

22. Les défis de l'énergie

22.1 - Énergie et changements climatiques

Partie 4 – La captation et la séquestration de carbone

Yann Chirpaz, ing.

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

Département de génie mécanique

Plan de la présentation

- ***Introduction et objectifs***
- Définition et contexte
- Séquestration biologique
- Séquestration industrielle
- Limites et développement des CCS
- Conclusion

Introduction et objectifs

- La diminution des émissions de CO₂ est un enjeu au cœur des préoccupations actuelles qui demande de développer de nouvelles solutions;
- La capture et la séquestration du carbone (CCS) s'inscrit dans ces solutions possibles;
- D'après le scénario « 2DS » de *l'Agence Internationale de l'Energie* (AIE, 2015) présentant les objectifs à atteindre en 2050 pour limiter l'augmentation de la température à 2°C, les CCS doivent contribuer à la réduction des émissions de CO₂ à la hauteur de **13 %** de la réduction des émissions globales.

Introduction et objectifs

- Objectifs de cette présentation :
 - Définir ce qu'est la capture et la séquestration du carbone;
 - Expliquer les différentes méthodes et technologies capables de séquestrer du carbone;
 - Comprendre les enjeux et les limites liés à la mise en place de ces méthodes.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs
- ***Définition et contexte***
- Séquestration biologique
- Séquestration industrielle
- Limites et développement des CCS
- Conclusion

Définition et contexte

- Wikipédia :

La **séquestration du dioxyde de carbone** (en anglais : Carbon Capture and Storage ou CCS), appelée plus simplement piégeage du carbone ou séquestration du carbone est le stockage à long terme du dioxyde de carbone hors de l'atmosphère.

Vidéo à visionner : GIEC 2018, CCFD Terre Solidaire

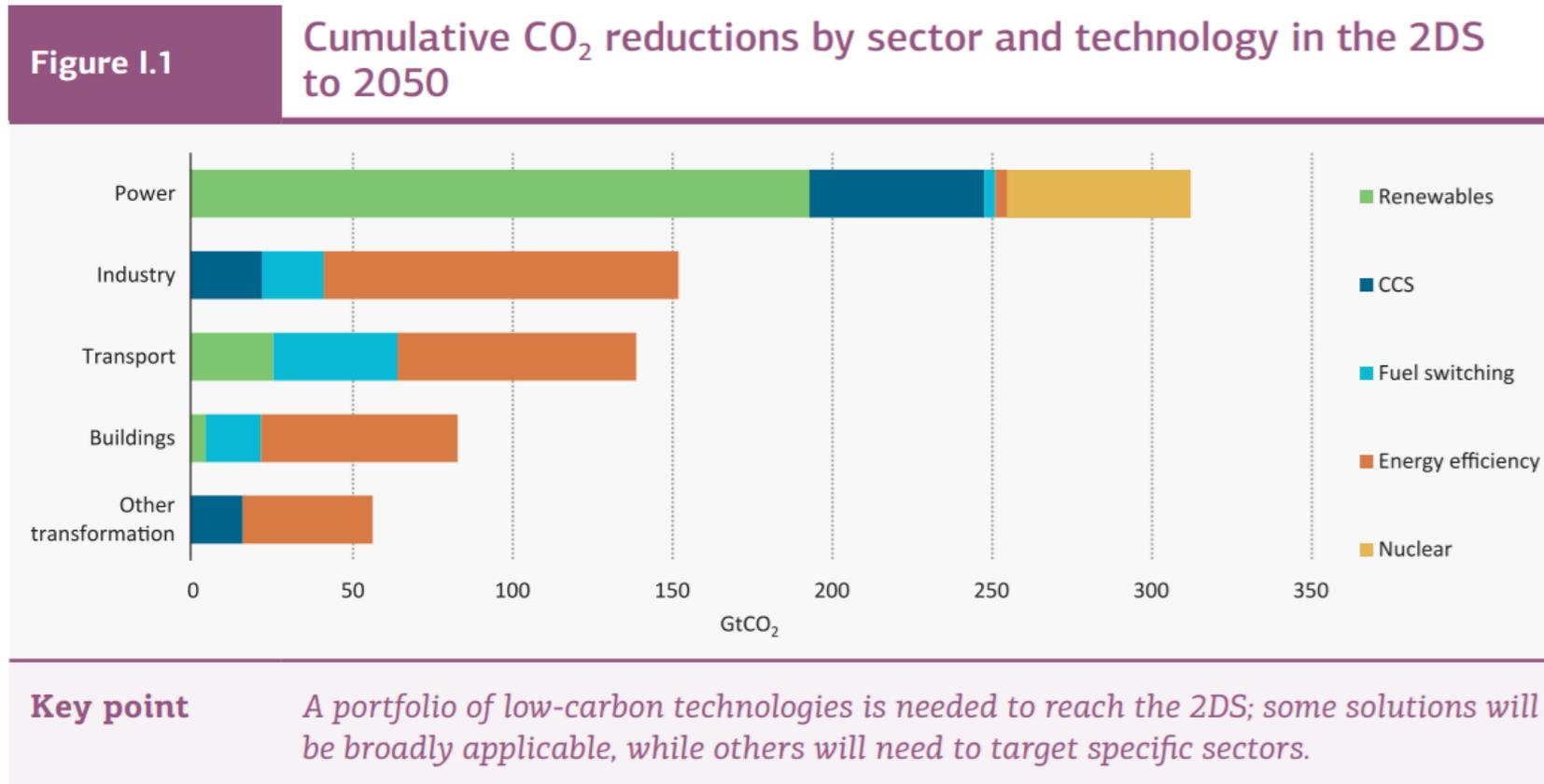
<https://www.youtube.com/watch?v=xTUqt-7qaz4>

