



**APESA**

*Créons l'environnement de votre entreprise*

# Climat et Géo ingénierie

## Faudra-t-il en arriver là?

Benoît de Guillebon,

Directeur de l'APESA et animateur du CHEDD Aquitain

Co animateur de l'Atelier de réflexion prospective  
REAGIR avec Olivier Boucher, LMD, CNRS



# PLAN DE L'EXPOSE

- La définition de la géo ingénierie
- Les techniques de géo ingénierie
- Les grandes questions que pose la géo ingénierie
- Quatre scénarios de géo ingénierie
- Conclusion

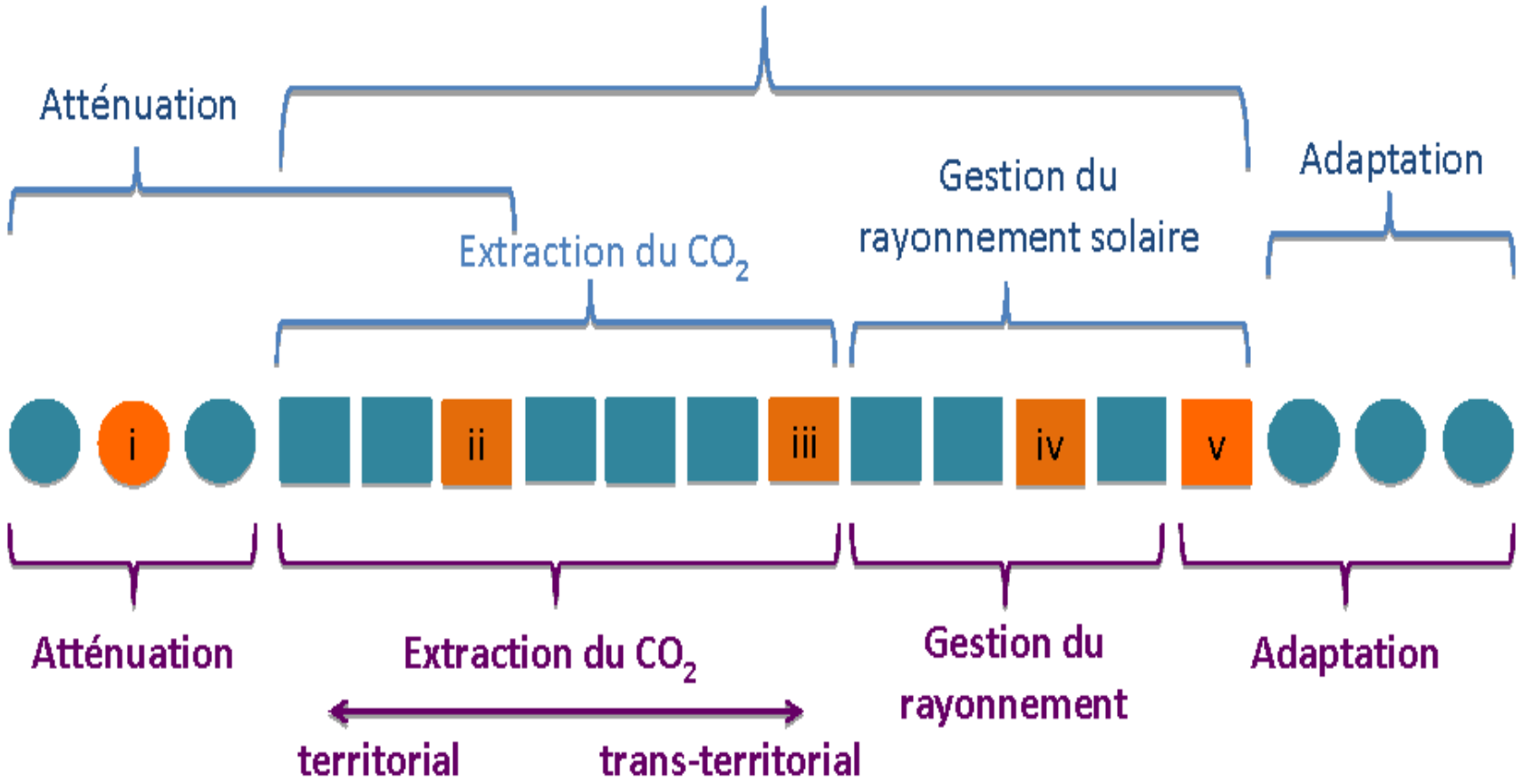
# Qu'évoque pour vous la géoingénierie?

- Jeu d'apprenti sorcier
- Mécanisme anthropique « petite cause, grand effet »
- Idée de rupture et de nouveauté appelant à trouver de nouvelles pistes de recherche
- Action anthropique délibérée sur le système Terre
- Besoin urgent de se positionner sur un sujet qui apparaît dans les médias
- Manipulation de l'environnement en première intention et à grande échelle
- Caricature des grands projets prométhéens de la modernité
- Problème politique lié à la prise de décision
- Une solution technologique mais des questions éthiques et politiques
- Idée de contrôle et de manipulation, qui renvoie à la place de l'Homme dans la Nature

- « *La géo-ingénierie de l'environnement correspond à l'ensemble des techniques et pratiques mises en œuvre ou projetées dans une visée corrective à grande échelle d'effets résultants de la pression anthropique sur l'environnement* » et en particulier sur le climat.



