

Les Tranches de Stabilisation: Un concept et un jeu

L'initiative d'atténuation carbone (Carbon Mitigation Initiative - CMI) est un projet collectif entre l'université de Princeton, BP, et Ford Motor Company pour trouver des solutions au problème des gaz à effets de serre. Pour souligner le besoin d'une action rapide, les co-directeurs Robert Socolow et Stephen Pacala ont créé le concept des tranches de stabilisation : des 'tranches' de 25 milliards de tonnes qui doivent être soustraites des futures émissions de carbone prévues pour les 50 prochaines années pour éviter le doublement du taux de dioxyde de carbone atmosphérique depuis les niveaux préindustriels.



Les pages suivantes contiennent:

- Une introduction au problème du carbone et du climat et le concept des tranches de stabilisation (pp. 1-3)
- Des descriptions des outils d'atténuation actuels disponibles qui ont la capacité de réduire les émissions futures d'au moins une tranche (pp. 4-8)
- Le matériel et les instructions pour mettre en place le 'Jeu des Tranches de Stabilisation', une activité qui permet de faire que l'importance du défi de l'atténuation carbone et les compromis induits par les politiques de prévention du changement climatique soient mis en avant (pp. 9-16)

Pour plus d'informations, merci de contacter:

Carbon Mitigation Initiative
Princeton Environmental Institute
Princeton University
Princeton, NJ 08544
USA

voice: (609) 258-3832
fax: (609) 258-6818

<http://cmi.princeton.edu>

Vous pouvez télécharger une copie gratuite et mise à jour de ce guide et voir les ressources additionnelles sur notre site internet:

<http://cmi.princeton.edu/wedges/>

Nous espérons réviser ces documents avec vos remarques ! Si vous avez des questions ou des commentaires, merci de contacter le Dr Roberta Hotinski, consultante pour le CMI, à l'adresse hotinski@princeton.edu

Le problème du climat et du carbone

Les preuves continuent à s'accumuler prouvant que le dioxyde de carbone, ou CO₂, provenant de la combustion de carburants fossiles est en train de causer de dangereuses interférences avec le climat. Neuf des dix dernières années les plus chaudes mesurées ont eu lieu depuis 2001, et les 10 plus chaudes depuis 1998. Des glaciers contenant de la glace vieille de milliers voire de dizaines de milliers d'années disparaissent, offrant une réfutation visuelle aux affirmations soutenant que le réchauffement récent fait partie d'un cycle naturel. Les modèles prédisent que, sans action pour limiter la croissance des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, nous risquons de déclencher des catastrophes – arrêt du modèle principal de la circulation thermo haline, perte de la couche de glace de l'Antarctique Ouest, ou une multiplication des ouragans de catégorie 5.

Le CO₂ et d'autres gaz dans l'atmosphère changent le climat en laissant passer le rayonnement solaire passer à travers l'atmosphère et réchauffer la planète, mais en empêchant la chaleur de s'échapper dans l'espace (un effet connu généralement sous le nom 'd'effet de serre'). En brûlant des carburants fossiles, composés majoritairement d'hydrogène et de carbone, nous ajoutons du CO₂ dans l'atmosphère

L'atmosphère de la terre contient actuellement environ 800 milliards de tonnes de carbone sous forme de CO₂, et la combustion de carburants fossiles ajoute actuellement 8 milliards de tonnes de carbone chaque année. Si nous imaginons l'atmosphère sous forme de baignoire, ces émissions de carbones sont comme l'eau sortant du robinet pour remplir le bain (Figure 1). L'océan et la biosphère terrestre agissent comme deux évacuations pour cette baignoire – le carbone peut être retiré de l'atmosphère en étant dissout à la surface des océans ou en étant capturé par les forêts en croissance. Cependant, ces deux 'évacuations' n'enlèvent que la moitié du carbone que nous émettons dans l'atmosphère chaque année. Le reste s'accumule dans l'atmosphère (actuellement à un rythme d'environ 4 milliards de tonnes par an).

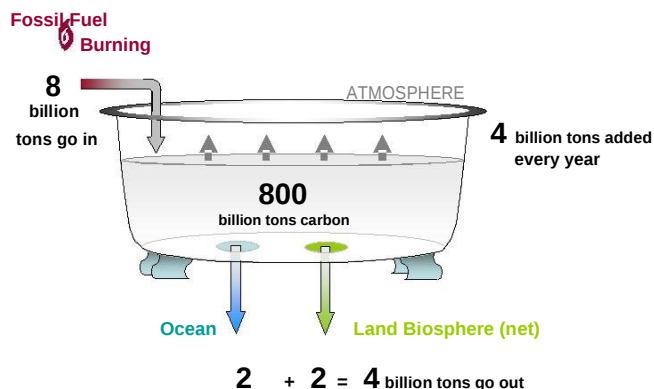


Figure 1. L'atmosphère vue comme une baignoire, avec les entrées et sorties actuelles de carbone. Le niveau de la baignoire augmente d'environ 4 milliards de tonnes par an.

Le robinet des carburants fossiles a été 'ouvert' à la Révolution Industrielle. A l'ère préindustrielle, l'atmosphère contenait seulement environ 600 milliards de tonnes de carbone, 200 milliards de moins qu'aujourd'hui (Figure 2). Pour illustrer l'importance du CO₂ au niveau du climat de la Terre, les mesures de carottes glaciaires montrent que les changements passés de même ampleur des taux de carbone atmosphérique ont fait la différence entre les âges glaciaires et les conditions plus chaudes familières des derniers 10 000 ans.

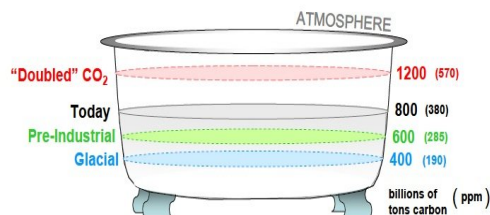


Figure 2. Niveaux passés, présents, et potentiellement futurs du carbone dans l'atmosphère en 2 unités. 2,1 milliards de tonnes de carbone = 1 part par million (ppm)

Les observations indiquent que le carbone déjà émis dans l'atmosphère a augmenté la température terrestre moyenne d'environ 0,73 °C depuis le 19^e siècle, et que presque chaque année le robinet des combustibles fossiles est ouvert plus grand. Une moyenne de nombreuses prévisions prédit que nous ajouterons environ 16 milliards de tonnes de carbone par an à la 'baignoire' dans 50 ans, le double du taux actuel, à moins que des actions soient prises pour contrôler les émissions de carbone. Si nous empruntons cette voie, la quantité de carbone dans l'atmosphère atteindra 1200 milliards de tonnes – le double de la valeur préindustrielle - bien avant la fin du siècle, et continuera à augmenter dans le futur. En conséquence, la température de la Terre devrait augmenter à un rythme sans précédent au cours des derniers 10 000 ans. Comment pouvons-nous sortir de cette voie ?

