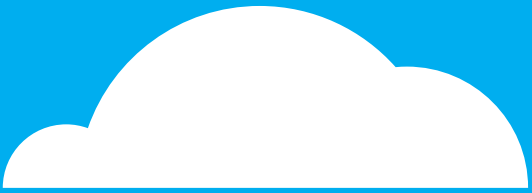


**LE CLIMAT  
EST L'AFFAIRE  
DE TOUS**

# Changement climatique : Implications pour le secteur de l'énergie

Principales conclusions du  
Cinquième Rapport d'Évaluation  
(AR5) du Groupe d'experts  
intergouvernemental sur  
l'évolution du climat (GIEC)



# Sciences physiques du changement climatique

## Hausse des températures :

Le Cinquième Rapport d'Évaluation (AR5) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) arrive à la conclusion que le changement climatique est sans équivoque et qu'il est très probable que les activités humaines, en particulier les émissions de dioxyde de carbone, en sont la cause principale. Des changements sont observés dans toutes les régions du monde : l'atmosphère et les océans se réchauffent, la superficie et le volume occupés par la neige et la glace diminuent, le niveau de la mer monte, et les conditions météorologiques sont modifiées.

## Projections :

Les modèles informatiques du climat utilisés par le GIEC indiquent que des changements se poursuivront en fonction de plusieurs scénarios d'émissions de gaz à effet de serre pendant le 21ème siècle. Si les émissions continuent d'augmenter à la vitesse actuelle, les effets d'ici la fin du siècle incluront une température moyenne mondiale de 2,6 à 4,8 degrés Celsius (°C) plus élevée qu'à présent et une élévation du niveau de la mer de 0,45 à 0,82 mètres (m).

Pour éviter les effets les plus extrêmes du changement climatique, les parties de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) ont décidé de viser le maintien de la hausse de température moyenne depuis l'ère pré-industrielle à moins de 2 °C, et d'envisager de limiter cette hausse à 1,5°C dans un avenir proche.

Le premier volet du Cinquième Rapport d'Évaluation (AR5) paru en 2013 (Groupe de travail I sur les éléments scientifiques de l'évolution du climat) est arrivé à la conclusion que dès 2011, nous avons déjà émis environ deux-tiers de la quantité cumulée maximale de dioxyde de carbone que nous pouvons émettre si nous voulons avoir plus de deux-tiers de chances d'atteindre l'objectif de 2°C.

## Effet des émissions passées :

Même si les émissions étaient stoppées immédiatement, les températures resteraient élevées pendant des siècles à cause des émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine (passées et présentes) dans l'atmosphère. Limiter l'augmentation de la température exigera des réductions substantielles et soutenues des émissions de gaz à effet de serre.

# À propos de ce document

Le Cinquième Rapport d'Évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat est l'analyse la plus complète des Nations unies sur le changement de notre climat. Il procure la base factuelle scientifique qui sera utilisée à travers le monde pour formuler des politiques climatiques dans les années à venir.

Le présent document fait partie d'une série de documents synthétisant les conclusions les plus pertinentes de l'AR5 pour des secteurs économiques particuliers. Il a été élaboré en partant du principe que le secteur de l'énergie pourrait faire un meilleur usage de l'AR5, un document long et hautement technique, si celui-ci était résumé de façon précise, accessible et claire.

Bien que les informations présentées dans ce rapport ne soient qu'une « traduction » du contenu principal de l'AR5, qui se rapporte à ce secteur, le présent rapport sous forme de résumé adhère strictement à la base scientifique du document source original.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à tous les réviseurs appartenant aussi bien à la communauté scientifique qu'aux entreprises pour le temps et les efforts qu'ils ont consacrés à ce document et leurs réactions inestimables à propos de celui-ci.

L'information présentée dans ce rapport peut être retrouvée dans les rapports scientifiques et techniques du GIEC, revus par des comités de lecture et abondamment référencés, à l'adresse Internet suivante : [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

**DATE DE PUBLICATION :**  
Juin 2014

**POUR PLUS D'INFORMATIONS :**  
E-mail : [AR5@europeanclimate.org](mailto:AR5@europeanclimate.org)  
[www.cisl.cam.ac.uk/ipcc](http://www.cisl.cam.ac.uk/ipcc)  
[www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org)  
[www.europeanclimate.org](http://www.europeanclimate.org)

**REVISEURS :**  
Brian Statham, *Président du Comité des études, Conseil Mondial de l'Énergie*,  
Dr Christoph Frei, *Secrétaire général, Conseil Mondial de l'Énergie*  
Équipe de Cambridge :  
Nicolette Bartlett, Stacy Gilfillan,  
David Reiner, Eliot Whittington

**DIRECTEUR DE PROJET :**  
Tim Nuthall

**CHEF/ÉDITEUR DE PROJET :**  
Joanna Benn

**CONSULTANTS ÉDITORIAUX :**  
Carolyn Symon, Richard Black

**ASSISTANTS DE PROJET :**  
Myriam Castanié,  
Simon McKeagney

**CONCEPTION GRAPHIQUE :**  
Lucie Basset, Burnthebook

**INFOGRAPHIE :**  
Carl De Torres Graphic Design

# Conclusions principales



1

**La demande d'énergie croît à l'échelle mondiale; en conséquence, les émissions de gaz à effet de serre (GES) générées par le secteur de l'énergie croissent également.** Cette tendance attribuable principalement à la croissance économique et à la croissance démographique devrait se poursuivre. Ces dernières années, la tendance de long terme de la décarbonisation progressive de l'énergie s'est inversée en raison de l'augmentation de l'emploi du charbon.

2

**Le changement climatique pose des défis croissants à la production et la transmission d'énergie.** La production et la livraison d'énergie seront affectées par une hausse progressive de la température, l'accroissement du nombre et de la gravité des événements climatiques extrêmes et la modification des régimes de précipitations. L'approvisionnement en combustibles fossiles, la génération et la transmission de l'énergie thermique et de l'énergie hydroélectrique seront également affectées. Des options d'adaptation existent toutefois.

3

**Une réduction importante des émissions de GES d'origine énergétique peut être obtenue en appliquant diverses mesures.** Ces mesures incluent la diminution des émissions dues à l'extraction et à la conversion des combustibles fossiles, le passage à des combustibles à teneur plus faible en carbone (par exemple, le passage du charbon au gaz), l'amélioration de l'efficacité énergétique dans les domaines de la transmission et de la distribution, l'utilisation accrue des énergies renouvelables et de l'énergie nucléaire, l'introduction du captage et du stockage du dioxyde de carbone (CSC) et la diminution de la demande d'énergie finale.