# Géo-ingénierie du climat







AP



**Augmentation du flux IR quittant la Terre**

**ESPACE**

**RENOI DU RAYONNEMENT SOLAIRE VERS L'ESPACE**

**K Réflecteurs en orbites**



**STRATOSPHERE**

**I Injection d'aérosols stratosphériques**

**TROPOSPHERE**

**H Injection de sels marins dans les nuages**

**CAPTAGE ET STOCKAGE DU CO<sub>2</sub>**

**SOL**

**G Modification de l'albédo Toits blancs**

**A Agriculture « climat »**

**B (re) Boisement**

**C Biochar pour amender le sol**

**D / E Capture directe de CO<sub>2</sub>**

Chaux

**F Fertilisation**

Matière organique

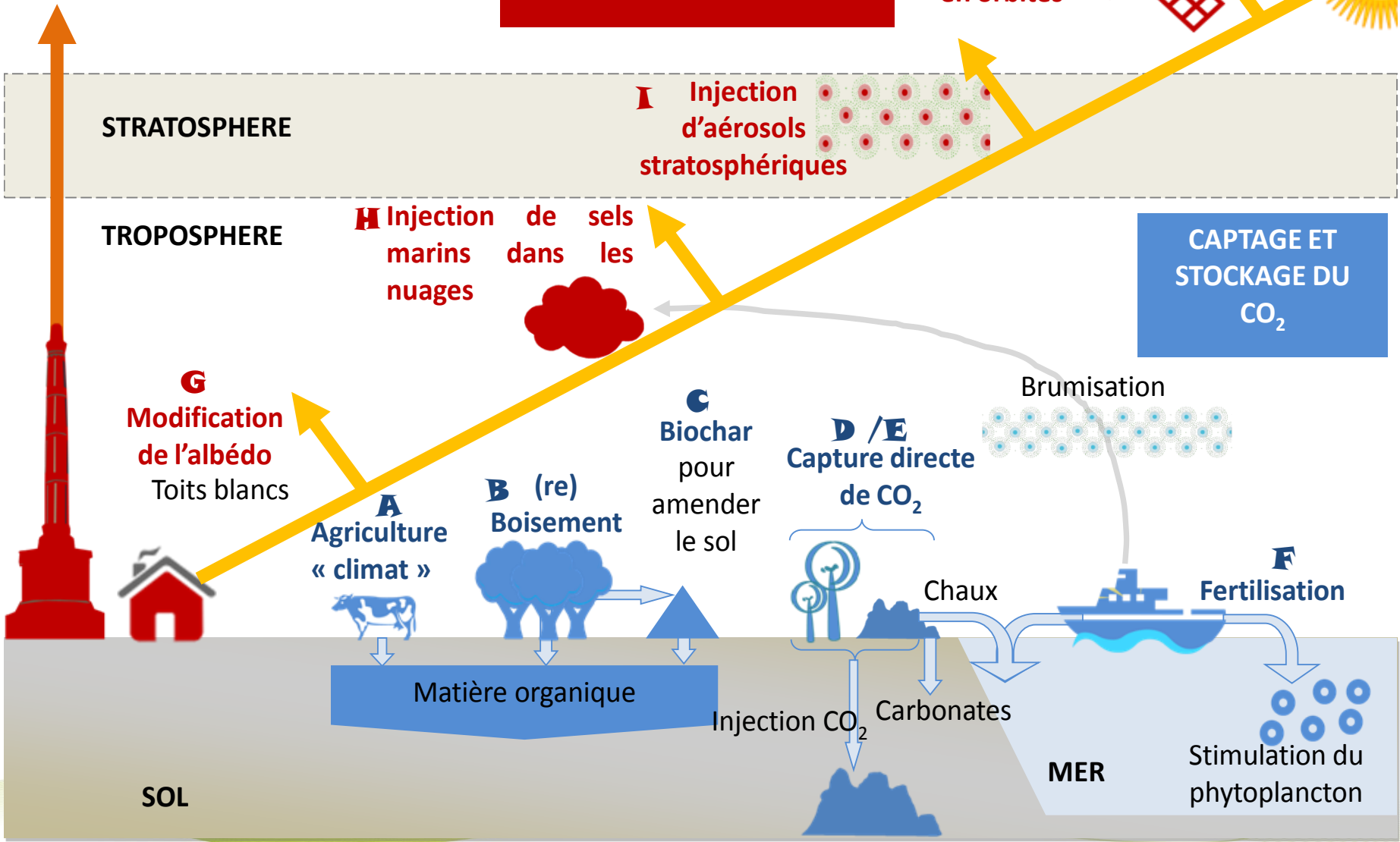
Injection CO<sub>2</sub>

Carbonates

**MER**

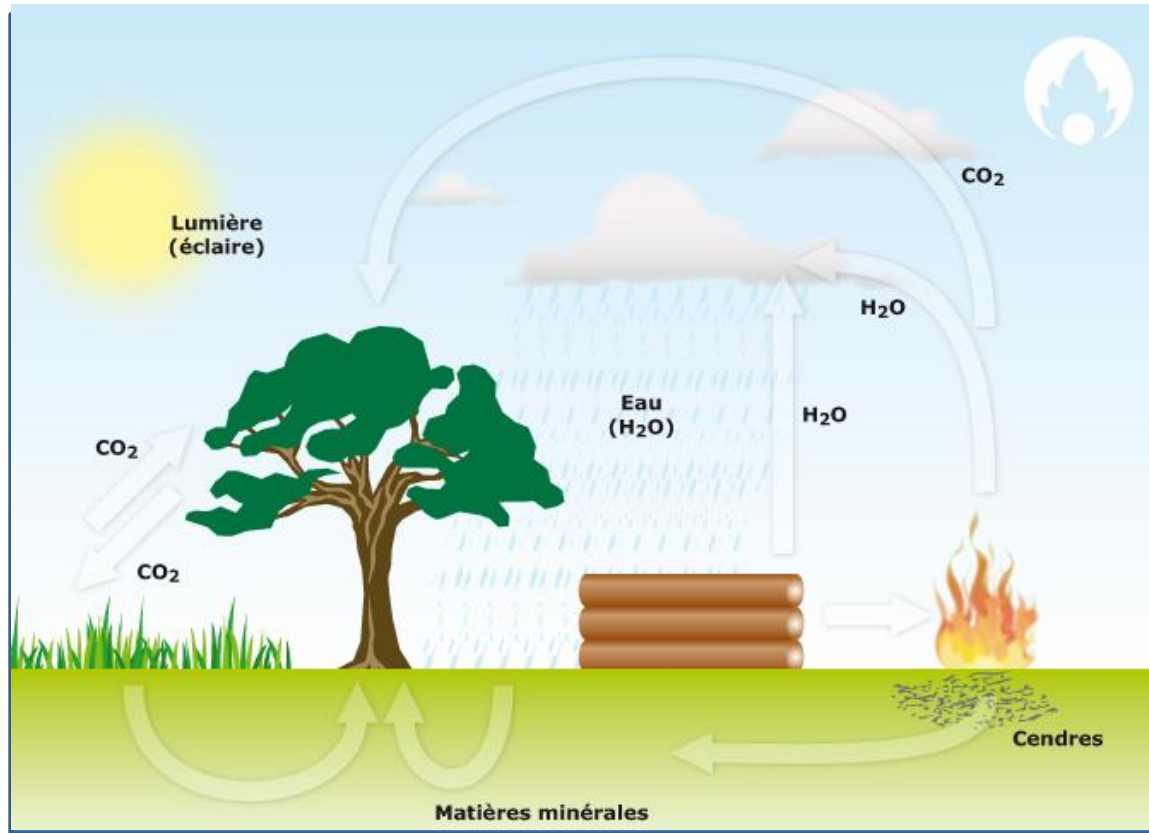
Stimulation du phytoplancton

Brumisation



# AUGMENTATION DES SURFACES BOISEES

CAPTAGE ET STOCKAGE DU CO<sub>2</sub>

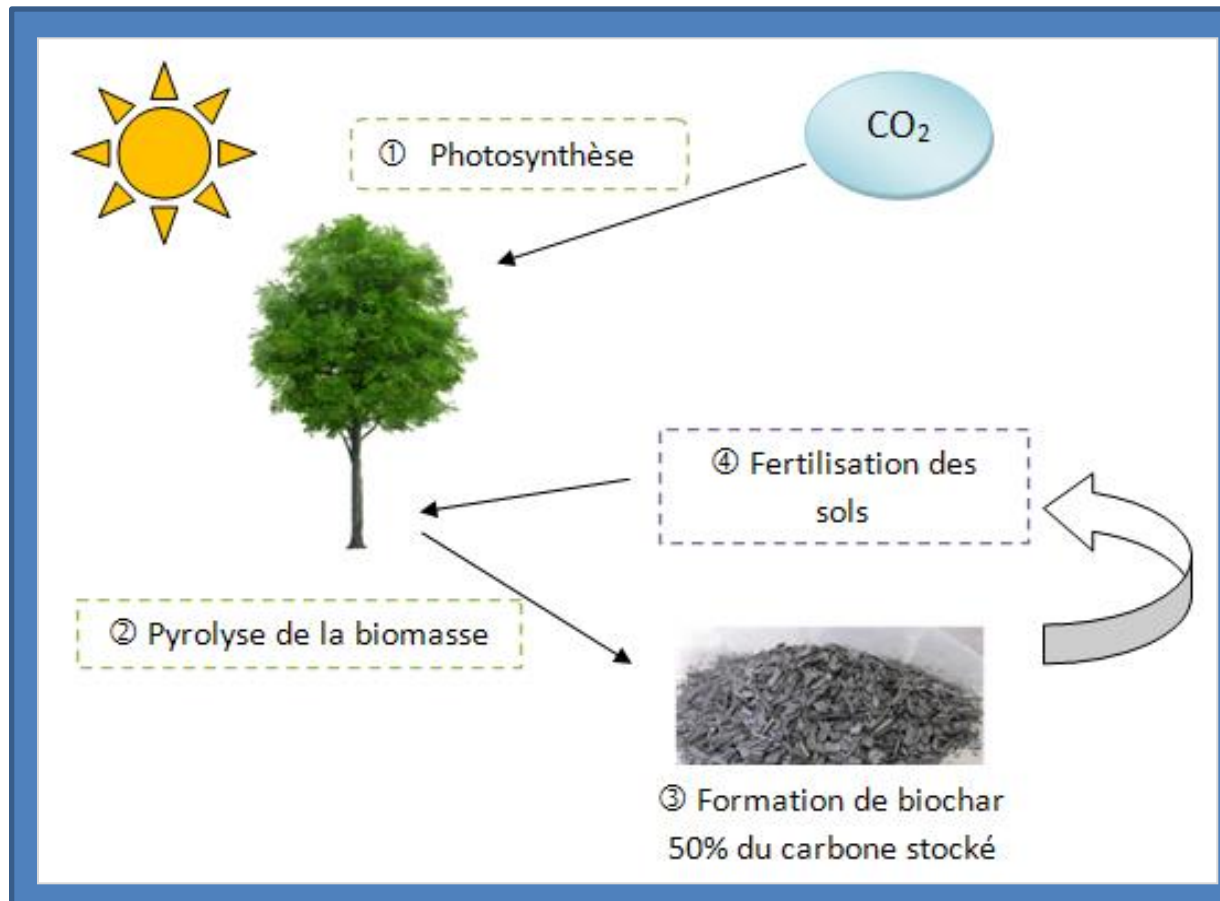
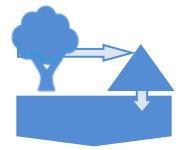


**Stockage de carbone dans la végétation et dans les sols par la formation d'humus**

Reforestation



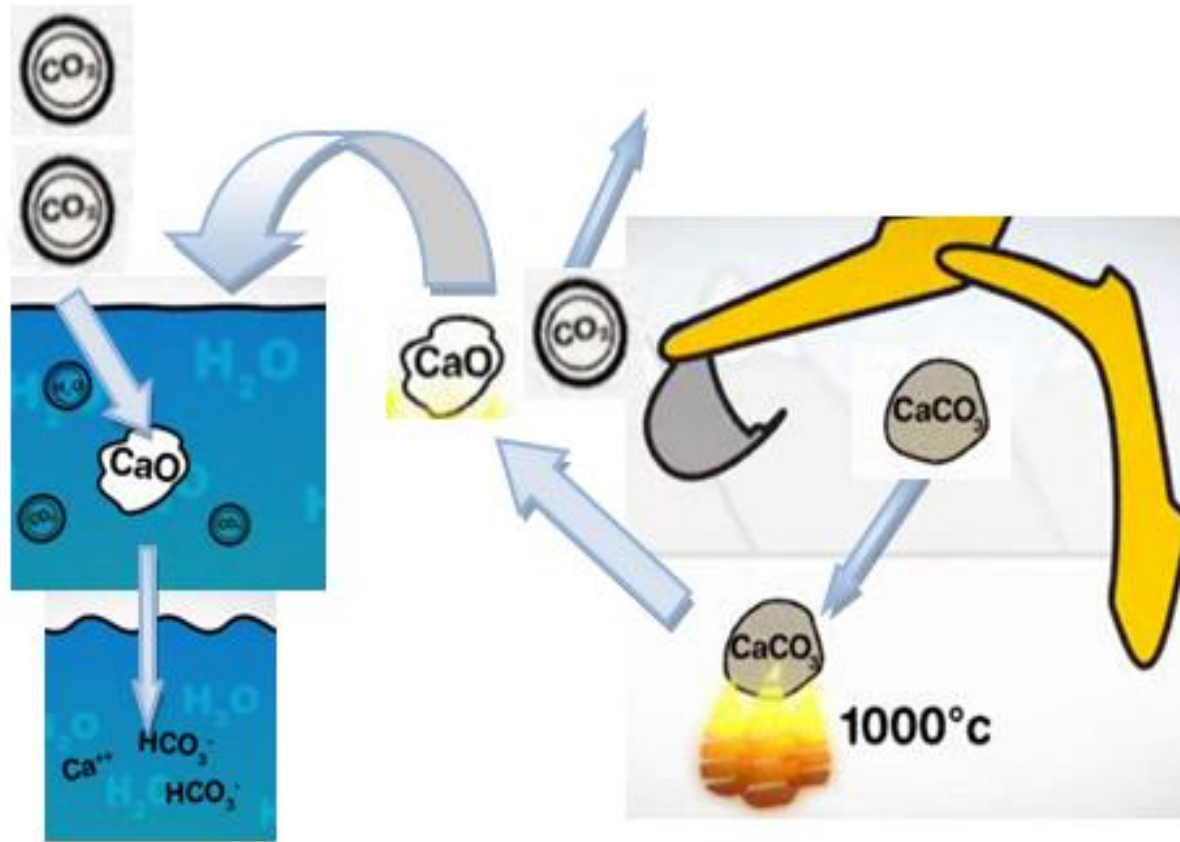
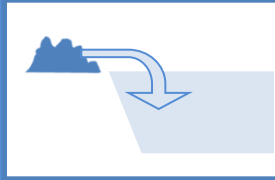
# ENFOUISSEMENT DE « BIOCHAR »



