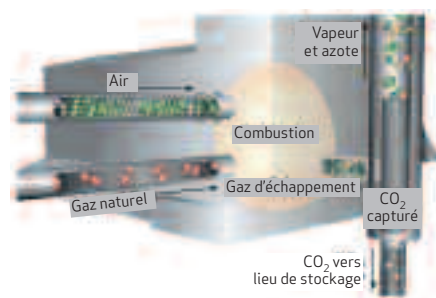


Figure 3 Après la combustion – Capture post-combustion

Les figures 1 à 3 ont été fournies par le projet CO₂ Capture Project.
www.co2captureproject.com

OÙ LE CO₂ PEUT-IL ÊTRE STOCKÉ GÉOLOGIQUEMENT ?

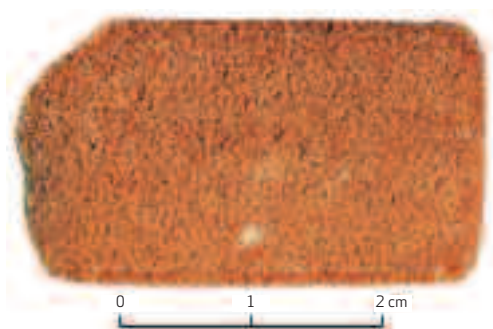
Les roches les mieux adaptées au stockage du CO₂ sont celles des champs de pétrole et de gaz naturel épuisés, ainsi que les formations salines. Il s'agit de couches de roche poreuse (comme le grès) situées à plus d'1 km de profondeur (soit sur terre, soit loin sous le sol océanique), sous une couche de roche imperméable (appelée roche couverture) qui joue le rôle de couvercle étanche. Dans le cas des champs de pétrole et de gaz naturel, c'est cette roche couverture qui a piégé le pétrole et le gaz dans le sol pendant plusieurs millions d'années.

Les champs de pétrole et de gaz naturel épuisés sont des sites de premier choix pour commencer à stocker le CO₂, car leur géologie est bien connue et ils ont prouvé qu'ils constituaient des pièges efficaces.

Les formations salines profondes sont des roches qui présentent des pores remplis d'eau à forte concentration en sel (supérieure à celle de l'eau de mer). Elles sont présentes dans la plupart des régions du monde et semblent posséder une très grande capacité de stockage du CO₂. Actuellement, la géologie des formations salines est moins bien maîtrisée que celle des champs de pétrole et de gaz naturel. Des travaux supplémentaires sont donc nécessaires pour déterminer les formations les mieux adaptées au stockage du CO₂.

De nombreux stocks géologiques naturels de CO₂ ont été découverts dans le sol (souvent par des personnes qui recherchaient du gaz ou du pétrole). Dans de nombreux cas, ces stocks de CO₂ étaient vieux de plusieurs millions d'années. Dans d'autres situations (volcans, geysers), le CO₂ s'échappe naturellement du sol. En effet, les eaux minérales naturellement gazeuses, convoitées et mises en bouteille depuis longtemps pour la consommation, proviennent de sources de CO₂ naturelles. Les raisons pour lesquelles certaines formations rocheuses piègent le CO₂ de manière permanente et d'autres non sont bien comprises et ces connaissances peuvent être exploitées pour la sélection et la gestion des sites de stockage afin de minimiser les risques de fuite.

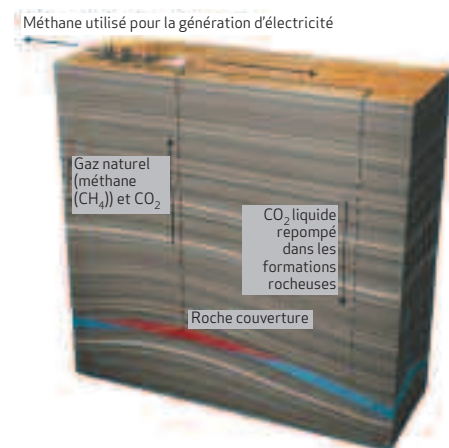
Les sites de stockage potentiels devront être soigneusement sélectionnés et gérés afin de minimiser tout risque de fuite de CO₂. Une fois le CO₂ transféré dans son site de stockage, les puits devront être scellés pour garantir son maintien en place. À la surface, des échantillons d'air et de sol peuvent être utilisés pour détecter des fuites de CO₂ potentielles, tandis que ce qui se passe en profondeur peut être suivi grâce à la détection des changements de son (sismiques), d'électromagnétisme, de gravité et de densité des formations rocheuses.