4

**Une action politique mondiale forte sur le changement climatique aurait d'importantes répercussions pour le secteur de l'énergie.** La stabilisation des émissions à des niveaux compatibles avec l'objectif de limiter la hausse des températures à 2 °C convenu à l'échelle internationale entraînera une transformation fondamentale de l'industrie de l'énergie à travers le monde dans les prochaines décennies, sur la voie d'une décarbonisation complète.

5

**L'encouragement des investissements dans des technologies à faibles émissions de CO<sub>2</sub> représentera un défi majeur** pour les gouvernements et les organismes de régulation pour atteindre leurs objectifs de réduction d'émissions de GES. La réduction des émissions de GES apporte également des avantages connexes importants tels que l'amélioration de la santé et de l'emploi. Cependant, les mesures d'atténuation côté approvisionnement comportent également des risques.

L'industrie de l'énergie est à la fois un contributeur majeur au changement climatique et un secteur que le changement climatique perturbera. Au cours des prochaines décennies, le secteur de l'énergie sera affecté par le réchauffement global à plusieurs niveaux et par les réponses politiques au changement climatique. Les enjeux sont importants : sans politiques d'atténuation, la température moyenne mondiale augmentera vraisemblablement de 2,6 à 4,8 °C d'ici à 2100 par rapport aux niveaux préindustriels.

En l'absence de politiques d'atténuation fortes, la croissance économique et la croissance démographique mondiale continueront de tirer la demande d'énergie vers le haut et les émissions de GES augmenteront donc également. Le changement climatique lui-même peut également accroître l'utilisation d'énergie en raison d'une plus grande demande de refroidissement.

Les moyens et les infrastructures destinés à produire et transporter l'énergie subiront les effets négatifs du changement climatique. L'industrie pétrolière et gazière souffrira probablement de davantage de perturbations et d'arrêts de production en raison des conditions climatiques extrêmes touchant aussi bien les installations en mer qu'à terre. Les centrales électriques, en particulier en zones côtières, seront affectées par des événements climatiques extrêmes et par l'élévation du niveau de la mer. Les infrastructures critiques vouées au transport de l'énergie sont en danger, les oléoducs et les gazoducs des zones côtières sont affectés par l'élévation du niveau de la mer et dans les climats froids par le dégel du permafrost. Les réseaux électriques seront touchés par des tempêtes. La hausse de la température mondiale peut affecter la production d'électricité et notamment les centrales thermiques et hydrauliques dans certains endroits. Les changements climatiques peuvent affecter également les cultures bioénergétiques. En général, l'industrie peut s'adapter aux changements climatiques, mais cela impliquera probablement des coûts.

Le secteur de l'énergie est le plus grand contributeur aux émissions mondiales de GES. En 2010, 35 % des émissions directes de GES provenaient de la production d'énergie. Ces dernières années, la tendance de long terme de la décarbonisation progressive de l'énergie a été inversée. De 2000 à 2010, la hausse des émissions du secteur de l'énergie ont distancé la hausse des émissions globales d'environ 1 % par an. Ce phénomène est dû à la part grandissante du charbon dans le bouquet énergétique.

Dans la définition du GIEC, le secteur de l'énergie inclut tous les procédés d'extraction, de conversion, de stockage, de transmission et de distribution de l'énergie à l'exception de ceux qui utilisent une énergie finale dans les secteurs d'utilisation finale (industrie, transport, bâtiment, agriculture, sylviculture).

Avec 30 gigatonnes (Gt) d'émissions annuelles de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) en 2010, les projections indiquent qu'en l'absence de politiques pour limiter les émissions, celles qui sont liées à l'utilisation de combustibles fossiles, y compris dans le secteur de l'approvisionnement en énergie mais également dans les transports, l'industrie et les bâtiments, contribueraient à hauteur de 55 à 70 Gt de CO<sub>2</sub> par an en 2050. Pour réduire les émissions à des niveaux compatibles avec l'objectif convenu à l'échelle mondiale de limiter la hausse des températures depuis l'ère préindustrielle à moins de 2 °C, il sera nécessaire de tripler ou quadrupler la part de la génération d'électricité à faibles émissions de carbone d'ici 2050. L'utilisation de combustibles fossiles sans captage du carbone disparaîtrait pratiquement d'ici 2100 au plus tard. Le secteur de l'énergie serait complètement décarbonisé et il est probable que le déploiement de technologies capables de retirer le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère soit nécessaire. La bioénergie avec captage et stockage du dioxyde de carbone est l'une de ces technologies (BECCS).

Le remplacement des centrales électriques et/ou thermiques à charbon existantes par des centrales électriques à cycle combiné au gaz naturel (CCGN) à haute efficacité ou des centrales de production combinée de chaleur et d'électricité (PCCE) peut réduire les émissions à court terme (à condition que les émissions fugitives de méthane soient contrôlées) et être une « technologie passerelle » vers une économie à faibles émissions de CO<sub>2</sub>. L'utilisation accrue des centrales PCCE peut réduire les émissions. Le CSC, l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables fournissent une électricité à faibles émissions de CO<sub>2</sub>, et l'augmentation de l'efficacité énergétique et la réduction de la demande d'énergie finale diminueront l'importance de l'atténuation côté approvisionnement. Néanmoins, divers obstacles et risques pour accélérer les investissements existent, y compris leur coût. En 2012, plus de la moitié des investissements nets dans le secteur de l'électricité s'est portée sur des technologies à faibles émissions de carbone.

Néanmoins, divers obstacles et risques pour les investissements accélérés existent, y compris le coût. Les investissements supplémentaires côté approvisionnement nécessaires pour atteindre l'objectif de 2 °C sont estimés entre 190 et 900 milliards de dollars US par an en moyenne jusqu'en 2050. La plupart de ces investissements produiraient des avantages connexes tels qu'une pollution réduite de l'air et de l'eau et une hausse de l'emploi local. Cependant, l'atténuation côté approvisionnement comporte généralement aussi des risques.