**Stockage de carbone sous forme de biochar  
(biomasse végétale pyrolysée) enfoui dans le sol**



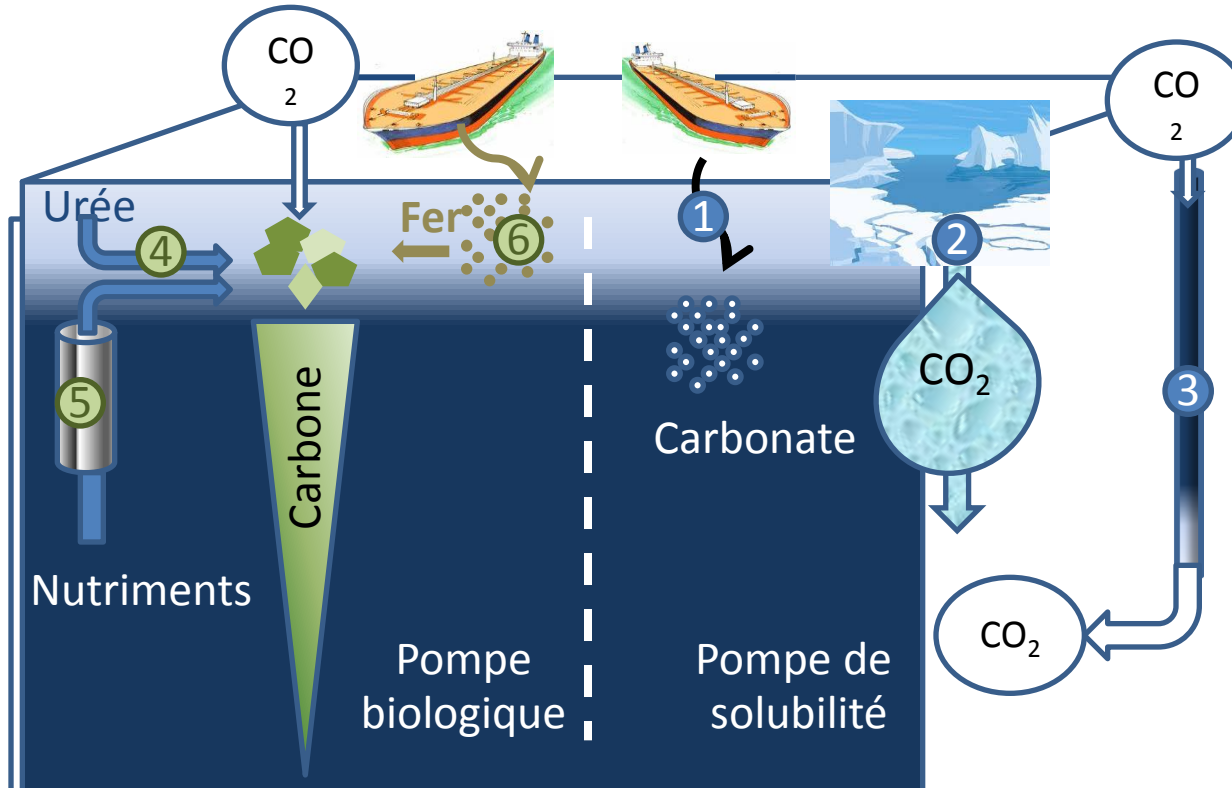
**Captage du CO<sub>2</sub> atmosphérique dans une solution basique avant stockage (carbonate), séquestration ou utilisation (calcaire / dolomite)**



**Captage du CO<sub>2</sub> océanique par de la chaux (CaO) préalablement formée à partir de calcaire porté à haute température**

# FERTILISATION DES OCEANS

CAPTAGE ET STOCKAGE DU CO<sub>2</sub>



source: S. Blain

**Augmentation de l'absorption du CO<sub>2</sub> par les microorganismes marins « dopés » par un ajout de nutriment (fer)**



