

Climate Action Program

Mitigation and Climate Solutions

Roland Séférian

Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM), Université de Toulouse, Météo-France, CNRS, Toulouse, France

roland.seferian@meteo.fr @RolandSeferian

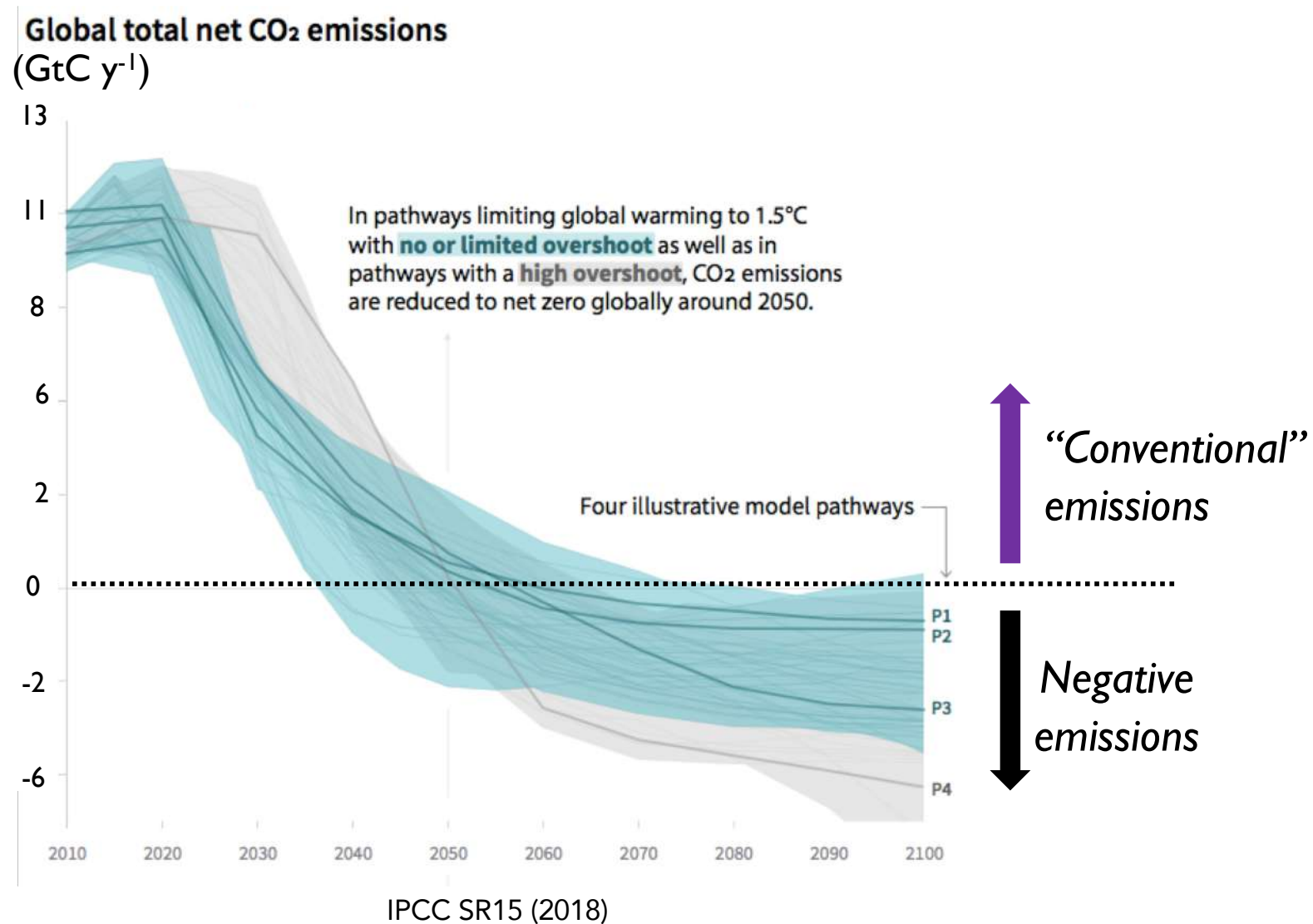
Outline

1. How mitigation options are represented in mitigation pathways
2. Mitigation Options: an overview
3. Geophysical limits & Planet Boundaries
4. Trade-off/synergies mitigation options/behaviour
5. Now let's have a look at the real world (focus on the USA)
6. Outro

How mitigation options are represented in mitigation pathways

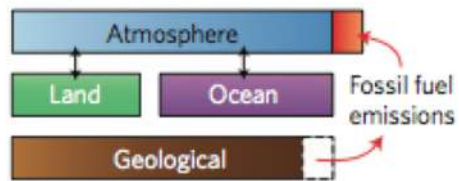
Mitigation pathways modelled by Integrated assessment models (IAMs)

Mitigation pathways holding global warming below 1.5 °C



Let's scrutinize the mitigation pathways compliant with 1.5° C or 2° C

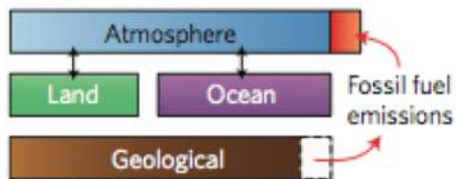
a Fossil fuel energy



● Fossil fuel and industry

Let's scrutinize the mitigation pathways compliant with 1.5° C or 2° C

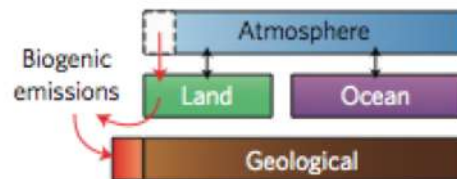
a Fossil fuel energy



● Fossil fuel and industry

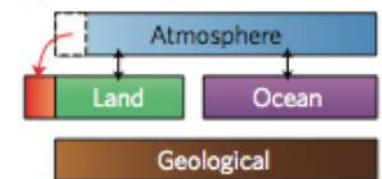
● BECCS

d Bioenergy + CCS (BECCS)



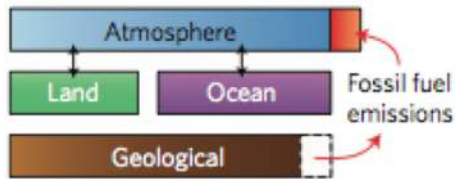
● AFOLU

g Afforestation/changed agricultural practices



Let's scrutinize the mitigation pathways compliant with 1.5° C or 2° C

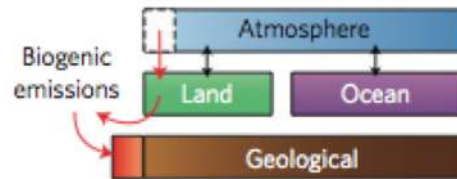
a Fossil fuel energy



● Fossil fuel and industry

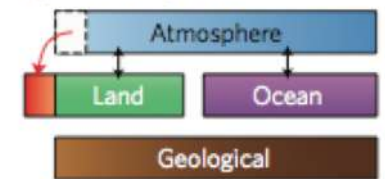
d Bioenergy + CCS (BECCS)

● BECCS

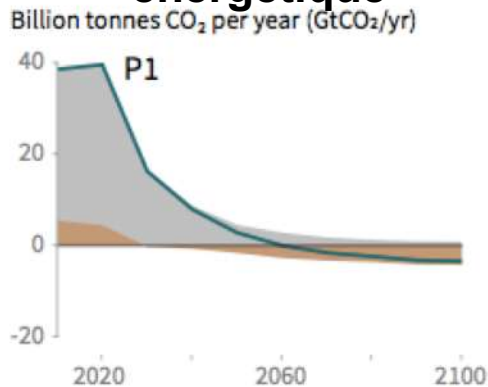


● AFOLU

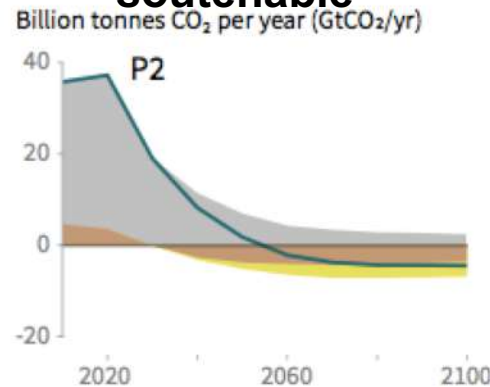
g Afforestation/changed agricultural practices



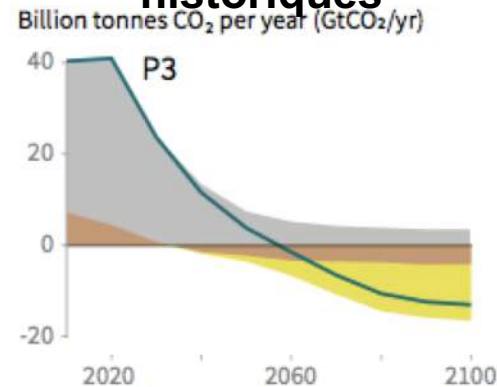
Faible demande énergétique



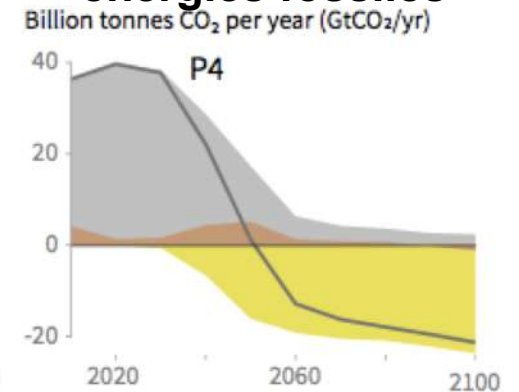
Développement soutenable



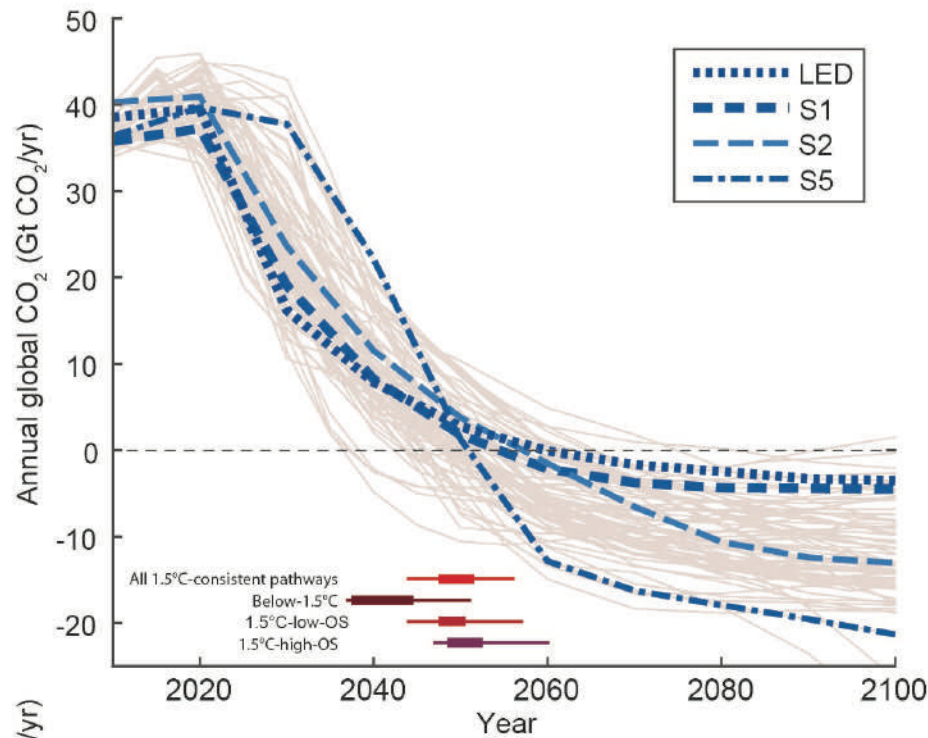
Caractéristiques historiques



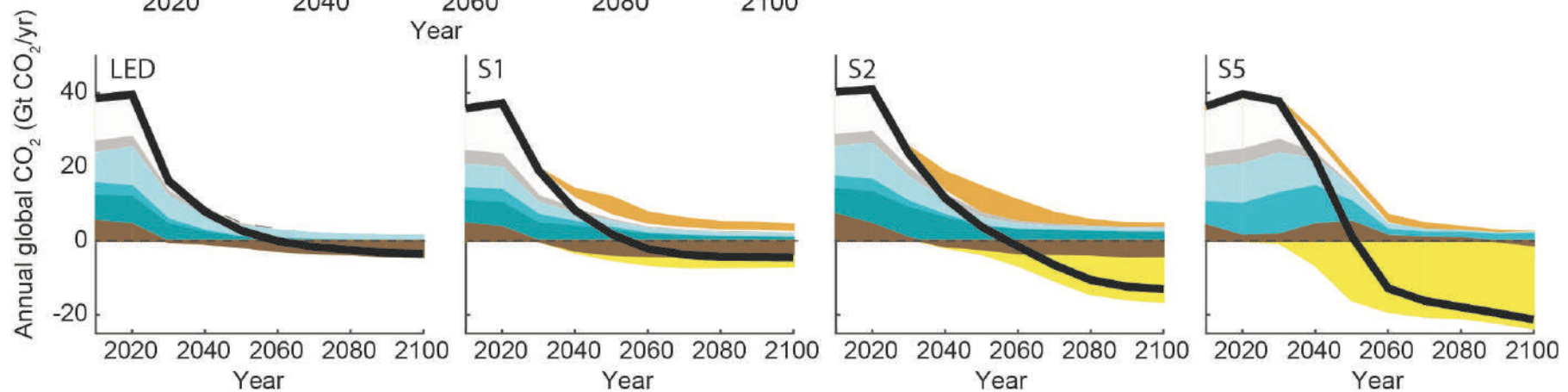
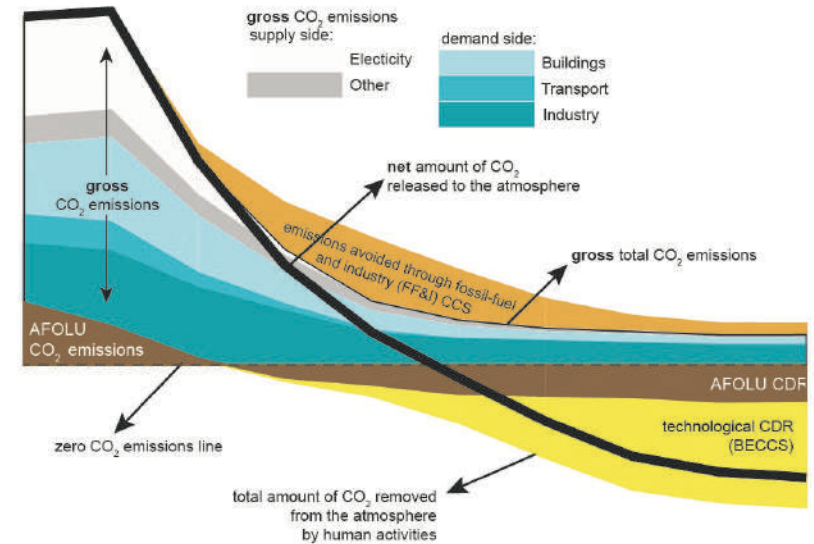
Dépendance aux énergies fossiles



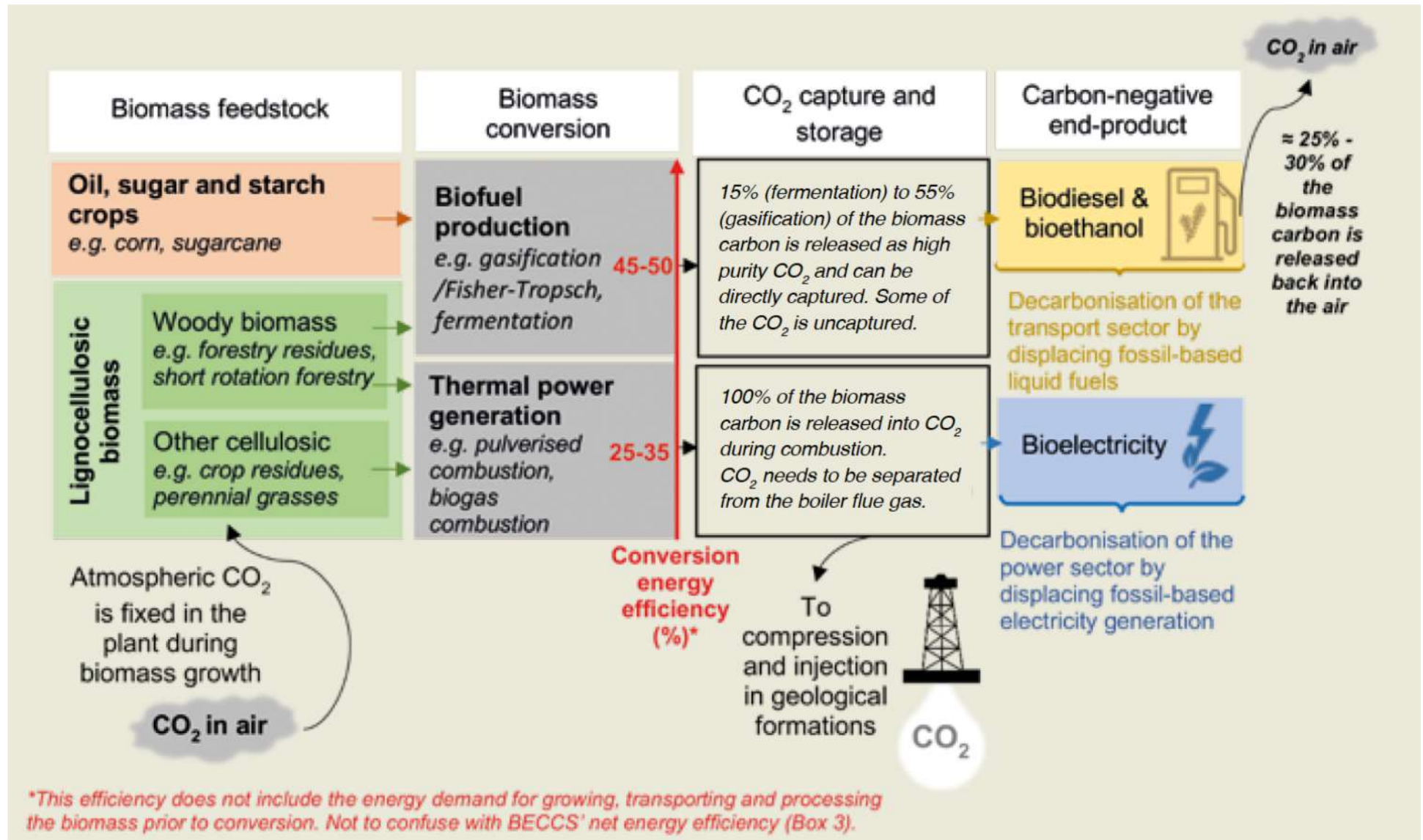
Mitigation pathways split-up by contributions/mitigation options



