

PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE  
Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)

Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG

Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85

e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

Dr RAVELOJAONA Dorient (2)

Enseignant Chercheur, Maître de Conférences à l'Université de Toamasina

Tél : 032 11 982 33/ 032 45 390 20

e-mail : velojaona@yahoo.com

Monsieur ANDRIANJAFIMANANA Fenosoa Eric (3)

Doctorant à l'EDGVM/Université de Mahajanga

e-mail :@yahoo.com

Tél : 033 17 001 56

Madame RAZAFY Béatrice (4)

Doctorante à l'ESSA Ankatso, Université d'Antananarivo

e-mail :razafybeatrice69@gmail.com

Tél : 032 78 719 06

Monsieur RAVELOJAONA Félicien (5)

Doctorant à l'EDEN Université de Mahajanga

e-mail : felicienravelojaona@yahoo.fr

Tel : 032 93 199 63

---



# PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

---

## RÉSUMÉ

L'approvisionnement mondial en énergie primaire a plus que doublé durant les trente-cinq dernières années. Plus de 80 % de cette énergie provient des combustibles fossiles. Si la tendance se maintient, la consommation d'énergie doublera encore d'ici 2050 et les émissions de gaz à effet de serre suivront la même progression. En l'absence d'efforts supplémentaires visant à stabiliser les concentrations atmosphériques en gaz à effet de serre, l'augmentation de la température moyenne mondiale dépassera les 6°C sur le long

terme, entraînant des impacts potentiellement catastrophiques. Les combustibles fossiles constituent une source d'énergie économique largement répandue qui persiste à être subventionnée de façon importante par les gouvernements. Les énergies fossiles occuperont encore longtemps une place importante parmi les autres sources d'énergie..

**Mots clés :** Capture - séquestration du carbone – Gaz à effet de serre – Changements climatiques – Énergie primaire

## ABSTRACT

The world's primary energy supply has more than doubled in the last thirty-five years. More than 80% of this energy comes from fossil fuels. If the trend continues, energy consumption will double again by 2050 and greenhouse gas emissions will continue to rise. In the absence of additional efforts to stabilize atmospheric concentrations of greenhouse gases, the increase in global

average temperature will exceed 6°C over the long term potentially catastrophic impacts. Fossil fuels are a widespread source of economic energy that continues to be heavily subsidized by governments. Fossil fuels will continue to play an important role among other sources of energy for a long time to come.

**Keywords:** Capture - Carbon Sequestration - Greenhouse Gas - Climate Change - Primary Energy

# PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

---

## INTRODUCTION

Selon le dernier rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), il est extrêmement probable<sup>1</sup> que les activités humaines aient causé la majeure partie de l'augmentation observée des températures moyennes mondiales depuis les années 1950. L'humanité rejette plus de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) que la planète peut absorber, ce qui provoque l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub>. Cet accroissement entraîne une augmentation de la température moyenne mondiale, ce qui affecte le climat et les conditions météorologiques à travers le monde. Ces changements climatiques entraîneront probablement des événements climatiques extrêmes sans précédent (Stern, 2012). On remarque déjà que certains événements extrêmes sont plus fréquents, plus intenses, plus étendus et frappent des zones de la planète que l'on croyait jusqu'alors à l'abri.

Selon la *International Energy Agency* (IEA) : « sur les dix technologies les plus prometteuses en termes d'économies d'énergie et d'émissions de CO<sub>2</sub>, neuf ne satisfont pas aux objectifs de déploiement à atteindre pour réaliser la transition nécessaire vers un avenir économe en carbone ». Il est particulièrement préoccupant de constater le peu de progrès au niveau du déploiement de la capture et de la séquestration du carbone (CSC). Selon l'IEA, la CSC fait partie d'un portfolio de solutions permettant de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> au moindre coût d'ici 2050. La contribution de la CSC se chiffre à quelques 20 % des efforts, dans le contexte de réduction le plus contraignant. (IEA, 2012a)

---

<sup>1</sup> Selon, la terminologie officielle employée dans les rapports d'évaluation du GIEC, « extrêmement probable » indique une probabilité évaluée à plus de 95%.

# PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

---

## **1.MATERIELS ET METHODES**

### **1.1.MATERIELS**

#### **1.1.1. Essai d'évaluation**

L'objectif général de l'essai consiste à évaluer la pertinence et la viabilité de la CSC comme solution aux changements climatiques. L'essai présente : (1) les diverses sources anthropiques d'émissions de gaz à effet de serre (GES) en dressant un portrait de la consommation énergétique mondiale. (2) L'impact des émissions anthropiques de GES sur le cycle naturel du carbone, sur la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> et sur la température moyenne du globe. (3) Les impacts associés aux changements climatiques, en listant les impacts environnementaux, sociaux et économiques. (4) Les diverses solutions envisagées pour réduire les émissions anthropiques de GES et ainsi limiter l'élévation de la température moyenne mondiale. (5) Trois scénarios possibles, en fonction du degré de déploiement des solutions nécessaires à la réduction des émissions de GES. (6) Le potentiel de réduction associé à la CSC. (7) Les enjeux

technologiques, environnementaux, économiques, politiques, légaux, règlementaires, financiers, sociaux et éthiques de la CSC. (8) Les motivations spécifiques entourant la CSC. (9) Plusieurs exemples de projets de CSC. (10) Le bilan de la viabilité et de la durabilité de la CSC à titre de solution contre les changements climatiques. (11) Les obstacles se dressant devant le déploiement de la CSC et des recommandations afin de les surmonter.