Une introduction aux tranches de stabilisation

Le concept des 'tranches de stabilisation' est un outil simple pour représenter les économies d'émissions qui peuvent être faites pour éviter un changement climatique dramatique.

Nous considérons deux futurs – permettre aux émissions de doubler contre garder les émissions aux niveaux actuels pour les 50 prochaines années (Figure 3). La voie des émissions doublées (ligne noire pointillée) correspond à la moyenne de la plupart des estimations des émissions de carbones futures. La pente étend approximativement la pente des 50 dernières années, durant lesquelles l'économie mondiale a augmenté bien plus rapidement que ses émissions de carbone. Les émissions pourraient être plus hautes ou plus basses dans les 50 ans, mais cette voie constitue un scénario de référence raisonnable.

La voie des émissions doubles entraîne des prévisions de réchauffement climatique significatif d'ici à la fin du siècle. Ce réchauffement serait accompagné selon les prévisions par des diminutions de rendements des cultures, des menaces accrues pour la santé humaine, et des événements météorologiques extrêmes plus fréquents. La planète pourrait aussi avoir à faire face à une augmentation du niveau des mers suite à la fonte de la couverture de glace de l'Antarctique Ouest et des glaciers du Groenland et à la déstabilisation de la circulation thermo haline qui permet de redistribuer la chaleur de la planète et réchauffer l'Europe de l'Ouest.

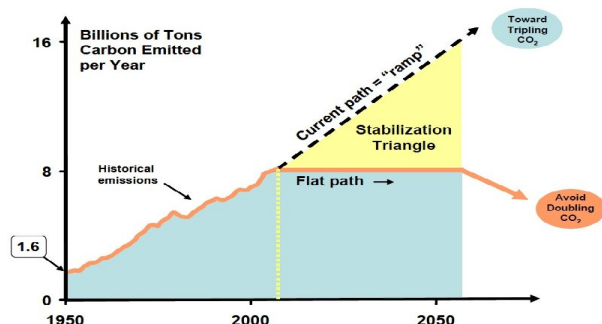


Figure 3. Les 2 scénarios d'émissions disponibles définissant le 'triangle de stabilisation'.

Par contre, nous pouvons empêcher le doublement du CO₂ si nous pouvons garder les émissions au même niveau pendant les 50 prochaines années, puis travailler pour réduire les émissions dans la seconde moitié du siècle (Figure 3, ligne orange). Cette voie est présagée pour garder le carbone atmosphérique sous les 1200 milliards de tonnes (ce qui correspond environ à 570 parties par millions (ppm)), nous permettant de d'éviter de peu les pires conséquences attendues du changement climatique.

Garder un niveau constant d'émissions requerra la baisse de production prévue de carbone d'environ 8 milliards de tonnes par an d'ici à 2060, évitant l'entrée dans l'atmosphère d'environ 200 milliards de tonne de carbone (voir le triangle jaune dans la Figure 3). Ces économies de carbone sont ce que nous appelons le 'triangle de stabilisation'.

L'opinion communément admise était que seule une nouvelle technique révolutionnaire comme la fusion nucléaire pourrait permettre de telles baisses d'émissions. Il n'y a aucune raison, cependant, pour qu'un seul outil ait à résoudre tous les problèmes. Le CMI entreprend de quantifier l'impact que pourrait avoir un portefeuille de technologies existantes déployées à très grande échelle.

Pour rendre le problème plus facile à aborder, nous avons divisé le triangle de stabilisation en huit 'tranches' (Figure 4). Une tranche représente une stratégie de baisse de carbone ayant le potentiel de croître de 0 jusqu'à éviter des émissions de carbone d'un milliard de tonnes par an d'ici à 2060. Les tranches peuvent représenter des méthodes permettant soit de produire de l'énergie avec peu ou pas d'émissions de carbone (comme le nucléaire ou l'électricité éolienne), soit de stocker du dioxyde de carbone pour l'empêcher de s'accumuler aussi rapidement dans l'atmosphère (via stockage souterrain ou biostockage).

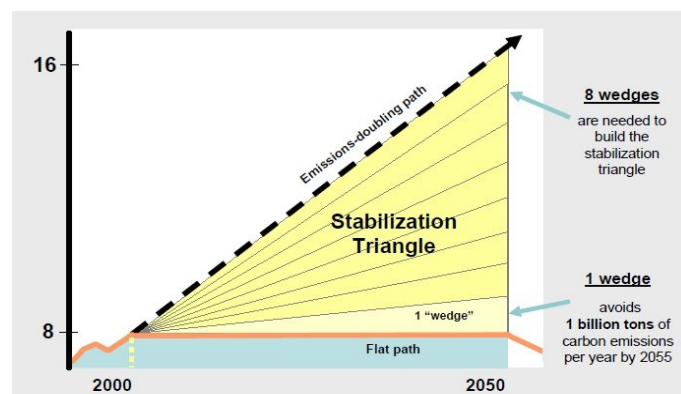


Figure 4. Les 8 'tranches' du Triangle de Stabilisation.

Garder des émissions constantes ne sera possible que si toutes les nations du monde 'remplissent' les 8 tranches du triangle de stabilisation. Dans l'analyse du CMI, au moins 15 stratégies sont disponibles maintenant et qui, en les développant, pourrait chacune prendre en charge au moins une tranche de réduction d'émissions. Aucune stratégie ne permettrait à elle seule de prendre en charge le triangle entier – de nouvelles stratégies seront requises pour assurer les besoins en carburant et en électricité, et certaines stratégies de tranches entrent en compétition avec d'autres pour remplacer les émissions d'une même source – mais il y a déjà un portefeuille d'outils plus qu'adéquat pour contrôler les émissions de carbone des 50 prochaines années.

Les Stratégies de Tranche actuellement disponibles

Les pages suivantes contiennent les descriptions de 15 stratégies actuellement disponibles qui pourrait se développer sur les 50 prochaines années pour réduire les émissions de carbone globales d'un milliard de tonnes par an, soit une tranche. Elles sont groupées dans 4 principales catégories classées par code couleur :

Efficacité et Economies

- Efficacité des transports accrue
- Réduction des km parcourus
- Efficacité énergétique des bâtiments accrue
- Efficacité de la production électrique accrue

Stratégies basées sur les énergies fossiles

- Changement d'énergie (du charbon vers le gaz)
- Electricité fossile avec Capture et Séquestration de Carbone (CCS)
- Carburants synthétiques à base de charbon avec CCS
- Hydrogène carburant d'origine fossile avec CCS

Energie nucléaire

- Electricité Nucléaire

Renouvelables et Biostockage

- Electricité éolienne
- Electricité solaire
- Hydrogène carburant éolien
- Biocarburants
- Stockage forêt
- Stockage sols

Chaque stratégie peut être appliquée à un ou plusieurs secteurs, indiqués par les symboles suivants :

= Production électrique, = Chauffage et utilisation directe de carburant, = Transports, = Biostockage

Amélioration de l'Efficacité & Economies



1. Efficacité des transports

Une voiture typique consommant 7 l aux 100km roulant 16 000 km par an émet une tonne de carbone dans l'air annuellement. Aujourd'hui il y a environ 600 millions de voitures dans le monde, et il est prévu qu'il y ait environ 2 milliards de voitures sur les routes dans 50 ans. Une tranche de réduction d'émissions pourrait être atteinte si l'efficacité énergétique de toutes les voitures attendues pour 2060 était doublée pour passer de 7 litres aux 100km à 3,5 l aux 100km. Les gains d'efficacité pourraient venir de l'utilisation de technologies de moteurs hybride ou diesel, ainsi que de la fabrication en matériaux résistants mais plus légers.