LEGEND: EMISSION CONTRIBUTIONS

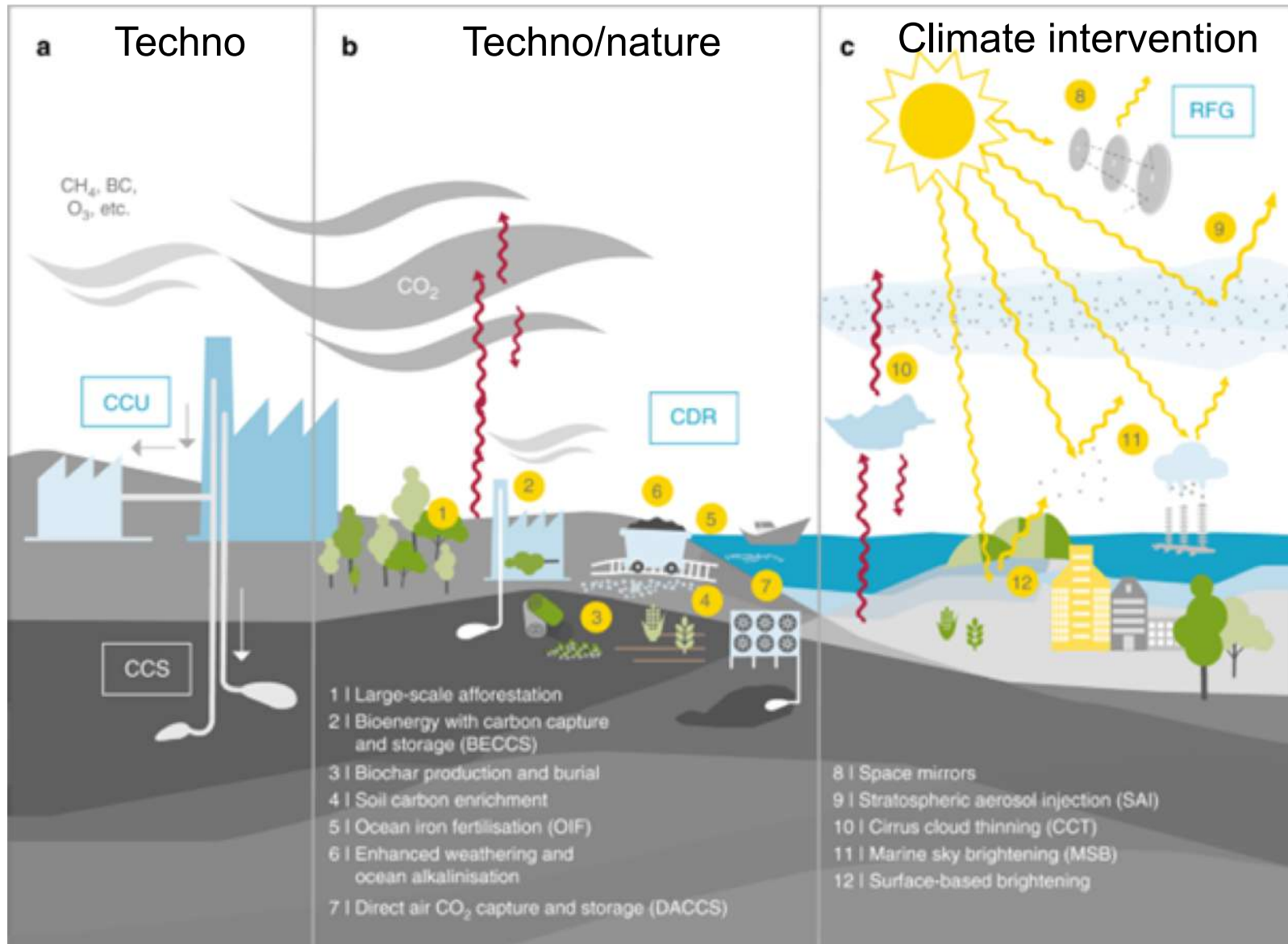


Two examples of biomass conversion routes for BECCS: bioelectricity and biofuels

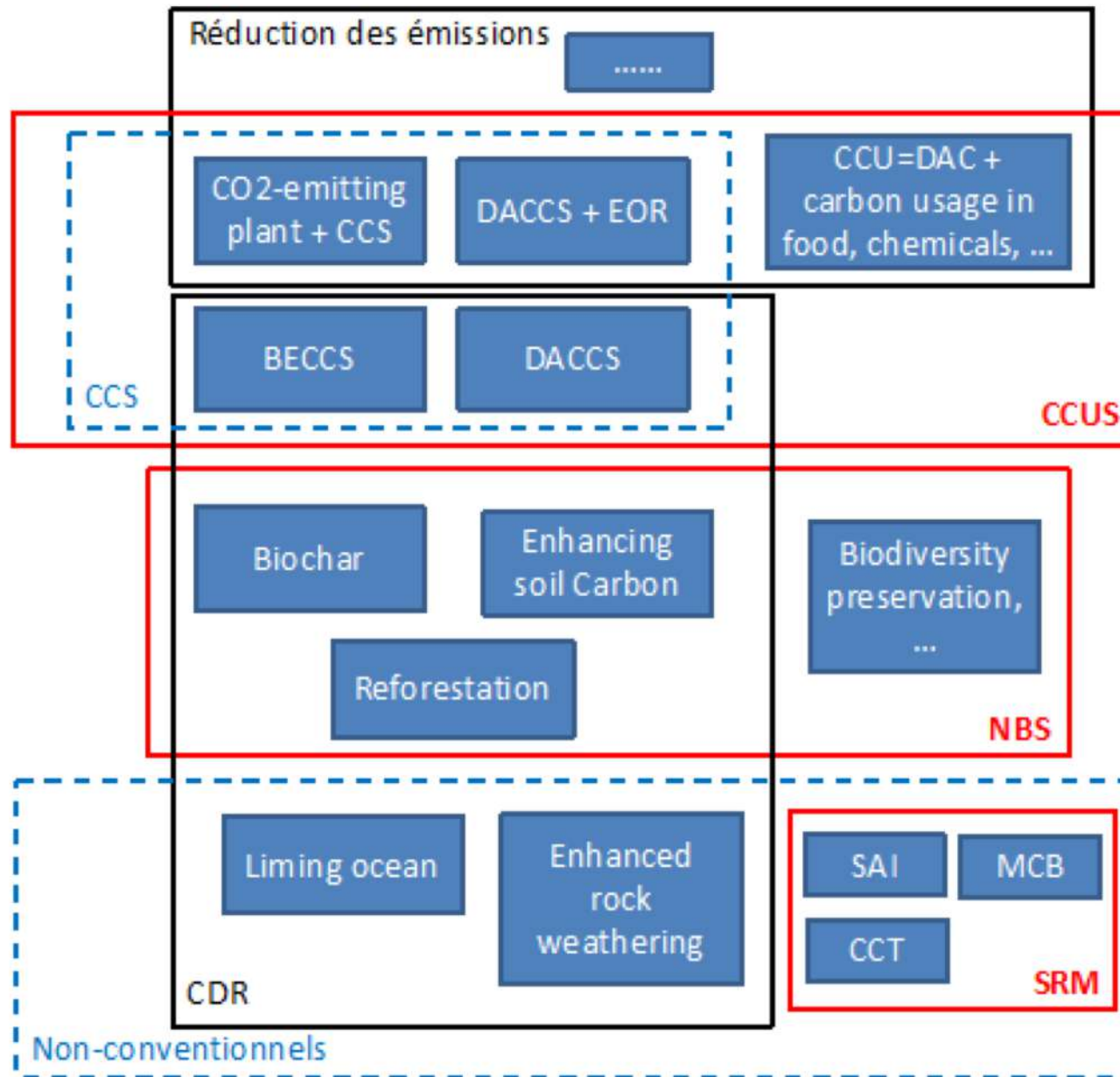


Mitigation Options: an overview

Overview of the established approaches

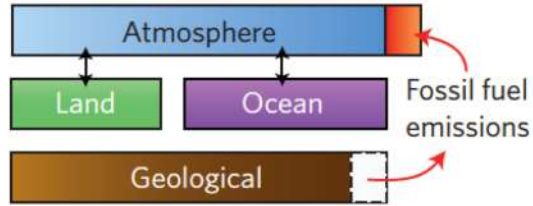


How to map them ?

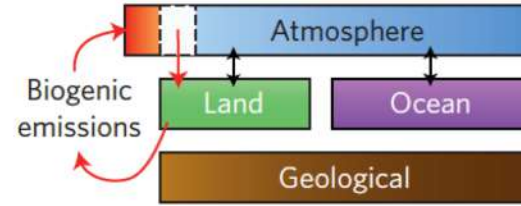


How do they work ?

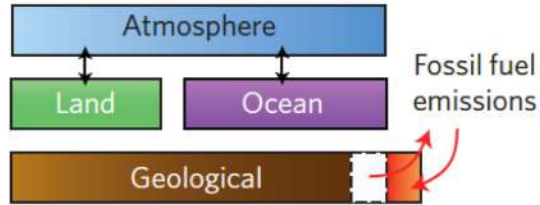
a Fossil fuel energy



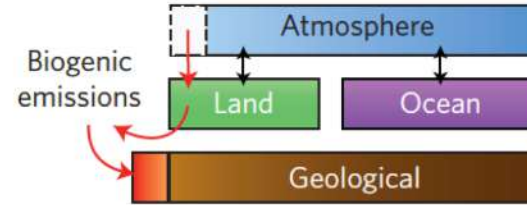
b Bioenergy



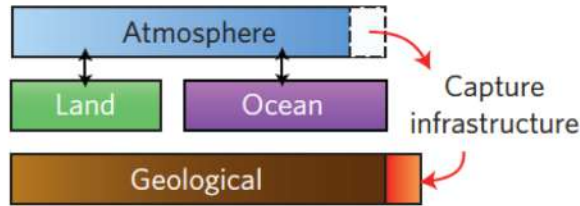
c Carbon capture and storage (CCS)



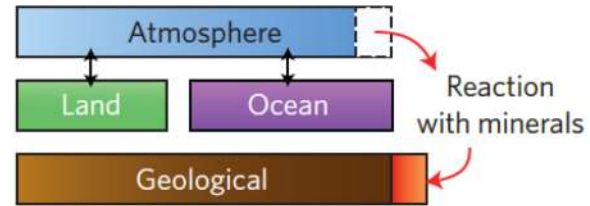
d Bioenergy + CCS (BECCS)



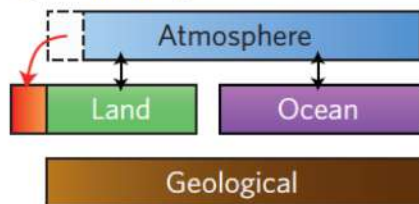
e Direct air capture (DAC)



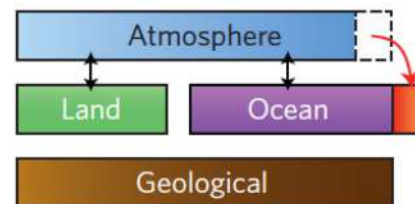
f Enhanced weathering



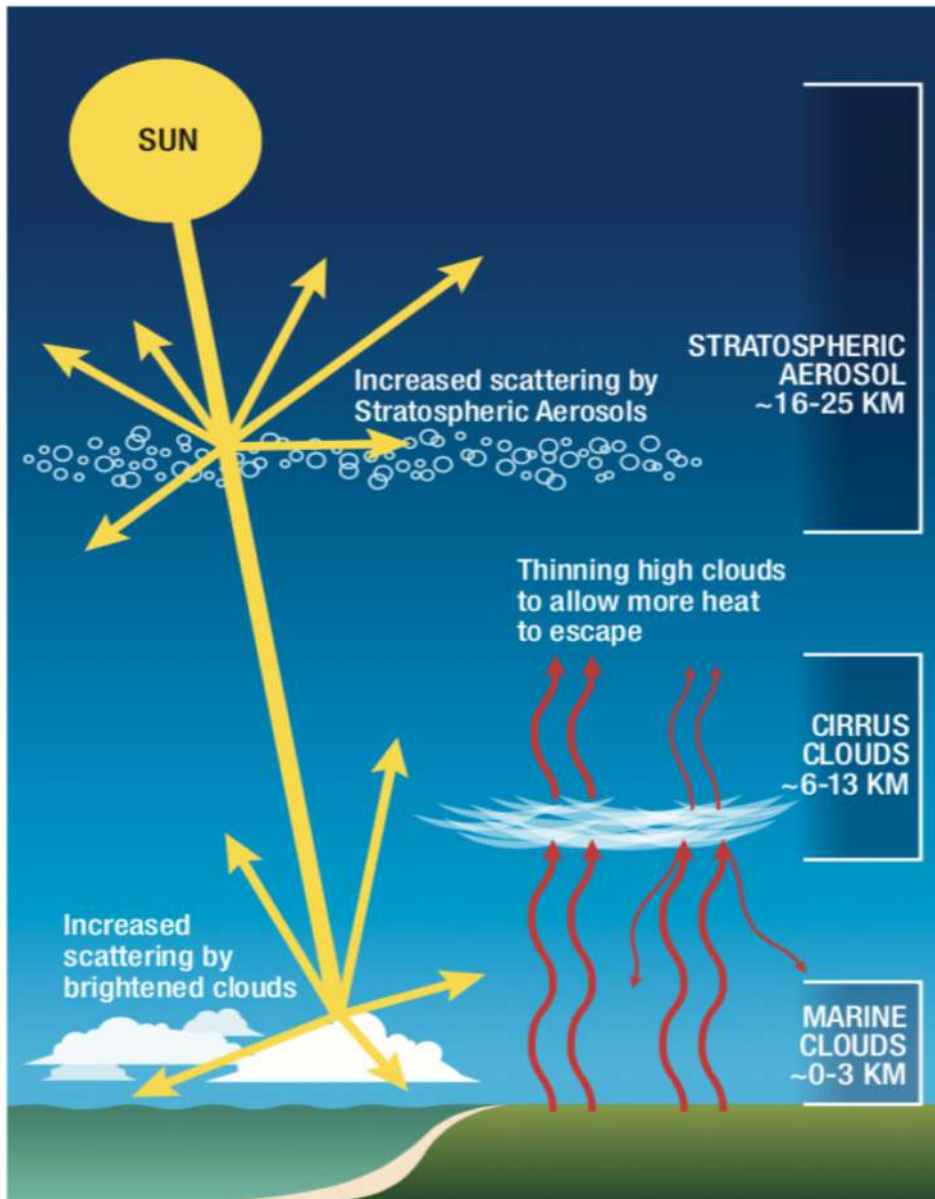
g Afforestation/changed agricultural practices



h Ocean fertilization/alkalinization



The case of Solar Radiation Management



Mechanisms of the main SRM approaches

Reduce solar heating of the surface:

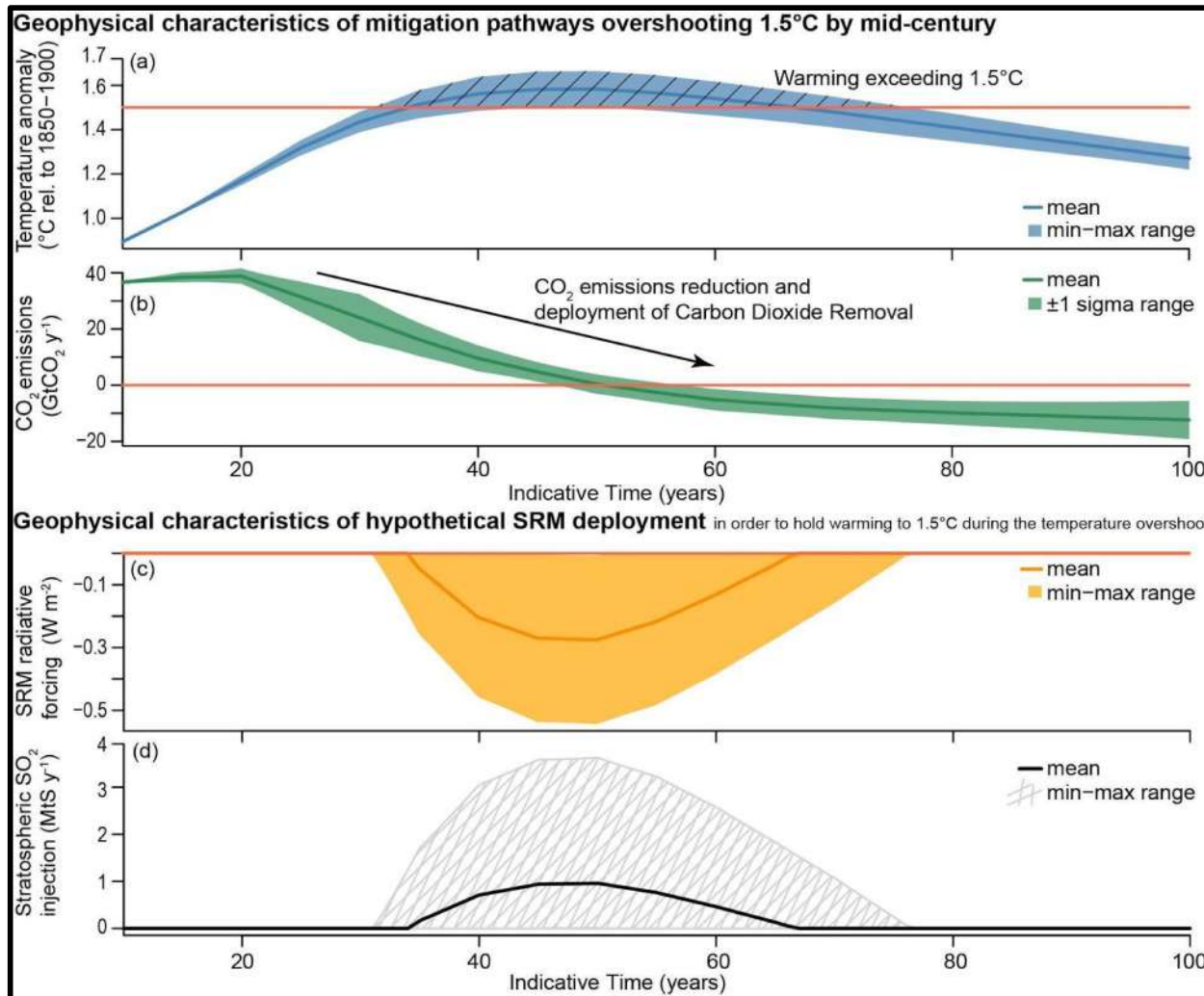
Sulfate aerosols injection: more reflective stratospheric aerosols (analogy with volcanic eruptions)

Marine Cloud Brightening: brighter/more reflective marine clouds

Reduce greenhouse effect / terrestrial infrared radiation :

Cirrus Cloud Thinning: less cirrus clouds / thinner cirrus clouds

How Solar Radiation Management can be schemed in mitigation pathways ?



Two cases for global use:

1. In case of failure of global mitigation
2. Peak-shaving: avoid to overshoot dangerous warming threshold (Figure)

Mimic natural phenomenon



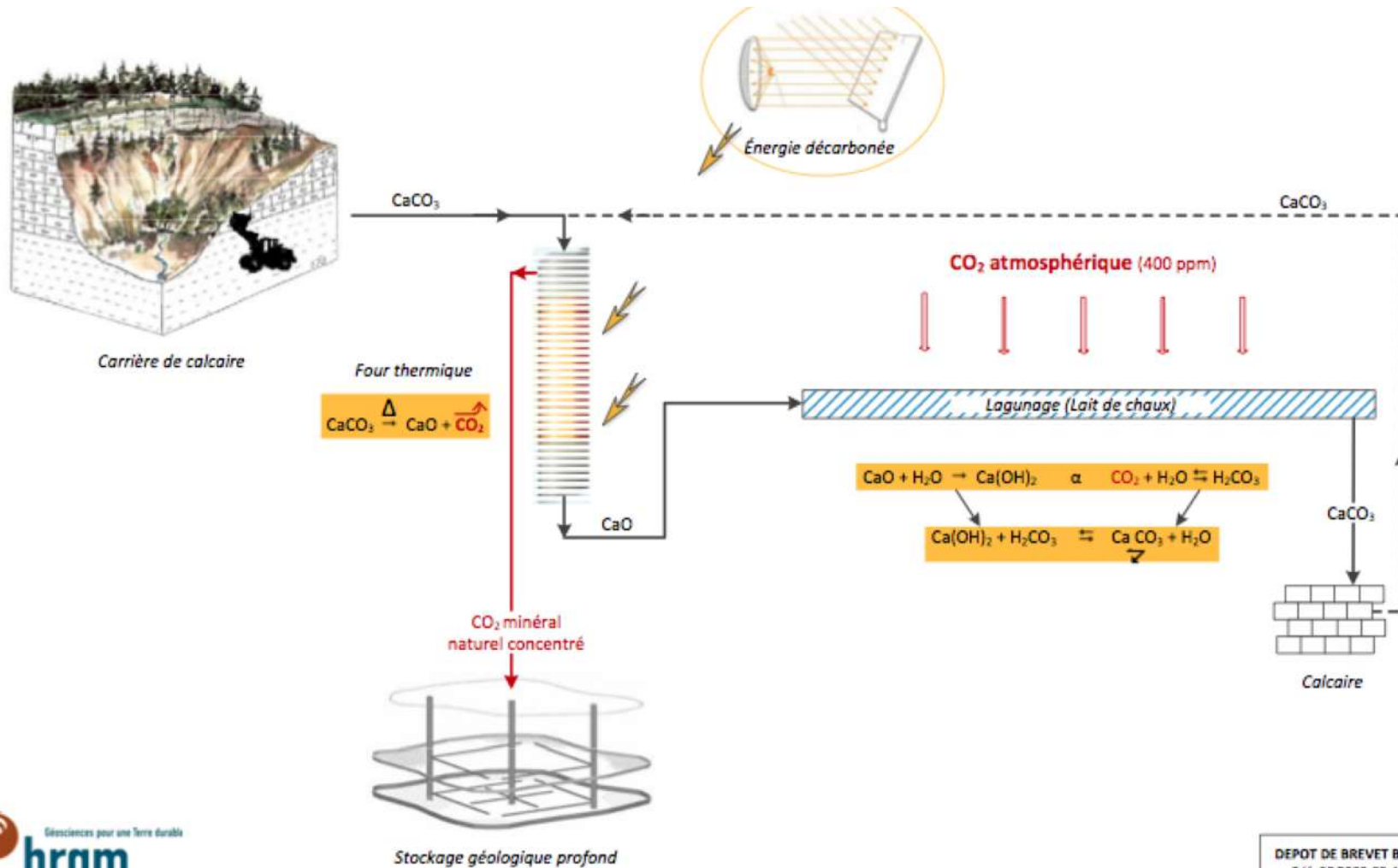
Couche de particules volcanique après l'éruption de Pinatubo (1991) limitant l'entrée du rayonnement solaire sur la Terre



Capture et séquestration naturelle du CO₂ par la végétation (29% des émissions humaines) et les océans (26% des émissions humaines)

Accelerate them (through Tech.)

Puits de résorption de CO₂ atmosphérique



Devising novel Technology...

Arbre « artificiel » pour capter du CO₂



Pour en savoir plus :

http://www.lemonde.fr/planete/article/2009/12/25/un-arbre-artificiel-pour-pieger-le-co2_1284870_3244.html

Or even a mixture of both

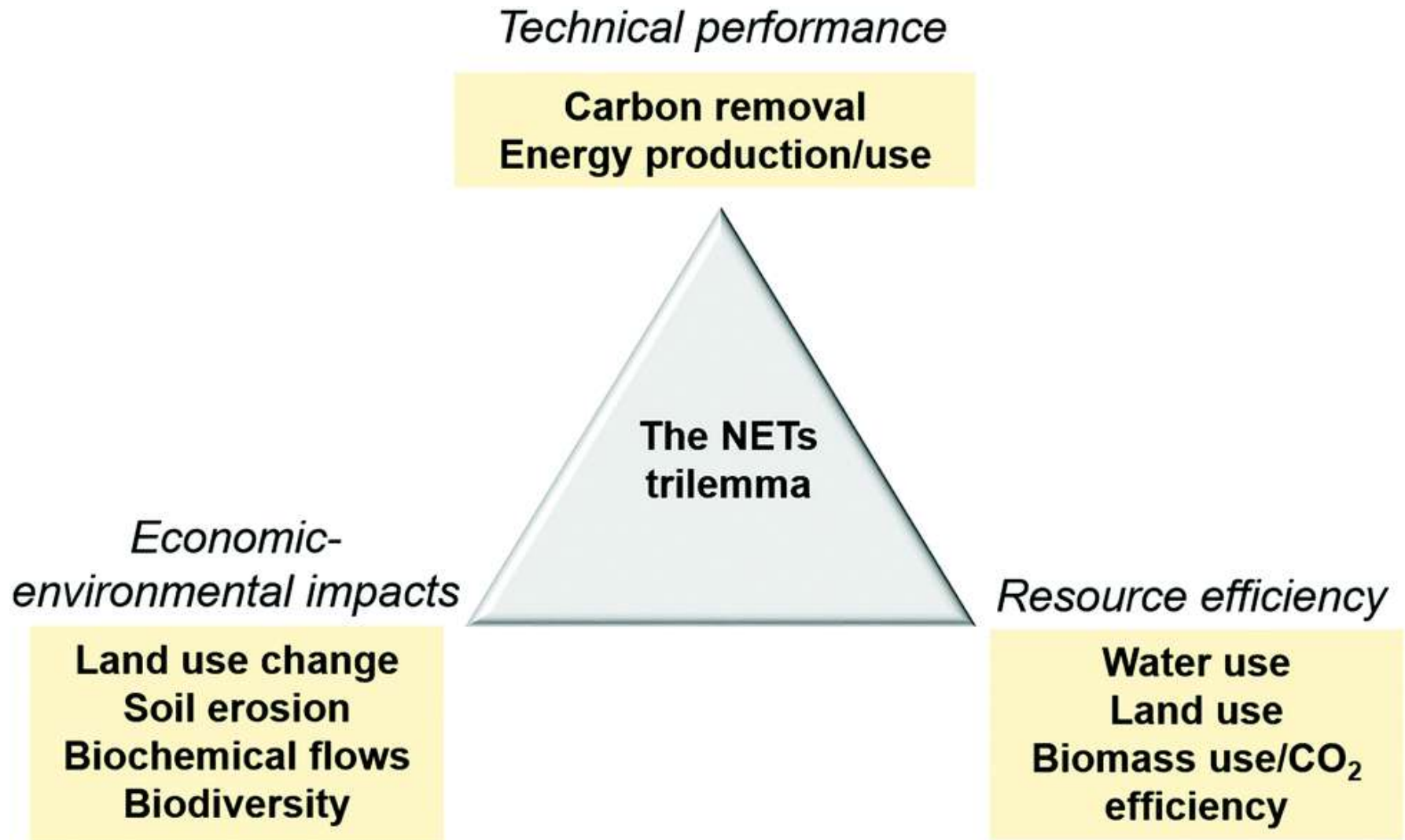
Arbre « à algues » installé à Toulouse (start-up Kyanos)



<https://toulouse.latribune.fr/innovation/recherche-et-developpement/2020-09-17/un-arbre-a-algues-installe-a-toulouse-pour-capturer-le-co2-857481.html>

Geophysical limits & Planet Boundaries

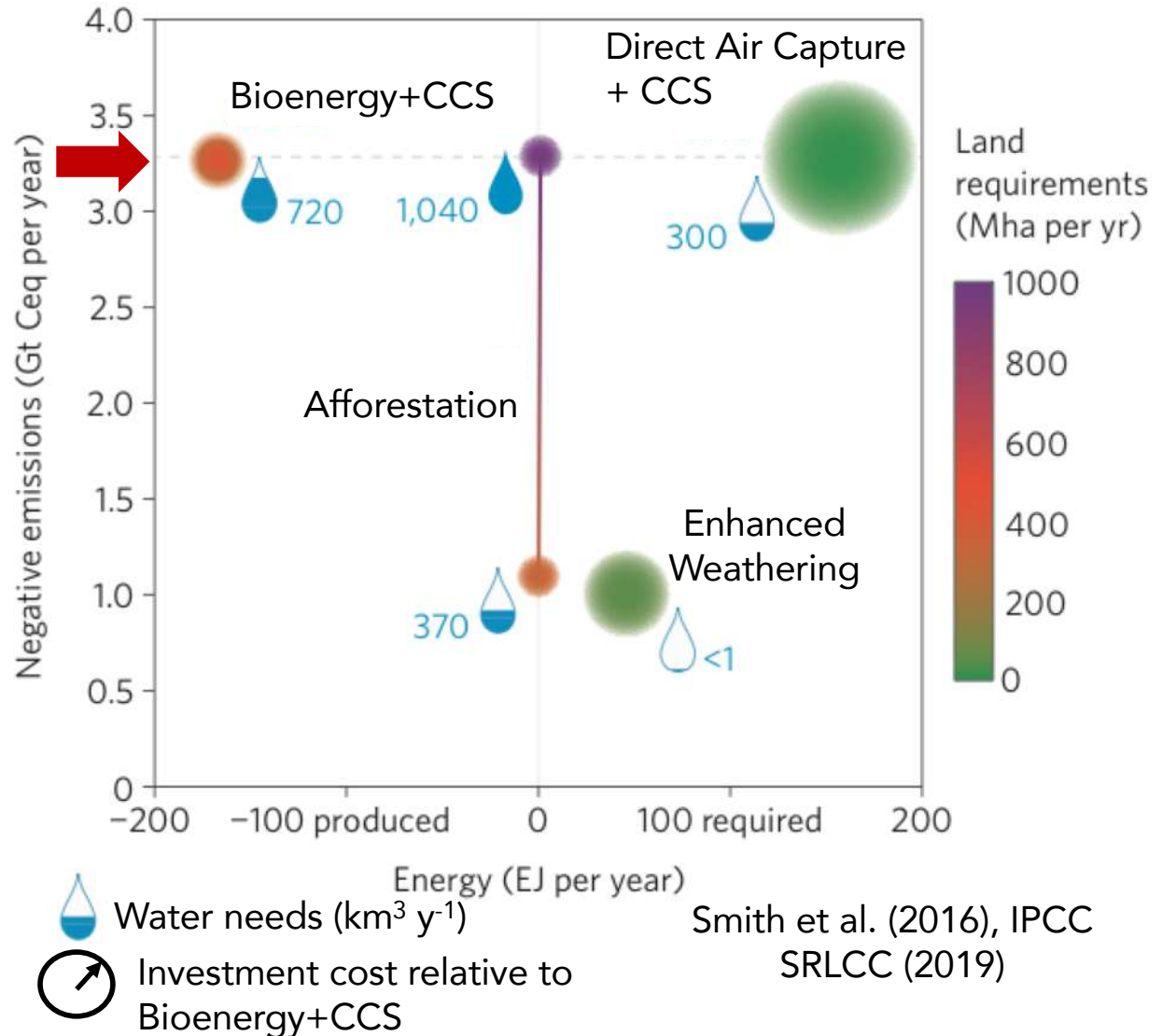
Dilemmas of Negative emissions technologies



Geophysical footprint of Negative emissions technologies

Level of carbon dioxide removal to hold warming below 1.5 °C warming in 2100

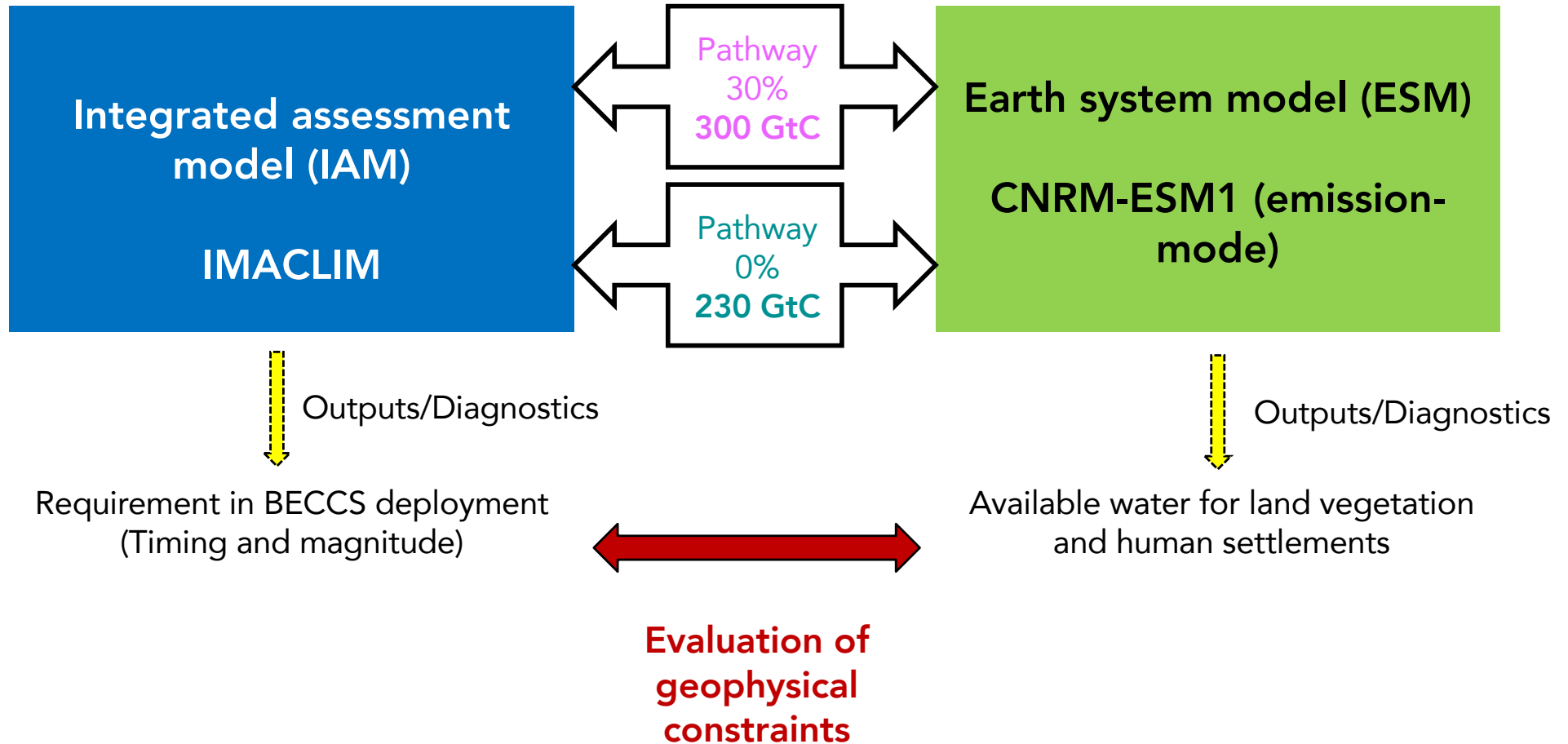
720 km³ y⁻¹ = annual freshwater withdrawals of Japan