AP



**Augmentation du flux IR quittant la Terre**

**ESPACE**

**RENOI DU RAYONNEMENT SOLAIRE VERS L'ESPACE**

**K Réflecteurs en orbites**



**STRATOSPHERE**

**I Injection d'aérosols stratosphériques**

**TROPOSPHERE**

**H Injection de sels marins dans les nuages**

**CAPTAGE ET STOCKAGE DU CO<sub>2</sub>**

**SOL**

**G Modification de l'albédo Toits blancs**

**A Agriculture « climat »**

**B (re) Boisement**

**C Biochar pour amender le sol**

**D / E Capture directe de CO<sub>2</sub>**

Chaux

**F Fertilisation**

Matière organique

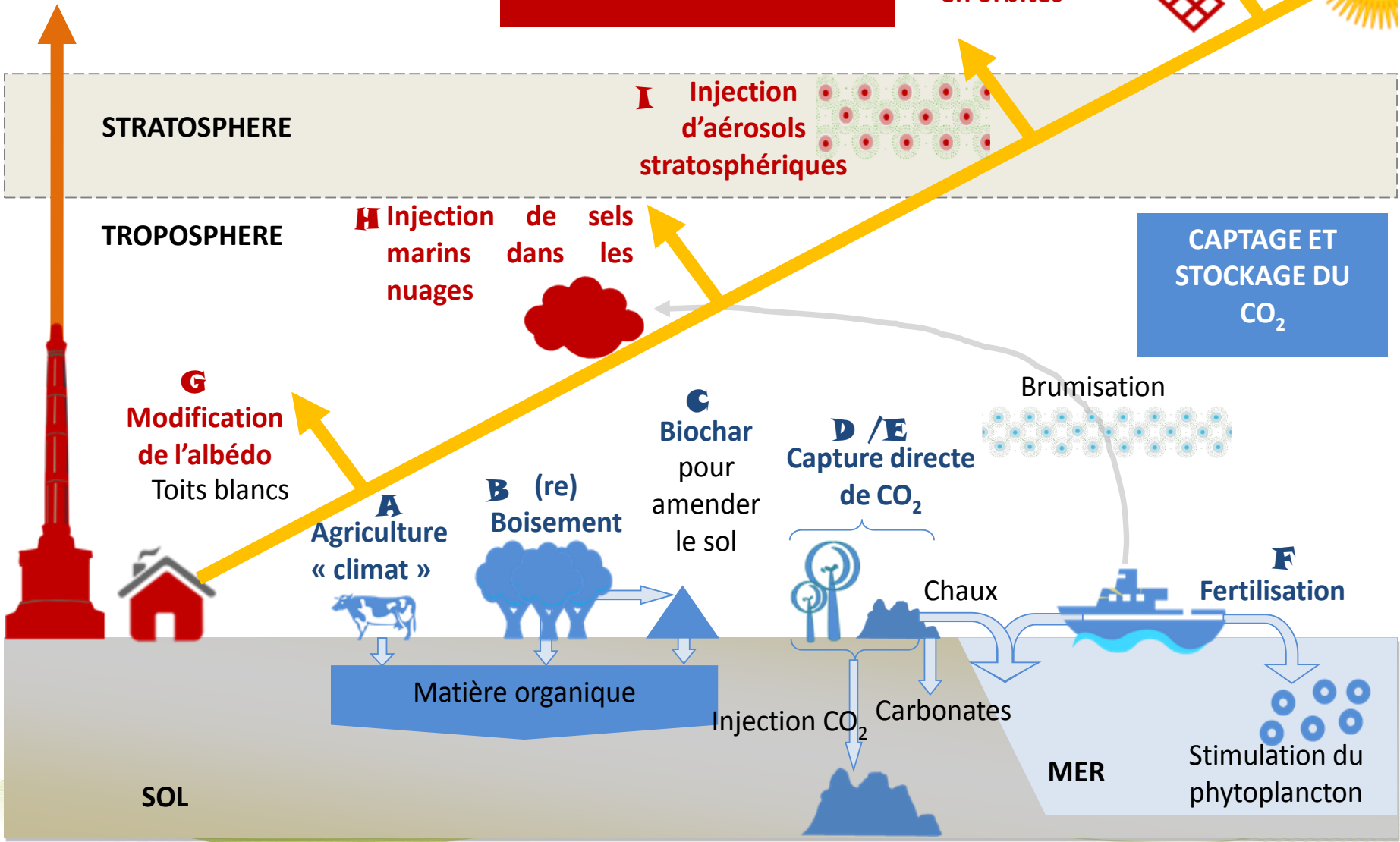
Injection CO<sub>2</sub>

Carbonates

**MER**

Stimulation du phytoplancton

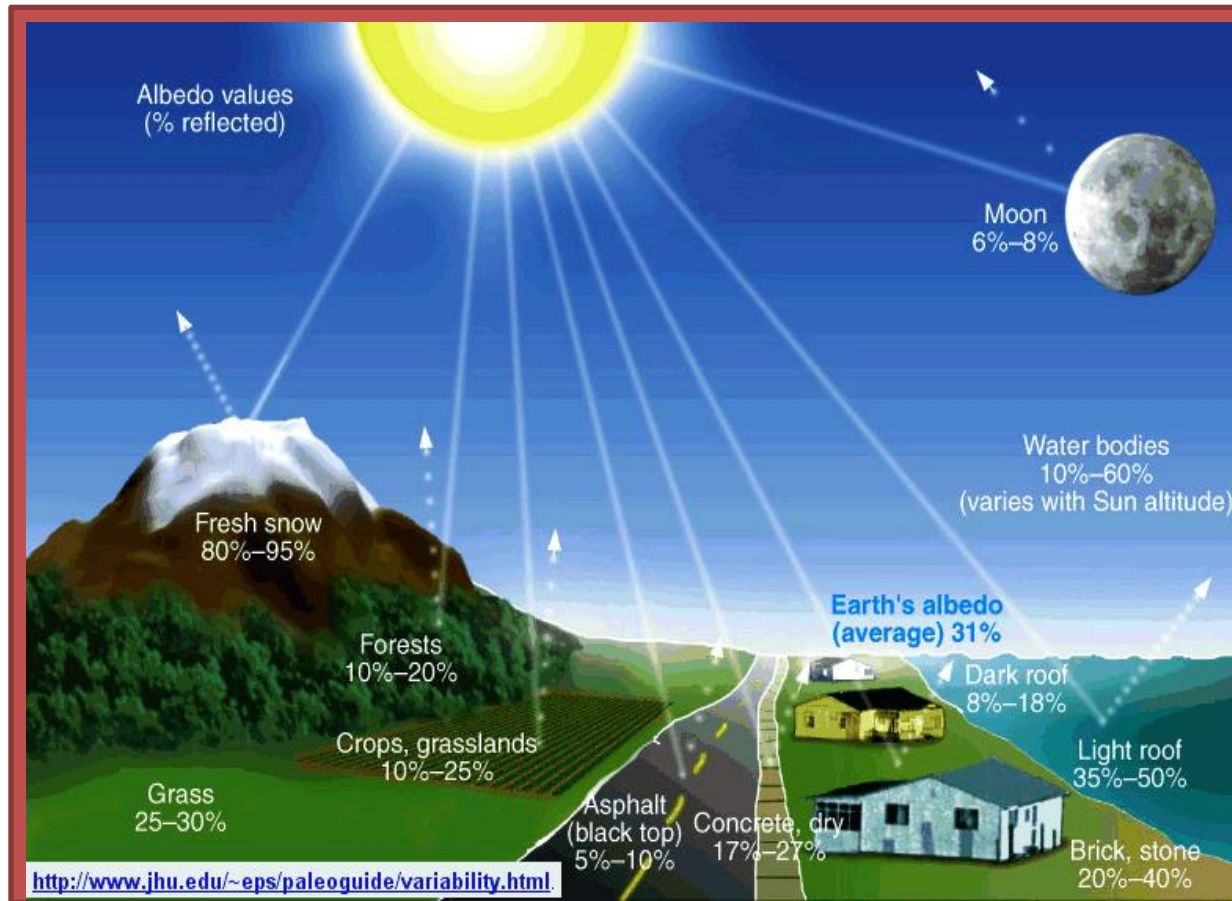
Brumisation





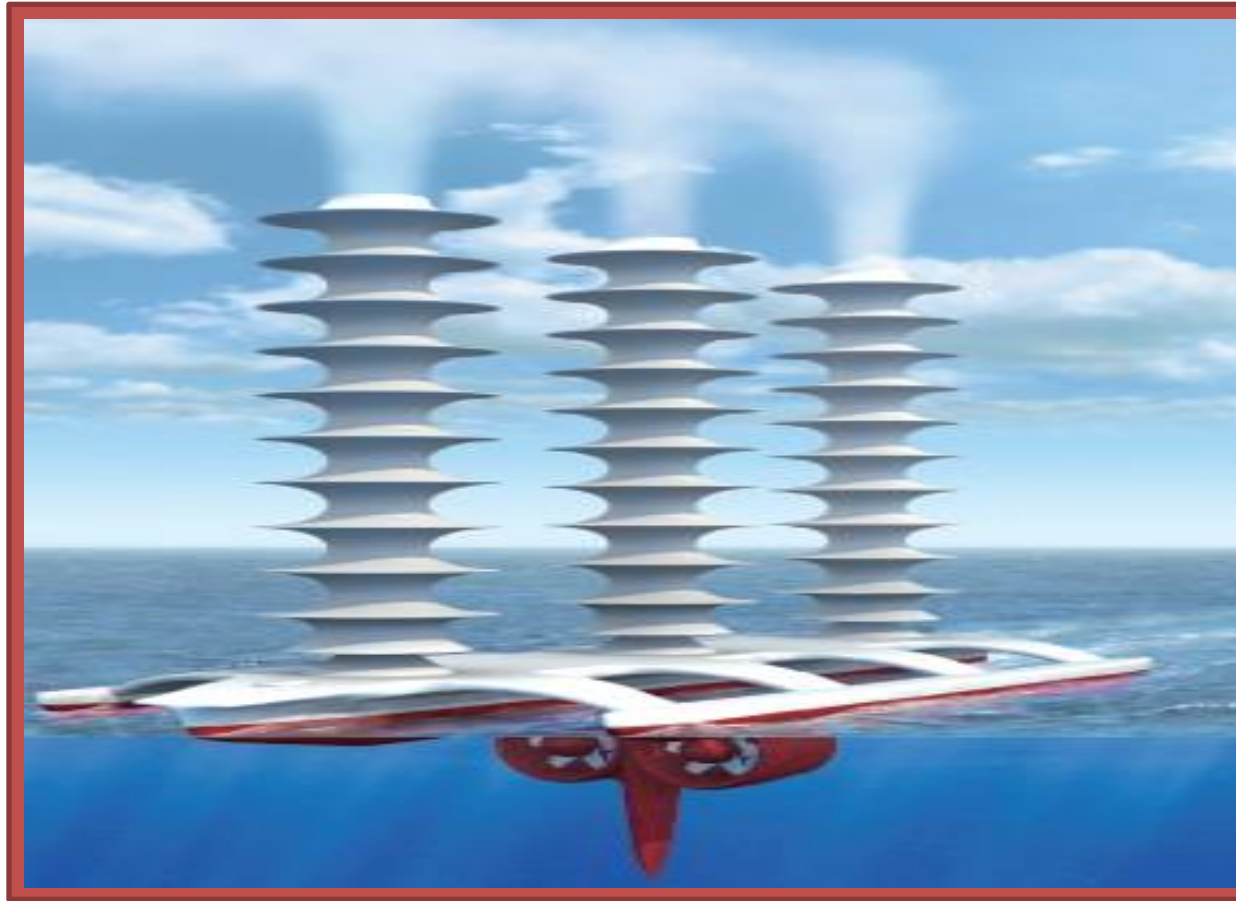
# AUGMENTATION DE L'ALBEDO TERRESTRE

RENOI DU RAYONNEMENT SOLAIRE VERS L'ESPACE



Augmentation de l'albédo terrestre (= réflexion de l'énergie solaire)