Grès : type de roche typique qui conviendrait au stockage géologique du CO₂

POURQUOI LE CO₂ RESTE-T-IL DANS LE SOL ?

Lorsque le CO₂ est pompé en profondeur dans le sol, il est comprimé par des pressions plus élevées et devient essentiellement liquide. Il se piège alors de diverses façons dans les pores qui séparent les grains de roche. En fonction des caractéristiques physiques et chimiques des roches et des fluides, la totalité ou une partie de ces mécanismes de piégeage aura lieu. Le stockage structurel se produit immédiatement, tandis que les autres mécanismes prennent du temps, mais offrent une meilleure sécurité de stockage. Plus le CO₂ passe de temps dans le sol, plus son stockage est sûr.



Projet In Salah de stockage de CO₂ en Algérie

Stockage structurel

Lorsque le CO₂ est pompé en profondeur dans le sol, il est dans un premier temps plus léger que l'eau et remonte à la surface à travers les roches poreuses jusqu'à ce qu'il atteigne la formation supérieure où il reste piégé grâce à une couche de roche couverture imperméable, telle que du schiste. Les puits qui ont été creusés pour stocker le CO₂ peuvent être scellés à l'aide de couvercles en acier et en ciment.

L'illustration fournie ci-dessus explique le projet de stockage In Salah utilisé pour la génération d'électricité en Algérie, où 1 million de tonnes de CO₂ est stocké chaque année dans un champ de gaz naturel en cours d'exploitation (l'équivalent des émissions produites par 250 000 voitures).

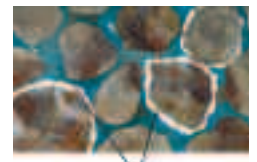
Le gaz naturel produit par les formations rocheuses profondes est un mélange de méthane (CH₄) et de CO₂. Lorsqu'il atteint la surface, ce gaz naturel se divise en méthane (qui est acheminé vers une centrale pour générer de l'électricité) et en CO₂ (qui est repompé dans les formations rocheuses profondes en vue de son stockage). La roche couverture qui a maintenu le gaz naturel dans la formation rocheuse pendant des millions d'années garantit le stockage du CO₂ liquide dans le réservoir souterrain.

Stockage résiduel

Les roches réservoirs sont comme des éponges rigides et denses. L'air est piégé dans l'éponge de manière résiduelle et il faut normalement la presser plusieurs fois pour remplacer l'air par de l'eau. Lorsque le CO₂ liquide est pompé dans une formation rocheuse, il reste coincé en grande partie dans les pores de la roche et ne bouge plus. Ce phénomène est appelé piégeage résiduel.



Piégeage résiduel du CO₂



Piégeage minéral du CO₂

Stockage par dissolution

Le CO₂ se dissout dans l'eau salée, tout comme le sucre dans le thé. L'eau qui contient du CO₂ dissout est plus lourde que l'eau qui l'entoure (sans CO₂) si bien qu'elle descend vers le bas de la formation rocheuse, où le CO₂ reste piégé indéfiniment.