#### **1.1.2. Démarche d'analyse de l'information**

La démarche entourant l'analyse de l'information a été appuyée par une vérification, impliquant la comparaison de diverses sources d'informations fiables, afin de corroborer leur validité. Plusieurs sources et types d'information ont été consultées, notamment des données statistiques, financières, politiques, règlementaires, commerciales, descriptives et prédictives. De plus, l'expérience de l'auteur, cumulée dans le domaine de la CSC durant les 9 dernières années, lui a été utile afin de trouver les meilleures sources d'information.

## PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

---

Le présent essai n'a pu décrire qu'une partie de toutes les activités associées au développement de la CSC en utilisant l'information publiquement disponible. Puisque les activités de développement de la CSC évoluent constamment, les données présentées dans l'essai ne sont pas toujours les plus récentes. De plus, il faudra attendre encore quelques années pour collecter de plus amples informations afin de confirmer la performance, les coûts et la fiabilité des divers aspects de la CSC.

### **1.1.3. Nouvelles normes d'émissions**

On s'attend à ce que de nouvelles normes d'émissions soient instaurées cette année aux États-Unis et au Canada, stimulant la création de nouveaux projets de capture et de séquestration du carbone sans toutefois conduire à sa commercialisation généralisée. En Europe, la Commission européenne pourrait imposer la capture et la séquestration du carbone à certains secteurs puisque les efforts soutenant son déploiement, principalement par le biais de subventions, n'ont pas été efficaces. . En Chine, plusieurs initiatives régionales de marché du carbone pourraient mener au

développement d'une réglementation plus large et à un déploiement plus important de la capture et de la séquestration du carbone. D'ailleurs, la Banque asiatique de développement a annoncé en 2012 son intention de travailler avec la Commission nationale du développement et de la réforme afin de développer une feuille de route pour le déploiement de la capture et de la séquestration du carbone en Chine.

### **1.1.4. Technologie de la capture et de la séquestration du carbone**

La maturité technologique de la capture et de la séquestration du carbone est suffisante pour souscrire à son déploiement à grande échelle dans la mesure où elle est réglementée et contrôlée adéquatement. Il est crucial de continuer à soutenir son développement afin d'encourager des percées techniques qui la rendront plus performante, plus fiable, plus économique et plus accessible. Plusieurs éléments doivent être au rendez-vous afin de rendre la capture et la séquestration du carbone viable : un engagement politique sérieux et déterminé, une entente internationale décisive, un cadre législatif et

# PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

---

règlementaire plus sévère, une augmentation de la valeur du dioxyde de carbone sur les marchés, une augmentation du financement des projets de réductions d'émission de gaz à effet de serre et une implication plus large du public en général.

## 1 CONTEXTE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

### 1.1 Cycle du carbone



**Figure 1.1 : Le cycle du carbone (DOE, 2008)**

La figure 1.1 est une représentation simplifiée du cycle du carbone contemporain. Les valeurs entre parenthèses sont des estimations des principaux réservoirs de carbone en milliards de tonnes métriques (Gt) pour l'année 2005, tel qu'indiqué par Houghton (Houghton, 2007). Le flux naturel entre la biosphère terrestre et l'atmosphère est

À l'échelle internationale, la réglementation actuelle sur le contrôle des émissions de gaz à effet de serre n'est pas suffisante à elle seule pour supporter le déploiement de la capture et de la séquestration du carbone. .

d'environ 120 Gt de carbone par an et celui entre les océans et l'atmosphère est d'environ 90 Gt par an (GIEC, 2007). Dans la biosphère terrestre, la photosynthèse élimine environ 120 Gt de carbone de l'atmosphère. Cependant, la décomposition de la matière biologique ainsi que la respiration des plantes et des microbes du sol retourne environ 120 Gt de carbone à l'atmosphère. Au niveau des océans, la photosynthèse du phytoplancton transforme le CO<sub>2</sub> en carbone organique qui est en grande partie retournée à l'atmosphère sous forme de CO<sub>2</sub> par la respiration microbienne et la décomposition. Cependant, une petite fraction du carbone organique résiste à la dégradation et coule au fond des océans.

## PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

---

La figure 1.2 présente l'évolution des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> (exprimé en équivalent carbone) depuis 1960. La figure présente également les quantités de carbone absorbées par les océans et par le sol et la portion restante qui s'accumule dans l'atmosphère.

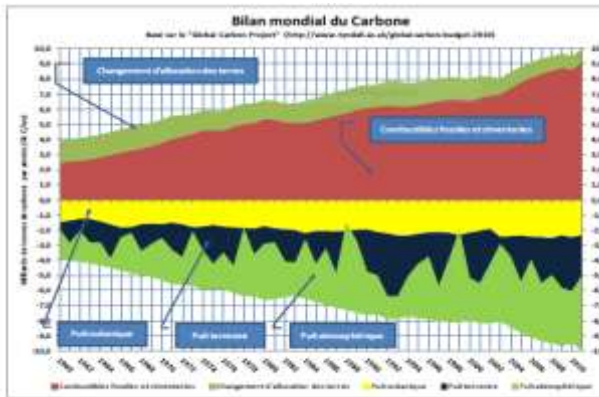


Figure 1.2 : Bilan mondial du carbone (Tyndall, 2011)

En 2010, les activités humaines ont émis environ 10 Gt de carbone. Environ 2,3 Gt ont été absorbées par les océans, 2,7 Gt par les sols, tandis que 5,0 Gt se sont ajoutées aux quelques 800 Gt déjà présentes dans l'atmosphère. 5,0 Gt de carbone correspondent à plus de 18 Gt de CO<sub>2</sub>, ce qui se traduit par 2,4 parties par millions volumétriques (ppmv) de CO<sub>2</sub> en plus dans l'atmosphère chaque année.