A modelling framework to assess BECCS deployment



Stylized mitigation pathways
Compatible with 2 °C
Remaining Carbon budgets
from 1 Jan 2016 onwards



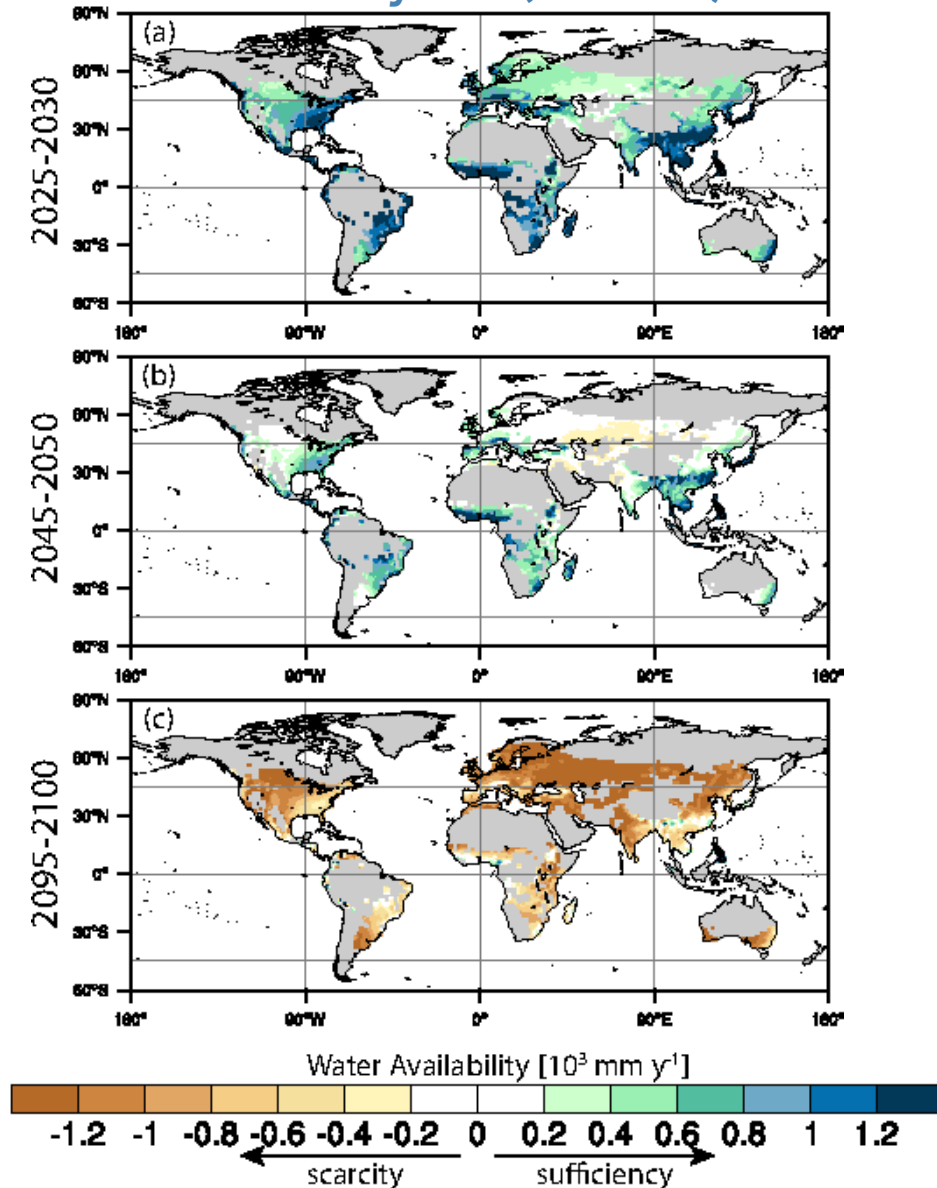
A modelling framework to assess BECCS deployment

$$\text{Water Availability} = (\text{precipitation} - \text{runoff}) - \text{BECCS water needs}$$

CNRM-ESM1 results

IMACLIM results

Pathway 0% (230 GtC)



For the scenario with carbon budget compatible with 2°C (1000 GtC), we find:

⇒ Large water scarcity is the mid-latitude

⇒ Less prominent in the tropics

A modelling framework to assess BECCS deployment

$$\text{Water Availability} = (\text{precipitation} - \text{runoff}) - \text{BECCS water needs}$$

CNRM-ESM1 results

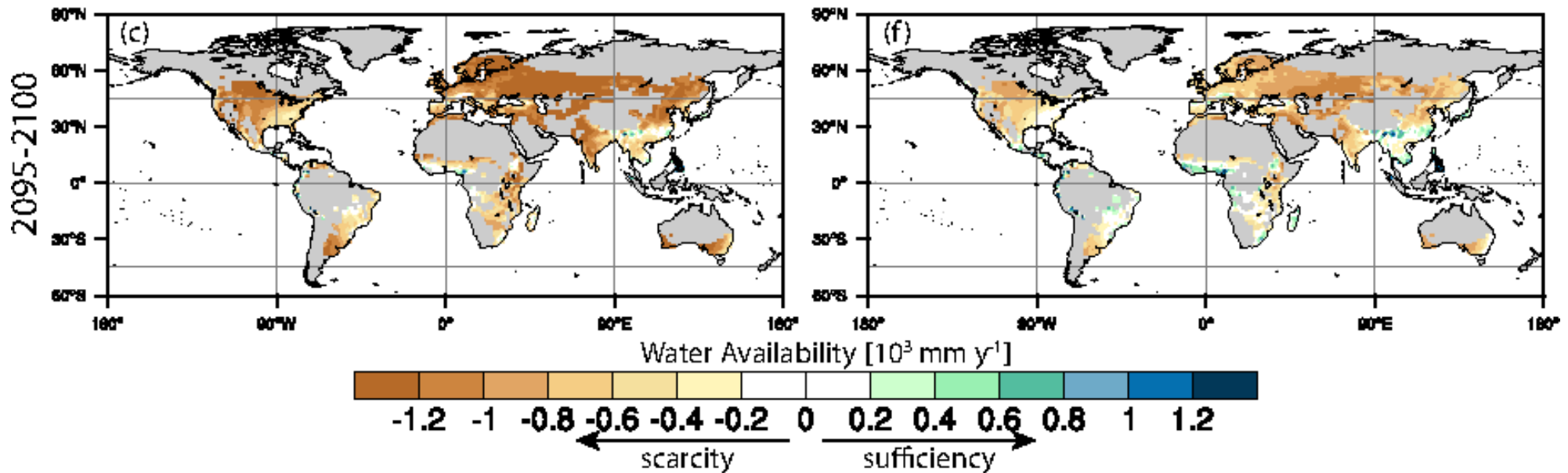
IMACLIM results

Delayed mitigation actions with a larger carbon budget lead also to substantial impacts of BECCS

Pathway 0% (230 GtC)

Pathway 30% (300 GtC)

+7 years of CO₂ emissions at the current rate



Sustainable development goals (ODD)

1 NO POVERTY



2 ZERO HUNGER



3 GOOD HEALTH AND WELL-BEING



4 QUALITY EDUCATION



5 GENDER EQUALITY



6 CLEAN WATER AND SANITATION



7 AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY



8 DECENT WORK AND ECONOMIC GROWTH



9 INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE



10 REDUCED INEQUALITIES



11 SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES



12 RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION



13 CLIMATE ACTION



14 LIFE BELOW WATER



15 LIFE ON LAND



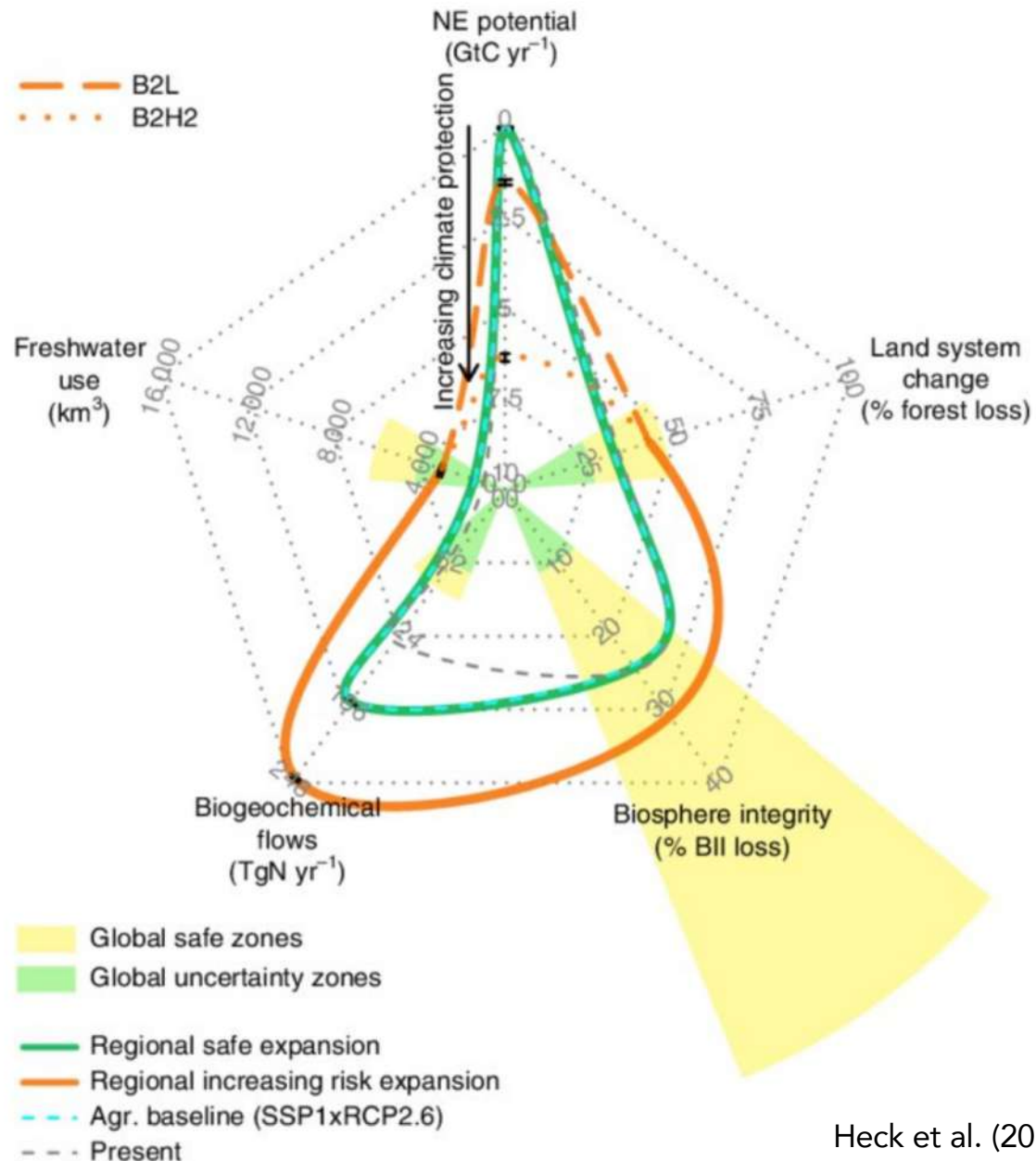
16 PEACE, JUSTICE AND STRONG INSTITUTIONS



17 PARTNERSHIPS FOR THE GOALS



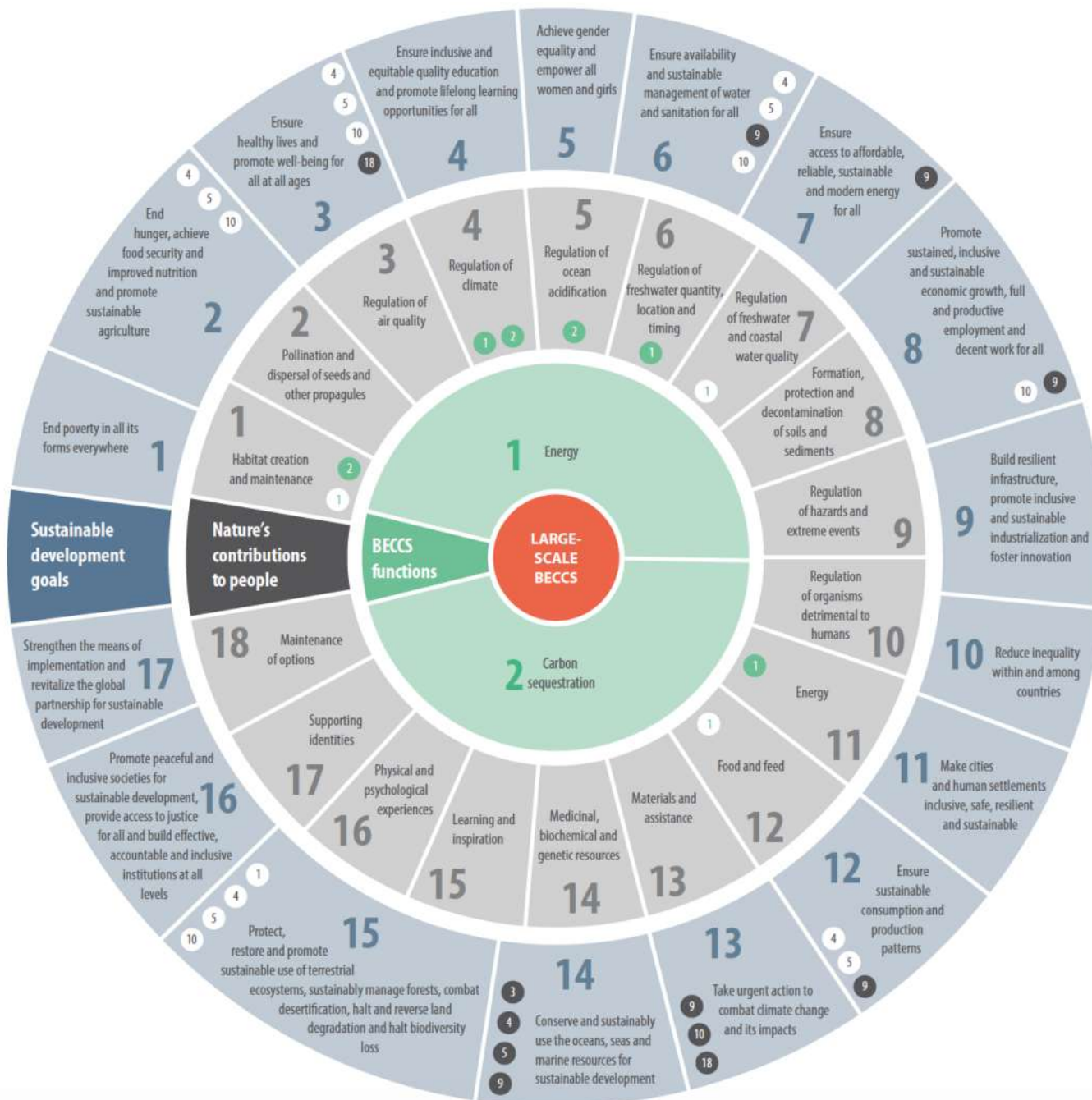
Comprehensive footprints of Negative emissions technologies



Large-scale BE/BECCS deployment might cause

- to cross some planet boundaries (land-use, nitrogen addition, etc.)
- Detrimental impact on SDGs