Définition et contexte

- Enjeu important dans la lutte contre le changement climatique et la réduction des émissions de CO₂;
- Différents secteurs d'activité sont concernés par le développement des CCS à l'horizon 2050 d'après le scénario 2DS de l'AIE, dont celui de l'énergie;
- Ainsi, **107 Gt de CO₂** devraient être séquestrées d'ici à 2060 selon l'AIE pour limiter l'augmentation de la température de l'atmosphère terrestre à 1,5°C à l'horizon 2100.

Définition et contexte

- Secteurs d'activités concernés par les CCS :



Source : *Energy Technology Perspectives 2015, IEA*

Définition et contexte

- Il existe 2 grands modes de séquestration du carbone :
 - Séquestration biologique;
 - Séquestration industrielle.
- L'objectif consiste à réduire la concentration de carbone dans l'atmosphère qui constitue un réservoir contenant environ **750 Gt de carbone** stockées sous forme de **CO₂** et de **méthane**.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs
- Définition et contexte
- ***Séquestration biologique***
- Séquestration industrielle
- Limites et développement des CCS
- Conclusion

Séquestration biologique

- **Séquestration biologique** (ou naturelle) est l'ensemble des mécanismes naturels permettant de capter et de stocker le CO₂ présent dans l'atmosphère;
- Des réactions biochimiques transforment alors le CO₂ en matière organique ou en carbonates qui sont alors stockées au niveau de **puits de carbone**;
- La séquestration biologique est basée sur les équilibres du **cycle du carbone**.

Séquestration biologique

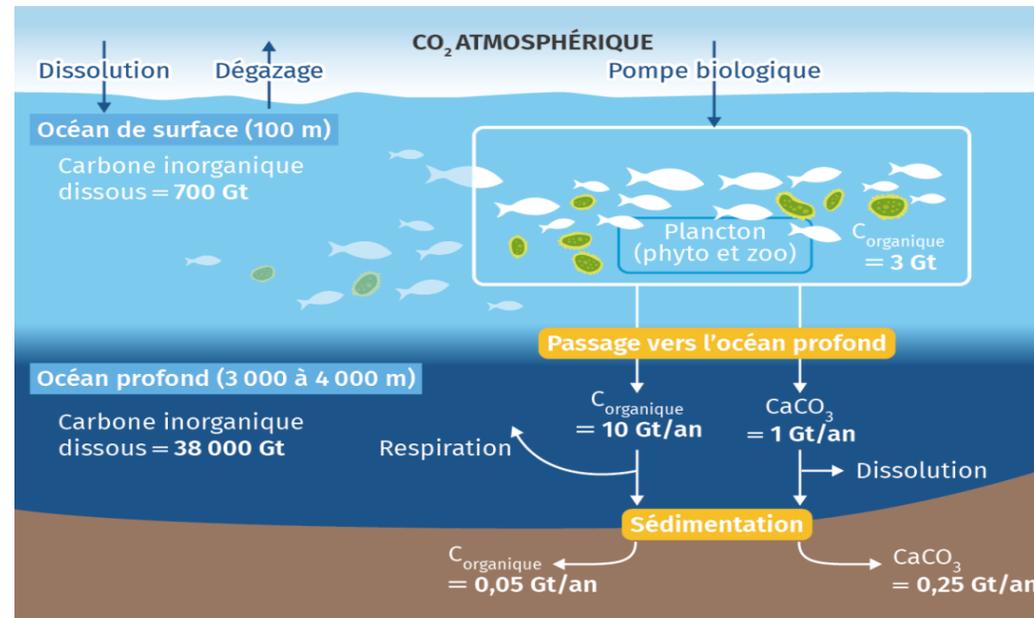
Différents réservoirs sont considérés :