La figure 1.3 présente la progression de la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> entre les années 1960 et 2010.

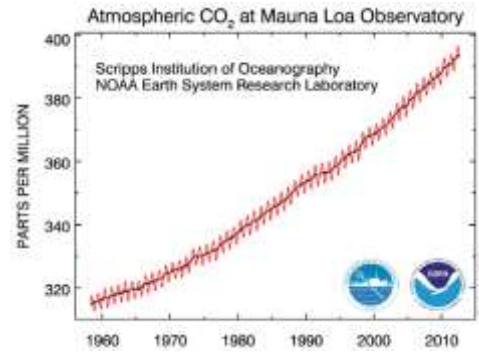


Figure 1.3 : Concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub> (NOAA, 2012a)

La figure 1.4 présente une corrélation entre la concentration atmosphérique moyenne de CO<sub>2</sub> et la variation de la température moyenne mondiale par rapport à la moyenne du XXe siècle.

## PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

---

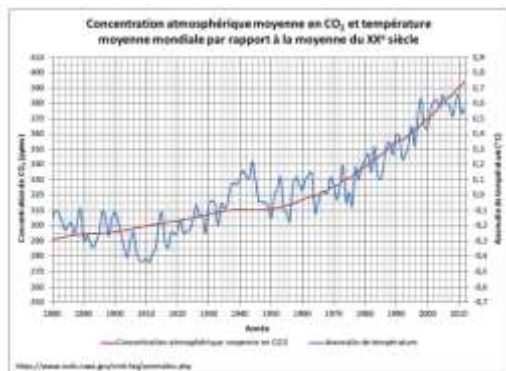


Figure 1.4 : Concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> et température [NOAA, 2012b]

### Figure 1.5 : Diagramme des émissions mondiales de GES en 2005 (Herzog, 2009)

Les émissions de CO<sub>2</sub> provenant du secteur de la génération électrique et de la cogénération totalisaient un équivalent de 3,4 Gt de carbone en 2010, soit 34 % du CO<sub>2</sub> anthropique émis. Les centrales thermiques au charbon constituent le secteur d'activités humaines ayant le plus fort taux d'émissions de CO<sub>2</sub> fossile, avec près de 2,3 Gt de carbone émises en 2010, soit 23 % du CO<sub>2</sub> anthropique total (IEA, 2012b).

## 1.2 Méthodes

### 1.2.1. Émissions mondiales de GES

Les bilans de carbone présentés précédemment ne tiennent pas compte de

Selon la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), les 9 années les plus chaudes depuis 1880 ont toutes eu lieu après l'an 2000, à l'exception de 1998. Les années 2005 et 2010 ont d'ailleurs été les plus chaudes jamais enregistrées (NASA, 2012a).

la contribution des autres GES aux changements climatiques. En effet, outre le CO<sub>2</sub>, d'autres gaz contribuent aux changements climatiques.

### 1.2.2. Protocole de Kyoto

Certains sont assujettis au Protocole de Kyoto, tel que le méthane (CH<sub>4</sub>), le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), les hydrofluorocarbures (HFC), les perfluorocarbures (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>). Certains sont assujettis à d'autres accords tels que le trifluorure d'azote (NF<sub>3</sub>) et les chlorofluorocarbures (CFC). D'autres demeurent exclus de tout accord tel que la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O), l'ozone troposphérique (O<sub>3</sub>) et certains composés organiques volatiles (COV).



# PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

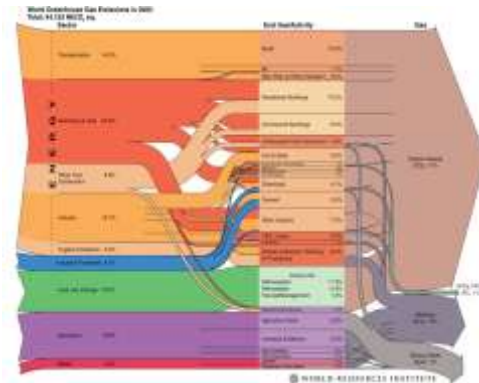
Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

---

## 2. RÉSULTATS

### 2.1. Emissions anthropiques

De tous les gaz à effet de serre assujettis au Protocole de Kyoto, le CO<sub>2</sub> détient la plus importante part des émissions anthropiques de GES exprimées en équivalent CO<sub>2</sub>. Une proportion croissante qui dépasse maintenant les 77 %. Ce 77 % représentait en 2010, quelques 36,7 Gt de CO<sub>2</sub> par an ou 10,0 Gt de carbone. De ces 10,0 Gt de carbone, plus de 86 % provenaient des combustibles fossiles, soit 3,8 Gt provenant du charbon, 3,1 Gt provenant du pétrole et 1,7 Gt provenant du gaz naturel, totalisant 8,6 Gt de carbone. Des 1,4 Gt restantes, 0,4 Gt provenait des cimenteries et 0,9 Gt était associées aux changements d'allocations des terres (Global Carbon Project, 2012). La figure 1.5 illustre en détails la contribution de chaque secteur à la quantité mondiale totale de GES anthropique qui a été émise en 2005.