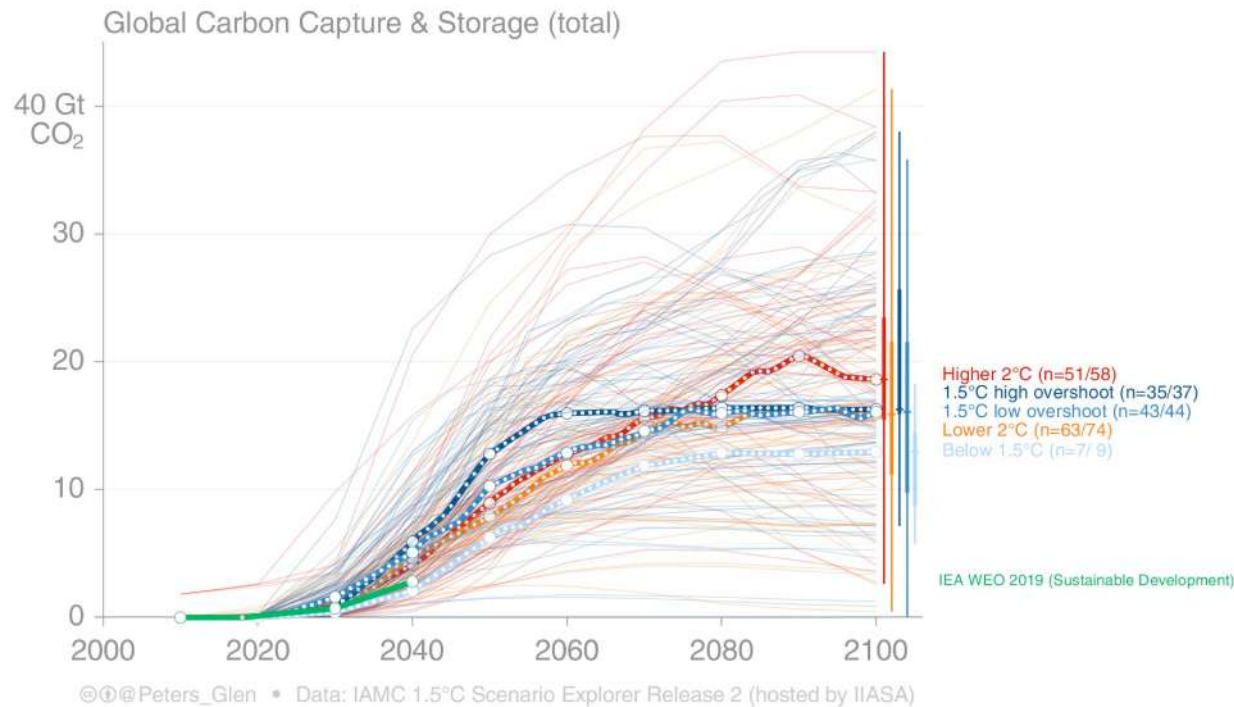
Impacts of large-scale BECCS deployment



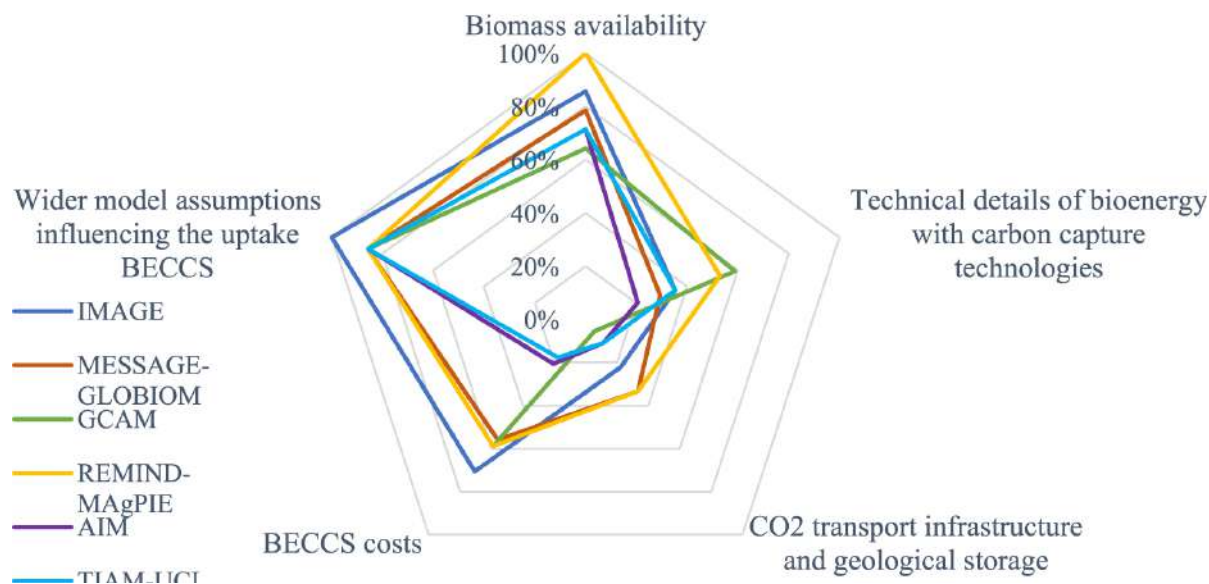
Large-scale BE/BECCS deployment might either:

- Help to achieve SDGs (green dots)
- Hamper the achievement of other SDGs (dark grey dots)
- Many are still uncertain

Impacts of large-scale BECCS deployment



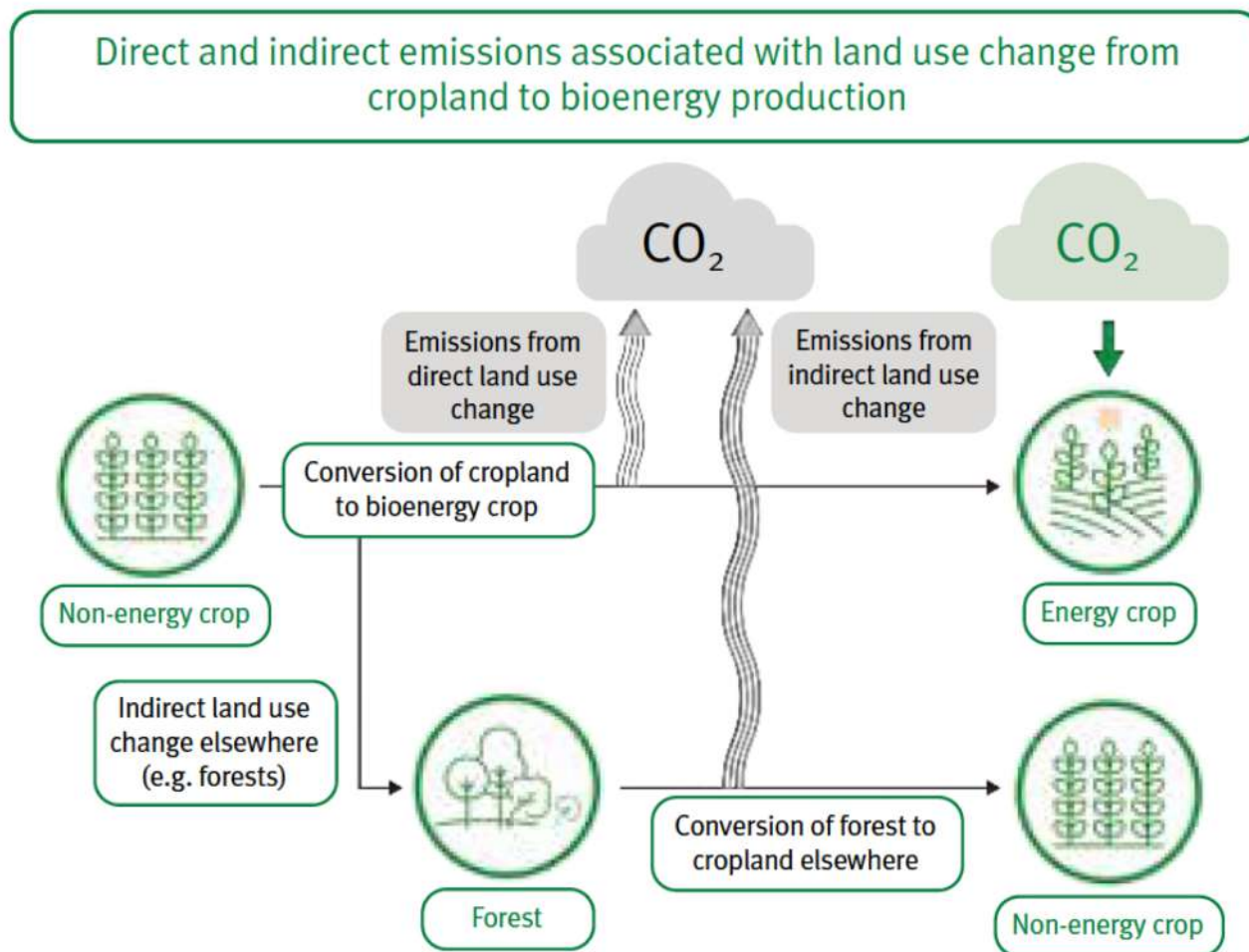
IAM transparency ranking on BECCS assumptions



Large-scale BE/BECCS deployment as modelled in IAMs:

- Is important (up to 40 GtCO₂ y⁻¹ removed by 2100)
- Same level between 1.5° C and 2° C scenarios
- Mostly driven by the cost-effective treatment of these mitigation options

Example of uncertainty: Direct and indirect effect of land conversion

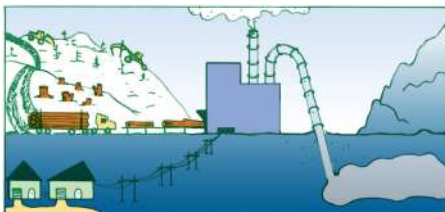


Large-scale BE/BECCS deployment as modelled in IAMs:

- There are many uncertainties (environmental) not well accounted
- Same goes for the land management of the large-scale BE crops (irrigation, fertilization, etc.)

Synergies and trade-off between mitigation options & behaviour

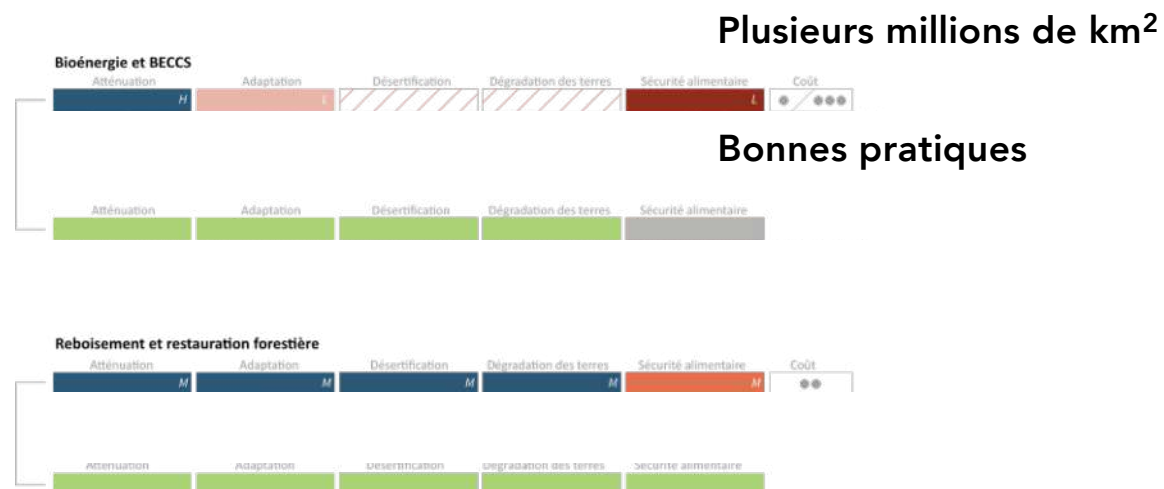
Trade-off for the land-based solutions



**Bioénergie
avec
capture et
stockage
géologique
du CO₂**



**Boisement ou
Reboisement**



IPCC SRLCC (2019)

Quatre options liées au secteur de l'énergie consomment des terres : leurs impacts dépendent de l'échelle de déploiement et des pratiques

Trade-off/synergies for the land-based solutions

Bioénergie et BECCS



Haut niveau: Les impacts sur l'adaptation, la désertification, la dégradation des terres et la sécurité alimentaire sont des impacts potentiels maximaux, en supposant que la BECCS élimine le dioxyde de carbone à une échelle de 11,3 GtCO₂ par an en 2050, et notant que la bioénergie sans CSC peut également permettre de réduire les émissions jusqu'à plusieurs GtCO₂ par an lorsqu'il s'agit d'une énergie à faible intensité carbone. Source (2.7.1.1.5 ; 6.4.1.1.1.5). Des études établissant un lien entre la bioénergie et la sécurité alimentaire estiment à 150 millions le nombre de personnes exposées au risque de famine à ce niveau de la population. (6.4.5.5.1.5). Les zones hachurées en rouge de la désertification et la dégradation des terres indiquent que, bien qu'il faille jusqu'à 15 millions de km de terres supplémentaires en 2100 dans les scénarios à 2°C qui augmenteront la pression pour la désertification et la dégradation des terres, la superficie réelle affectée par cette pression supplémentaire est difficile à quantifier (6.4.3.1.5 ; 6.4.4.1.5).



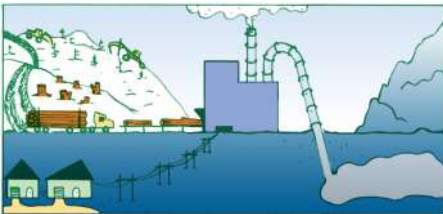
Bonnes pratiques: Le signe et la grandeur des effets de la bioénergie et des BECCS dépendent de l'échelle de déploiement, du type de matière première de bioénergie, quelles autres options sont incluses, et où la bioénergie est cultivée (y compris l'utilisation antérieure des terres et les émissions indirectes liées aux changements d'affectation des terres). Par exemple, limiter la bioénergie à des terres marginales ou à des terres cultivées abandonnées aurait des effets négligeables sur la biodiversité, la sécurité alimentaire et, éventuellement, des avantages connexes pour la dégradation des terres ; toutefois, les avantages pour l'atténuation pourraient également être moindres. (Tableau 6.58)

IPCC SRLCC (2019)

Plusieurs millions de km²

Bonnes pratiques

Other options



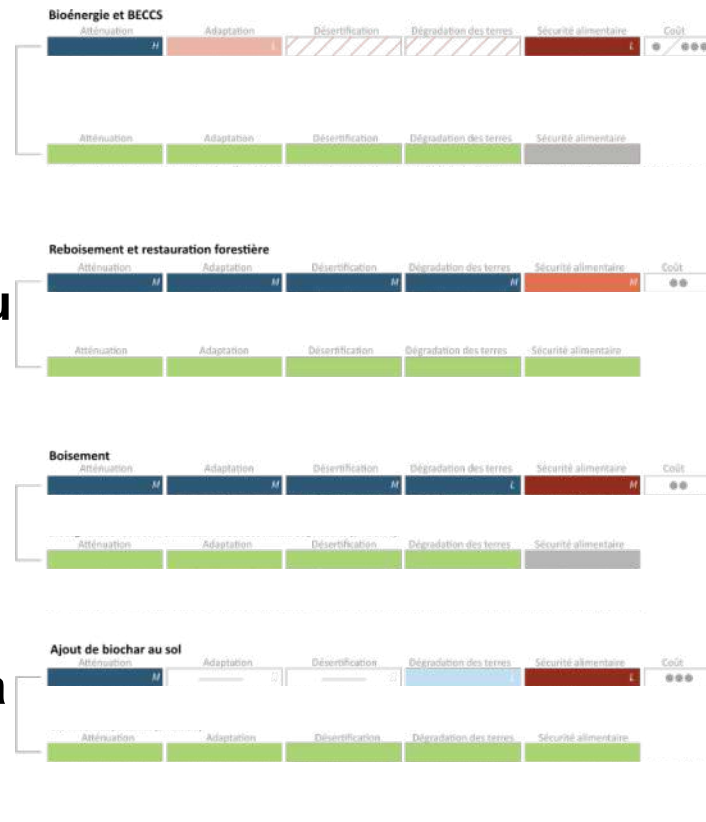
Bioénergie avec capture et stockage géologique du CO₂