- **Les roches** : en profondeur, représentent la plus grande quantité de carbone stockée sur terre avec environ **37 millions de Gt** ($37 \times 10^{15}t$);
- **Les sols** : sous forme de matière organique, de CO₂ et de méthane, représentent **1500 Gt** stockées principalement au niveau des prairies. Exemple du projet SOCA :
<https://www.youtube.com/watch?v=w556k3T462s>

Séquestration biologique

Différents réservoirs sont considérés :

- **Les océans** : sous forme de matière organique (ex : Plancton) ou inorganique dissous dans l'eau, en fonction de la profondeur (visionner la [vidéo](#));



Séquestration biologique

Différents réservoirs sont considérés :

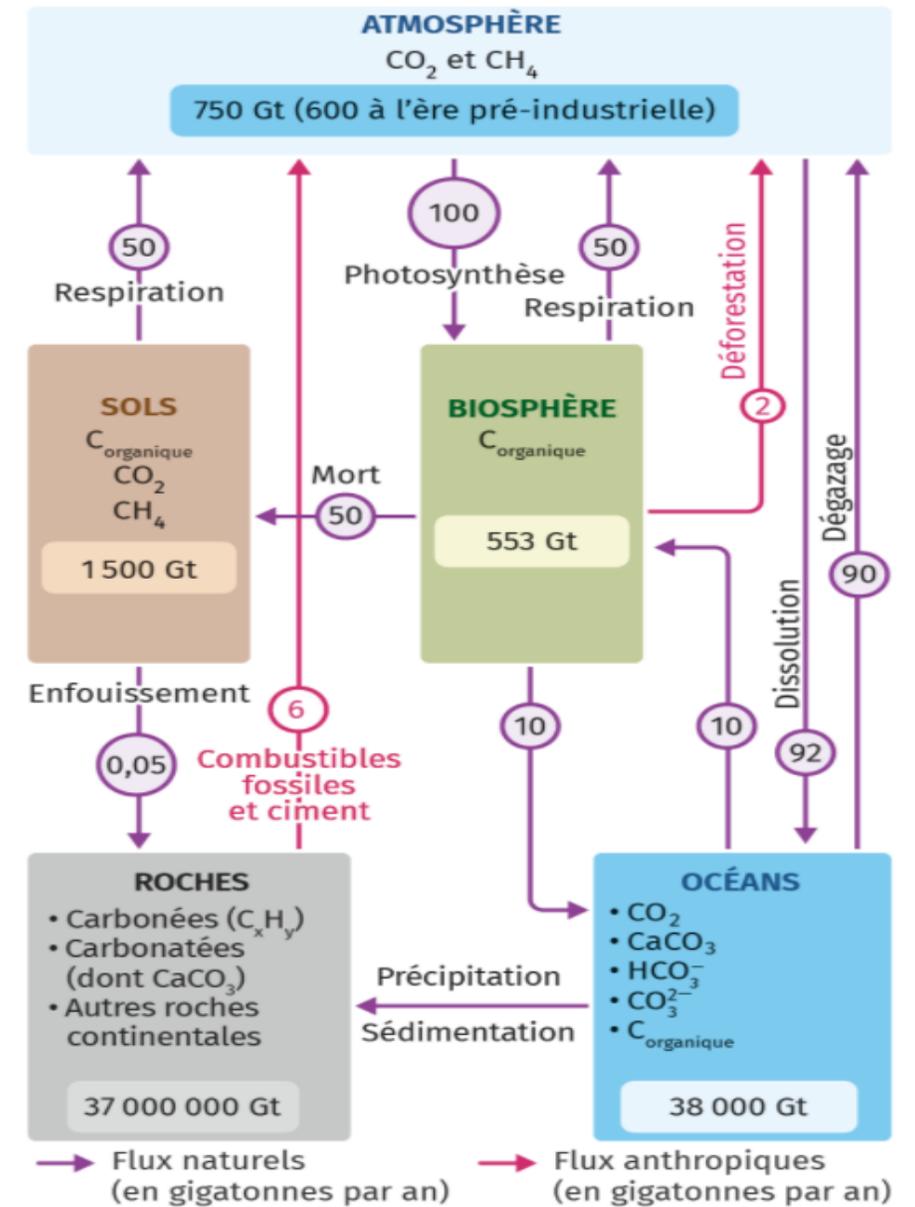
- **La biosphère** : sous forme de matière organique au travers des différents être vivants terrestres, elle représente **550 Gt** de carbone;
- **Les forêts** : réservoir particulier pour lequel on considère le carbone stocké sous forme de matière organique (majoritairement de la biomasse) dans les végétaux, mais aussi dans les sols. Représente environ **650 Gt** de carbone à l'échelle de la planète.