## Résumé

# Effets du changement climatique

Trois phénomènes de changement climatique auront un effet particulier sur le secteur de l'énergie : le réchauffement global, les régimes climatiques régionaux en cours de changement (notamment les régimes hydrologiques) et l'augmentation des événements climatiques extrêmes. Ces phénomènes affecteront non seulement la demande d'énergie, mais dans certaines régions ils affecteront également l'ensemble de la production et de la transmission de l'énergie. Bien que la plupart des effets du changement climatique soient probablement négatifs, il pourrait y avoir des effets positifs comme une demande d'énergie réduite dans les climats froids.

La hausse des températures couplée à la croissance démographique mondiale et à la croissance économique entraînera une augmentation de **la demande d'énergie globale**. L'augmentation du niveau de revenu dans les pays les plus pauvres dans les climats chauds conduira probablement à une utilisation accrue de l'air conditionné. Selon les prévisions, la demande d'énergie mondiale en termes d'air conditionné augmentera rapidement de presque 300 TWh en 2000 à environ 4000 TWh en 2050. Une grande partie de cette croissance est due à une augmentation des revenus dans les pays émergents à économie de marché, mais une partie est due au changement climatique. Les pays plus riches et plus froids connaîtront une chute de la demande de chauffage, mais pourraient bien connaître une hausse de l'utilisation d'énergie globale.

Bien que les **centrales électriques thermiques** (qui fournissent

actuellement environ 80 % de l'électricité mondiale) soient conçues pour fonctionner sous diverses conditions climatiques, elles seront affectées par la diminution de l'efficacité de la conversion thermique en conséquence de la hausse de la température ambiante. De plus, dans de nombreuses régions, la diminution des volumes d'eau disponibles pour le refroidissement et l'augmentation de la température de l'eau pourraient conduire à des opérations à puissance réduite, au fonctionnement à capacité réduite ou même à des arrêts temporaires.

Les événements climatiques extrêmes représentent une grave menace pour toutes les centrales électriques, mais particulièrement pour les **centrales nucléaires**, dans lesquelles ils pourraient perturber le fonctionnement d'équipements et de procédés critiques indispensables au fonctionnement sans danger, comme les cuves de réacteur,

les équipements de refroidissement, les instruments de contrôle et les générateurs de secours.

Le changement des régimes climatiques régionaux affectera vraisemblablement le cycle hydrologique qui est à la base de **la production d'énergie hydroélectrique**. Dans certaines régions, une chute des niveaux de précipitations et une augmentation de température, conduisant à une évaporation accrue, pourraient déboucher sur une capacité réduite ou plus intermittente à générer de l'électricité.

Bien que les projections comportent de grandes incertitudes, la capacité de production hydroélectrique dans le bassin fluvial du Zambèze en Afrique pourrait connaître une baisse de 10 % d'ici à 2030 et de 35 % jusqu'en 2050. Cependant, la capacité de production hydroélectrique en Asie pourrait augmenter.

Le changement de régimes climatiques et les événements climatiques extrêmes posent des défis à **l'énergie solaire et éolienne**. Une augmentation attendue de la nébulosité dans certaines régions affecterait les technologies solaires. L'accroissement du nombre et de la gravité des tempêtes pourrait endommager les équipements. Le réchauffement global et le changement de régimes climatiques auront un effet probablement négatif sur les rendements agricoles, avec une réaction en chaîne sur la production et la disponibilité de **la biomasse pour la production d'énergie**. Alors qu'il pourrait exister des avantages dans les climats tempérés, il est vraisemblable que la diminution des rendements dans les zones tropicales dépasse 5 % jusqu'en 2050.

Dans certaines régions pluvieuses, les puits à ciel ouvert de **l'industrie du charbon** seront probablement affectés par une augmentation des précipitations entraînant des inondations et des glissements de terrain.

Les risques associés au temps et au climat dans le **secteur pétrolier et gazier** comprennent

les cyclones tropicaux avec des effets potentiellement graves sur les plateformes en mer et les infrastructures à terre, qui conduiront à des interruptions de production plus fréquentes. Cependant, la fonte de la banquise arctique pourrait conduire à l'ouverture de nouvelles zones pour l'exploration pétrolière et gazière, augmentant potentiellement les réserves mondiales de pétrole et de gaz.

Les infrastructures de transmission de l'énergie, telles que les **pipelines et les lignes électriques**, seront elles aussi probablement affectées par des températures supérieures et des événements climatiques extrêmes. Les pipelines sont exposés au risque d'élévation du niveau de la mer dans les régions côtières, de dégel du permafrost dans les régions froides, d'inondations et de glissements de terrain déclenchés par de fortes précipitations et de feux de brousse causés par des vagues de chaleur ou des températures extrêmes dans les régions chaudes. On prévoit que les événements climatiques extrêmes, en particulier les vents violents, toucheront les lignes électriques.



Le Cinquième Rapport d'Évaluation (AR5) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) constitue l'évaluation la plus détaillée jamais établie sur le changement climatique.

## Effets et risques

- L'accroissement du nombre et de la sévérité des événements climatiques extrêmes aura un effet sur la production d'énergie et la génération de courant pour l'électricité.
- L'énergie hydroélectrique et les autres énergies renouvelables pourraient être touchées favorablement ou défavorablement par le changement de régimes climatiques.
- La fiabilité des pipelines et des réseaux électriques pourrait être affectée.



# Pour le secteur de l'énergie, le changement climatique signifie des défis majeurs

Sans politiques d'atténuation fortes, la température moyenne mondiale est susceptible de dépasser l'objectif de 2 °C convenu à l'échelle internationale. En tant que source majeure d'émissions de carbone, le secteur de l'énergie sera affecté par les politiques d'atténuation ainsi que par les effets climatiques de multiples façons.

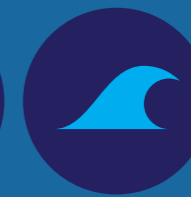
Le réchauffement climatique, le changement des régimes climatiques régionaux et les phénomènes météorologiques extrêmes affecteront la demande et toucheront la production et la transmission de l'énergie. Une action politique mondiale forte aurait également des répercussions importantes sur les investissements.



Changement climatique



Changement de régimes climatiques régionaux



Phénomènes météorologiques extrêmes



Politique gouvernementale



Investissements

## Effets et adaptations

### Centrales électriques

Les centrales thermiques seront affectées par la baisse d'efficacité de la conversion thermique en conséquence de la hausse des températures ambiantes. La diminution du volume d'eau disponible pour le refroidissement et l'augmentation de la température de l'eau pourraient conduire à des opérations à puissance réduite ou à des interruptions.