Boisement ou Reboisement



Pyrolyse de la biomasse et biochar

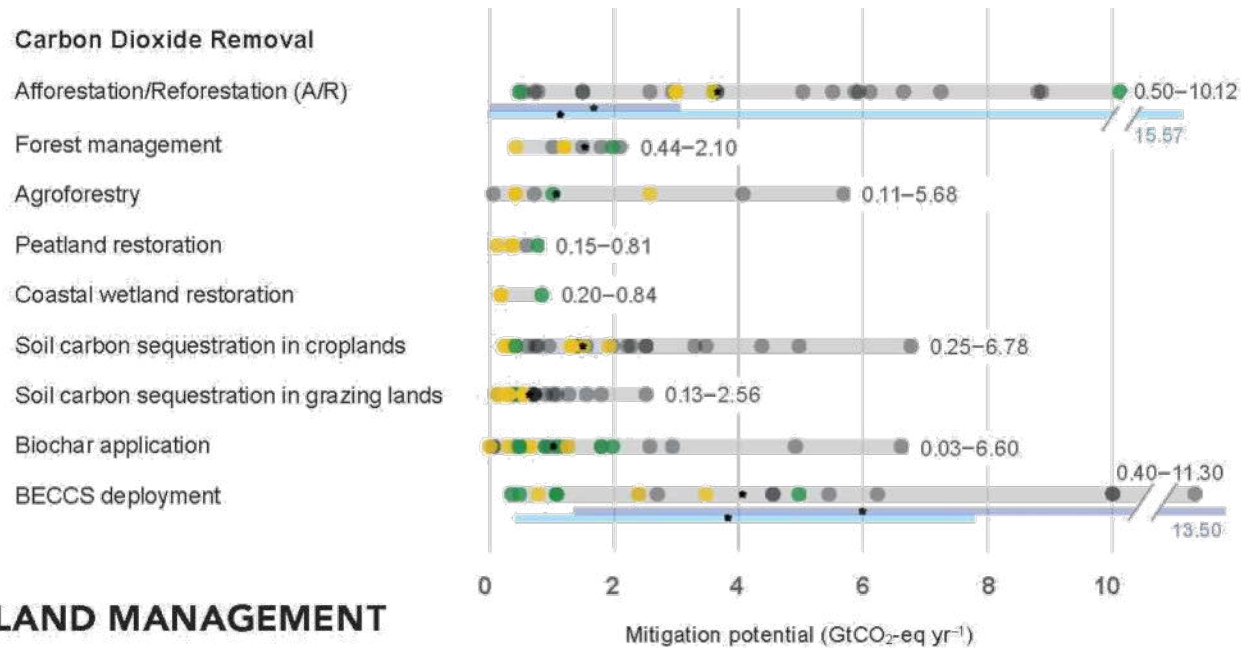


Plusieurs millions de km²

Bonnes pratiques

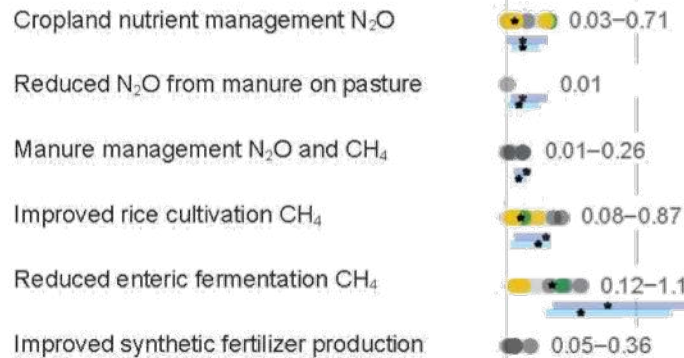
Role of land-management by 2050

Case of agriculture



LAND MANAGEMENT

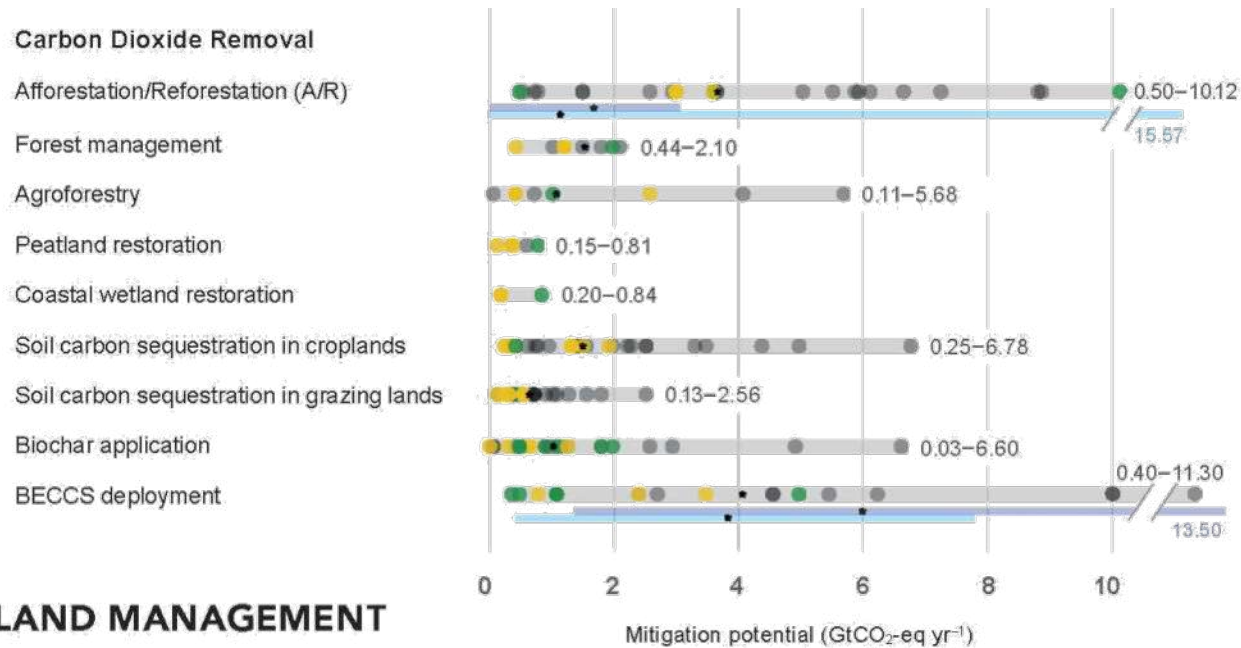
Reduce emissions from Agriculture



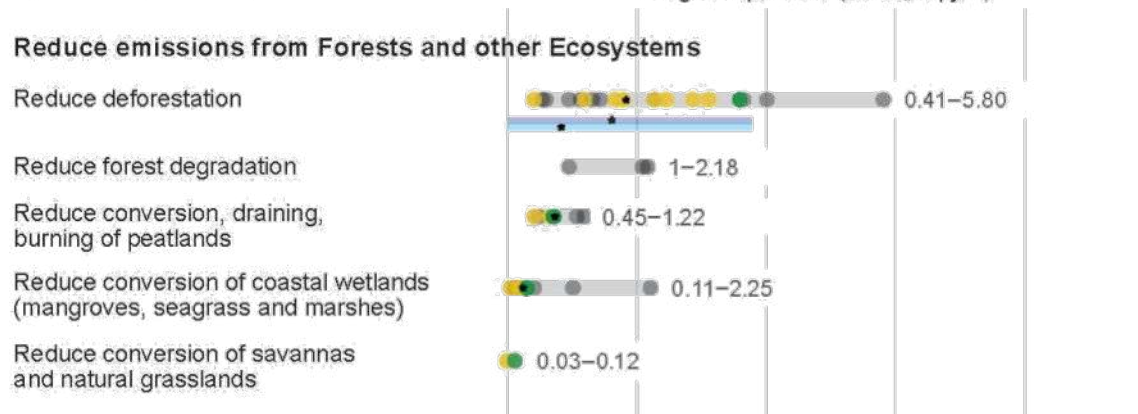
Major changes results from the emission of non-CO₂ greenhouses gases (CH₄, N₂O)

Role of land-management by 2050

Case of Forestry



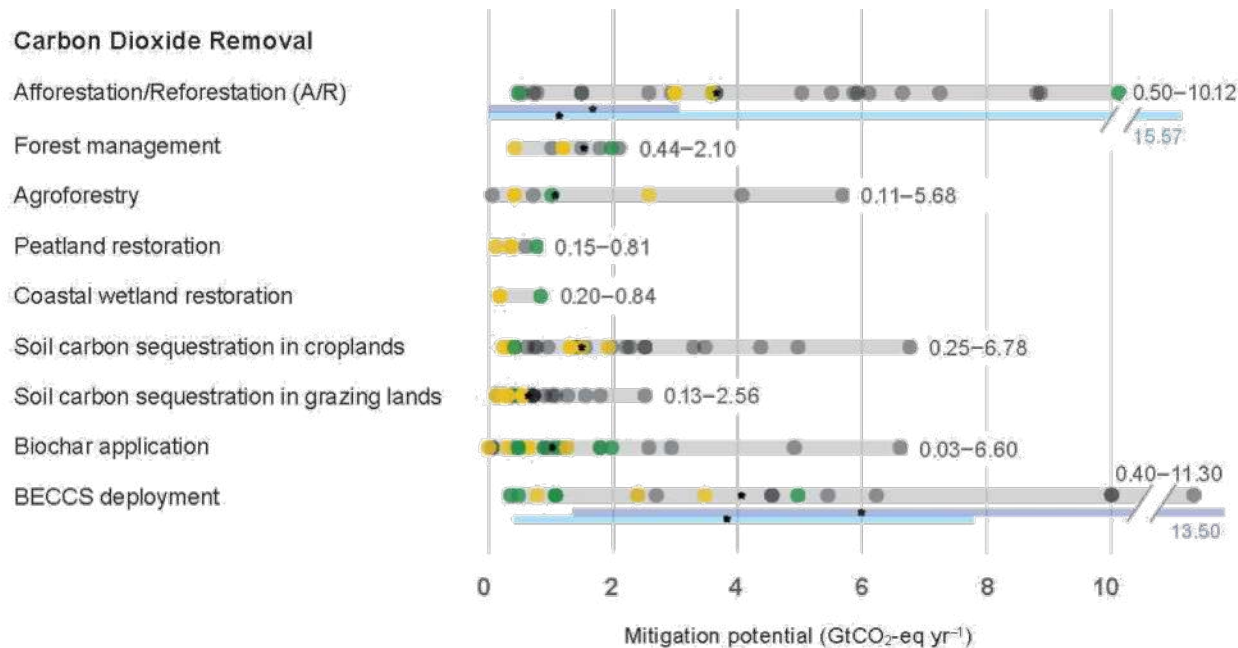
LAND MANAGEMENT



Major changes may result from reducing the deforestation. This action can compete with some CDR approaches

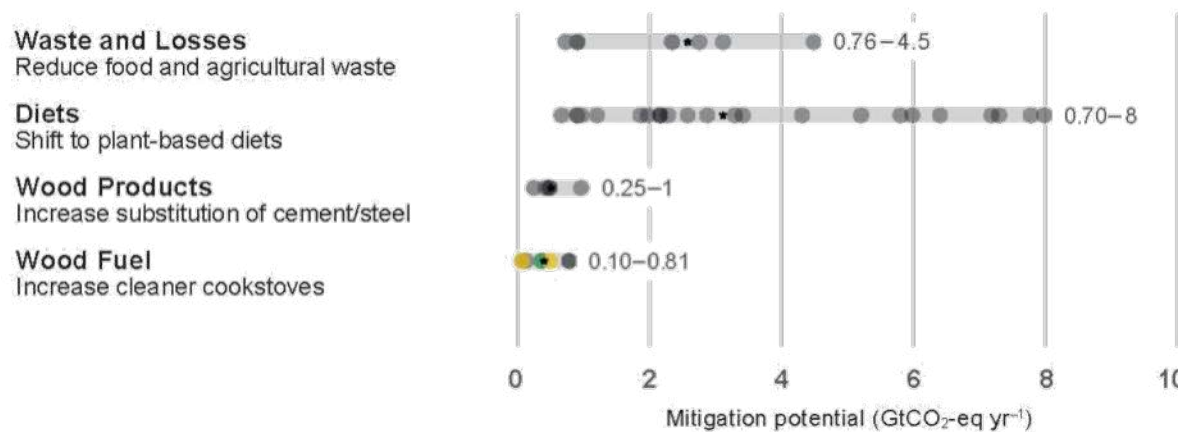
Comparison of mitigation potential by 2050

Case of the demand side



CO₂ removals

DEMAND MANAGEMENT

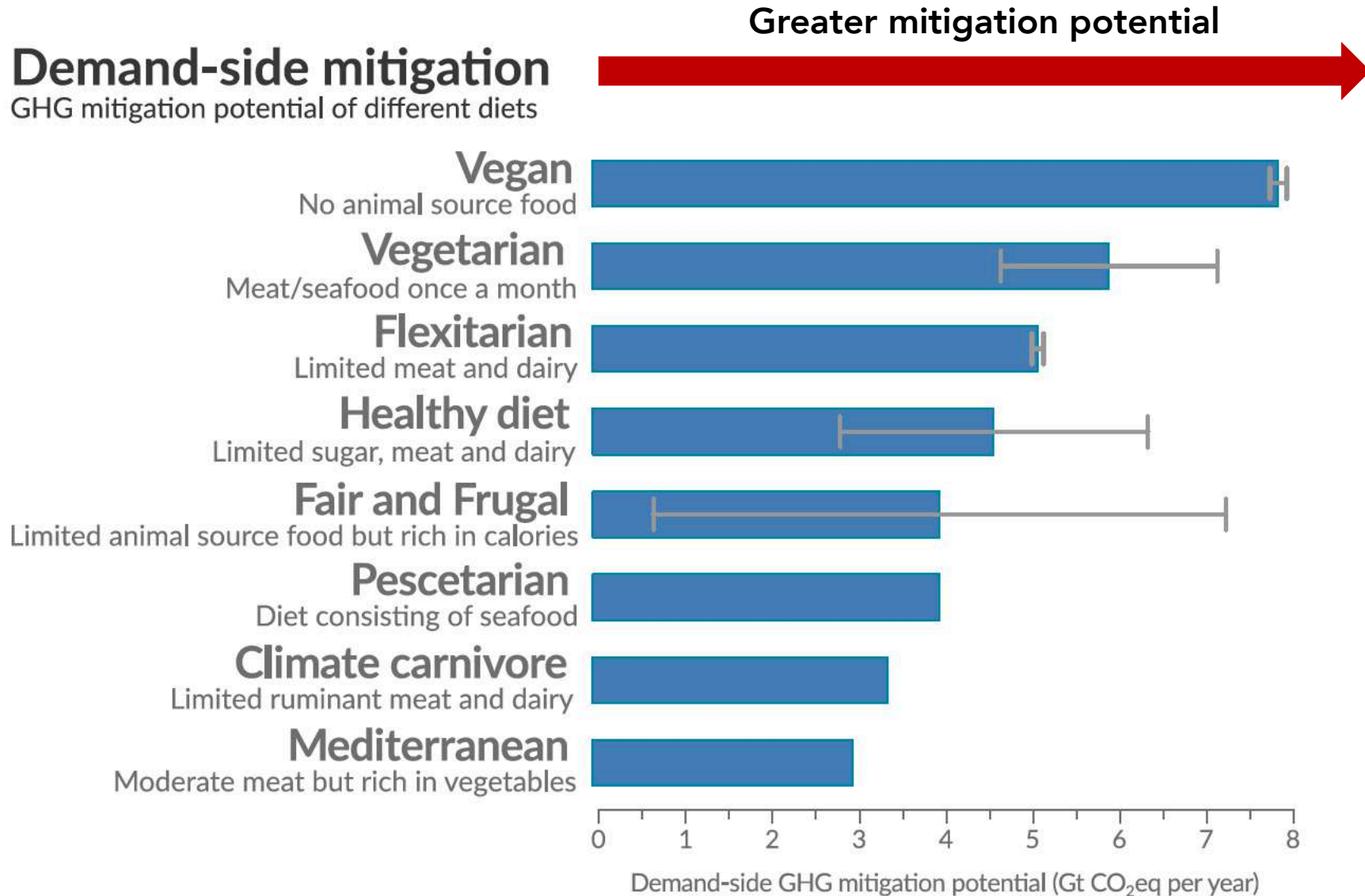


How land demand can impact land emission ?

⇒ Largest impact for the waste and diets change

Comparison of mitigation potential by 2050

Focus on the impact of changing diets (worldwide)



Comparison of mitigation potential by 2050

Focus on the impact of changing diets (worldwide)



- 25-30% of food production is lost or wasted (average confidence).
- ⇒ Food loss and waste contribute to **8-10% of anthropogenic GHG emissions**.
- ⇒ Reducing this loss and waste could free up **millions of km² of land by 2050**



- Changing diets:
- ⇒ By 2050, food transitions could free up millions of km² of land
- ⇒ With a mitigation potential of **0.7 and 8.0 Gt CO₂eq**
- ⇒ with environmental and health co-benefits (SDGs)



Land-use in mitigation pathways

A. Priorité à la durabilité (SSP1)

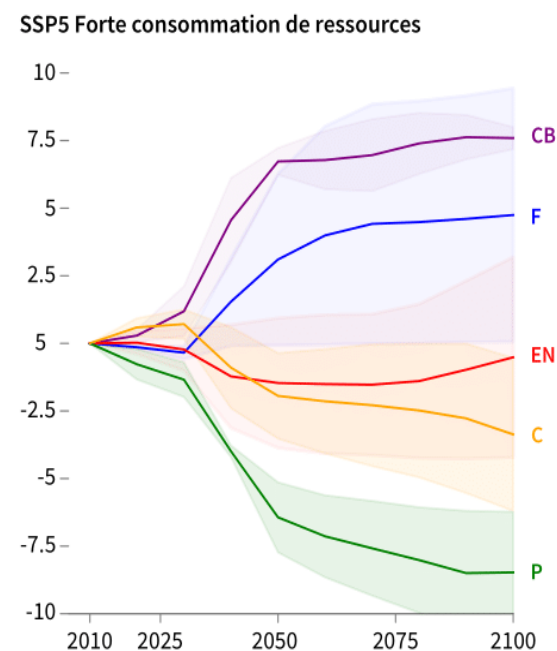
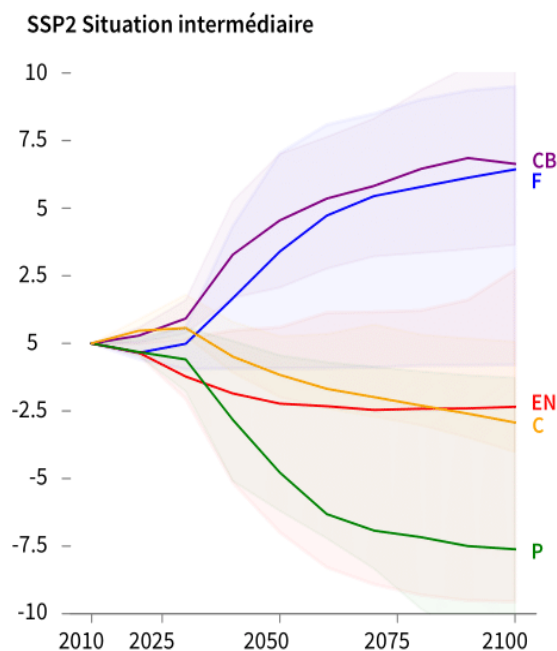
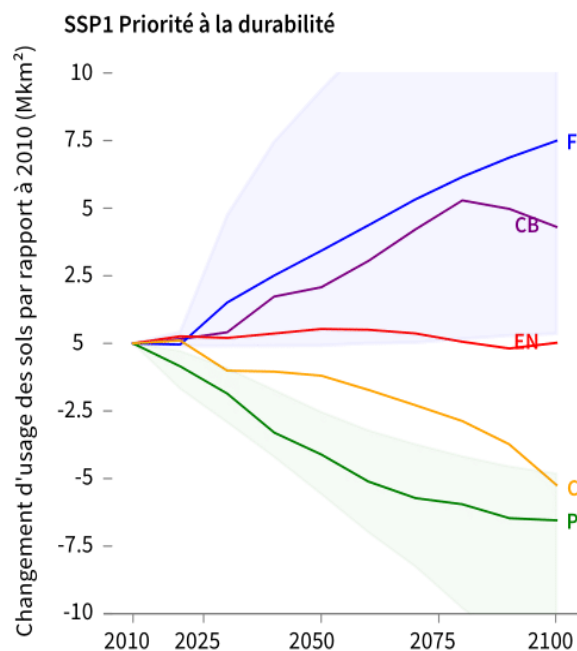
Durabilité dans la gestion des terres, intensification agricole, production et consommation induisant une réduction des besoins en terres agricoles, malgré l'augmentation de la quantité d'aliments par habitant. Cette terre peut être utilisée à la place pour le reboisement, le boisement et la bioénergie.