### 2.2. Portrait de la consommation énergétique mondiale

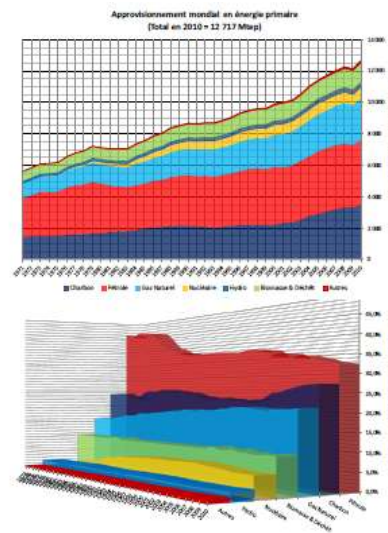


Figure 1.6 - Approvisionnement mondial en énergie primaire (IEA, 2012c)

Tel qu'illustré par la figure 1.6, l'approvisionnement mondial en énergie primaire à plus que doublé durant les

## PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

---

trente-cinq dernières années, avec plus de 80 % de cette énergie provenant des combustibles fossiles. La part du pétrole a diminué systématiquement au profit du charbon, du gaz naturel et du nucléaire. Les proportions de l'hydroélectricité et de la biomasse sont demeurées plutôt stable

### **2.3. Portfolio de solutions disponibles**

Les solutions visant à minimiser les impacts associés à leur utilisation devraient bénéficier d'un support financier plus important. La capture et la séquestration du carbone est l'une des seules solutions possédant un large potentiel de réduction des émissions de dioxyde de carbone fossile. Selon la *International Energy Agency*, si la capture et la séquestration du carbone devait être exclue du portfolio de solutions disponibles, les coûts de réductions des émissions provenant du

tandis que la proportion du nucléaire a presque quadruplé. La contribution des énergies renouvelables, incluant l'énergie éolienne, le solaire et la géothermie, est passée de 0,1 % en 1975 à 0,9 % en 2010. C'est une augmentation significative mais encore insuffisante.

secteur de l'électricité augmenteraient de près de 40 %. En ce sens, la capture et la séquestration du carbone est une solution pertinente aux changements climatiques.

### **2.4. Evolution des émissions de CO<sub>2</sub>**

La figure 1.7 présente l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> provenant du secteur énergétique qui ont doublé sur une période de 35 ans, passant de 15 Gt en 1975 pour atteindre quelques 30 Gt en 2010. Au-delà de 2010, trois scénarios, basés sur les prédictions de l'IEA, sont présentés. (1) Le scénario 6 degrés Celsius (°C) (6DS), qui

## PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

---

### 2.5. Concentrations atmosphériques

La consommation d'énergie mondiale et le

En l'absence d'efforts visant à stabiliser les concentrations atmosphériques de GES,

l'augmentation de la température moyenne mondiale dépassera les 6°C sur le long

terme. (2) Le scénario 4°C (4DS), qui tient compte des récents engagements pris par

certains pays afin de réduire leurs

émissions de GES, incluant les efforts

visant à améliorer l'efficacité énergétique.

Prédisant une élévation de la température à

long terme de 4°C, le 4DS est à bien des

égards un scénario déjà très ambitieux qui

nécessite d'importants changements, autant

au niveau politique que technologique. (3)

Le scénario 2°C (2DS), qui décrit un système

énergétique compatible avec une

trajectoire d'émissions qui aurait 80 % de

chance de limiter l'augmentation moyenne

de la température mondiale à 2°C. Il fixe

l'objectif de réduire les émissions associées

secteur énergétique par plus de la moitié

d'ici 2050 (comparé à 2010) et de veiller à

ce qu'elles continuent de diminuer par la

suite. Fait important, le 2DS reconnaît que

la transformation du secteur énergétique

est cruciale mais qu'elle n'est pas la seule

solution. L'objectif ne peut être atteint qu'à

condition de réduire les émissions de GES

provenant des secteurs non-énergétiques

(affectation des sols, agriculture, procédés

industriels, enfouissement des déchets,

etc.). (IEA, 2012d).

# PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)

Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG

Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85

e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

---

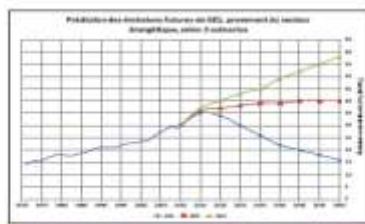


Figure 1.7: Émissions futures de CO<sub>2</sub>, scénario de référence (RCP8.5), selon 4 scénarios (A1, A2, B1, B2)

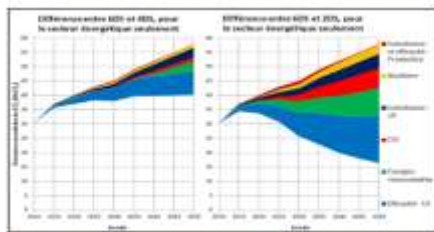


Figure 1.8: Contribution des scénarios technologiques à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> (2000-2050)

## 2.6. Réchauffement de la planète

Les terres se réchauffent plus que les océans. Pour cette raison, les augmentations de température terrestre dépasseront la moyenne mondiale, et ce par un facteur excédant parfois les 150 %. Les augmentations de température au niveau des latitudes plus élevées seront particulièrement amplifiées, principalement en raison de la diminution de la couverture de neige et de glace qui réfléchissaient jusqu'alors une partie importante du rayonnement solaire. Les températures estivales boréales devraient augmenter au moins deux fois plus rapidement que la moyenne mondiale et les

températures hivernales de l'Océan Arctique augmenteront trois fois plus rapidement que la moyenne mondiale. Alors qu'une augmentation de la moyenne annuelle de précipitation est prévue, la plupart des régions actuellement arides et semi-arides s'assècheront tandis que les zones humides tropicales et les zones aux latitudes moyennes deviendront plus humides. (Stern, 2012) .