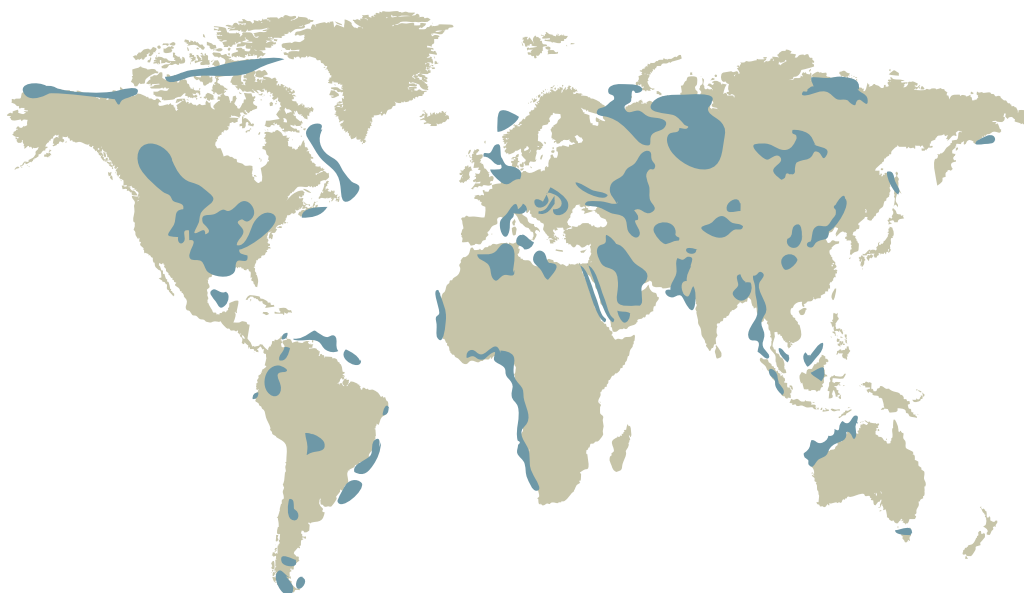
Stockage minéral

Le CO₂ dissout dans de l'eau salée est légèrement acide et peut réagir avec les minéraux des roches qui l'entourent pour former de nouveaux minéraux, comme un revêtement sur la roche (ce phénomène est comparable aux crustacés qui utilisent le calcium et le carbone de l'eau de mer pour former leur coquillage). Ce processus, qui peut être rapide ou très lent (en fonction de la composition chimique des roches et de l'eau), a pour conséquence la fixation du CO₂ sur les roches.

OÙ SE TROUVENT LES BONS SITES DE STOCKAGE GÉOLOGIQUE ?

La carte 1 indique l'emplacement des meilleures roches pour le stockage du CO₂ en fonction de nos connaissances actuelles. Les émissions de CO₂ totales issues d'activités humaines atteignent actuellement les 24 gigatonnes de CO₂ par an. La capacité de stockage de CO₂ des réservoirs d'hydrocarbures (pétrole, gaz et charbon) est estimée à environ 800 gigatonnes de CO₂. Il est possible que les formations salines réparties à travers le monde possèdent une capacité de stockage beaucoup plus importante que les champs de pétrole et de gaz naturel épuisés, mais des travaux supplémentaires sont nécessaires pour évaluer leur potentiel total en matière de stockage du CO₂.

Carte 1 Carte indiquant les roches classées comme possédant un haut potentiel de stockage du CO₂, selon le rapport spécial de l'IPCC sur la capture et le stockage du dioxyde de carbone



■ Les meilleures roches pour le stockage du CO₂

OÙ LE CO₂ EST-IL ACTUELLEMENT STOCKÉ GÉOLOGIQUEMENT ?

Plusieurs projets de stockage géologique de grande envergure ont déjà été lancés et de nombreux projets supplémentaires ont été proposés. La carte 2 indique l'emplacement des projets de stockage du CO₂ en cours et proposés, ainsi que les projets actuels d'utilisation du CO₂ pour la récupération assistée du pétrole et du gaz.

Carte 2 Emplacement des sites de stockage géologique de CO₂ et de récupération assistée par CO₂ du pétrole et du gaz, selon le rapport spécial de l'IPCC sur la capture et le stockage du dioxyde de carbone



- CO₂ stocké – actuel
- CO₂ stocké – proposé
- CO₂ utilisé pour la récupération assistée du pétrole ou du gaz

QUEL EST L'AVENIR DU STOCKAGE GÉOLOGIQUE DU CO₂ ?

L'illustration suivante représente un projet de CCS planifié pour la Californie et visant à générer une électricité à faible émission de carbone avec de l'hydrogène fabriqué à partir de coke de pétrole et à stocker le CO₂ issu de ce procédé dans un champ de pétrole voisin arrivé à maturité. Ce projet générerait jusqu'à 500 MW d'électricité à faible émission de carbone (suffisamment pour alimenter un tiers de million de foyers) et son lancement est prévu d'ici 2012. L'utilisation de la capture et du stockage du CO₂ dans 700 grandes centrales d'électricité reviendrait (en termes de CO₂) à éliminer toutes les voitures actuellement présentes sur la planète.