### Gazoducs

Les infrastructures vouées au transport de l'énergie sont en danger. Les oléoducs et gazoducs des zones côtières sont affectés par l'élévation du niveau de la mer et ceux des climats froids par le dégel du pergélisol. Peuvent nécessiter de nouvelles réglementations de zonage des terres, des normes de conception et de construction basées sur les risques et des améliorations structurelles des infrastructures.

### Lignes électriques

Des phénomènes météorologiques extrêmes, en particulier des vents violents, pourraient endommager les lignes électriques. Les normes peuvent être modifiées pour mettre en œuvre des mesures d'adaptation appropriées, notamment des lignes de déviation loin des zones à haut risque.

### Énergies renouvelables

Le changement des régimes climatiques régionaux menace de toucher le cycle hydrologique qui est à la base de l'énergie hydroélectrique. Une augmentation de la nébulosité dans certaines régions affecterait les technologies solaires et l'accroissement du nombre et de la gravité des tempêtes pourrait endommager les équipements.

### Nucléaire

Le manque d'eau et des phénomènes climatiques extrêmes peuvent menacer les centrales nucléaires en perturbant le fonctionnement d'équipements et de procédés stratégiques.

## Options de réduction des émissions

### Captage et stockage du dioxyde de carbone

L'adoption du captage et du stockage du dioxyde de carbone (CSC) pour les centrales à combustible fossile peut réduire les émissions. La capacité de stockage du CO<sub>2</sub> est importante et toutes les étapes de la technologie ont fait leurs preuves. Les unités CSC brûlant de la bioénergie (BECS) peuvent prélever du CO<sub>2</sub> de l'air. Mais des obstacles au CSC et à la BECS demeurent, y compris leur coût.

### Gain d'efficacité

L'efficacité énergétique peut être améliorée en modernisant les installations existantes, en adoptant de nouvelles installations efficaces, en améliorant la transmission et la distribution et par le biais d'améliorations technologiques dans l'extraction et la conversion des combustibles fossiles.

### Changement de combustibles

Le passage à des combustibles à faibles émissions de CO<sub>2</sub> (par exemple le passage du charbon au gaz) peut réduire les émissions. Le passage de centrales à charbon d'efficacité moyenne à des centrales à gaz de pointe peut diviser par deux les émissions si les émissions fugitives de méthane sont contrôlées et peut servir de « technologie passerelle ».

### Solutions alternatives

Utilisation accrue des énergies renouvelables comme l'énergie solaire, l'énergie éolienne et les biocarburants. Utilisation accrue de l'énergie nucléaire. L'énergie hydroélectrique représente actuellement le plus gros contributeur d'ER unique mais on s'attend à ce que l'énergie solaire, l'énergie éolienne et la bioénergie connaissent une croissance plus rapide.

### Réduction de la demande

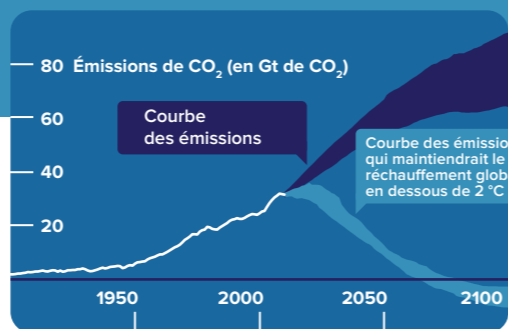
La réduction de la demande du consommateur est une stratégie d'atténuation essentielle. Le niveau de réduction de la demande détermine l'importance du défi d'atténuation auquel est confronté le secteur de l'énergie. Limitations potentielles issues de « l'effet de rebond » à prendre en considération.

## Cadre politique

Des investissements supplémentaires, qui pourraient être soutenus par des mesures fiscales et/ou des subventions sont nécessaires dans le secteur de l'approvisionnement d'énergie pour maintenir l'augmentation de la température mondiale en dessous de 2 °C.

### Le plus grand contributeur aux émissions de GES

Le secteur de l'énergie est la source la plus importante de gaz à effet de serre (GES). L'atteinte de l'objectif de 2 °C implique de stopper rapidement la hausse des émissions du système énergétique entier et de les amener à zéro avant la fin du siècle. Des technologies à « émissions négatives » telle que la BECS seront en outre probablement nécessaires.



### Cadres réglementaires

Les gouvernements peuvent faciliter une utilisation accrue des options de réduction des émissions en créant un cadre réglementaire et fiscal attractif.

### Investissements dans la technologie

De nouvelles technologies peuvent être utilisées pour les améliorations d'efficacité, la production, l'extraction, le stockage, la transmission et la distribution d'électricité.

### Tarification du carbone

Un défi majeur pour les gouvernements et les organismes de régulation consistera à assurer un prix du CO<sub>2</sub> qui incite des investissements supplémentaires dans les technologies à faibles émissions de CO<sub>2</sub>.

# Résilience

Diverses options s'offrent au secteur de l'énergie grâce auxquelles il peut améliorer sa résilience au changement climatique.

De nombreuses améliorations technologiques sont disponibles pour les centrales électriques thermiques qui, si elles sont mises en œuvre, se traduiront par des gains d'efficacité qui feront plus que compenser les pertes dues à des températures ambiantes supérieures. Les mesures préventives et de protection concernant les centrales nucléaires incluent des solutions techniques et d'ingénierie et l'ajustement de l'exploitation aux conditions extrêmes, notamment la réduction de capacité ou la fermeture des centrales. La résistance aux intempéries des technologies solaires et des turbines éoliennes continue d'augmenter.

Les compagnies d'exploitation de charbon peuvent améliorer le drainage et le ruissellement afin de stocker le charbon sur place et mettre en place des changements concernant la manipulation du charbon en raison de l'augmentation de sa plus grande humidité. Les opérateurs de pipelines pourraient être contraints de suivre de nouvelles réglementations de zonage des terres, d'appliquer des normes de conception et de construction basées sur les risques pour les nouveaux gazoducs ainsi que de mettre en œuvre des améliorations structurelles pour les infrastructures existantes.

Les normes techniques des lignes électriques seront probablement modifiées pour contraindre les opérateurs de réseaux à mettre en œuvre des mesures d'adaptation appropriées, notamment dans certains cas des lignes de déviation loin des zones à haut risque.