Réduire les émissions de carbone des camions et des avions en rendant ces moteurs plus efficaces peut également aider pour cette tranche. L'aviation est la branche de transport présentant la croissance la plus rapide.



2. Economies de transport

Une tranche pourrait être atteinte si le nombre de kilomètres parcourus par les voitures dans le monde était réduit de moitié. Une telle réduction de la conduite pourrait être atteinte si l'aménagement urbain menait à une plus grande utilisation de transports en commun et si les communications électroniques devenaient un bon substitut aux rencontres en face à face.



3. Efficacité des bâtiments

Les émissions de carbone aujourd'hui proviennent à parts égales de la fourniture d'électricité, des transports, et de la chaleur pour l'industrie et les bâtiments. Les plus grands potentiels d'économies dans le secteur des bâtiments sont dans le chauffage et la climatisation des surfaces habitables, le chauffage de l'eau, l'éclairage et les appareils électriques.

Il a été démontré que le secteur des bâtiments dans son ensemble a les potentiels technologique et économique pour réduire ses émissions de moitié. Réduire les émissions de 25 % dans tous les bâtiments résidentiels et commerciaux neufs et existants permettrait d'atteindre la valeur d'une tranche de réduction d'émissions. Les économies de carbone venant du chauffage des surfaces habitables et de l'eau viendront à la fois de stratégies d'efficacité énergétique au niveau final, comme l'isolation des sols et des toits, et de stratégies basées sur les énergies renouvelables, comme les chauffe-eau solaires et la conception solaire passive.



4. Efficacité dans la production d'électricité

Les centrales à charbon d'aujourd'hui produisent environ un quart des émissions de carbone mondiales, donc l'augmentation de l'efficacité de ces centrales offre une opportunité importante de réduction d'émissions. Produire l'électricité à base de charbon au niveau mondial actuel avec un rendement doublé permettrait d'économiser la valeur d'une tranche d'émissions de carbone.

Un meilleur rendement au niveau des centrales résulte de meilleures turbines, de l'utilisation de piles à combustibles à haute température, et en combinant les deux. Au niveau du système, un meilleur rendement résulte de la distribution d'électricité de plus en plus régulière, de la cogénération (production de chaleur utilisable et d'électricité), et de la polygénération (la coproduction de produits chimiques et d'électricité).

Dû aux importantes productions hydroélectriques et nucléaires, le secteur de l'électricité obtient déjà environ 35% de son énergie de sources sans carbone. Les tranches ne peuvent venir que des 65% restant.

Suggestion de lien:

IPCC Working Group III Report "Mitigation of Climate Change", Chapters 4, 5 & 6
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg3_report_mitigation_of_climate_change.htm

Capture et Séquestration de Carbone (CCS)



Si les émissions de CO₂ provenant d'énergies fossiles pouvaient être capturées et stockées, plutôt que dégagées dans l'atmosphère, alors le monde pourrait continuer à utiliser le charbon, le pétrole et le gaz naturel pour satisfaire les besoins en énergie sans conséquences climatiques néfastes. La voie la plus économique pour atteindre cet objectif est de capturer le CO₂ dans les grandes centrales électriques ou thermiques, et de le stocker sous terre. Cette stratégie, appelée Capture et Séquestration de Carbone, ou CCS (Carbone Capture and Storage), est déjà testée dans des projets pilotes dans le monde.



5. CCS et Electricité

Les centrales à charbon d'aujourd'hui produisent environ le quart des émissions de carbone mondiales et sont des sources importantes de CO₂ dans l'atmosphère. Une tranche pourrait être atteinte en appliquant les CCS à 800 grandes (1 milliard de watt) centrales à charbon ou à 1600 grandes centrales au gaz naturel dans les 50 ans. Comme pour toutes les stratégies de CCS, pour produire une énergie à bas carbone le CO₂ doit être stocké pour des siècles.

Il y a actuellement 3 projets pilotes de stockage dans le monde, qui stockent chacun environ un million de tonnes de carbone sous terre par an. Stocker la valeur d'une tranche d'émissions nécessite 3500 fois la capacité d'un de ces projets.



6. CCS et Hydrogène

L'hydrogène est un carburant souhaitable dans une société à bas carbone car lors de sa combustion le seul produit d'émission est de la vapeur d'eau. Puisque les combustibles fossiles sont constitués majoritairement de carbone et d'hydrogène ils sont des sources potentielles d'hydrogène, mais pour avoir un bénéfice climatique le carbone en excès doit être capturé et stocké.



L'hydrogène pur est maintenant produit principalement dans deux industries : la production de fertilisants azotés et le raffinage de pétrole. Aujourd'hui ces centrales de production d'hydrogène génèrent environ 100 millions de tonnes de carbone capturable. Ce CO₂ est maintenant émis dans l'atmosphère, mais seuls de petits changements sont nécessaires pour mettre en place le stockage de carbone. L'échelle de la production d'hydrogène actuelle est seulement dix fois plus petite que l'échelle d'une tranche de capture de carbone.

La distribution d'hydrogène avec CCS, néanmoins, requiert la construction d'une infrastructure pour connecter les grandes centrales de production d'hydrogène avec les utilisateurs à plus faible échelle.



7. CCS et Carburants Synthétiques

Dans 50 ans une part significative des carburants utilisés dans les véhicules et les bâtiments pourrait provenir non pas du pétrole conventionnel, mais du charbon. Quand le charbon est chauffé et combiné avec de la vapeur et de l'air ou de l'oxygène, le monoxyde de carbone et l'hydrogène sont relâchés et peuvent être transformés en un carburant liquide appelé 'carburant synthétique'.



Les carburants synthétiques à base de charbon produisent pratiquement deux fois plus d'émissions de carbone que les carburants dérivés de pétrole, puisque de grandes quantités de carbone en excès sont relâchées lors de la conversion du charbon en carburant liquide. La plus grande de ces raffineries, située en Afrique du Sud, est la plus grande source de CO₂ atmosphérique du monde. Une tranche correspond à une activité qui, sur 50 ans, peut capturer les émissions de CO₂ de 180 de ces raffineries de carburants synthétiques.