Séquestration biologique

Le cycle du carbone :

Ces différents réservoirs ainsi que les flux de carbone qu'ils échangent représentent le **cycle du carbone**.

L'équilibre de ce dernier est perturbé par les activités humaines, ce qui entraîne une augmentation du carbone stocké dans l'atmosphère.



Source : lelivrescolaire.fr

Séquestration biologique

Les solutions :

- Protection des forêts et reforestation;
- Développement des espaces verts urbains;
- Préservation de la faune et de la flore des océans;
- Utilisation raisonnée des sols.

Exemple dans le domaine de l'agriculture :

<https://www.youtube.com/watch?v=PKUwLjiZmQc>

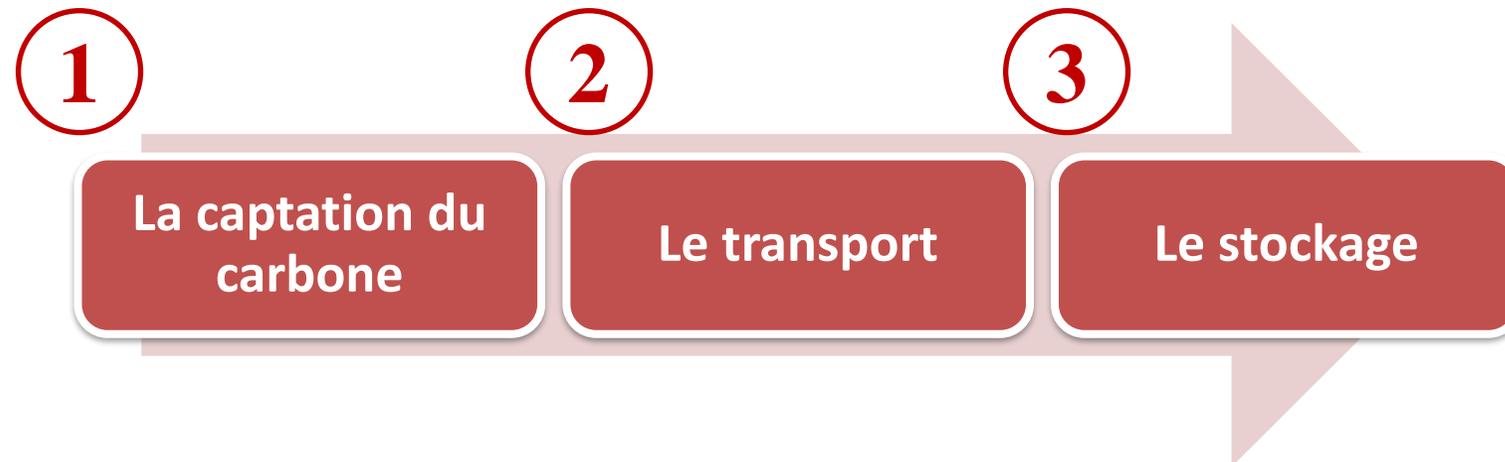
Plan de la présentation

- Introduction et objectifs
- Définition et contexte
- Séquestration biologique
- ***Séquestration industrielle***
- Limites et développement des CCS
- Conclusion