En évaluant les effets sur les combustibles, les autorités peuvent anticiper l'évolution de la demande en termes de chauffage et de refroidissement. Le chauffage implique souvent la combustion directe de combustibles fossiles alors que le refroidissement est généralement électrique. Une demande accrue pour le refroidissement et moindre pour le chauffage générera une pression à la baisse sur l'utilisation directe des combustibles fossiles, mais une pression à la hausse sur la demande d'électricité.

# Options d'atténuation

En tant que secteur produisant la plus grande partie des émissions de GES, le secteur de l'énergie serait grandement touché par des politiques visant à atteindre l'objectif de 2 °C convenu à l'échelle mondiale concernant le réchauffement global. De nombreuses options matures existent qui peuvent, si elles sont étendues, conduire à une atténuation importante des émissions de GES du secteur. Toutefois, l'ampleur du défi est considérable. Les voies compatibles avec l'objectif de 2 °C envisagent généralement d'atteindre la décarbonisation virtuelle de l'approvisionnement de l'énergie à un moment donné entre 2050 et la fin du siècle. Il est probable que des technologies « à émissions négatives » qui absorbent le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère soient nécessaires.

Les options d'atténuation comprennent :

- La réduction des émissions issues de l'extraction et de la conversion des combustibles fossiles
- Le passage à des combustibles à faibles émissions de CO<sub>2</sub>, par exemple le passage du charbon au gaz
- L'amélioration de l'efficacité énergétique dans la transmission et la distribution
- L'utilisation accrue des technologies relatives aux énergies renouvelables
- L'utilisation accrue de l'énergie nucléaire
- L'introduction du captage et du stockage du dioxyde de carbone (CSC) et une extension dans les usines de CSC qui utilisent des cultures bioénergétiques (BECSC) afin d'atteindre des « émissions négatives »
- La réduction de la demande d'énergie finale.

## Extraction et conversion des combustibles

L'extraction et la distribution des combustibles fossiles contribuent actuellement à 5 à 10 % des émissions de GES associées aux combustibles fossiles totaux. Le passage à une production de pétrole et de gaz plus gourmande en énergie à partir de sources non conventionnelles telles que les réserves de gaz de schiste et de réservoir compact, production nécessitant de plus grands apports d'énergie au niveau des gisements les plus anciens et l'extraction de charbon à partir de mines plus profondes et impliquant des distances de transport plus grandes pourraient accroître cette contribution. Les options d'atténuation comprennent :

- La réduction des émissions associées à la production et au transport des combustibles grâce à une efficacité énergétique plus grande et à l'utilisation de sources énergétiques à faible teneur en CO<sub>2</sub> dans les mines, les gisements de pétrole et de gaz et les réseaux de transport
- Le captage et l'utilisation du méthane issu de l'extraction du charbon
- La diminution du torchage et des rejets lors de l'exploration, de la production et du transport pétroliers et gaziers.

L'effet du changement de combustible en passant du charbon au gaz (voir ci-dessous) peut être compromis si les émissions fugitives de méthane ne sont pas contrôlées. La quantité de méthane émise d'un site à l'autre varie énormément.



## Changement de combustible

Le remplacement d'un combustible à fortes émissions de carbone par une solution alternative à faibles émissions de carbone peut réduire les émissions globales. Par exemple, le passage d'une centrale électrique au charbon correspondant à la moyenne mondiale actuelle à une unité moderne à cycle combiné au gaz naturel (CCGN) peut réduire de moitié les émissions, à condition que les émissions fugitives de méthane soient contrôlées.

Néanmoins, il est nécessaire, d'ici 2050, que les émissions moyennes des centrales électriques soient inférieures à celles des meilleures installations CCGN disponibles aujourd'hui si l'on veut rester dans une trajectoire compatible avec l'objectif des 2°. Ceci range le passage du charbon au gaz dans la catégorie des « technologies passerelles ». Comme les centrales électriques fonctionnent en moyenne pendant plus de 30 ans, un programme mondial continu d'investissements sur les prochaines décennies dans la production au gaz naturel sans CSC compromettrait l'objectif de 2 °C.

## Gain d'efficacité

L'amélioration de l'efficacité énergétique dans la transmission et la distribution du courant pourrait permettre de réduire les émissions de GES. La part de l'énergie générée perdue varie énormément d'un pays à l'autre. Certains pays en voie de développement ont des pertes supérieures à 20 %. Les pertes combinées lors de la distribution et transmission pour les pays de l'OCDE représentaient 6,5 % de la production totale d'électricité en 2000. L'utilisation accrue de meilleurs transformateurs et une production d'énergie répartie pourraient réduire ces pertes. De nouvelles technologies comme la charge dynamique, les lignes de transmission à isolation gazeuse et la transmission de courant continu à haute tension (CCHT) pourraient également permettre des réductions.

## Énergies renouvelables

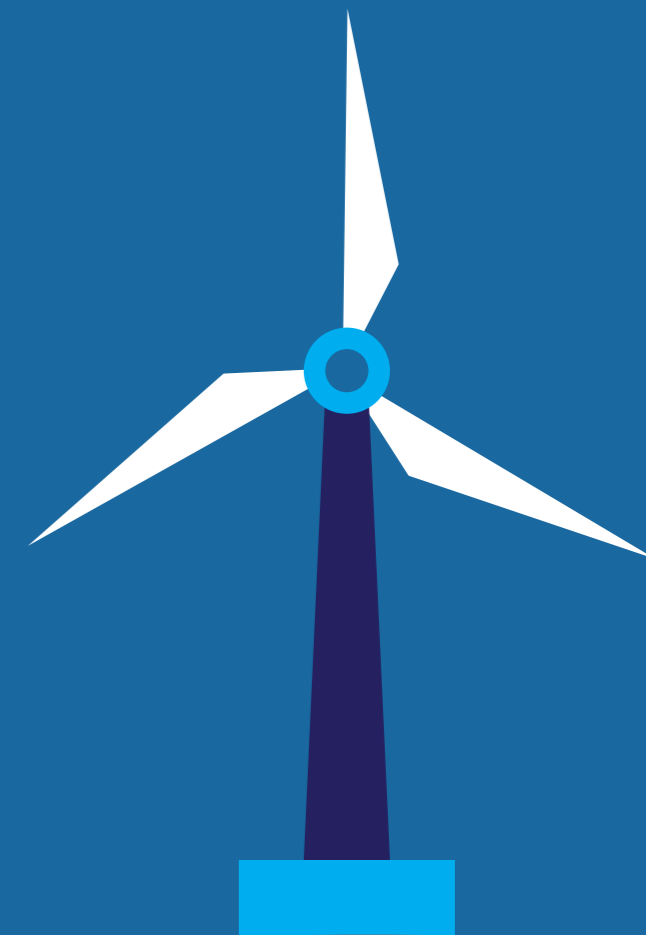
Les sources d'énergies renouvelables (ER) sont susceptibles de réduire considérablement les émissions de GES et deviennent plus compétitives. Les ER assurent un peu plus d'un cinquième de la fourniture d'électricité à travers le monde. En 2012 elles représentaient un peu plus de la moitié des nouvelles capacités de production d'électricité ajoutées à travers le monde. La production éolienne a été multipliée par cinq et la production par panneaux solaires a été multipliée par 25 entre 2005 et 2012. Cependant, seule une part minime du potentiel des énergies renouvelables est exploitée pour l'instant; les estimations suggèrent que dans chaque région du monde, les ER peuvent couvrir au moins 2,6 fois la demande d'énergie.