Suggestion de lien:

IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage, SPM

http://www.ipcc.ch/pdf/specialreports/srccs/srccs_summaryforpolicymakers.pdf

Changement de Combustible



8. Changement de Combustible - Electricité

Dû à la teneur plus faible en carbone du gaz naturel et au meilleur rendement des centrales au gaz naturel, produire de l'électricité à partir de gaz naturel résulte en seulement la moitié des émissions dues au charbon. Une tranche nécessiterait 1400 grandes (1 milliard de watt) centrales au gaz naturel en remplacement de centrales au charbon similaires.

Cette tranche nécessiterait la production d'environ quatre fois la production globale d'électricité à partir de gaz naturel de l'an 2000. En 2060, un milliard de tonnes de carbone par an serait issues de centrales au gaz naturel au lieu des deux milliards de tonnes par an issues de centrales au charbon.

Les flux de matières équivalents à un milliard de tonnes de carbone par an sont énormes : une tranche de gaz naturel transporté équivaut à l'amarrage et à la livraison de 50 méthaniers par jour. Les cargaisons de méthaniers actuelles ne représentent que le dixième de ce volume.

Suggestion de lien:

U.S. Environmental Protection Agency: Electricity from Natural Gas

<http://www.epa.gov/RDEE/energy-and-you/affect/natural-gas.html>

Energie nucléaire



9. Electricité Nucléaire

La production nucléaire actuelle fournit environ 17% de l'électricité mondiale, et ne produit pas de CO₂. Ajouter de nouvelles centrales nucléaires pour tripler la capacité nucléaire mondiale réduirait les émissions d'une tranche si les usines à charbon étaient remplacées.

Dans les années 1960, quand la promesse d'une énergie nucléaire comme substitut au charbon était hautement considérée, une capacité nucléaire globale d'environ 2 000 milliards de watt était projetée pour l'an 2000. Le monde n'a maintenant qu'un sixième de cette capacité envisagée. Si le reste devait être construit dans les 50 prochaines années en remplacement de l'électricité à base de charbon, à peu près deux tranches pourraient être atteintes.

Par contre, abandonner la capacité actuelle de production nucléaire mondiale requerrait environ une demi-tranche supplémentaire à atteindre pour garder les émissions au niveau d'aujourd'hui.

La fission nucléaire génère du plutonium, un combustible pour les armes nucléaires. Ces nouveaux réacteurs pourraient ajouter plusieurs milliers de tonnes de plutonium aux stocks actuels de plutonium issus de réacteurs (environ 1000 tonnes).

Suggestion de lien:

IPCC Working Group III Report "Mitigation of Climate Change", Chapter 4 - Energy Supply <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter4.pdf>

Energies renouvelables et Biostockage



10. Electricité Eolienne

Le vent produit moins d'1% de la production globale d'électricité, mais l'électricité éolienne croît à un rythme d'environ 30% par an. Pour gagner une tranche de réduction d'émissions en remplaçant les usines à charbon par des éoliennes, la capacité de production éolienne devrait être multipliée par un facteur 10.

Cette augmentation de capacité nécessiterait le déploiement d'environ 1 million de grandes éoliennes. En se basant sur l'espacement actuel des turbines dans les fermes éoliennes, une tranche d'énergie éolienne requerrait une surface totale d'à peu près la taille de l'Allemagne. Cependant, les terrains utilisés pour la production éolienne peuvent également être utilisés à d'autres fins, notamment des cultures ou des pâturages.



11. Electricité Solaire

Les cellules photovoltaïques (PV) transforment la lumière solaire en électricité, fournissant une énergie renouvelable et sans CO₂. Les besoins en terrains pour le solaire sont moindres qu'avec d'autres renouvelables, mais l'installation de l'équivalent d'une tranche de PV requerrait encore des panneaux sur une surface d'environ deux millions d'hectares, soit 20 000 km². Les panneaux pourraient être situés soit sur des terrains dédiés, soit sur des surfaces multi usages comme des toits ou des murs de bâtiments. La surface totale de panneaux couvrirait environ la surface de l'Etat du New Jersey, ou l'équivalent de 12 fois la taille de l'aire métropolitaine de Londres.

Puisque le PV fournit actuellement moins d'un dixième de pourcent de l'électricité globale, atteindre une tranche de réduction d'émissions requerrait l'augmentation du déploiement de PV d'un facteur 100 en 50 ans, ou l'installation de PV à un rythme environ 2,5 fois supérieur à celui de 2009.

Un inconvénient actuel de l'électricité PV est son prix, qui est en baisse mais toujours 2 à 5 fois plus élevé que l'électricité issue de combustibles fossiles. De même, le PV ne peut être récupéré la nuit, et comme le vent, est une source d'énergie intermittente.



12. L'Hydrogène Eolien

L'hydrogène est une source souhaitable d'énergie dans une société à bas carbone puisque lors de sa combustion son seul produit d'émission est la vapeur d'eau. Pour produire de l'hydrogène avec de l'énergie éolienne, l'électricité générée par les éoliennes est utilisée en électrolyse, un procédé qui libère de l'hydrogène à partir d'eau.

L'hydrogène éolien en remplacement du carburant pour véhicules est seulement environ moitié moins efficace pour la réduction d'émissions de carbone en comparaison de l'éolien en remplacement des centrales à charbon, et 2 millions (au lieu d'un million) d'éolienne seraient requises pour une tranche de réduction d'émissions. Cette augmentation nécessiterait une augmentation d'échelle de la capacité éolienne actuelle d'environ 20 fois, requérant une surface de terrain à peu près de la taille de la France.

Contrairement à l'hydrogène produit à base de combustibles fossiles avec CCS, l'hydrogène éolien peut être produit à petite échelle là où sont les besoins. L'hydrogène éolien nécessiterait ainsi moins d'investissements en infrastructures pour la distribution de combustibles et carburants pour l'habitat et les véhicules.

Renouvelables et Biostockage (suite)



13. Biocarburants

Parce que les plantes prélèvent le CO₂ dans l'atmosphère, la combustion de biocarburants produits dans des centrales à partir de plantes comme le maïs ou la canne à sucre renvoie seulement du carbone 'emprunté' dans l'atmosphère. Ainsi la combustion de biocarburants pour le transport ou la production de chaleur n'augmentera pas la concentration nette de CO₂ dans l'atmosphère.

Les contraintes de terrain pour les biocarburants sont cependant plus importantes que pour l'électricité solaire ou éolienne. En utilisant les pratiques actuelles, la valeur d'une seule tranche de biocarburants neutres en carbone nécessiterait un sixième des surfaces agricoles mondiales et une zone à peu près de la taille de l'Inde. La bio ingénierie pour augmenter l'efficacité de la photosynthèse des plantes et l'utilisation de résidus de cultures pourrait réduire cette demande en terres, mais une production à grande échelle de biocarburants à base de plantes sera toujours une proposition très consommatrice en terrains.

Les programmes de production d'éthanol aux Etats-Unis et au Brésil produisent actuellement environ 75 milliards de litres de biocarburants à base de maïs et de canne à sucre. Une tranche d'économie liée au biocarburant nécessiterait l'augmentation de la production d'éthanol mondiale d'environ 12 fois, et de la rendre durable.