Séquestration industrielle

La **séquestration industrielle** (ou artificielle) est l'ensemble des techniques permettant de capturer et de séquestrer du CO₂ opérées par l'homme;

Trois étapes sont alors nécessaires à la mise en place d'une technique de séquestration de carbone :



Séquestration industrielle

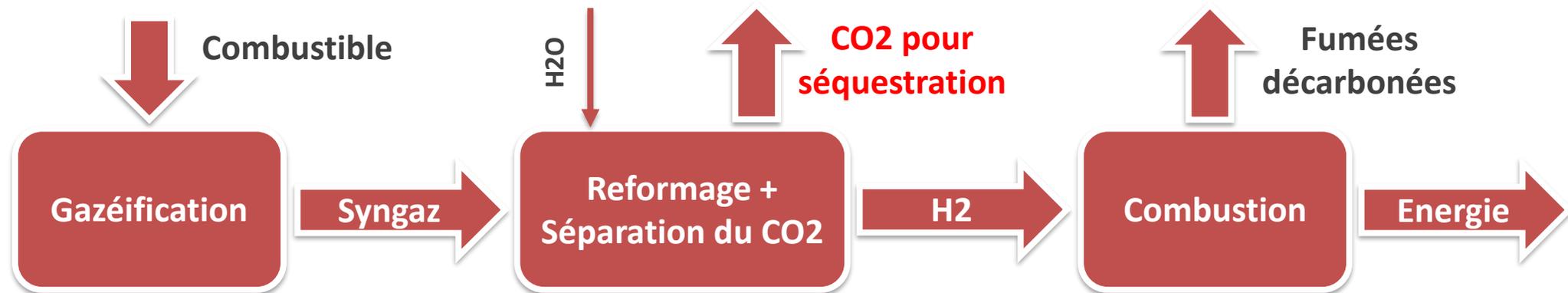
① La captation du carbone :

- Consiste à prélever du carbone (généralement sous forme de CO₂) dans l'atmosphère ou avant qu'il n'y soit émis;
- Représente généralement les coûts les plus importants dans le processus de séquestration. Ce coût est évalué entre **60 et 95 \$CAD** pour un coût total de séquestration compris entre **70 et 140 \$CAD** (d'après l'entreprise *Gaz de France*);
- Différentes méthodes de captation du carbone sont étudiées.

Séquestration industrielle

1 La captation du carbone :

- **Précombustion** : consiste à décarboner le combustible en amont d'une réaction de combustion qui sera alors réalisée seulement avec du dihydrogène. Ainsi, la réaction de combustion n'émettra pas de CO_2 dans l'atmosphère:



Séquestration industrielle

1 La captation du carbone :

- **Postcombustion** : consiste à capter le CO_2 au niveau des fumées rejetées après une réaction de combustion;
- **Oxycombustion** : consiste à remplacer l'air utilisé comme comburant d'une machine (ex : chaudière ou moteur) par du dioxygène pur de sorte à récupérer en sortie de réaction un flux de CO_2 très concentré;
- **Capture dans l'air ambiant** : méthode consistant à absorber le CO_2 directement dans l'air ambiant.

Séquestration industrielle

② Le transport :

Généralement par gazoduc ou par bateau. Représente la seconde source de dépense la plus importante du processus.