L'énergie hydroélectrique représente actuellement le plus gros contributeur d'ER mais on s'attend à ce que l'énergie solaire, l'énergie éolienne et la bioénergie connaissent une croissance relative plus importante. Toutefois, cela dépendra en grande partie de spécificités régionales. L'énergie hydroélectrique et l'énergie géothermique resteront importantes dans certains pays. Les ER entreront probablement le plus rapidement dans la production d'électricité, au moins à court et moyen terme, suivies du chauffage/refroidissement et du transport.

Afin que leur part de marché croisse, les technologies d'ER ont encore besoin d'un soutien direct (par ex. tarifs de rachat, quotas et enchères/appels d'offres) et/ou d'un soutien indirect (par ex. prix du carbone suffisamment élevé pour internaliser les autres externalités). L'extension de l'utilisation des ER dans l'offre d'électricité sera vecteur de défis croissants associés à l'intégration d'installations de production dans le réseau. Des options techniques existent pour répondre à ces défis, mais elles pourraient nécessiter un soutien politique supplémentaire et engendrer des coûts supplémentaires.

## Énergie nucléaire

L'utilisation et l'expansion continues de l'énergie nucléaire dans le monde exigeront des efforts importants pour améliorer la sûreté, l'aspect économique, l'utilisation de l'uranium, la gestion des déchets et la prolifération de matières. L'utilisation et l'expansion continues de l'énergie nucléaire dans le monde entier demanderont de plus gros efforts pour améliorer la sûreté, l'aspect économique, l'utilisation de l'uranium, la gestion des déchets et la prolifération de matières. La recherche et le développement de systèmes d'énergie nucléaire de nouvelle génération, notamment en matière de cycles de combustibles et de réacteurs innovants, sont actuellement en cours.



## CSC et bioénergie

Les technologies de captage et de stockage du dioxyde de carbone (CCS) peuvent réduire considérablement les émissions de CO<sub>2</sub> des centrales électriques à combustibles fossiles. Il est peu probable que le réchauffement global puisse être maintenu en dessous de 2 °C sans introduction et adoption étendues du CSC, et les coûts d'atténuation seraient plus sans cette technologie. Néanmoins, bien que tous les composants des systèmes CSC intégrés existent déjà, ils n'ont pas encore été appliqués à une grande installation commerciale de production à combustible fossile.

La capacité de stockage géologique est importante et suffisante pour répondre à la demande au cours du 21<sup>ème</sup> siècle, mais les capacités sont inégalement réparties et ne correspondent pas géographiquement aux centres d'émissions. La capacité globale de stockage souterrain pratique du CO<sub>2</sub> est évaluée à 3900 Gt de CO<sub>2</sub>, parmi lesquelles seules 0,03 Gt de CO<sub>2</sub> ont été utilisées à ce jour. À titre de comparaison, les émissions de GES moyennes annuelles à partir de combustibles fossiles et de sources industrielles sont actuellement évaluées à environ 30 Gt de CO<sub>2</sub>. Des incitations économiques telles qu'une taxe sur les émissions ou des subventions seront nécessaires afin que les installations CSC se répandent. De plus, des réglementations claires sur les responsabilités à court et long terme relatives au stockage sont essentielles en vue d'un déploiement futur à grande échelle du CSC.

Même avec une adoption rapide du CSC et d'autres mesures d'atténuation, les scénarios indiquent que l'objectif de 2 °C sera probablement manqué sauf en cas d'introduction de technologies à « émissions négatives » (également connues sous le nom de technologies d'élimination du dioxyde de carbone ou technologies CDR (EN: Carbon Dioxide Removal)). La production d'électricité et de chauffage en brûlant des cultures bioénergétiques, puis en captant et stockant les émissions de carbone (BECCS) représente l'une des quelques options disponibles. Néanmoins, cette technologie comporte des risques, principalement associés à la production à grande

échelle de cultures bioénergétiques. Ceux-ci incluent un approvisionnement peu fiable (en particulier étant donné les projections de changements de précipitations et les événements climatiques extrêmes en raison du changement climatique), les effets sur la biodiversité et la concurrence avec d'autres utilisations des terres dont la production d'aliments.

## Réduction de la demande d'énergie finale

La réduction de la demande dans les secteurs d'utilisation finale de l'énergie représente une stratégie importante en vue de l'atténuation (et pour atteindre des objectifs de durabilité plus larges) et détermine largement l'ampleur du défi d'atténuation du côté de la fourniture d'énergie. Limiter la demande d'énergie comporte de multiples avantages. Cela permet notamment de :

- conserver un large portefeuille de technologies énergétiques
- réduire le recours à de nouvelles sources d'approvisionnement d'énergie à faibles émissions de carbone
- éviter d'investir dans de nouvelles infrastructures à fortes émissions de carbone ou de devoir les retirer prématurément de la circulation
- optimiser les avantages connexes pour d'autres objectifs politiques
- réduire les risques associés à l'atténuation côté approvisionnement (par ex. les cultures bioénergétiques)
- augmenter la rentabilité de la transition.