14. Stockage Forestier

Les plantes terrestres et les sols contiennent de larges quantités de carbone. Aujourd'hui, il y a une *réduction* nette du carbone dans l'atmosphère par ces 'puits naturels', malgré la déforestation délibérée qui *ajoute* entre 1 et 2 milliards de tonnes de carbone dans l'atmosphère. Evidemment, le carbone dans les forêts augmente ailleurs sur la planète.

La biomasse de plantes terrestres peut être accrue en réduisant à la fois la déforestation et en plantant de nouvelles forêts. L'interruption de la déforestation mondiale pendant 50 ans fournirait une tranche de réduction d'émissions. Pour atteindre une tranche par la seule plantation de forêts, de nouvelles forêts devraient être établies sur une surface de la taille des Etats Unis.



15. Stockage dans les sols

La conversion de la végétation naturelle en surface de culture réduit les quantités de carbone dans le sol de un demi à un tiers. Cependant, la perte de carbone du sol peut être inversée par des pratiques agricoles qui augmentent le carbone dans les sols, telles que la réduction de sols nus en jachère, la plantation de couverts végétaux, et la réduction de l'aération des sols (comme avec le non labour, la culture en bandes, et le travail au chisel). Une tranche de réduction d'émissions pourrait être atteinte par l'application de stratégies de gestion du carbone à l'ensemble des surfaces agricoles du monde.

Suggestion de lien :

U.S. DOE, Energy Efficiency & Renewable Energy <http://www.eere.energy.gov/>

IPCC Working Group III Report "Mitigation of Climate Change", Chapters 8 & 9

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg3_report_mitigation_of_climate_change.htm

Le Jeu des Tranches de Stabilisation – Plan du Cours

Buts

Le but principal de ce jeu est de faire comprendre le niveau d'efforts nécessaire pour aborder la situation du carbone et du climat et la nécessité de développer un portefeuille d'options. A la fin de l'exercice, les étudiants devraient comprendre l'ampleur des émissions de carbone d'origine humaine et être à l'aise avec la comparaison de l'efficacité, des avantages et des inconvénients de diverses stratégies de réduction d'émissions de carbone. Les étudiants devraient se rendre compte qu'il n'y a pas solution facile ou 'juste' au problème du carbone et du climat.

Objectifs

Les étudiants prendront connaissance des technologies disponibles à l'heure actuelle pouvant réduire les émissions de carbone de manière substantielle, développeront des capacités de raisonnement critique en créant leur propre portefeuille de stratégies de réductions d'émissions, et discuteront de la logique de leur sélection. En travaillant en équipe, les étudiants développeront leurs capacités à négocier une solution à la fois plausible physiquement et acceptable politiquement, et défendront leur solution face à un groupe plus large.

Contenus scientifiques

- Systèmes, Ordre, Organisation
- Science en tant qu'enquête
- Science en Perspectives Personnelles et Sociales
- Dangers induits par l'homme et l'environnement
- Qualité environnementale

Matériel (voir Matériel de Jeu pour les Etudiants à la fin du document)

- 1 copie des Instructions et de la Table des tranches par étudiant (à imprimer sur une seule face pour permettre l'utilisation du matériel de jeu!)
- 1 Tableau de Tranches et un Plateau de Jeu avec les pièces de jeu colorées par groupe, plus des ciseaux pour découper les pièces de jeu et des bâtons de colles ou du Scotch pour fixer les pièces au plateau de jeu)
- Optionnel – des transparents, des posters, ou autre matériel pour les présentations de groupe

Temps nécessaire

Nous suggérons l'utilisation de 2 à 3 cours standard (40-50 minutes) pour préparer et jouer au jeu des Tranches de Stabilisation. Lors du premier cours, le Triangle de Stabilisation et le concept de tranches sont discutés et les technologies sont présentées. Les étudiants peuvent faire des recherches approfondies sur ces technologies comme devoirs. Lors du second cours, les étudiants jouent au jeu et présentent leurs résultats. En fonction du nombre de groupes dans la classe, un cours supplémentaire peut être nécessaire pour la présentation des résultats. Les questions d'évaluations sont incluses et peuvent être attribuées sous forme de devoirs après le jeu, ou débattues en groupe dans le cadre d'un cours ou d'une évaluation supplémentaire.

Pratique du cours / Méthodologie

I. Introduction (40 minutes)

- a. Motivation. Revoir l'urgence de la problématique climat et carbone et son impact potentiel sur la vie future des étudiants.
- b. Présentez les Concepts. Introduisez les idées de Triangle de Stabilisation et ses 8 'tranches'.
- c. Présentez les Technologies. Décrivez brièvement les 15 stratégies de tranche identifiées par le CMI, et laissez les étudiants se familiariser avec ces stratégies dans le cadre de devoirs à la maison. Les participants sont libres de critiquer n'importe laquelle de ces stratégies de tranches identifiées par le CMI, et les équipes devraient se sentir libres d'utiliser des stratégies non listées.
- d. Formez les équipes. Des équipes de 3 à 6 personnes sont préférables, et il est particulièrement utile de désigner chaque étudiant comme 'expert' dans certaines stratégies pour produire un débat intéressant. Vous pouvez également désigner un preneur de notes et un rapporteur dans chaque groupe.
- e. Expliquez les règles. Les instructions sont disponibles au chapitre Matériel de Jeu pour les Etudiants.

II. Jouer une partie (40 minutes)

- Remplir le Triangle de Stabilisation. Les équipiers doivent travailler ensemble pour construire un triangle de stabilisation d'équipe en utilisant 8 tranches à code couleur avec des stratégies spécifiques. Plusieurs stratégies peuvent être utilisées plus d'une fois.
- Tableau des Tranches. Chaque équipe doit remplir un tableau de tranche de stabilisation pour s'assurer que les joueurs n'ont pas enfreint les contraintes du jeu, pour calculer les coûts, et pour prévoir les notes des juges pour leurs solutions.
NOTE: Les coûts sont strictement indicatifs, - ils n'ont pas à être utilisés pour produire un score qui permettrait de gagner ou perdre une partie!
- Examen du triangle. Chaque équipe doit examiner les forces et faiblesses de ses stratégies pour préparer la présentation et l'argumentation de ses solutions à la classe.

III. Rapports (en fonction du nombre de groupe un cours supplémentaire peut être requis)

- Les représentants de chaque équipe défendent leurs solutions face à la classe dans un rapport de 5 minutes. La présentation peut être un simple rapport verbal par le groupe ou par le rapporteur désigné par le groupe. S'il y a plus de temps disponible, les présentations peuvent inclure des aides visuelles, comme une affiche, une présentation PowerPoint, etc...
- Les étudiants doivent prendre en compte non seulement la faisabilité technique de leurs tranches, mais également les implications économiques, sociales, environnementales et politiques de la mise en œuvre des stratégies choisies à très grande échelle.