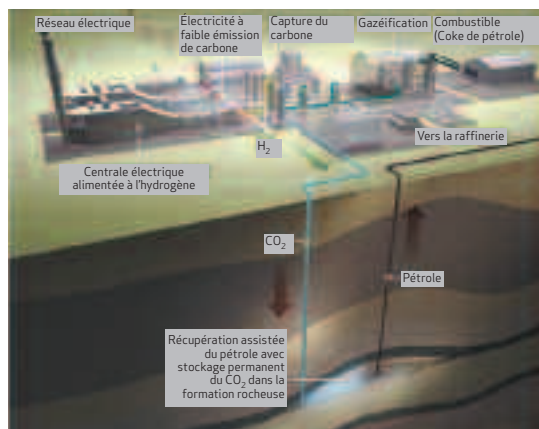


Illustration d'un projet de centrale électrique utilisant le CCS en Californie

Illustration fournie par BP et Edison Mission Group

Conclusions

La capture et le stockage géologique du CO₂ pourraient contribuer de manière significative à la résolution du problème du réchauffement de la planète. La technologie requise est utilisée depuis des années par les compagnies de pétrole et de gaz naturel – elle a fait ses preuves et est disponible dès aujourd'hui. Le CCS pourrait donc jouer un rôle clé dans la réduction des émissions de CO₂ au cours des prochaines décennies. Cependant, le CCS est un concept relativement nouveau et par conséquent non régulé spécifiquement par les lois et les règlements (à la fois sur le plan mondial et local).

Les organisations commerciales investiront dans des projets de CCS lorsqu'ils seront légaux et financièrement viables. Pour que le CCS soit mis en œuvre à grande échelle, des travaux doivent être réalisés rapidement afin de permettre le développement de règlements et de cadres commerciaux adaptés.

FIN

Ce rapport a été préparé en tant que compte-rendu de travaux sponsorisés par le Programme de recherche et de développement sur les gaz à effet de serre de l'AIE. Les points de vue et opinions exprimés par les auteurs ne reflètent pas nécessairement ceux du Programme de recherche et de développement sur les gaz à effet de serre de l'AIE ou de l'Institut Mondial du Charbon, de ses membres, de l'Agence Internationale de l'Énergie, ou encore de tout employé ou de toute personne agissant pour leur compte. En outre, aucune de ces personnes n'exprime de garantie, expresse ou implicite, vis-à-vis de l'exactitude, de l'exhaustivité ou de l'utilité des informations, équipements, produits ou procédés dévoilés, ni ne saurait en être tenue responsable, ou ne déclare que leur utilisation n'entravera aucun droit privé, y compris tous droits de propriété intellectuelle de quelque partie que ce soit. Toute référence à des produits commerciaux, procédés, noms de services ou noms commerciaux, marques commerciales ou fabricants ne saurait constituer ou impliquer nécessairement une approbation, une recommandation ou une préférence concernant lesdits produits.

Copyright © IEA Greenhouse Gas R&D Programme 2007. Tous droits réservés.

Date de publication : novembre 2007

Pour de plus amples informations sur les activités du Programme de recherche et de développement de l'AIE, visitez le site : www.ieagreen.org.uk

IEA Greenhouse Gas R&D Programme
Orchard Business Centre
Stoke Orchard
Cheltenham
Glos. GL52 7RZ
Royaume-Uni
t : +44 (0) 1242 680 753
t : +44 (0) 1242 680 758
mail@ieaghg.org
www.ieagreen.org.uk

Pour de plus amples informations sur les activités de l'Institut Mondial du Charbon, visitez le site : www.worldcoal.org

World Coal Institute
22 The Quadrant
Richmond
TW9 1BP
Royaume-Uni
t : +44 (0) 20 8940 0477
t : +44 (0) 20 8940 9624
info@worldcoal.org
www.worldcoal.org



mail@ieaghg.org
www.ieagreen.org.uk



info@worldcoal.org
www.worldcoal.org