Cependant, des limitations potentielles issues de « l'effet de rebond » doivent être prises en considération.

## Avantages connexes et risques

Le passage à des technologies à faibles émissions de carbone peut inclure des avantages connexes importants. En 2010, les investissements de la Chine dans les technologies solaires ont créé presque un demi-million d'emplois dans le secteur de l'électricité. Les projections indiquent que les industries des énergies renouvelables en Allemagne et en Espagne pourraient toutes deux employer 500 000 à 600 000 personnes en 2030. Toutefois, l'effet net sur l'emploi d'une transition vers une économie peu productrice de CO<sub>2</sub> est incertain. Les emplois dans les secteurs du charbon et du gaz pourraient être conservés par l'adoption du CSC. Les autres avantages de la transition vers une faible teneur en carbone incluent la sécurité énergétique, le développement rural (en particulier dans les pays pauvres) et l'amélioration de la santé par une pollution réduite de l'air et de l'eau.

Toutes les technologies de production à faibles émissions de carbone comportent des risques. Les systèmes de production d'énergie hydroélectrique perturbent le débit des rivières, les turbines éoliennes peuvent affecter les oiseaux et toutes les énergies renouvelables (mais particulièrement les cultures bioénergétiques) nécessitent plus de terres que leurs alternatives de combustibles fossiles. L'énergie nucléaire présente des risques pour la santé et la sécurité humaines. Néanmoins, les technologies basées sur des combustibles fossiles comportent également des risques (au-delà de leur impact sur le climat) et les systèmes de fourniture d'électricité à faibles émissions de carbone de bonne conception sont plus performants que les démarches basées sur des combustibles fossiles en ce qui concerne la plupart des indicateurs. On s'attend à ce que les performances environnementales des technologies basées sur des combustibles fossiles baissent avec l'utilisation accrue de ressources non conventionnelles, étant donné les effets défavorables de l'extraction. L'atténuation des émissions par la réduction de la demande élimine une partie des risques associés aux interventions côté approvisionnement.

## Politique

En général, le succès des politiques énergétiques dépend du renforcement des capacités, de la suppression des barrières financières, du développement d'un cadre juridique solide et d'une stabilité réglementaire suffisante. Les droits de propriété, l'exécution forcée des contrats et la comptabilité des émissions sont indispensables au succès de la mise en œuvre des politiques climatiques dans le secteur de l'approvisionnement d'énergie. En outre, l'impact des politiques peut être moindre que celui envisagé en raison de facteurs comme « l'effet de rebond » dans lequel (par exemple) une augmentation de l'efficacité énergétique réduit le coût d'utilisation des appareils pour le consommateur qui réagit en les utilisant davantage.

Les politiques d'atténuation du changement climatique pourraient dévaluer les actifs des combustibles fossiles et réduire les recettes des exportateurs de combustibles fossiles, mais des différences existent entre les régions et les combustibles. La plupart des scénarios d'atténuation sont associés à une diminution des recettes générées à partir du charbon et du pétrole pour les principaux exportateurs. Les effets sur les producteurs de gaz sont moins nets et pourraient impliquer une augmentation de leurs profits jusqu'en 2050. La disponibilité du CSC dans certains scénarios atténuerait les effets sur les recettes.



Le changement climatique affectera le secteur entier de l'énergie par ses effets et par les politiques publiques mises en oeuvre.



# Conclusion

Le changement climatique affectera le secteur entier de l'énergie par ses effets et par les politiques publiques mises en oeuvre. Même si le coût de la réduction des émissions dans tous les secteurs pourrait réduire la croissance de la consommation annuelle de 0,04 à 0,14 %, l'ampleur de la transition vers une économie décarbonée et les opportunités d'investissement seront probablement plus grandes dans le secteur de l'énergie que dans les autres. On estime que les investissements supplémentaires requis dans le système énergétique afin de limiter la hausse des températures depuis la période préindustrielle à moins de 2 °C représentent 190 à 900 milliards de dollars US par an côté approvisionnement uniquement, même si ces investissements pourraient générer des avantages connexes importants pour les économies dans leur ensemble. Néanmoins, on tend à utiliser les infrastructures pendant au moins 30 ans une fois qu'elles sont construites ; ainsi, les décisions qui seront prises au cours des prochaines décennies seront déterminantes pour décider si le secteur de l'énergie ouvre la voie à un futur de 2 °C ou s'en écarte.

Les scénarios prévoient qu'une transformation fondamentale sera nécessaire si les gouvernements veulent atteindre l'objectif de 2 °C convenu à travers le monde. En général, ces scénarios envisagent trois processus parallèles : la décarbonisation de la fourniture d'électricité, l'extension de la fourniture d'électricité à des domaines tels que le chauffage des maisons et le transport qui sont actuellement alimentés par d'autres biais et la réduction de la demande d'énergie finale. La plupart des nouveaux investissements se feront dans les pays en voie de développement où la demande croît plus rapidement que dans les pays développés. Les capitaux supplémentaires seraient partiellement compensés par la baisse des coûts d'exploitation de nombreuses sources d'approvisionnement d'énergie à faibles émissions de GES.

Pour les gouvernements et les organismes de régulation, un défi majeur consistera à garantir un prix du carbone qui encourage des investissements supplémentaires dans les technologies à faibles émissions de carbone, des investissements continus dans la recherche et le développement et un cadre réglementaire et fiscal attractif.



## ADAPTATION

Processus d'ajustement au climat actuel ou attendu et à ses effets. Dans les systèmes humains, l'adaptation cherche à modérer ou à éviter le danger ou à exploiter des opportunités avantageuses. Dans les systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'ajustement au climat et à ses effets.

## BECS

Bioénergie avec captage et stockage du dioxyde de carbone.

## BIOÉNERGIE

Énergie provenant de toute forme de biomasse telle que les organismes récemment vivants ou leurs sous-produits métaboliques.

## BIOMASSE

Masse totale d'organismes vivants dans une zone ou un volume donné. Ce terme est également utilisé pour désigner les biocarburants solides.

## CAPTAGE ET STOCKAGE DU DIOXYDE DE CARBONE (CSC)

Processus dans lequel le dioxyde de carbone provenant de sources industrielles et associées à l'énergie est séparé (capté), conditionné, comprimé et transporté vers un lieu de stockage souterrain en vue de son isolement à long terme par rapport à l'atmosphère.