IV. Examen

Dans les ateliers de CMI, les triangles des équipes sont examinés par des experts de plusieurs groupes d'intérêt, tels que des lobbies environnementaux, l'industrie automobile, des pays en voie de développement, ou les Etats-Unis. L'examen permet d'assurer que les impacts économiques et politiques sont pris en compte et met l'accent sur le besoin de consensus parmi une large coalition de groupes d'intérêt. Au niveau de la classe, les examinateurs peuvent être choisis parmi des élus locaux, des universités, des entreprises, des associations à but non lucratif, ou un enseignant/intervenant peut sonder chaque équipe sur la viabilité de sa stratégie.

V. Conclusion/Evaluation de l'Apprentissage Etudiant

En plus d'aborder le jeu et les leçons apprises, des questions de débats sont fournies plus bas donnant l'opportunité de développer et d'évaluer la compréhension par les étudiants du concept des tranches et de leurs applications.

- Etant donné les défis matériels et les risques, combien de tranches peuvent selon vous être atteintes de manière réaliste par chaque stratégie de tranche?
- En choisissant des stratégies de tranches, il est important de ne pas faire de double compte – supprimer deux fois les mêmes émissions avec des stratégies différentes. Par exemple, il y a 6 stratégies pour réduire les émissions dues à la production d'électricité, mais nous ne prévoyons que 5 tranches d'émissions de carbone issues de la production électrique d'ici à 50 ans. Pouvez-vous penser à des raisons, autres que l'adoption d'énergies nucléaires ou alternatives, qui feraient que les émissions liées à l'électricité seraient plus hautes ou plus basses que nos prévisions ? Exemples : utilisation accrue de charbon à forte empreinte carbone au lieu de gaz naturel (plus haute), accroissement de la population plus lent (plus basse), remplacement de l'électricité par l'essence, comme dans le cas de véhicules électriques (plus haut).
- Les pays industrialisés et les pays en développement contribuent maintenant chacun pour moitié aux émissions, bien que les pays plus pauvres représentent 85% de la population mondiale (les Etats-Unis à eux seuls émettent un quart du CO₂ mondial). Si nous nous accordons pour geler les émissions globales aux niveaux actuels, cela signifie que si les émissions d'une région du monde augmentent comme conséquence d'un développement économique/industriel, alors les émissions doivent être réduites ailleurs. Les pays les plus riches doivent-ils réduire leurs émissions d'ici à 50 ans afin que des émissions de carbone supplémentaires puissent être disponibles pour les pays en développement ? Si oui, de combien ?
- L'énergie nucléaire permet déjà une demi-tranche de réduction d'émissions – que doit-être selon vous le futur de ces centrales?
- Les émissions liées à l'automobile sont une cible populaire pour les émissions de gaz à effets de serre. Quel pourcentage de gaz à effet de serre viennent des automobiles selon vous ? (réponse : environ 18%).

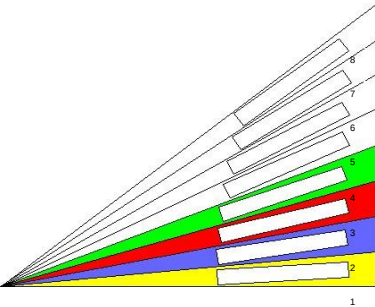
Ressources et réactions

Plus de ressources sur les tranches de stabilisation, comprenant des articles de fond et des diaporamas, sont disponibles sur <http://cmi.princeton.edu/wedges>

Instructions de Jeu pour les Etudiants & Matériel

Le but de ce jeu est de construire un triangle de stabilisation en utilisant 8 stratégies de tranches, avec seulement quelques contraintes pour vous guider. A partir des 15 stratégies potentielles, choisissez 8 tranches que votre équipe considère comme les meilleures solutions globales. Gardez les coûts et les impacts à l'esprit.

- 1) Récupérez le plateau de jeu des tranches à la fin du document et découpez les pièces rouges, vertes, jaunes et bleues fournies (si cela n'a pas déjà été fait).
- 2) Lisez les informations sur chacune de ces 15 stratégies dans la Tables des Tranches ci-dessous. Les coûts (\$, \$\$, \$\$\$) sont indiqués sur une base relative, et ne sont destinés qu'à donner une indication, et non un score. Vous êtes libres de remettre en cause chaque information présentée et d'inclure des stratégies alternatives si vous pouvez les argumenter.

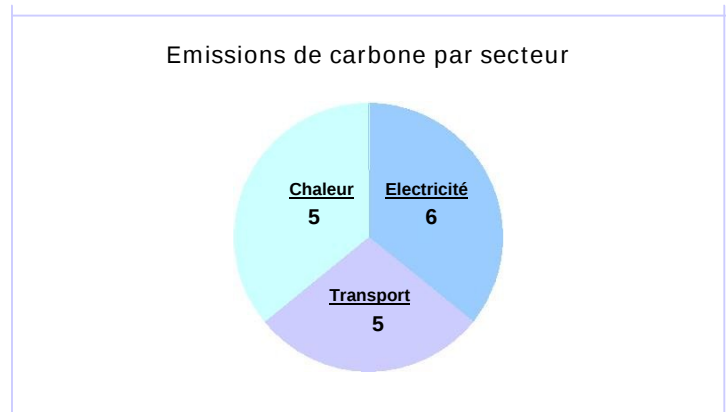


- 3) Chaque équipe doit choisir une stratégie de tranche à la fois pour remplir les 8 cases sur le plateau de tranches (voir l'illustration du plateau avec seulement 4 cases remplies à gauche – ce n'est qu'un exemple !)
- 4) Les quatre couleurs de tranche indiquent la catégorie principale (énergie fossile (bleu), efficacité et économies (jaune), nucléaire (rouge), renouvelables et biostockage (vert)). Choisissez une tranche rouge, jaune, bleue ou verte pour votre stratégie, puis étiquetez la tranche pour indiquer la stratégie spécifique (exemple à gauche).

- 5) La plupart des stratégies peuvent être utilisées plus d'une fois, mais toutes les réductions ne peuvent venir du même secteur d'énergie.

Sur les 16 milliards de tonnes de carbone émises en 2060, nous considérons que la production électrique compte 6 tranches, les carburants pour les transports comptent pour 5 tranches, et l'utilisation directe de combustible pour la chaleur et autres usages compte pour 5 tranches (voir le camembert à droite).

Parce que le biostockage prend le carbone de l'atmosphère quelle qu'en soit la source, les tranches de biostockage ne sont pas incluses dans un secteur d'énergie spécifique.



Besoins de 8 tranches – toutes les tranches ne doivent pas venir du même secteur !