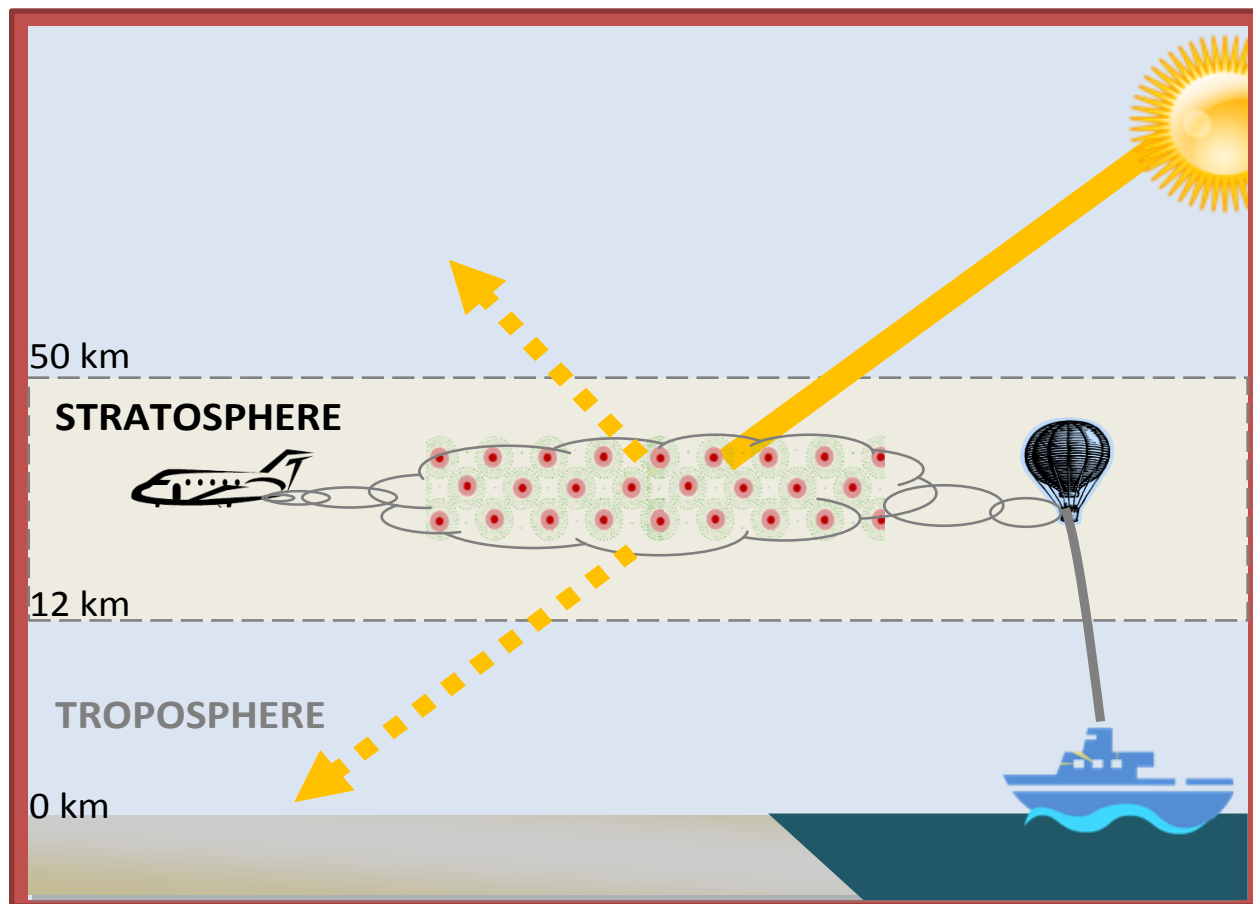
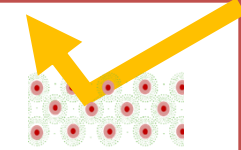
**Augmentation de la concentrations de noyaux de condensation et de la  
brillance des nuages** (pour diminuer la quantité d'énergie solaire incidente sur la  
surface terrestre) **par injection de sels marins dans l'atmosphère**



Photo of June 15, 1991 eruption of Mt. Pinatubo in the Philippines, which had a VEI of 6 and lowered world global temperatures by 1 degree Fahrenheit from 1991-1993.  
(Image: USGS, by Dave Harlow)

# INJECTION D'AEROSOLS STRATOSPHERIQUES

RENOI DU  
RAYONNEMENT  
SOLAIRE VERS  
L'ESPACE

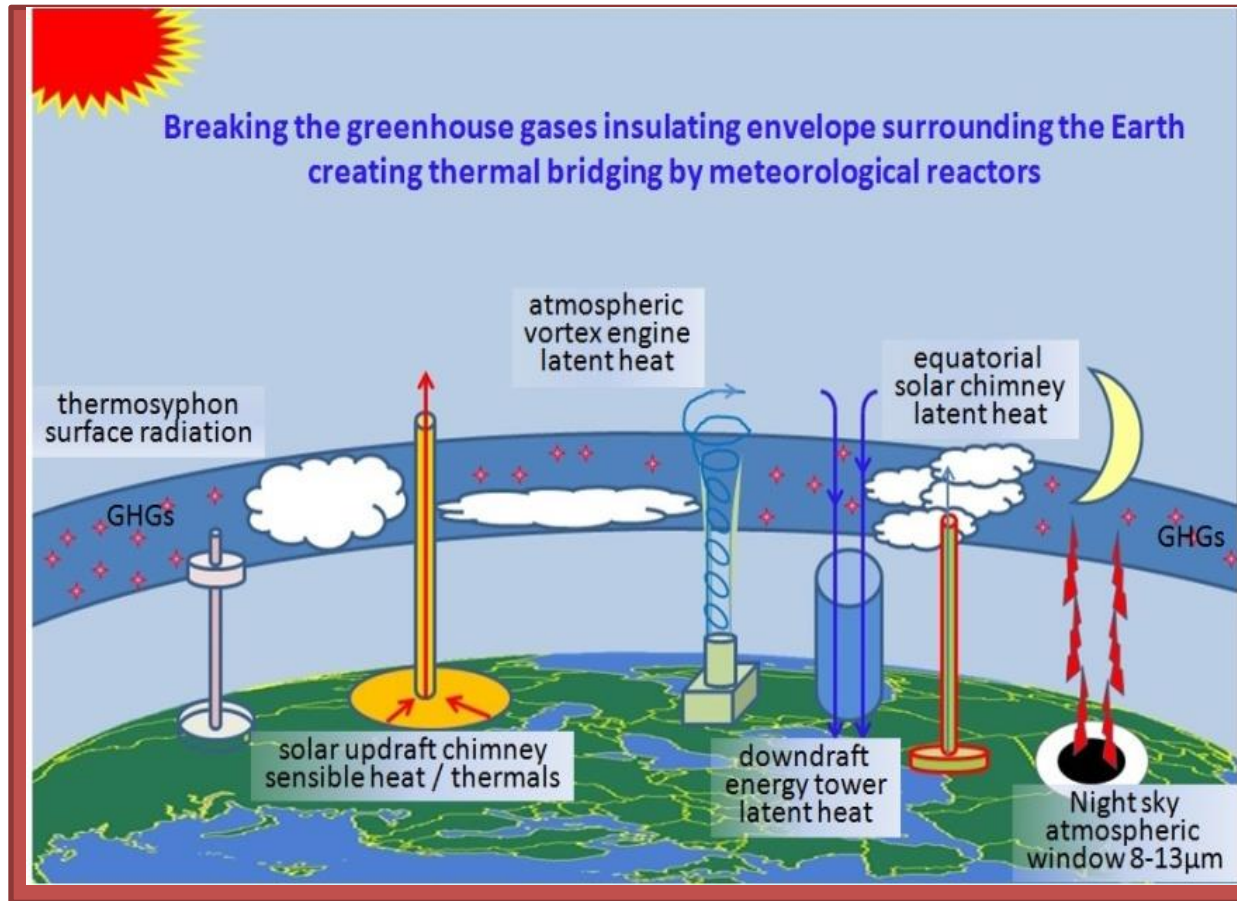


**Dispersion de gaz ou de particules soufrés en haute altitude entraînant un refroidissement de la planète sur une période de l'ordre de l'année.**

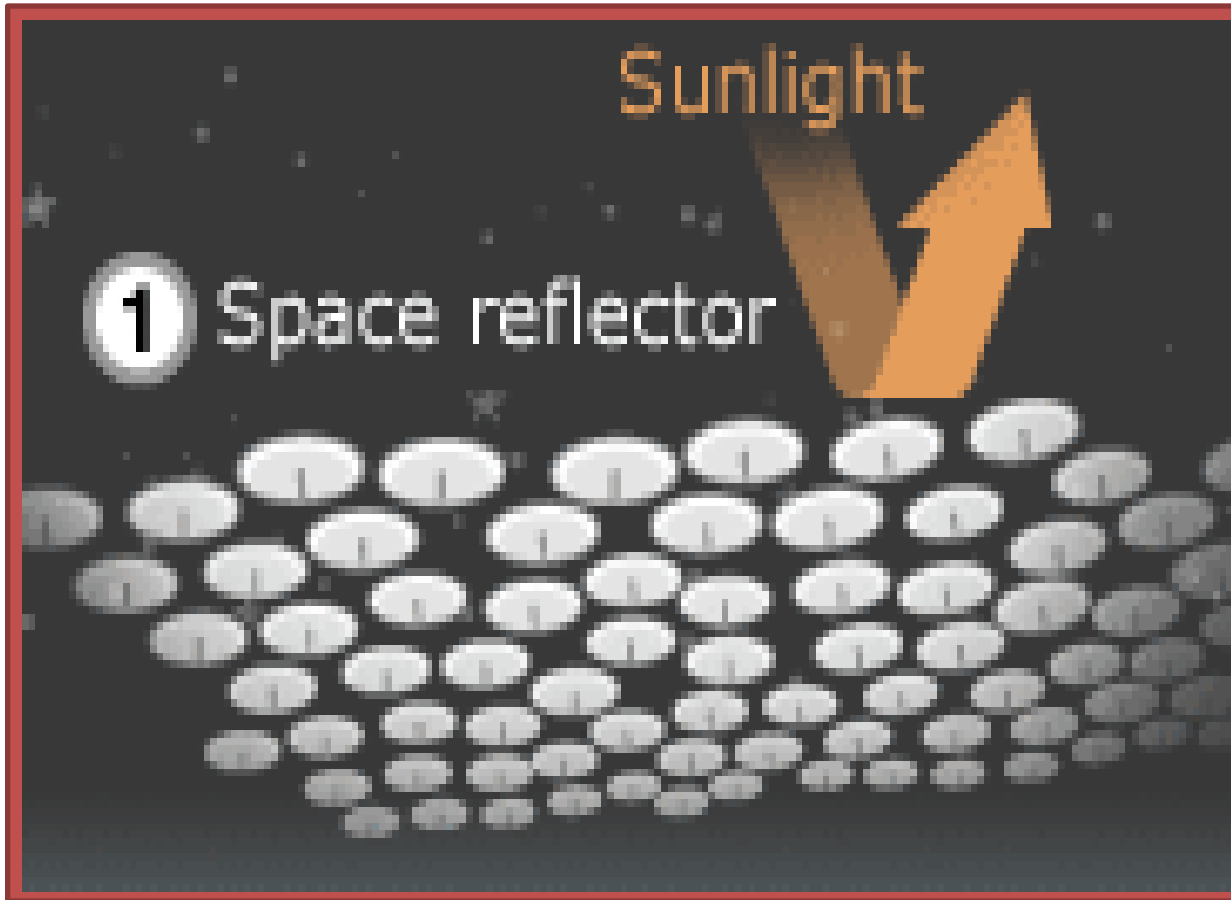
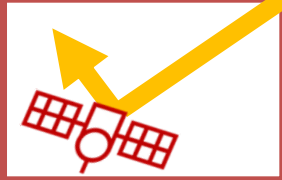