B. Situation intermédiaire (SSP2)

Le développement sociétal et technologique suit le rythme historique. La demande accrue de terres pour des mesures d'atténuation (bioénergie, boisement, réduction de la déforestation...) diminue la disponibilité des terres agricoles pour les cultures vivrières, fourragères et de fibres textiles.

C. Forte consommation de ressources (SSP5)

Productions et consommations exigent beaucoup de ressources, entraînant des émissions de référence élevées. L'atténuation se concentre sur les solutions technologiques, dont la bioénergie et les BECSC. L'intensification et l'utilisation concurrentielle des terres contribuent au déclin des terres agricoles.



■ CULTURES ■ PÂTURAGES ■ CULTURES BIOENERGETIQUES ■ FORÊTS ■ ESPACES NATURELS

**Now let's have a look at the real world
(focus on the USA)**

Glasgow Climate Pact

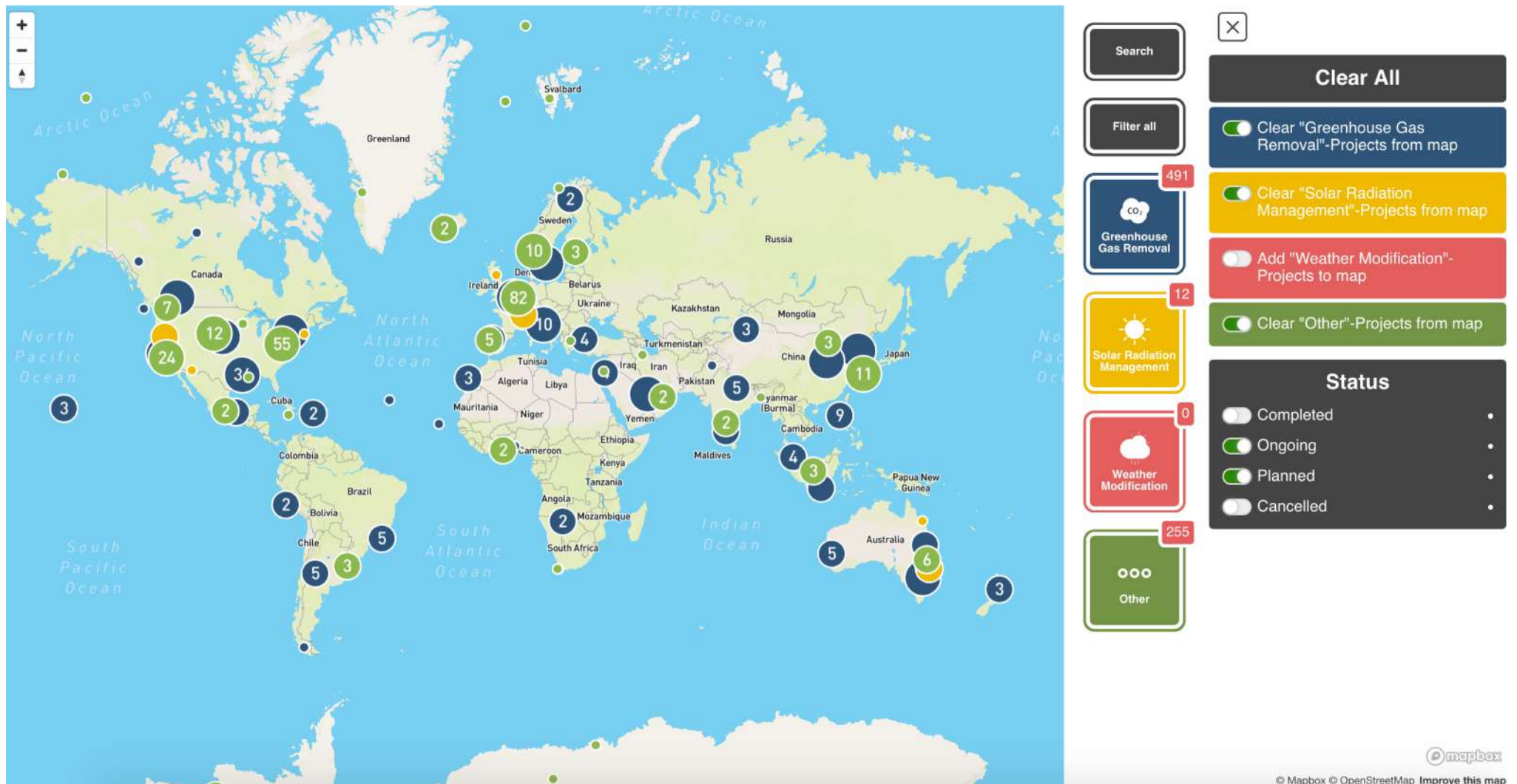


18. *Further recognizes* that this requires accelerated action in this critical decade, on the basis of the best available scientific knowledge and equity, reflecting common but differentiated responsibilities and respective capabilities and in the context of sustainable development and efforts to eradicate poverty;
19. *Invites* Parties to consider further actions to reduce by 2030 non-carbon dioxide greenhouse gas emissions, including methane;
20. *Calls upon* Parties to accelerate the development, deployment and dissemination of technologies, and the adoption of policies, to transition towards low-emission energy systems, including by rapidly scaling up the deployment of clean power generation and energy efficiency measures, including accelerating efforts towards the phasedown of unabated coal power and phase-out of inefficient fossil fuel subsidies, while providing targeted support to the poorest and most vulnerable in line with national circumstances and recognizing the need for support towards a just transition;
21. *Emphasizes* the importance of protecting, conserving and restoring nature and ecosystems, including forests and other terrestrial and marine ecosystems, to achieve the long-term global goal of the Convention by acting as sinks and reservoirs of greenhouse gases and protecting biodiversity, while ensuring social and environmental safeguards;

Have a look at the deal :

https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop26_auv_2f_cover_decision.pdf

State of play



State of play

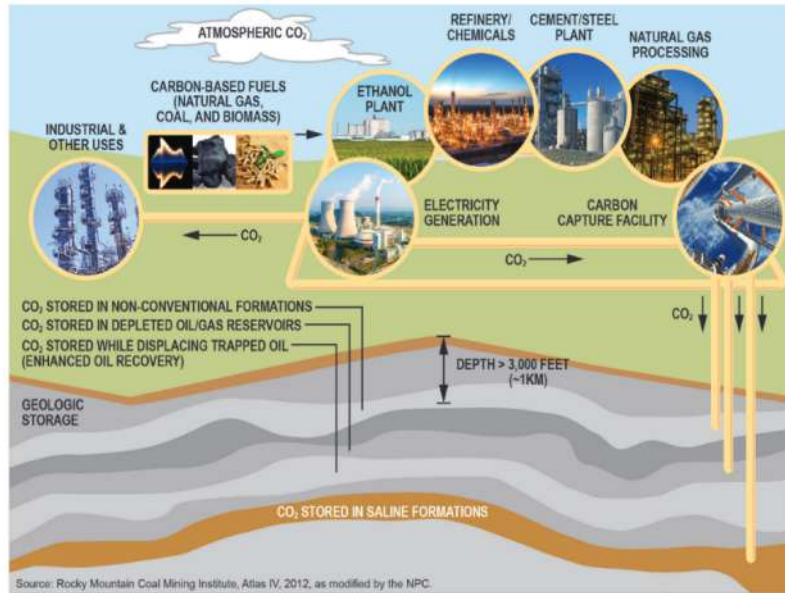


Contexte aux USA

- **Energy Act of 2020** (*loi de programmation déc 2020*)
 - Plus de 35 Mds\$ sur 5 ans : R&D, projets pilotes
 - Renouvelables, nucléaire, efficacité... et CCUS ; DAC
- **Climate intervention Act of 2020**
 - (*loi de programmation avril 2020*)
- **De nouveaux rapports de l'académie des sciences**
 - Négative emission & sequestration (2019)
 - "Reflecting Sunlight" (2021)
 - "A Research Strategy for Ocean CO₂ Removal and Sequestration" (déc 2021)
- **Un lobbying très dynamique**
 - Bi-partisan, pour les technologies de captage (CCSU)
 - Multiplication des annonces du secteur privé
 - (neutralité carbone; investissements)

Carbon Capture and Storage (CCS)

Schéma de principe



Chaîne de valeur du Captage et du Stockage du CO₂.

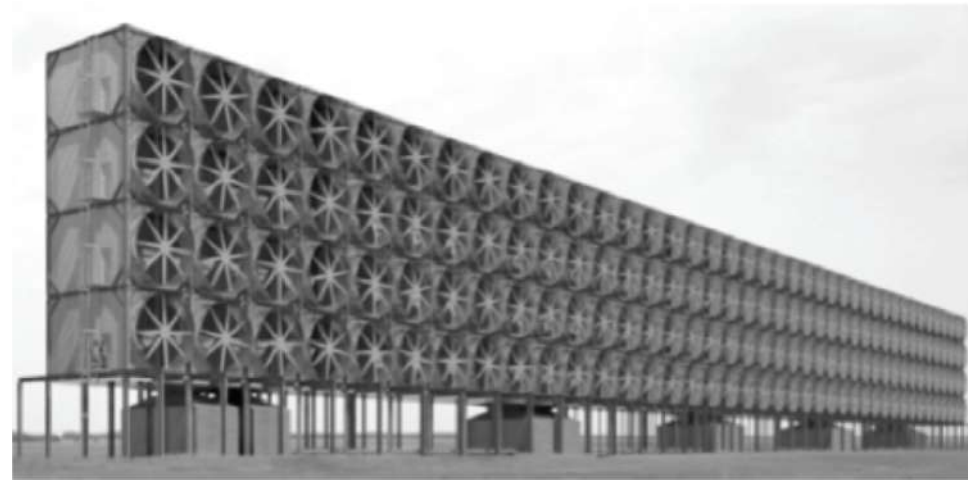


Schéma conceptuel d'un dispositif de captage direct de CO₂ dans l'air utilisant un solvant liquide (source Holmes et Keith, 2012)

Carbon Capture and Storage (CCS)

Dispositif DACCS Climeworks en Islande

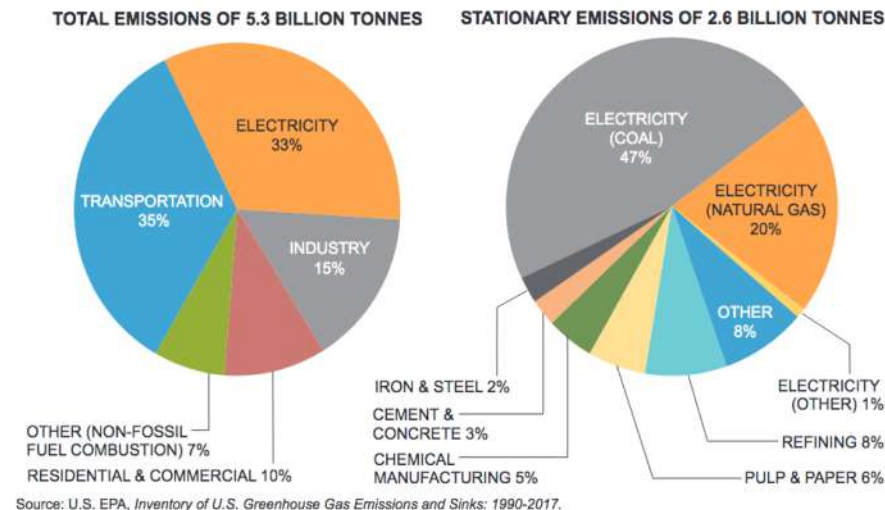


Climeworks' plant for direct air capture in Iceland removes carbon dioxide permanently from the atmosphere. Credit: Julia Dunlop/Climeworks

Carbon Capture and Storage (CCS)

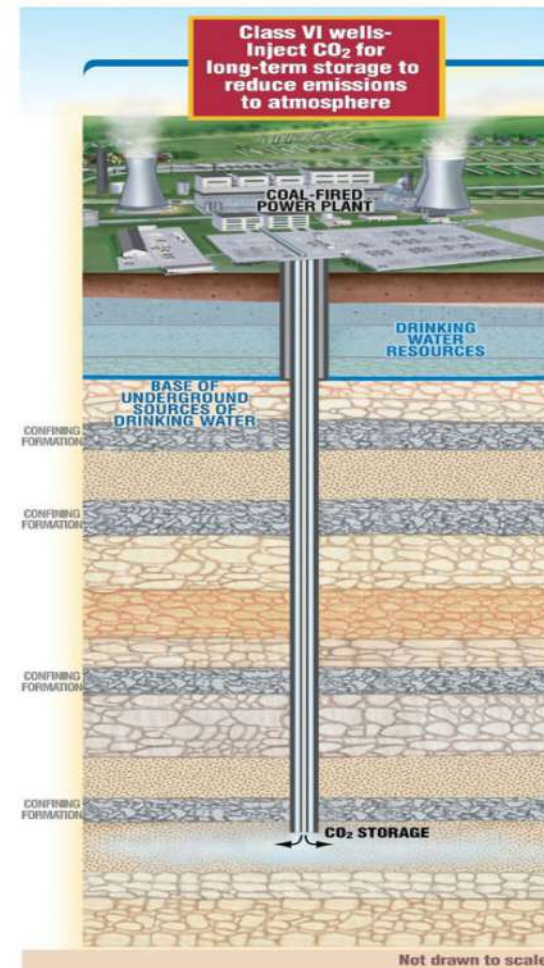
Etat des lieux aux Etats-Unis

- Emissions stationnaires
 - $\frac{2}{3}$ des émissions proviennent du secteur de l'énergie
- Rôle de l'industrie pétrolière
 - Nombreuses activités de R&D
 - Positionnement sur la chaîne de valeur
 - 9 projets de taille commerciale (sur 10) sont des projets d'EOR (enhanced oil recovery)
- Potentiel de stockage
 - 3,000 à 8,600 Gt CO₂ (capacité totale - USGS)



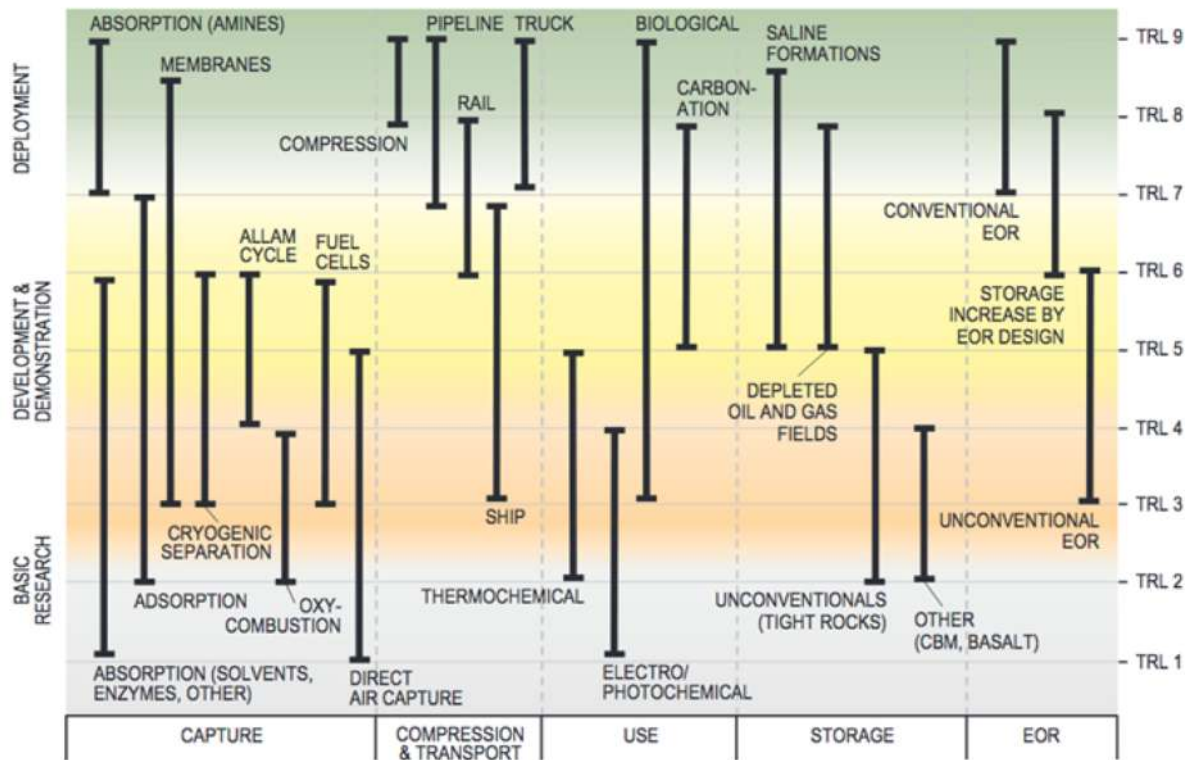
Carbon Capture and Storage (CCS)

- Cadre réglementaire
 - Réglementation technique
 - EOR (Safe Drinking Water Act - 1980)
 - Aquifère (Class VI wells - 2011)
 - Réglementation fiscale
 - Greenhouse Gas Reporting Program (Captage et fourniture / Injection pour l'EOR / stockage géologique)
- Cadre financier
 - Crédit d'impôt 45-Q (fédéral)
 - 35 \$/CO₂ (EOR) / 50\$/CO₂ (stockage) en 2026
 - California Low-Carbon Fuel Standard
 - ...