- 6) Les coûts et les impacts doivent être pris en compte. Chaque tranche doit être vue à la fois selon leur viabilité technique et politique.
- 7) Pour chacune des 8 stratégies choisies, chaque team doit remplir une ligne dans le Tableau des Tranches. Après le choix de 8 tranches, faites le compte des réductions selon les secteurs (Electricité, Transport, Chaleur) et des coûts. Utilisez la table de scores pour évaluer la façon dont les différents groupes d'intérêt évalueraient votre tranche sur une échelle de 1 à 5.
- 8) Chaque équipe doit présenter un rapport verbal de 5 minutes sur le raisonnement soutenant son triangle. Le rapport doit justifier le choix des tranches au jury et aux autres équipes. NB : Il n'y a pas de réponse 'juste' – l'équipe qui produit le meilleur scénario gagne, pas forcément l'équipe avec la solution la moins chère ou la plus facile à mettre en place.

Tranches de Stabilisation – 15 voies de réduction

 = Production Electrique,  = Chauffage et utilisation de combustible,  = Transports,  = Biostockage

Stratégie	Secteur	Description	Atteindre une tranche par...	Coûts	Défis
1. Efficacité - Transports		Augmente le rendement énergétique des moteurs (2 milliards de voitures prévues en 2050)	... doubler l'efficacité énergétique des voitures de 7 à 3,5 l aux 100km	\$	Taille des voitures et puissance
2. Economies – Transports		Réduit les km parcourus par le transport de personnes et/ou de fret	... réduire les km parcourus par les voitures de moitié	\$	Développement des transports publics, conception urbaine
3. Efficacité - Bâtiments	 	Améliorer l'isolation, les chaudières et le rendement de l'éclairage	... utiliser les meilleures technologies disponibles dans tous les bâtiments neufs et existants	\$	Taille des maisons, demande des consommateurs pour les appareils
4. Efficacité – Electricité		Améliorer le rendement de la production d'énergie	... augmenter le rendement des centrales de 40 à 60 %	\$	Augmentation du coût des centrales
5. CCS – Electricité		90% du CO ₂ capturé dans les centrales à énergies fossiles, puis stocké sous terre (800 grandes centrales à charbon ou 1600 centrales au gaz naturel)	... stocker un volume de CO ₂ équivalent au volume de pétrole extrait	\$\$	Possibilité de fuites de CO ₂
6. CCS – Hydrogène	 	Hydrogène produit à partir de sources fossiles avec CCS remplace les carburants d'hydrocarbures	... produire de l'hydrogène à 10x le taux actuel	\$\$\$	Nouvelles infrastructures requises, dangerosité de l'hydrogène
7. CCS – Carburants Synthétiques	 	Capture et stocke le CO ₂ émis lors de la production de carburants synthétiques à base de charbon	... utiliser les CCS sur 180 grandes raffineries de carburants synthétiques	\$\$	Les émissions passent seulement au niveau de l'essence
8. Changement de combustible – Electricité		Remplace les centrales à charbon par des centrales au gaz naturel	... utiliser une quantité de gaz naturel équivalente à celle de l'ensemble des utilisations actuelles	\$	Disponibilité du gaz naturel
9. Electricité Nucléaire		Remplace les centrales à charbon par des centrales nucléaires (ajoute le double de la production actuelle)	... environ 3 fois les efforts fournis par la France dans le développement des centrales nucléaires dans les années 80, pendant 50 ans	\$\$	Prolifération des armes, déchets nucléaires, opposition locale
10. Electricité Eolienne		L'éolien remplace l'électricité à base de charbon (10x la capacité actuelle)	... utiliser une surface d'environ 3% des Etats-Unis pour des fermes éoliennes	\$\$	Pas dans mon jardin (NIMBY – Not In My Backyard)
11. Electricité Solaire		Le solaire remplace l'électricité à base de charbon (100x la capacité actuelle)	... utiliser l'équivalent d'un panneau solaire de 100x200 km	\$\$\$	Matériaux des cellules PV
12. Hydrogène Eolien	 	Produit de l'hydrogène à base d'électricité éolienne	... faire fonctionner la moitié des voitures prévues pour 2050 avec de l'hydrogène	\$\$\$	NIMBY, infrastructure pour l'hydrogène, sécurité
13. Biocarburants	 	Les carburants issus de la biomasse remplace les carburants pétroliers	... augmenter l'échelle de la production d'éthanol mondial par un facteur 12	\$\$	Biodiversité, utilisation des sols
14. Stockage Forêts		Carbone stocké dans de nouvelles forêts	... arrêter la déforestation pendant les 50 prochaines années	\$	Biodiversité, utilisation des sols
15. Stockage Sols		Techniques agricoles augmentant la rétention ou le stockage de carbone dans les sols	... pratiquer la gestion du carbone sur toutes les surfaces agricoles mondiales	\$	Inversé si les champs sont labourés en profondeur par la suite

Pour plus d'informations, visitez notre site web sur <http://cmi12.princeton.edu/wedges>.

Tableau des Tranches

1. Notez vos stratégies pour réduire les émissions totales issues de combustibles fossiles de 8 tranches d'ici à 2060.
(1 "tranche" = 1 milliard de tonnes de carbone par an)

- Vous pouvez utiliser une stratégie plus d'une fois
- Utilisez seulement des nombres entiers de tranches
- Vous pouvez utiliser un maximum de
 - 6 tranches électriques (E)
 - 5 tranches de transport (T)
 - 5 tranches de chaleur ou utilisation directe de carburant (H ou B)