# AUGMENTATION DU FLUX DE RAYONNEMENT INFRAROUGE QUI QUITTE LA TERRE

RENOI DU RAYONNEMENT SOLAIRE VERS L'ESPACE



**Création de courts-circuits énergétiques qui permettent d'accroître la quantité de rayonnement thermique qui s'échappe vers l'espace.**



**Diminution de la quantité de lumière solaire incidente sur la Terre, à l'aide de structures réfléchissantes et/ou éparpillantes localisées à très haute altitude. ( point de Lagrange : 1 500 000 km)**

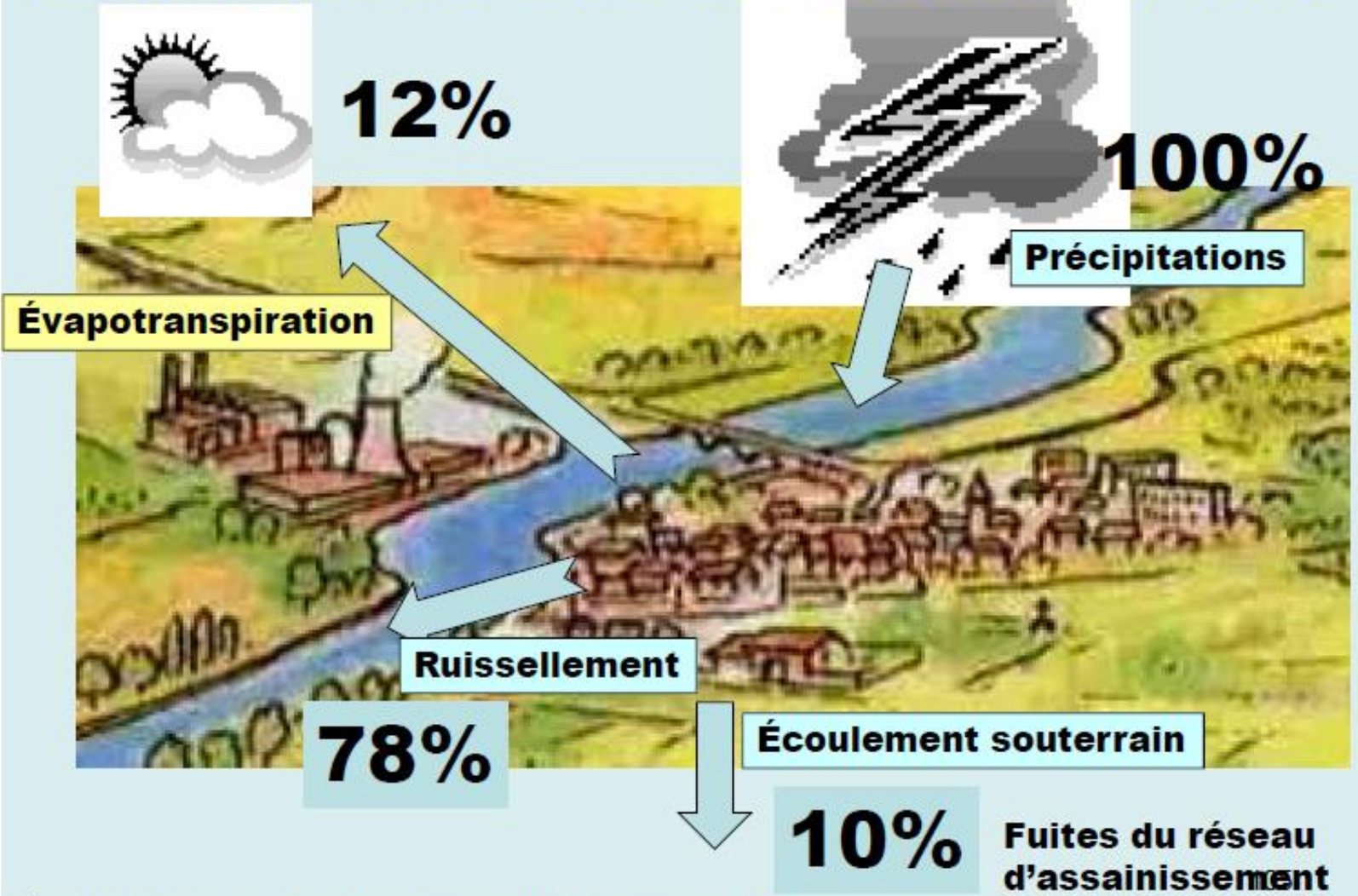
# GEO INGENIERIE TERRITORIALE

Techniques dont l'impact est local mais qui peuvent être réalisées sur de larges territoires et/ou qui peuvent avoir d'autres objectifs que la seule géo ingénierie

- Agriculture
- Foret
- Ville
- Industrie



# Des chiffres très différents en ville



Évaluation variable d'une ville à une autre



# La spécificité du PLU et pourquoi une approche énergie-climat ?



Une affaire de rencontre :

+ L'ACMG est une association locale

+ Un Député-maire

investit dans le monde

agricole et qui s'intéresse

aux enjeux climatiques

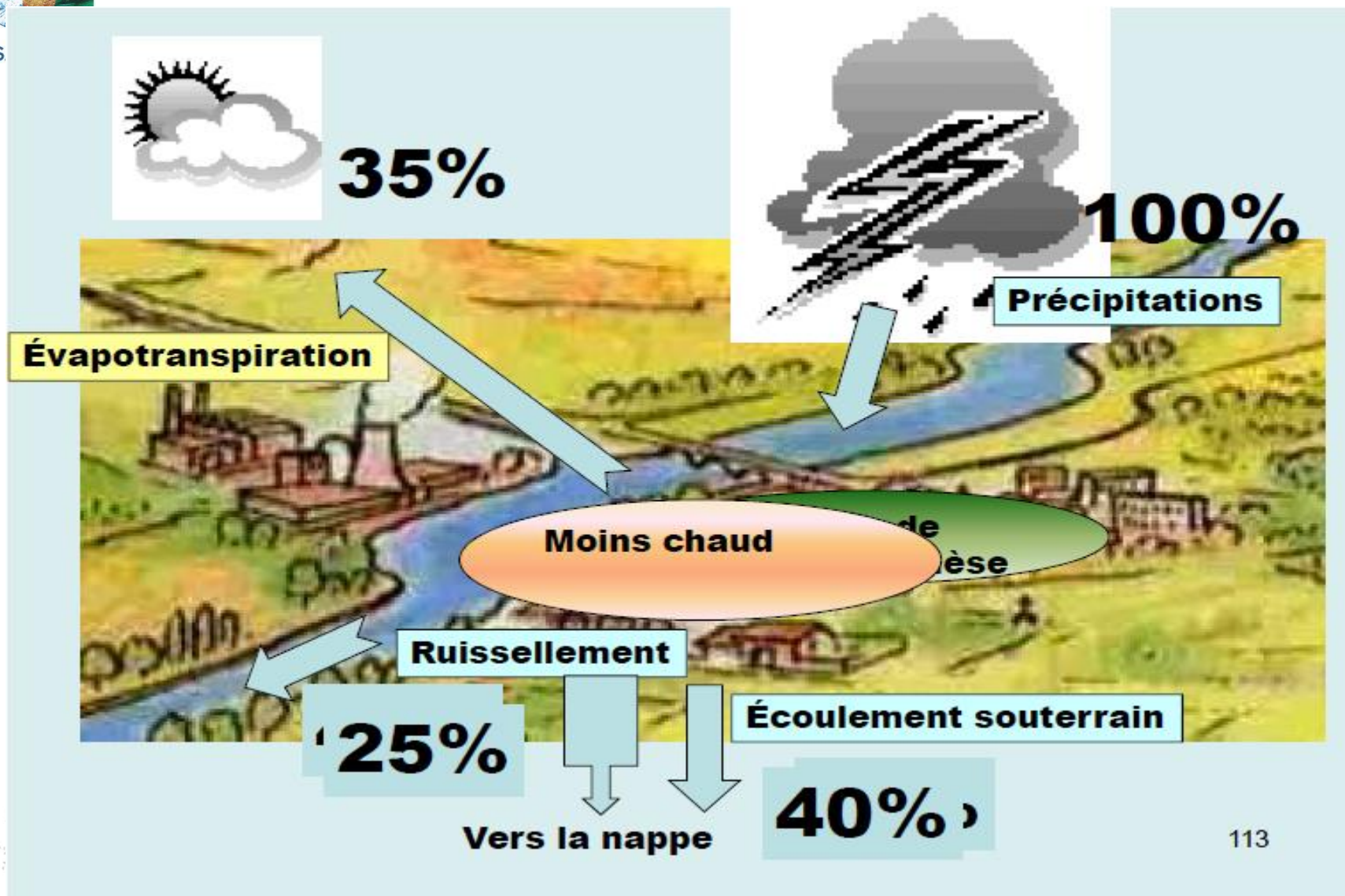
+ Un territoire qui souffre

de surchauffe en été



www.apesa.fr





# PLAN DE L'EXPOSE

- La définition de la géo ingénierie
- Les techniques de géo ingénierie
- Les grandes questions que pose la géo ingénierie
- Quatre scénarios de géo ingénierie
- Conclusion

Incertitudes, réversibilité, risques,  
gouvernance, aspects économiques,  
éthique....