## 2.7. Augmentation de température planétaire

La concentration atmosphérique moyenne en CO<sub>2</sub> est présentement de 390 ppmv et elle augmente à un taux qui s'accroît. Selon le scénario 6 DS de l'IEA, elle atteindra les 770 ppmv d'ici la fin du siècle si on ne réagit pas rapidement. Selon ce scénario, il est très probable que la température augmentera de près de 4°C par rapport aux températures préindustrielles et ce, d'ici la fin du siècle. Si la température moyenne mondiale augmente de 4°C d'ici 2100, le niveau de la mer augmentera entre 0,5 et 2,0 mètres d'ici la fin du siècle, dépendamment de l'ampleur de la fonte

# PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

-----

des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique Ouest (Nicholls et autres, 2011). À ce sujet, les données acquises depuis l'espace, par le satellite Grace de la NASA, montrent que le Groenland a perdu près de 200 kilomètres cubes (km<sup>3</sup>) de glace par année et l'Antarctique en a perdu plus d'une centaine par année depuis 20021. Les données les plus récentes révèlent que le Groenland et l'Antarctique<sup>2</sup> perdent de la glace à un rythme qui s'accélère (NASA, 2012b).

## **2.8. Augmentation du niveau de la mer**

Une augmentation du niveau de la mer de 0,5 à 2,0 m pourrait entraîner l'inondation de 1 600 à 2 800 kilomètres carrés (km<sup>2</sup>) de littoral, affectant de 100 à 190 millions

## **2.9.. Réchauffement global de la planète et les océans**

D'autres impacts significatifs sont prévus dans l'éventualité d'un réchauffement global excédant les 4°C : la disparition de la banquise d'été dans l'Arctique, la perte d'une forte proportion des coraux, la diminution de la biodiversité, la migration d'espèce et la multiplication de vecteurs de maladies. Le réchauffement entraînerait également l'assèchement et le

de personnes et affectant le produit intérieur brut (PIB) mondial par 750 milliards à 1 500 milliards de dollars<sup>3</sup> (Anthoff et autres, 2006). Il est très probable que le nombre de personnes exposées à ce risque augmentera significativement au courant de ce siècle, principalement due à la forte croissance économique dans les régions côtières de la Chine. Dans ce contexte, la protection contre l'élévation du niveau de la mer sera nécessaire dans plusieurs régions.

---

2 Si les 2,85 millions de kilomètres cubes (km<sup>3</sup>) de glace du Groenland venait à fondre, cela provoquerait une augmentation du niveau de la mer de 7,2 m. En comparaison, l'Antarctique possède environ 10 fois plus de glace avec quelques 30 millions de km<sup>3</sup>.

<sup>3</sup>PIB exprimé en parité des pouvoirs d'achat (PPA) et en dollar américain de l'année 2000.

dépérissement de la forêt amazonienne et la fonte d'une part importante du pergélisol, causant la libération du méthane et du CO<sub>2</sub> qu'il contient. Ces dernières répercussions consolideraient le phénomène des changements climatiques en libérant d'importantes quantités additionnelles de GES dans l'atmosphère. (World Bank, 2012)

Plus la planète se réchauffe, plus ses océans se réchauffent et plus la quantité

## PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

---

d'énergie qu'ils contiennent augmente.  
Cette énergie croissante entraîne la  
formation d'ouragans plus fréquents et plus

profondément affectés par les changements  
climatiques mais les pays pauvres seront  
grands impacts ne surviendront que dans  
quelques décennies, et entraîneront de  
graves difficultés. Les migrations  
humaines, par dizaines voire par centaines  
de millions, aboutiront fort probablement à  
des conflits graves et prolongés. Les  
preuves scientifiques sont très claires; si  
nous ne tentons pas d'atténuer les  
changements climatiques au plus vite, nous  
serons confrontés à des risques colossaux.  
Des risques aux fortes probabilités de  
changements catastrophiques, transformant  
où et comment nous vivons sur Terre.  
Selon le rapport Stern, le coût de l'action  
est bien moindre que le coût de l'inaction :  
pour un coût annuel d'intervention  
correspondant à 1 % du PIB mondial, il y  
aurait un retour en terme de dommages

puissants. Par exemple, les ouragans  
Katrina (2005), Wilma (2005), Irene  
(2011) et Sandy (2012) ont causé des  
dommages totalisant plusieurs centaines de  
milliards de dollars et ont causé la mort de  
plusieurs milliers de personnes. Il est fort  
probable que nous serons tous

vraisemblablement plus vulnérables. Bien  
que les effets se manifestent déjà, les plus  
évités pouvant se chiffrer annuellement  
entre 5 et 20 % du PIB mondial, en  
moyenne, dans le temps, l'espace et parmi  
les conséquences possibles (Stern, 2012).  
L'ampleur des dommages potentiels et les  
échelles de temps impliqués sont si  
importantes qu'elles nécessitent une  
réflexion allant bien au-delà des  
évaluations coûts-avantages. Bien que de  
telles évaluations répondent à un certain  
nombre de questions, elles ne peuvent à  
elles seules orienter de manière adéquate  
les politiques économiques et les débats  
éthiques sous-jacents. Les conséquences  
potentielles du changement climatique sont  
si importantes qu'elles nécessitent une  
réaction politique sérieuse et déterminée.  
Une réaction qui doit nous mener vers une

# PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

-----

profonde transformation de notre système énergétique.