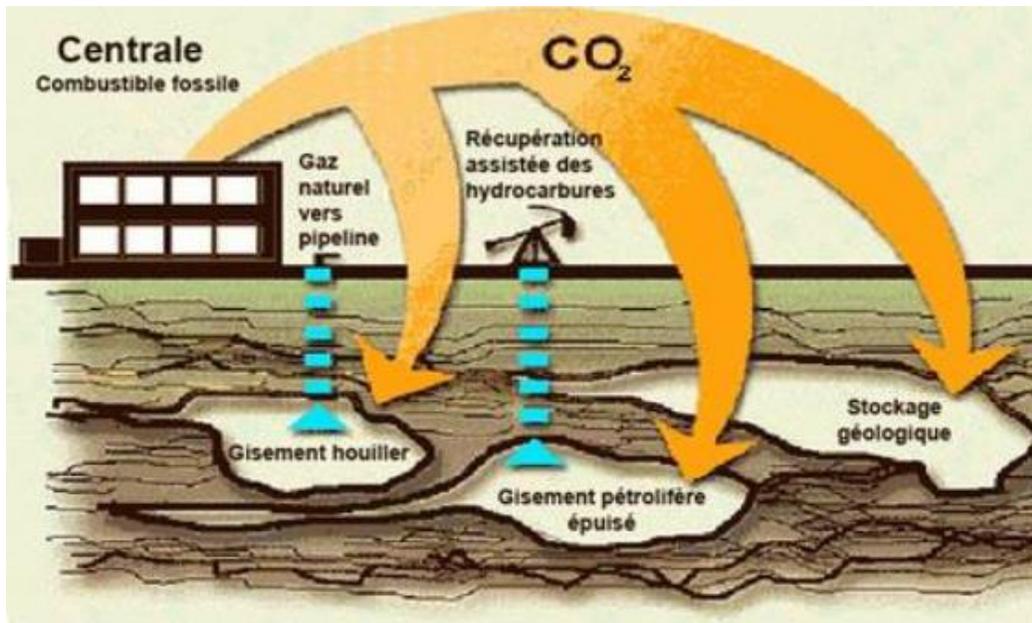


Source des images : pixabay

Séquestration industrielle

3 Le stockage du carbone :

- **Stockage géologique** : injection de CO₂ dans certaines couches géologiques terrestres suffisamment étanches pour le garder prisonnier sur de longues périodes de temps;



Source : *Bio-ressources : le blog*, 2012

Séquestration industrielle

3 Le stockage du carbone :

- **Les gisements d'hydrocarbures** : propriétés d'étanchéité et de stabilité à l'échelle des temps géologique intéressante pour le stockage du carbone. De plus, l'injection de fluide de CO₂ supercritique peut permettre de faciliter la récupération du pétrole présent dans les gisements;
- **Les veines de charbon** : le méthane de veines de charbon non exploitées pourrait être remplacé par du CO₂, finançant ainsi la séquestration du carbone;
- **Les aquifères salins** : présentent des caractéristiques semblables aux gisements d'hydrocarbures sans les avantages liés à l'exploitation du gaz naturel ou du pétrole qui permet de financer la séquestration du carbone.

Séquestration industrielle

3 Le stockage du carbone :

- **Stockage Océanique** : plusieurs solutions sont envisagées :
 - Développement de fertilisants ayant pour vocation de favoriser la croissance du phytoplancton dans les océans;
 - Injection de CO₂ dans les fonds marins (profondeur supérieure à **1000 m**);
 - Rejet de résidus agricoles dans les océans qui seront par la suite stockés dans les fonds marins;
- **Stockage minéral inerte** : sous forme stable et inerte, comme par exemple sous forme de carbonate.

Séquestration industrielle

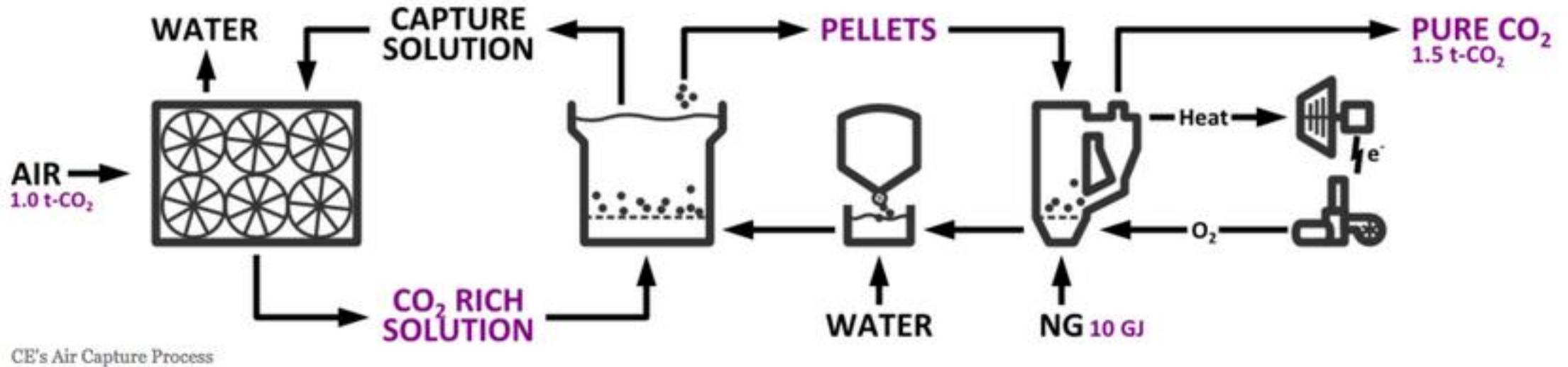
<http://bigthink.com/design-for-good/giant-fans-will-soon-suck-out-co2-from-the-atmosphere-and-turn-it-into-fuel>