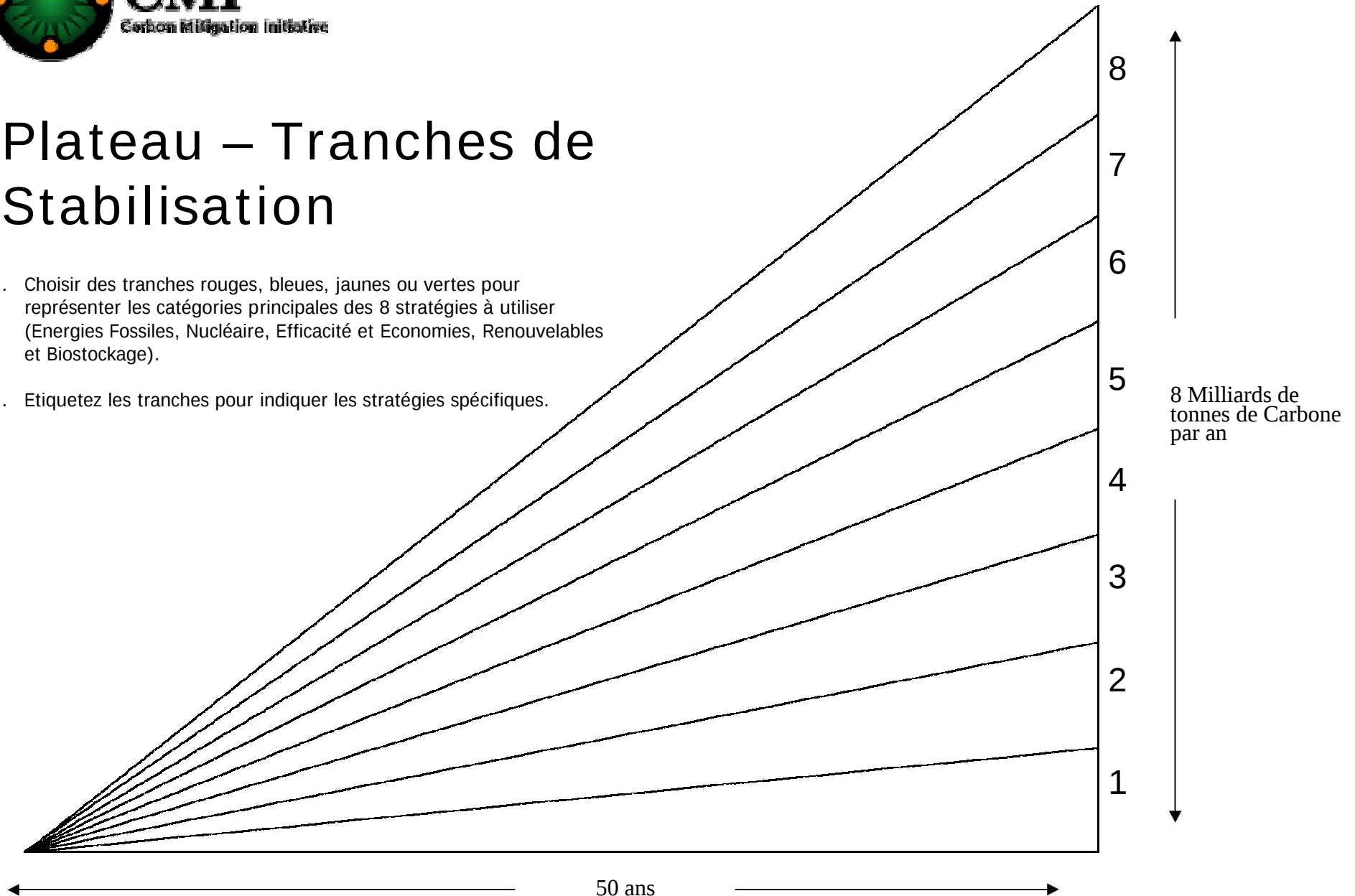
	Stratégie	Secteur (E,T,H ou B)	Coûts (\$)	Défis
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
	TOTAUX	E = ____ (6 max) T = ____ (5 max) H = ____ (5 max) B = ____	_____	

2. Devinez le score que chaque groupe d'intérêt attribuerait à votre triangle d'équipe sur une échelle de 1 à 5 (5 = meilleur score).

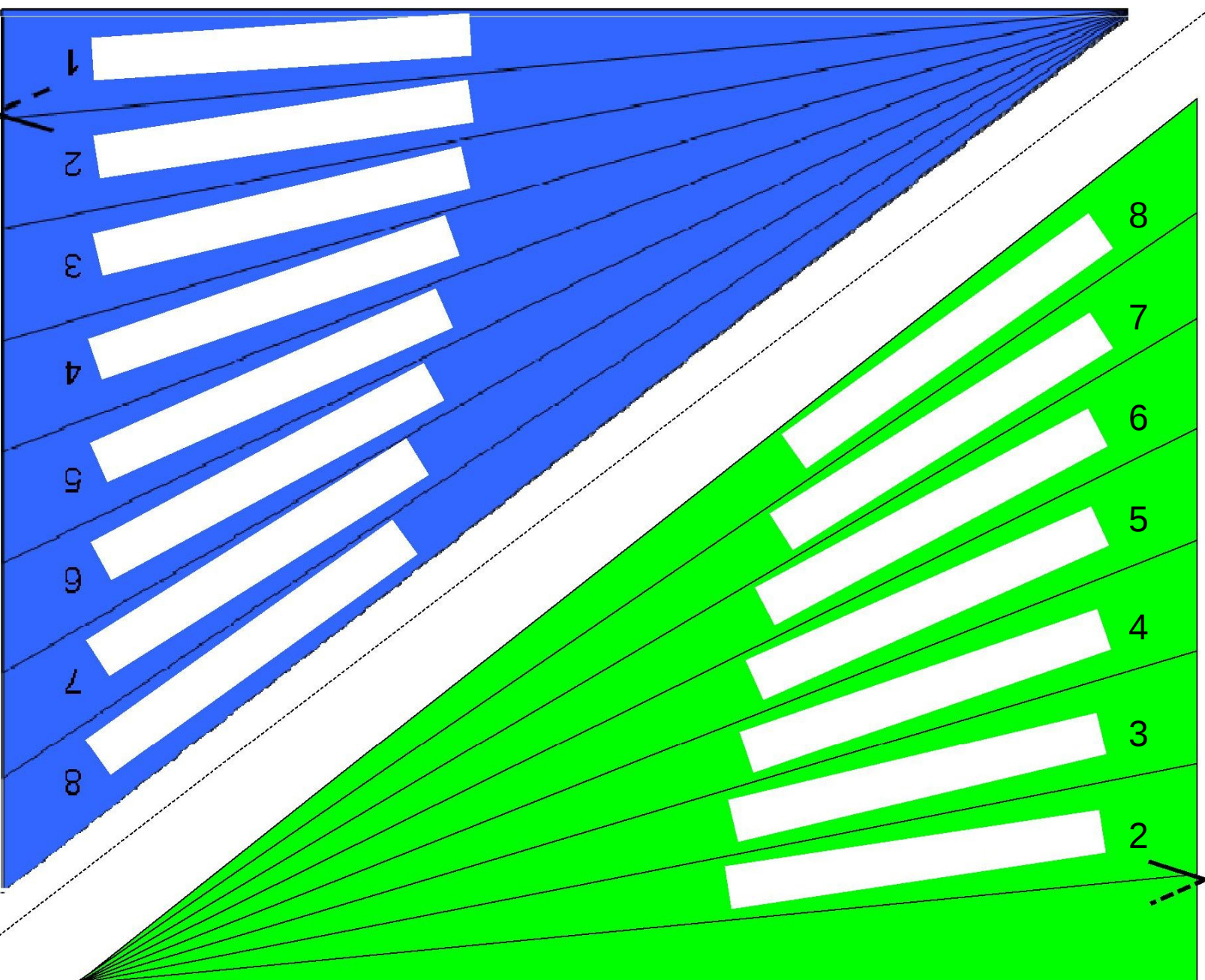
Juge:	Contribuables / Consommateurs	Sociétés de production d'énergie	Lobbies Environnementaux	Industriels	Gouvernements des pays industrialisés	Gouvernements des pays en développement
Score:						

Plateau – Tranches de Stabilisation

1. Choisir des tranches rouges, bleues, jaunes ou vertes pour représenter les catégories principales des 8 stratégies à utiliser (Energies Fossiles, Nucléaire, Efficacité et Economies, Renouvelables et Biostockage).
2. Etiquetez les tranches pour indiquer les stratégies spécifiques.



Renouvelables et Biostockage



Energies Fossiles

Cut along line

Efficacité et Economies