## 3.DISCUSSIONS ET SOLUTIONS

### 3.1. Croissance phénoménale de la consommation énergétique mondiale

La croissance phénoménale de la consommation énergétique mondiale est un immense problème mais également une excellente opportunité pour prendre le virage qui s'impose. Cette croissance est synonyme d'investissement massif dans les infrastructures d'approvisionnement énergétique, particulièrement dans les économies émergentes telles que la Chine et l'Inde. L'IEA estime que selon le scénario 6DS, environ 103 000 milliards USD seront investis entre 2010 et 2050 afin de renouveler et d'augmenter la capacité des infrastructures énergétiques et ainsi supporter la croissance de la consommation énergétique mondiale. Dans le cadre de ces investissements substantiels, il est impératif de donner une place centrale à l'efficacité énergétique, aux énergies renouvelables, l'hydroélectricité, au gaz

naturel et à la CSC. Selon l'IEA, la différence d'investissement entre les scénarios 6DS et 2DS représente une augmentation de 35 % ou 36 000 milliards USD d'ici 2050, ce qui représente moins de 1 % du PIB mondial cumulé sur cette période. De plus, investir n'est pas la même chose que dépenser : d'ici 2025, les économies en coût d'énergie réalisées feraient plus que compenser les sommes additionnelles investies et d'ici 2050, elles dépasseraient les 100 000 milliards USD. Même en appliquant un taux d'actualisation de 10 %, les économies nettes s'élèveraient à 5 000 milliards USD d'ici 2050 (IEA, 2012a). Également, selon le rapport Stern, un coût annuel d'intervention correspondant à 1 % du PIB mondial pourrait entraîner un retour en termes de dommage évité pouvant se chiffrer annuellement entre 5 et 20 % du PIB mondial, en moyenne (Stern, 2012).

## PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SEQUESTRATION DU CDU CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

---

### 3.2. Progrès réalisés par la CCNUCC

Il ne fait aucun doute que nous devons prendre ce virage et le plus tôt possible. Cependant, les progrès réalisés par la CCNUCC sont timides et la création d'un cadre politique international suffisamment rigide et contraignant semble improbable, du moins dans un avenir rapproché. Heureusement, une multitude d'initiatives nationales et régionales semblent lentement s'intégrer dans une démarche multilatérale. Avec une approche « *bottom-up* », il est possible que ces initiatives facilitent les négociations au niveau de la CCNUCC. Quoiqu'il en soit, la participation de la Chine et des États-Unis est essentielle à la réussite de l'action concertée. Avec la réélection des démocrates aux dernières élections américaines, il y a de meilleures chances que les États-Unis s'engagent à réduire leurs émissions de GES. Du moins, le dernier discours du président sur l'état de l'Union le laisse croire.

### 3.3. Financement de la CSC

Le financement de la CSC suit une logique similaire. Malheureusement, certains montants qui devaient être amassés se

dissipent progressivement. Par exemple, le mécanisme de financement de la CSC qui devait être le plus important au monde, le programme NER300, n'amassera pas plus que la moitié du montant escompté lors de sa création. De plus, aucun projet de CSC n'a été financé par ce programme dans le cadre de la première phase d'attribution. On espère que les choses seront différentes lors de la deuxième phase. Présentement, c'est le programme britannique de commercialisation de la CSC qui inspire le plus d'espoir. Cependant, tel que révélé par un représentant de partie d'opposition du gouvernement britannique, les fonds promis à la CSC ne seront vraisemblablement pas disponibles en entier avant 2015, ce qui risque de retarder la réalisation des projets présentement en lice. (BNEF, 2013e).

### 3.4. Solutions

#### 3.4.1. Projets de CSC

On estime présentement que les projets de CSC de grande envergure, présentement en opération ou en phase d'exécution, permettront de capter annuellement 36 Mt



PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SEQUESTRATION DU CDU  
CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr  
-----

de CO2. Entre 2012 et 2050, ils auront capté environ 1,4 Gt de CO2. Par rapport au 123 Gt requis, c'est seulement 1 % du potentiel de réduction associé à la CSC

sous le scénario 2DS. On doit donc rapidement multiplier les projets, si on veut permettre à la CSC d'atteindre en partie son immense potentiel de réduction des émissions de GES. Malheureusement, entre 2011 et 2012, il y a eu presque le même nombre de projets initié qu'il y en a eu d'annulé.

## CONCLUSION

La CSC était une solution pertinente aux changements climatiques. Une des raisons principales repose sur le fait que la CSC soit l'une des seules options pouvant réduire les émissions d'origine fossiles. Les combustibles fossiles demeurent une source d'énergie largement subventionnée par les gouvernements qui occupera encore pour longtemps une place importante au sein du portefeuille énergétique mondial. La CSC soit viable à l'échelle nécessaire, plusieurs éléments cruciaux devront être au rendez-vous : un engagement politique sérieux et déterminé, une entente internationale décisive, un cadre législatif et réglementaire plus sévère, une

augmentation de la valeur du CO2 sur les marchés, une augmentation du financement des projets de réductions d'émission de CO2 et une implication plus large du public en général. Aussi longtemps que ces éléments ne seront pas consolidés, la CSC ne sera pas viable à l'échelle nécessaire. En ce sens, l'engagement des principaux pays émetteurs est essentiel et la population en général doit comprendre l'urgence de la situation et revendiquer une action politique concertée. En guise de perspective, on a pu observer récemment que la maison blanche a la ferme intention de s'attaquer au problème des changements climatiques en établissant des normes d'émissions de CO2 et en

PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SEQUESTRATION DU CDU  
CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr  
-----

proposant des projets de loi visant la création de marché d'échange de quotas d'émissions. D'ici là, plusieurs initiatives régionales et nationales, autant au niveau de nouvelles normes d'émissions que de marchés du carbone, parviendront à soutenir des efforts substantiels de réduction. Espérons que ce sera le cas également en Chine, où plusieurs

initiatives régionales de marché du carbone pourraient mener au développement d'une réglementation plus large et à un déploiement plus important de la CSC. D'ailleurs, la Banque asiatique de développement a l'intention de travailler avec le CNDR afin de développer une feuille de route pour le déploiement de la CSC en Chine. Pendant ce temps, en supportant le développement de la CSC, la technique deviendra plus performante, plus fiable, plus économique et plus accessible.

**RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES  
ET WEBOGRAPHIQUES**

Adams, E. E. (2013). The Energy Game is Rigged : Fossil Fuel Subsidies Topped \$620 Billion in 2011. *In Earth Policy Institute. Data Highlights.*

[http://www.earth-policy.org/data\\_highlights/2013/highlights](http://www.earth-policy.org/data_highlights/2013/highlights)  
36 (Page consultée le 17 mars 2013).

Ailun, Y. Yiyun, C. (2012). Global Coal Risk Assessment : Data Analysis and Market Research. *In World Resources Institute. Publication / Climate, Energy & Transport.*

<http://www.wri.org/publication/global-coal-risk-assessment> (Document consulté le 4 janvier 2013).

Anthoff, D., Nicholls, R.J., Tol, R.S.J. and Vafeidis, A.T. (2006). Global and regional exposure to large rises in sea-level : A sensitivity analysis. *In Tyndall Centre for Climate Change Research. Working Paper 96.*

<http://www.tyndall.ac.uk/content/global-and-regional-exposure-large-rises-sea-level-sensitivity-analysis-work-was-prepared-st> (Document consulté le 27 novembre 2012).

PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SEQUESTRATION DU CDU  
CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

-----

Australian Treasury (2011). Strong growth  
low pollution : modelling a carbon price.

*In* Australian Government, Treasury.

*Carbon price modelling.*

[http://carbonpricemodelling.treasury.gov.au/carbonpricemodelling/content/chart\\_table\\_data/chapter5.asp](http://carbonpricemodelling.treasury.gov.au/carbonpricemodelling/content/chart_table_data/chapter5.asp) (Document consulté le 27 décembre 2012).

Azzi, M., Day, S., French, D., Fry, R.,

Lavrencic, S. (2012). Environmental

Impact of Amine-based CO<sub>2</sub> Post-

combustion Capture (PCC) Process. *In*

Global CCS Institute. *Publications.*

<http://cdn.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/39956/analysisofenvironmentallegislativeandregulatoryrequirementsfortheuseofaminebasedco2pccaustrialianpowe.pdf> (Document consulté le 12 mars 2013).

BNEF (2012). CCS Quaterly Outlook Q4  
2012. *In* Bloomberg New Energy Finance.

*Insight CCS.* <https://www.bnef.com/Ccs>  
(Document consulté le 25 décembre 2012).

BNEF (2013a). Mississippi Power Plant  
Ratliffe CCS Commercial Project. *In*

Bloomberg New Energy Finance. *CCS  
Projects.*

<https://www.bnef.com/CcsProjects/233>  
(Page consultée le 3 mars 2013).

BNEF (2013b). Summit TCEP CCS

Demonstration Project. *In* Bloomberg New  
Energy Finance. *CCS Projects.*

<https://www.bnef.com/CcsProjects/289>

(Page consultée le 10 février 2013).

BNEF (2013c). Alstom : Chemical

Looping Prototype Facility. *In* Bloomberg

New Energy Finance. *CCS Capture*

*Systems.*

[http://www.bnef.com/CcsCaptureSystems/](http://www.bnef.com/CcsCaptureSystems/68)

68 (Page consultée le 20 février 2013).

BNEF (2013d). CCS will not save

California refineries. *In* Bloomberg New

Energy Finance. *Insight CCS.*

<https://www.bnef.com/Ccs> (Page consultée  
le 20 février 2013).

GCCSI (2012a). The Global Status of CCS  
: 2012. *In* Global CCS Institute.

*Publications.*

<http://www.globalccsinstitute.com/publications/global-status-ccs-2012> (Document  
consulté le 15 octobre 2012).

GCCSI (2012b). Public Engagement. *In*

Global CCS Institute. *Key Topics / Public  
Engagement.*

<http://www.globalccsinstitute.com/key-topics/public-engagement> (Page consultée  
le 12 janvier 2013).

PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SEQUESTRATION DU CDU  
CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

-----

- GCCSI (2013). The Global Status of CCS : Update, January 2013. *In* Global CCS Institute. *Publications*.  
<http://www.globalccsinstitute.com/publications/global-status-ccs-update-january-2013> (Document consulté le 15 février 2013).
- GIEC (2007). Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, *In* Intergovernmental Panel on Climate Change. *Publications and data*.  
[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4\\_wg1\\_full\\_report.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4_wg1_full_report.pdf) (Page consultée le 8 octobre 2012).
- Global Carbon Project (2012), Global Carbon Budget Data. *In* Global Carbon Project. *Carbon Budget 2012*.  
<http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/12/data.htm> (Page consultée le 2 novembre 2012).
- Government of British Columbia. (2008). British Columbia climate action for the 21st century. *In* Ministry of Environment, *Climate Action Secretariat*.  
[http://www.env.gov.bc.ca/cas/pdfs/climate\\_action\\_21st\\_century.pdf](http://www.env.gov.bc.ca/cas/pdfs/climate_action_21st_century.pdf) (Document consulté le 28 avril 2013).
- Grand Dictionnaire Terminologique. (2013a). Bioénergie. *In* Grand dictionnaire terminologique. *Bioénergie*.  
[http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id\\_Fiche=8395620](http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8395620) (Page consultée le 3 mars, 2013).
- Grand Dictionnaire Terminologique. (2013b). Énergie primaire. *In* Grand dictionnaire terminologique. *Énergie primaire*.  
[http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id\\_Fiche=26514205](http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=26514205) (Page consultée le 3 mars, 2013).
- Han G., Olsson M., Hallding K., Lunsford D. (2012). China's Carbon Emission Trading - An Overview of Current Development. *In* Stockholm Environment Institute (SEI). *Publications*.  
<http://www.sei-international.org/publications?pid=2096> (Document consulté le 20 février 2013).
- Hawkins, D. (2013). CCS and carbon budgets. *In* Global CCS Institute. *Insight. Policy Legal and Regulation*.  
<http://www.globalccsinstitute.com/insights/authors/engonetnetwork/2013/01/21/ccs-and-carbon-budgets> (Page consultée le 12 février, 2013).

PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SEQUESTRATION DU CDU  
CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr

-----

- Partington, P.J., Horne M., Demerse, C. (2013). Getting on Track for 2020 : Recommendations for Greenhouse Gas Regulations in Canada's Oil and Gas Sector. *In Pembina. Publications.*  
<http://www.pembina.org/pub/2427>  
(Document consulté le 14 avril, 2013)
- Reiner, D.M, Curry, T.E, de Figueiredo, M.A, Herzog, H.J, Ansolabehere, S.D, Itaoka, K, Johnsson, F, Odenberger, M. (2006). American exceptionalism? Similarities and differences in national attitudes toward energy policy and global warming. *Environmental Science and Technology*, vol. 40, n° 7, p. 2093-2098.
- Stern, N. (2012). Ethics, equity and the economics of climate change. *In Centre for Climate Change Economics and Policy. Working Paper 96.*  
<http://www.cccep.ac.uk/Publications/Working-papers/Papers/90-99/WP97-ethics-equity-economics-of-climate-change.pdf>  
(Document consulté le 21 novembre 2012).
- Tyndall Centre for Climate Change Research (2011). Global carbon budget 2010. *In Tyndall Centre for Climate Change. Global carbon budget 2010.*  
[http://www.tyndall.ac.uk/global-carbon-](http://www.tyndall.ac.uk/global-carbon-budget-2010)  
[budget-2010](http://www.tyndall.ac.uk/global-carbon-budget-2010) (Page consultée le 5 octobre 2012).
- Upham, P., Roberts, T. (2010). Public Perceptions of CCS : the results of NearCO2 European Focus Groups. *In Communication near CO2. Documents and materials.*  
[http://www.communicationnearco2.eu/fileadmin/communicationnearco2/user/docs/Near\\_CO2\\_WP4\\_report\\_final.pdf](http://www.communicationnearco2.eu/fileadmin/communicationnearco2/user/docs/Near_CO2_WP4_report_final.pdf)  
(Document consulté le 13 février 2013).
- Wikipedia (2013a). Équivalent-CO2. *In Wikipedia. Équivalent CO2.*  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quivalent\\_CO2](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quivalent_CO2) (Page consultée le 3 mars, 2013).
- Wikipedia (2013b). Éthique. *In Wikipedia. Éthique.*  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89thique#cite\\_ref-2](http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89thique#cite_ref-2) (Page consultée le 20 avril, 2013).
- Wikipedia (2013c). Fossil fuel. *In Wikipedia. Fossil fuel.*  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Fossil\\_fuel#Reserves](http://en.wikipedia.org/wiki/Fossil_fuel#Reserves) (Page consultée le 3 mars, 2013).
- World Bank (2012). Turn Down the Heat : Why a 4°C Warmer World Must be Avoided. *In The World Bank, Climate Change.*

PERSPECTIVE D'AVENIR DE LA CAPTURE ET DE LA SEQUESTRATION DU CDU  
CARBONE

Présenté par : Dr Hanitra RATOVOHAJA (1)  
Enseignant chercheur, Maître de Conférences à l'IUGM/UMG  
Tél : 032 83 917 41 / 034 07 577 85  
e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra\_ratovohaja@yahoo.fr  
-----

<http://climatechange.worldbank.org/content>

[t/climate-change-report-warns-](http://climatechange.worldbank.org/content)

[dramatically-warmer-world-century](http://climatechange.worldbank.org/content)

(Document consulté le 9 décembre 2012).

Zoback, M.D., Gorelick, S.M. (2012).

Earthquake triggering and large-scale

geologic storage of carbon dioxide. *In*

Proceedings of the National Academy of

Science. *Early Edition*.

<http://www.pnas.org/content/early/2012/06>

[/13/1202473109.full.pdf+html](http://www.pnas.org/content/early/2012/06) (Document

consulté le 15 novembre 2012).