## AVANTAGE CONNEXE

L'effet positif qu'une politique ou une mesure visant un objectif peut avoir sur d'autres objectifs.

## PRODUCTION COMBINÉE DE CHALEUR ET D'ÉLECTRICITÉ (PCCE)

Intègre la production de chaleur et de courant (électricité) utilisables dans un unique procédé à haute efficacité.

## CHANGEMENT CLIMATIQUE

Tout changement significatif du climat, persistant au moins pendant plusieurs dizaines d'années.

## EFFET/IMPACT CLIMATIQUE

Les effets du climat varient en fonction des systèmes naturels et humains.

## DÉCARBONISATION

Processus selon lequel des pays ou d'autres entités cherchent à obtenir une économie à faibles émissions de carbone ou par lequel des personnes cherchent à réduire leurs émissions de carbone.

## ÉCONOMIES ÉMERGENTES

Économies appartenant à la catégorie des revenus faibles à moyens qui progressent rapidement et s'intègrent aux marchés mondiaux des produits et capitaux.

## EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Part utile de l'énergie d'un système, d'un processus de conversion ou d'une activité par rapport à sa consommation d'énergie.

## UTILISATION FINALE DE L'ÉNERGIE

Toute l'énergie fournie au client final pour toutes les utilisations d'énergie.

## ÉMISSIONS FUGITIVES

Émissions de gaz ou de vapeurs à partir d'équipements sous pression en raison de fuites ou d'autres rejets accidentels ou irréguliers de gaz, provenant pour la plupart des activités industrielles dont l'extraction et le traitement du gaz naturel.

## GAZ À EFFET DE SERRE

Gaz présent dans l'atmosphère, d'origine humaine ou naturelle, qui absorbe ou émet le rayonnement thermique infrarouge. La vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane et l'ozone sont les principaux gaz à effet de serre existants dans l'atmosphère terrestre. Leur effet net consiste à piéger la chaleur dans le système climatique.

## BLOCAGE

(EN: Lock-in) Se produit lorsqu'un marché se retrouve coincé avec une norme sous-optimale alors qu'une alternative serait préférable.

## ÉLECTRICITÉ À FAIBLES ÉMISSIONS DE CARBONE

L'électricité ou le courant à faibles émissions de carbone est issu de procédés ou de technologies qui produisent du courant avec des

émissions de dioxyde de carbone beaucoup plus faibles que celles qui sont émises par la production de courant conventionnelle à partir de combustibles fossiles.

## ATTÉNUATION

Intervention humaine visant à réduire les sources ou à améliorer les puits de gaz à effet de serre.

## CENTRALE À CYCLE COMBINÉ AU GAZ NATUREL (CCGN)

Unité à gaz destinée à la production d'électricité dans laquelle la chaleur perdue provenant de la combustion initiale du gaz est piégée et utilisée pour alimenter une seconde turbine, en utilisant habituellement de la vapeur. Ainsi, l'efficacité globale est considérablement augmentée.

## PROJECTION

Évolution future possible d'une variable ou d'un ensemble de variables, souvent calculée à l'aide d'un modèle sur ordinateur. Les projections impliquent des hypothèses qui peuvent ou non se réaliser. Elles sont par conséquent sujettes à des incertitudes importantes et se différencient en cela des prévisions.

## ÉNERGIE RENOUVELABLE

Forme d'énergie d'origine solaire, géophysique ou biologique qui est réapprovisionnée par des processus naturels à une vitesse égale ou supérieure à sa vitesse d'utilisation.

## RÉSILIENCE

Capacité de systèmes sociaux, économiques et environnementaux à faire face à des événements, tendances ou perturbations dangereuses, en répondant ou en se réorganisant de façon à conserver leur fonction essentielle, leur identité et leur structure.

## RÉSERVE DE GAZ DE RÉSERVOIR COMPACT

Gaz naturel qui s'est accumulé dans de petites cavités mal reliées entre les roches (principalement du grès). Du fait que cette roche n'est pas très poreuse, le gaz naturel ne peut pas s'écouler librement vers les puits et constitue une réserve compacte.



« Les émissions continues de gaz à effet de serre provoqueront un réchauffement supplémentaire et des changements dans tous les composants du système climatique. La limitation du changement climatique nécessitera une réduction importante et soutenue des émissions de gaz à effet de serre »

IPCC, 2013

### Clause de non-responsabilité :

Cette publication a été élaborée et publiée par European Climate Foundation (ECF), le Conseil Mondial de l'Énergie (World Energy Council, WEC), et la Judge Business School (CJBS) et l'Institute for Sustainability Leadership (CISL) de l'Université de Cambridge.

Ce projet a été initié et financé par l'ECF et soutenu par la CJBS et le CISL.

La série de résumés de ce rapport ne prétend pas représenter la totalité du Cinquième Rapport d'Évaluation (AR5) du GIEC et n'est pas un document officiel du GIEC. Les résumés de ce rapport ont été revus par des experts des secteurs économiques et scientifiques. La version anglaise constitue la version officielle.

### À propos:

L'University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL) rassemble les entreprises, les gouvernements et les académies pour trouver des solutions aux défis critiques en matière de durabilité.

La Cambridge Judge Business School (CJBS) exerce des activités de transformation. Un grand nombre de nos universitaires sont des leaders dans leur domaine de recherche. Ils apportent un nouveau regard et appliquent les idées les plus récentes aux problèmes du monde réel.

Le Conseil Mondial de l'Énergie (World Energy Council) est le principal réseau impartial de leaders et de professionnels de l'énergie. Il promeut la fourniture et l'utilisation durables de l'énergie pour le plus grand bien de tous.

### Pour plus d'informations :

E-mail : [AR5@europeanclimate.org](mailto:AR5@europeanclimate.org)  
[www.cisl.cam.ac.uk/ipcc](http://www.cisl.cam.ac.uk/ipcc)  
[www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org)  
[www.europeanclimate.org](http://www.europeanclimate.org)

**Reproduction et utilisation :** Les informations contenues dans ce rapport peuvent être utilisées librement pour faire avancer la discussion sur les implications de l'AR5 et les conséquences pour les entreprises. Le rapport est disponible à tous les publics via une licence Creative Commons BY-NC-SA. Ce document est disponible pour téléchargement à partir du site du CISL : [www.cisl.cam.ac.uk/ipcc](http://www.cisl.cam.ac.uk/ipcc)