Séquestration industrielle

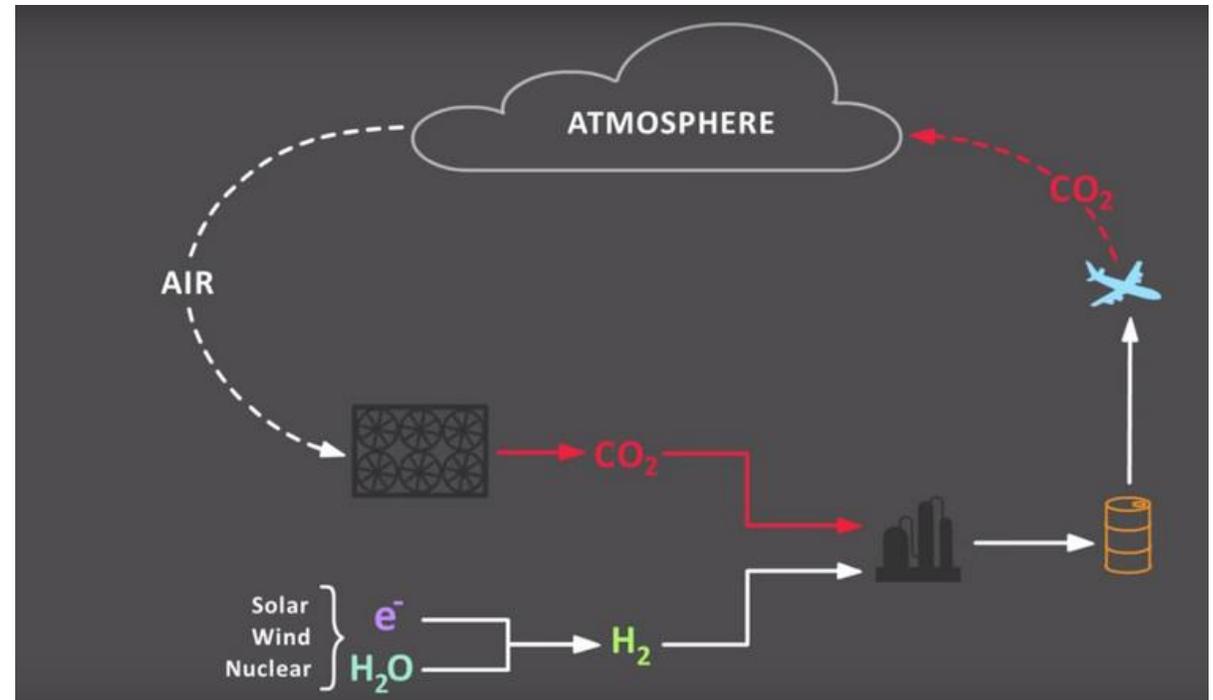
- In brief

- After the air enters into the facility, it passes through a CO₂-absorbent liquid that traps about 80 percent of the carbon dioxide into a solution for further processing.



Séquestration industrielle

- Actually
 - In the full-scale facility that is currently being built in Squamish, BC, the CO₂ will be recovered from the carbonate solution and integrated into the production of liquid hydrocarbons that are fully compatible with today's transport infrastructure, but have a low (or even zero) carbon intensity.



Plan de la présentation

- Introduction et objectifs
- Définition et contexte
- Séquestration biologique
- Séquestration industrielle
- ***Limites et développement des CCS***
- Conclusion

Limites et développement des CCS

Les limites de CCS :

- **Coûts importants** : entre **70 et 140 \$CAD/t de carbone séquestré** (selon *Gaz de France*), majoritairement liés à la captation du carbone;
- **Consommation d'eau** : plus ou moins importante selon la technologie employée. La gestion de l'eau est un facteur important étudié dans le cadre de la mise en place des CCS à grande échelle;
- **Manque d'expériences** : peu de projets à grande échelle développés pour l'instant.