# INCERTITUDE

- Besoin d'augmenter les connaissances
- Complexité intrinsèque
  
- Expérimentation difficile : échelles spatiales et temporelles en jeu



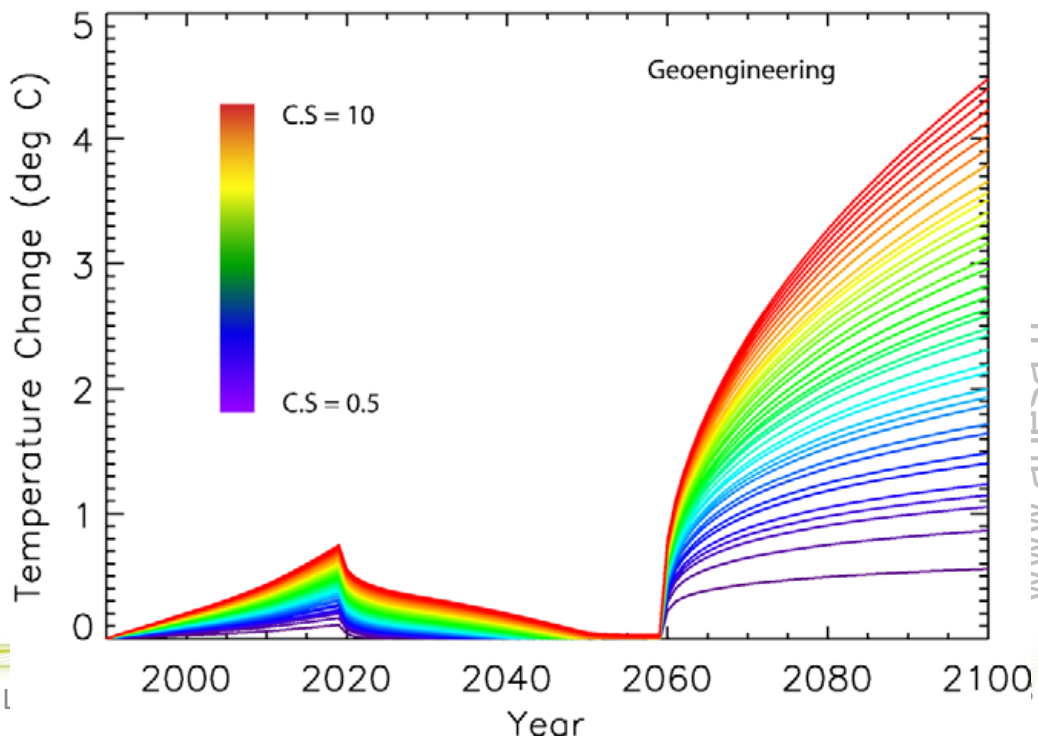
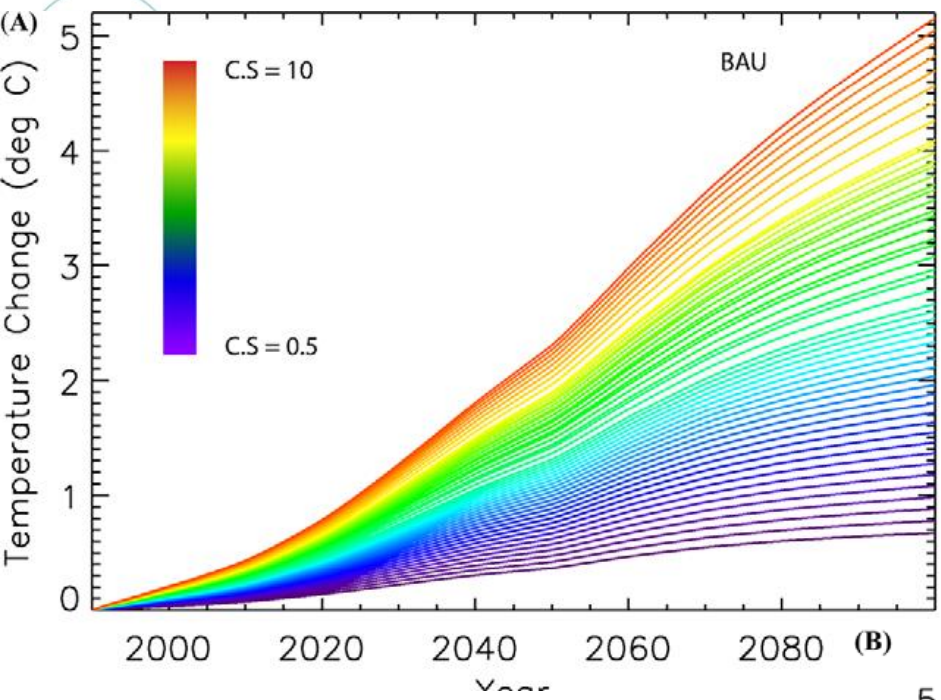
# ANALOGUES NATURELS

- Soufre dans l'atmosphère, fertilisation océans



« si la nature l'a fait, alors on peut le faire... »

# Business as usual vs Geo ingénierie



- Source A. Ross, D. Matthews, 2009



# INCERTITUDE

- La responsabilité des ingénieurs repose sur le principe général selon lequel on comprend et contrôle ce que l'on a conçu et fabriqué.
- Or la géo-ingénierie se déploie en régime d'incertitude et pourrait déclencher des processus naturels qu'on peut ne pas contrôler

# IRREVERSIBILITE

Justifier la géo-ingénierie en évoquant le gain de temps qu'elle nous donne dans la lutte contre le changement climatique est moralement répréhensible dans la mesure où beaucoup de techniques de géo-ingénierie engagent les générations futures et certaines ne peuvent être arrêtées sans un effet boomerang.



# GOUVERNANCE

- Le problème de la gouvernance de la géo-ingénierie se pose de manière urgente dans la mesure où celle-ci touche à **des biens communs planétaires** (comme l'atmosphère, les océans, la biodiversité).
- A l'exception de quelques textes qui font référence de manière directe ou indirecte à la géo-ingénierie, la géo-ingénierie se trouve dans un **vide juridique quasi-total**.

# LES RARES TEXTES

La convention sur l'interdiction d'utiliser des techniques de modification de l'environnement à des fins militaires ou toutes autres fins hostiles » (ou convention ENMOD)

La Convention sur la Diversité Biologique, adoptée lors du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992, a été complétée en 2010 par un texte interdisant le déploiement de techniques de géo-ingénierie climatique



# PRINCIPES D'OXFORD

## ( pour la recherche)

- Réglementation de la géo-ingénierie comme un bien public
- Participation du public dans les processus de décision
- Divulgation et publication ouverte des résultats de la recherche
- Nécessité d'une évaluation indépendante des impacts de la recherche en géo-ingénierie
- Gouvernance avant déploiement

# ASPECTS ECONOMIQUES

- Capture du CO<sub>2</sub>: crédit carbone
- Gestion du rayonnement solaire: politique d'états
  
- Question : quid de la responsabilité à long terme?



# RISQUES

- Prudence ( risque connu et quantifiable)
- Prévention ( risque connu, mais difficilement quantifiable)
- Précaution ( risque mal connu voire imprévisible et difficilement quantifiable)

# RISQUE DANS LE FUTUR

Même réversibles, les techniques de géo-ingénierie transposent du risque dans le futur (que ce soit sur la pérennité du stockage de carbone ou sur l'engagement temporel qu'impliquent les techniques de gestion du rayonnement solaire).



# ETHIQUE

- La géo-ingénierie interpelle aussi nos valeurs : pour beaucoup, la géo-ingénierie apparaît comme une transgression de nos limites, une démesure, une ivresse prométhéenne.



# ANTHROPOCENE

- Les êtres humains se sont développés avec un tel succès dans les 10 000 dernières années qu'ils sont devenus une force géologique.
- La biosphère terrestre est passée d'un état où elle était principalement façonnée par les processus biophysiques naturels pour devenir une biosphère anthropique, principalement façonnée par les systèmes humains

Clive Hamilton

# Quatre scénarios de gèo ingénierie

M. Ha-Duong, O. Boucher and B. de Guillebon

REAGIR project



# L'adaptation suffit

Dans ce scénario la géo-ingénierie ne se développe pas parce qu'elle n'est ni nécessaire ni recherchée.