Limites et développement des CCS

Les limites de CCS :

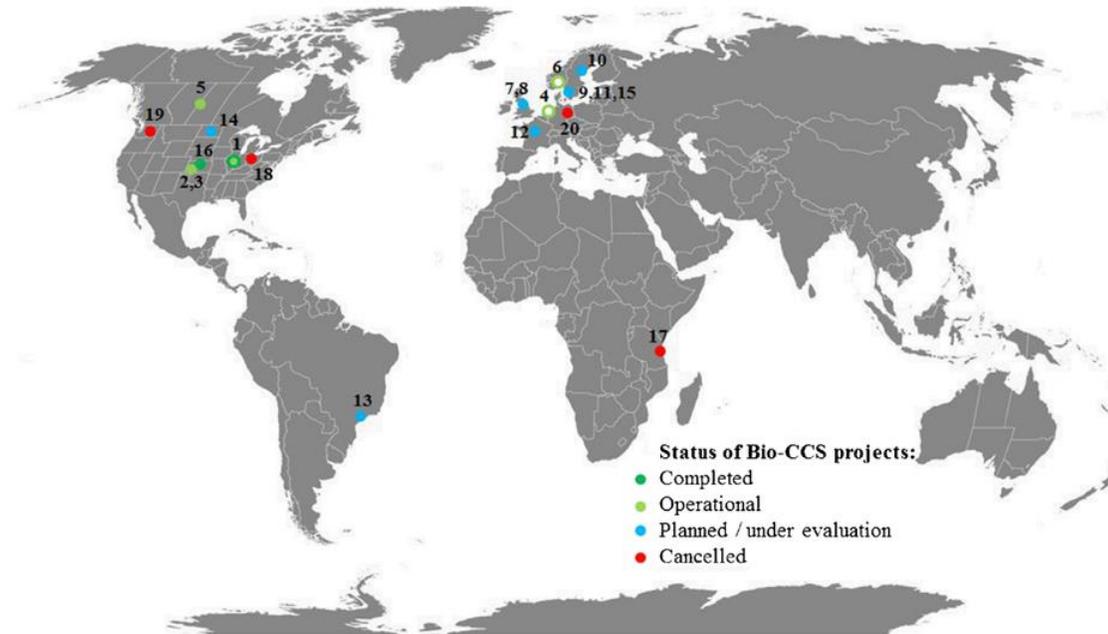
- **Risques** : manque de connaissances sur la durabilité du stockage du CO₂ et sur les impacts que ce stockage peut avoir sur les écosystèmes. Les principaux risques considérés sont de nature :
 - Sismique;
 - Volcanique;
 - Humain (nouveaux forages, etc.).

Limites et développement des CCS

Les pistes de développement :

- Développement de certains projets dans le monde :

Status of BECCS projects in 2014



Source: Kemper (2015, Int J. GHG Control 40:401-430)

Limites et développement des CCS

Les pistes de développement :

- **Développement de solutions nouvelles :**
 - **Amélioration de la photosynthèse** : les gènes Rubisco des plantes permettant d'améliorer l'efficacité de la photosynthèse et ainsi augmenter la quantité CO₂ qu'elles sont capables de séquestrer;
 - Séquestration par des **micro-organismes**;
 - Séquestration dans des **solides ou liquides organiques sophistiqués**.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs
- Définition et contexte
- Séquestration biologique
- Séquestration industrielle
- Limites et développement des CCS
- ***Conclusion***

Conclusion

- La séquestration du carbone représente un enjeu important dans la course à la réduction des émissions de CO₂;
- Différentes méthodes permettent de séquestrer du carbone de manière plus ou moins naturelle;
- Certaines techniques de séquestrations sont aujourd'hui bien établies;
- Mais les coûts et les risques qu'elles représentent ralentissent leur développement à grande échelle.



Merci de votre attention !

Si vous avez des questions à formuler, veuillez les poser par écrit et spécifier le nom et le numéro de la présentation. Nous vous répondrons le plus rapidement possible.

Période de questions



Ressources

- <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-24475-AIE-ETP2015.pdf>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9questration_du_dioxyde_de_carbone
- <https://www.livrescolaire.fr/page/3152817>
- <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-separation-precombustion-co2-7045/>
- <http://blog.bio-ressources.com/2012/07/10/la-methode-du-stockage-geologique-du-co2-secouee-par-le-risque-de-declenchement-de-seismes/>
- <https://webstore.iea.org/exploring-clean-energy-pathways>
- <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-sequestration-naturelle-co2-7127/>