# L'adaptation suffit

- Paris 2015 est un demi succès
- Le réchauffement planétaire s'avère modéré
- D'autres enjeux environnementaux prennent le dessus, comme la raréfaction des ressources
- La transition vers une économie verte se fait naturellement
- Pas de besoin de géoingénierie
- Moins de 2.5 °C de plus à la fin du siècle
- L'adaptation au changement climatique se développe



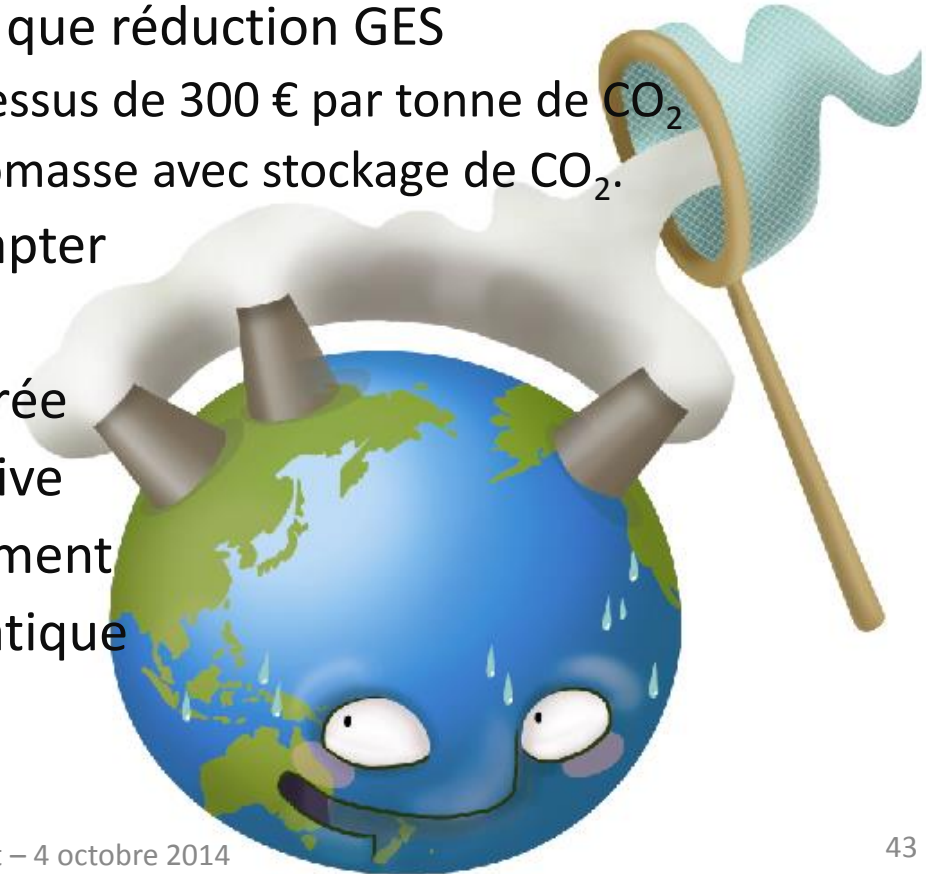
# Emissions négatives en 2050

- Dans ce scénario, les efforts de transition énergétique permettent l'atténuation du changement climatique et sont renforcés par une mise en place d'une fiscalité carbone volontariste qui permet le développement à large échelle de capture et du stockage géologique du CO<sub>2</sub>.



# Emissions négatives en 2050

- Succès de Paris 2015, des responsabilités communes , mais différenciées
- Mécanismes économiques d'incitation et de sanctions
- Politiques multi-objectifs croissance-énergie-climat, orientées emploi et la sécurité nationale tout autant que réduction GES
- En 2050, la valeur du carbone est au-dessus de 300 € par tonne de CO<sub>2</sub>
- Centrales électriques mixtes fossile/biomasse avec stockage de CO<sub>2</sub>.
- Marché du CO<sub>2</sub> stable permet de capter le CO<sub>2</sub> directement à partir de l'air
- A partir de 2050, diminution accélérée des émissions de GES et capture massive du CO<sub>2</sub> permettent d'éviter le changement climatique malgré une sensibilité climatique dans le milieu de la fourchette du GIEC



# Urgence climatique en 2060

- Dans ce scénario, la mise en place de la gestion du rayonnement solaire apparaît comme la réponse à un événement climatique global brusque qui révèle l'insuffisance de l'effort international sur l'atténuation





# Urgence climatique en 2060

- Paris 2015 confirme l'impossibilité d'un accord contraignant
- Toutefois , il y a une coopération sur le climat ( adaptation)
- Emissions de CO<sub>2</sub> toujours en hausse
- Même +3 °C devient irrealiste
- Recherche active sur SRM
- Premiers tests en 2030
- Sensibilité climatique haute

La variabilité la masque jusqu'en 2050

- Risque lié aux hydrates de methane
  - Accord de l'UN sur SRM en 2060
  - Réduction agressive des emissions
- et captage du CO<sub>2</sub> => SRM arrêté en 2150





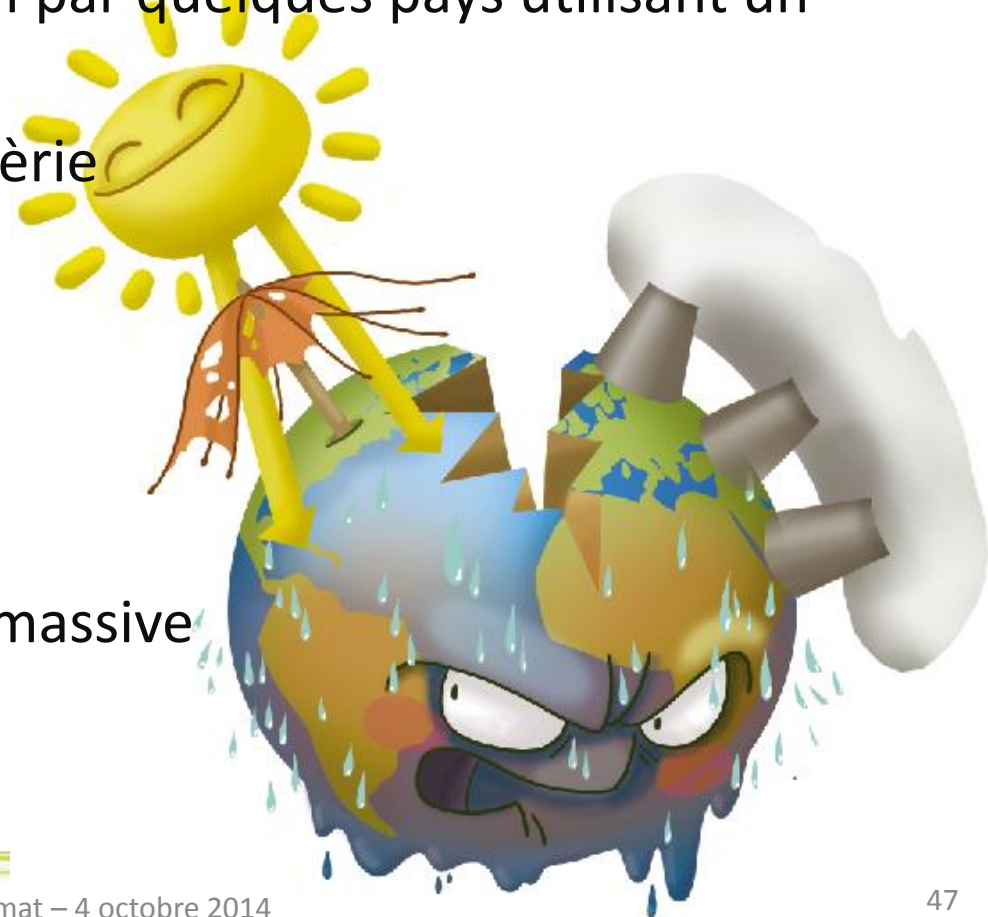
# Double catastrophe

Dans ce scénario, l'injection d'aérosols sulfatés dans la stratosphère tempère avec succès le changement climatique, jusqu'à ce qu'une crise sociale majeure fasse cesser l'action. Un changement climatique rapide se produit alors, dont l'impact démultiplie les effets de la crise sociale.



# Double catastrophe

- Paris 2015 est un désastre, aucun accord
- Le changement climatique vu comme une arme géopolitique
- Deployment unilatéral du SRM par quelques pays utilisant un archipel isolé
- Les pays opposés à la géo inéniérie finissent par faire arrêter le SRM
- Réchauffement catastrophique qui déclanche un fort El Niño
- Les pays riches s'adaptent, les pauvres non => migration massive





# En guise de conclusion

Approcher les enjeux de la géo ingénierie d'une manière systémique très marquée dans laquelle l'évaluation de l'efficacité et des risques, les considérations éthiques et les dimensions politiques et économiques sont au moins aussi importantes que les aspects technologiques.

- La réflexion sur la géo-ingénierie ne doit en effet pas faire oublier que le meilleur moyen de lutter contre de le changement climatique reste de réduire nos émissions à la source en réduisant nos consommations d'énergie et en développant des énergies décarbonées





*Nous ne résoudrons pas les problèmes avec  
les modes de pensée qui les ont  
engendrés*

*Albert Einstein*



## Quatre discours sur la géo ingénierie ( Cairns , 2013)

- Nous avons besoin de plus de recherche sur les technologies,
- Nous allons être contraints à être les ingénieurs en charge de la maintenance de la planète,
- Nous sommes pris au piège par les conséquences de nos actions hubristiques (démessurées),
- Nous devons nous concentrer sur le carbone.