Carbon Capture and Storage (CCS)

Maturité des technologies et R&D



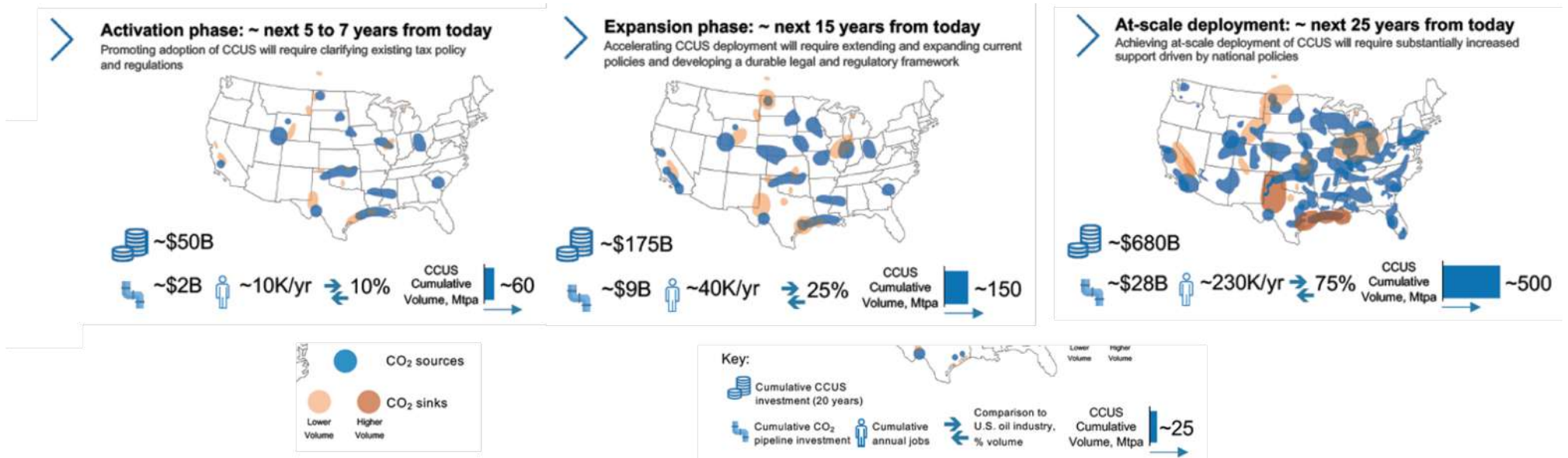
Budget alloué à la R&D



Carbon Capture and Storage (CCS)

Proposition de dynamique de déploiement (National Petroleum Council)

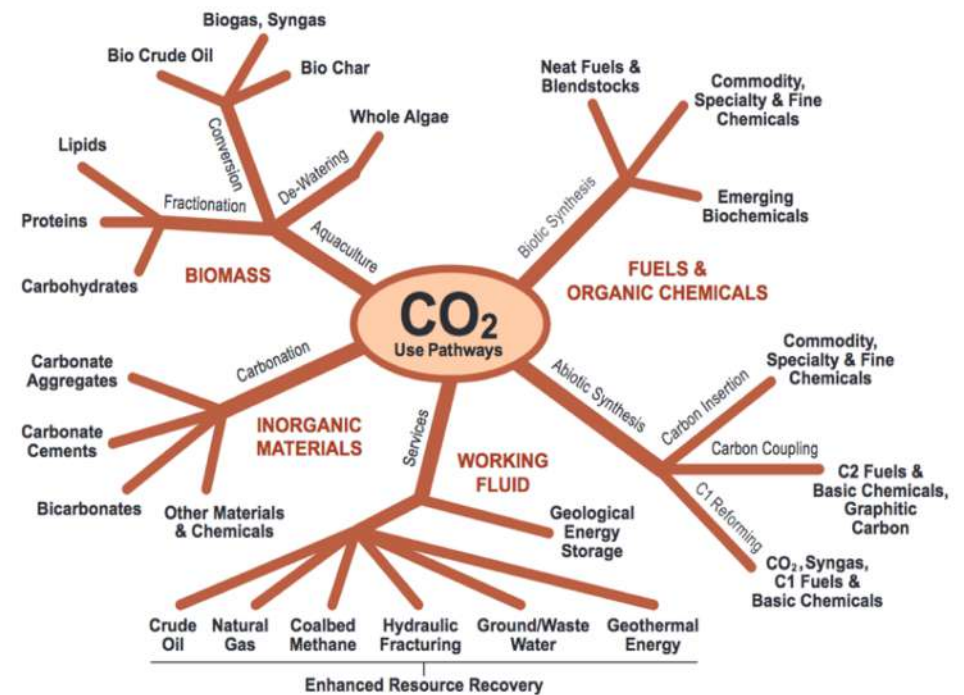
Actuellement : 10 projets commerciaux - 25 MtCO₂/an



Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS)

La valorisation du CO₂

- Produits à valeur ajoutée
 - Carburants synthétiques
 - Produits chimiques
 - Matériaux
- Enjeux
 - Consommation énergétique et coût de production
 - Analyse en cycle de vie
- Marché et acteurs
 - 70 Mds\$ (2030) - 550 Mds\$ (2040)*
 - Nombreuses startups - soutien des grands groupes et des investisseurs



Source: JM Energy Consulting, Inc, 2019.

Other approaches involving CCS

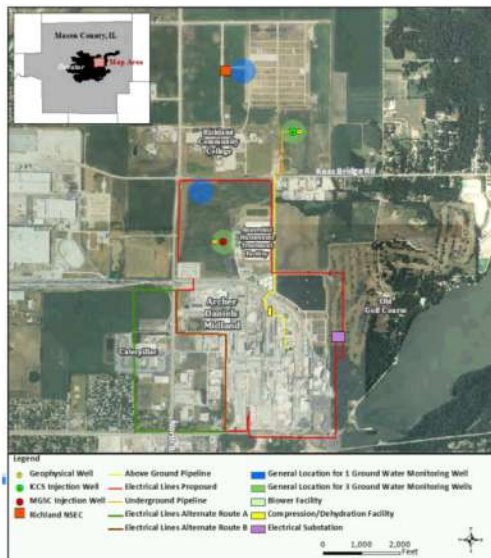
Un intérêt fort pour les émissions négatives

- BECCS

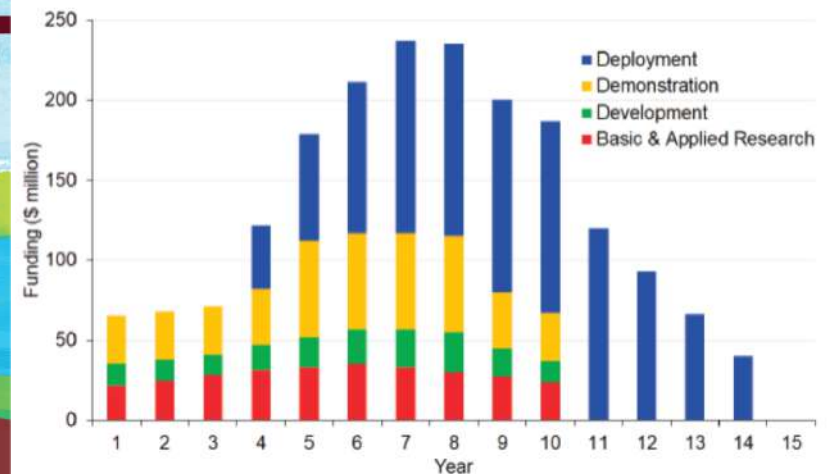
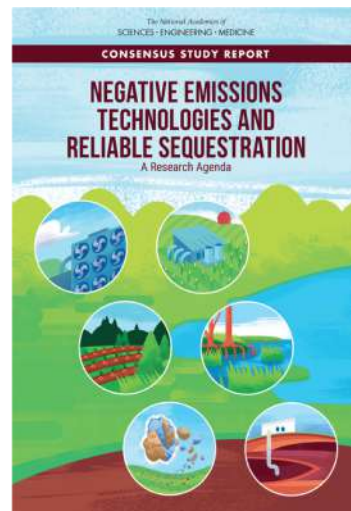
- Potentiel de 500 à 1,500 MtCO₂/an
- 1 projet commercial (ADM - éthanol)

- DACCS

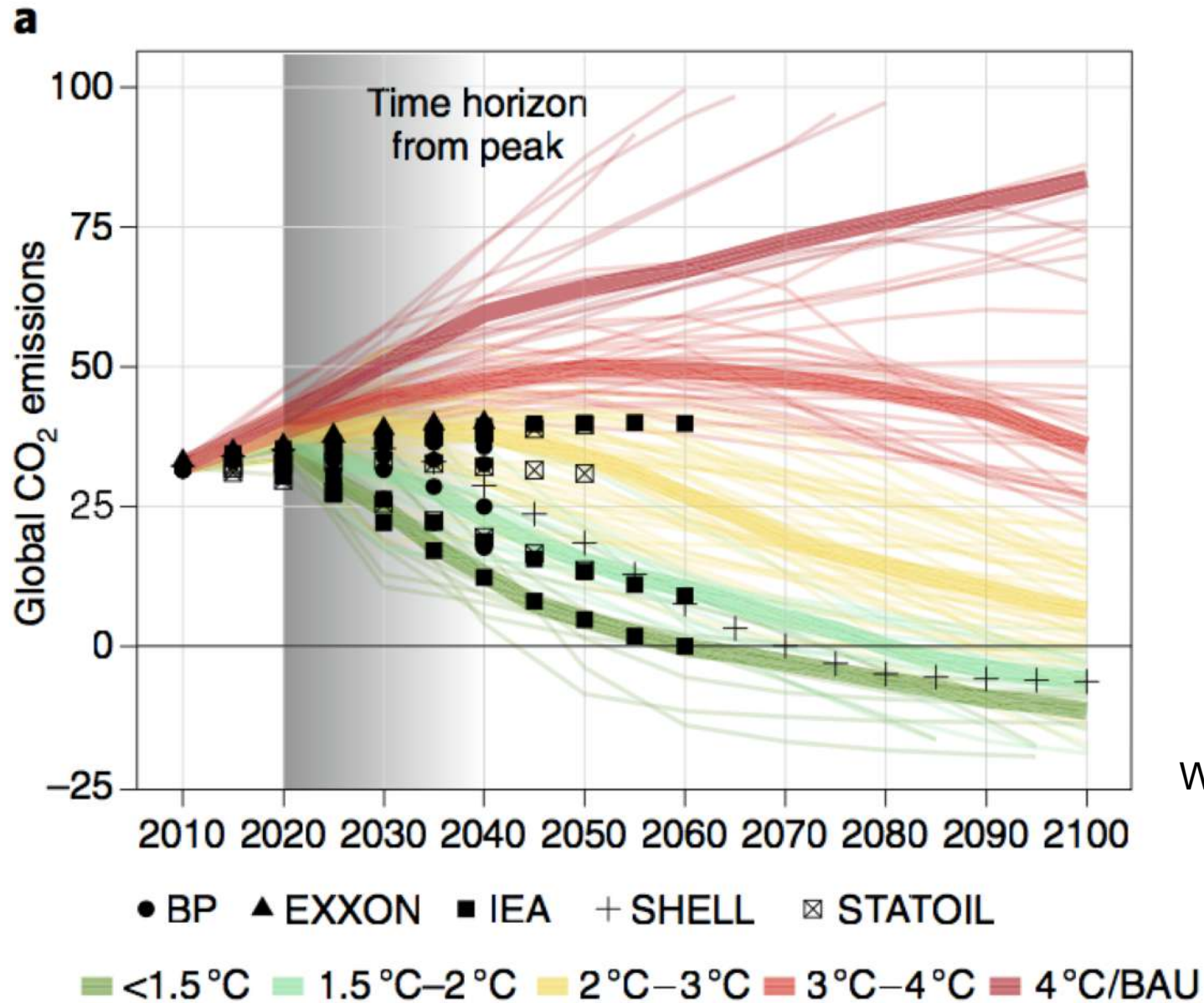
- Montée en échelle: pilotes et démonstrateurs
- Allocations recommandées par l'Académie des sciences:



2,1 MtCO₂
stockées



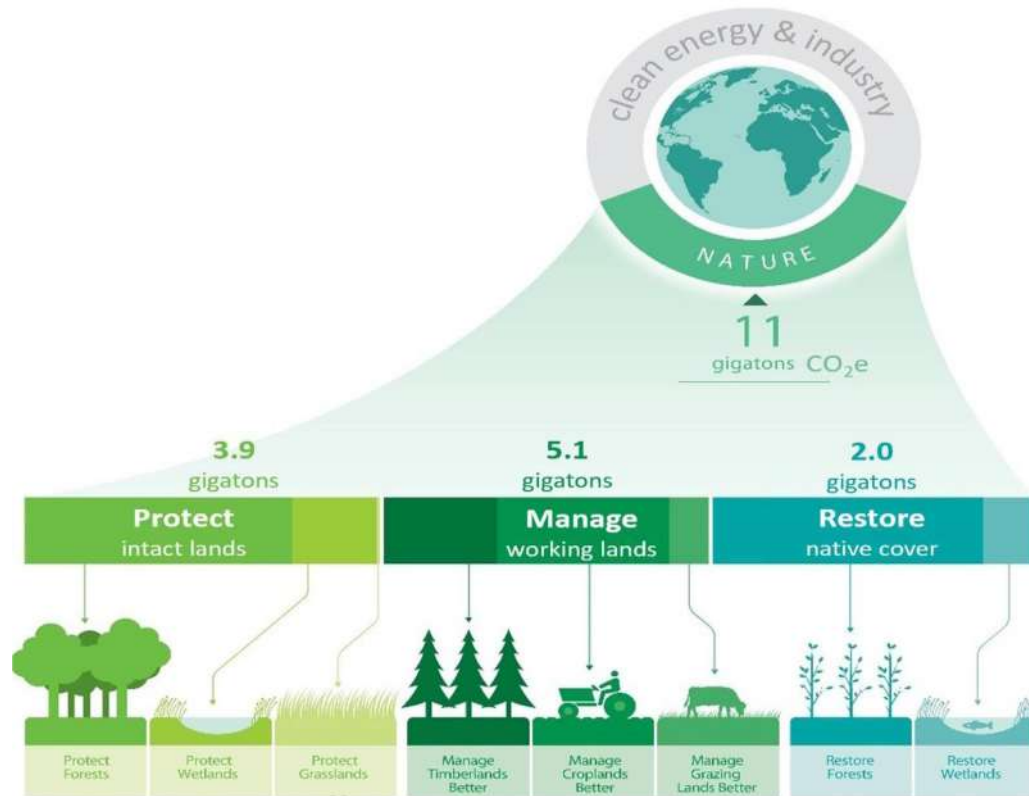
Role of Fossil fuel industry



Weber et al. (2018)

Nature (land) based solutions

Schéma de principe



Source: Griscom et al., PNAS (2017) and Griscom et al., 2020 Philosophical Transactions of the Royal Society B. Graphics from Nature Conservancy magazine and 5W Infographics

- Favoriser le stockage naturel du carbone par les écosystèmes
 - Protéger l'existant
 - Restaurer les écosystèmes dégradés
 - Modifier les pratiques culturales pour améliorer le stockage

Nature (land) based solutions

Etat des lieux aux Etats-Unis

1. Un faible soutien institutionnel en particulier en terme de recherche
2. Mais un écosystème de lobbies et d'ONG dynamique
3. Des grands groupes industriels et des fondations qui s'impliquent et investissent
4. Des startups qui commencent déjà à développer des projets opérationnels
5. Projets essentiellement basé sur l'agriculture et la foresterie

Nature (land) based solutions

Perspectives de développement

1. De nouvelles perspectives avec l'administration Biden
2. Des start-ups sont déjà en développement (marché carbone, certification/standardisation)
3. Les NBS se développent majoritairement par la finance du carbone forestier et les marchés de crédits carbone.



Nature (land) based solutions

Limites et différence de vision avec l'Europe

- La question fondamentale de la durée de stockage reste en suspens
- Une vision des NBS beaucoup moins restrictive qu'en Europe
 - Non systémique (peu de lien entre service de stockage et les autres services écosystémiques (e.g. biodiversité), faible considération de l'impact social et bien être humain)
 - Des solutions à l'interface avec la géo ingénierie (e.g. biochar, épandage minéral)

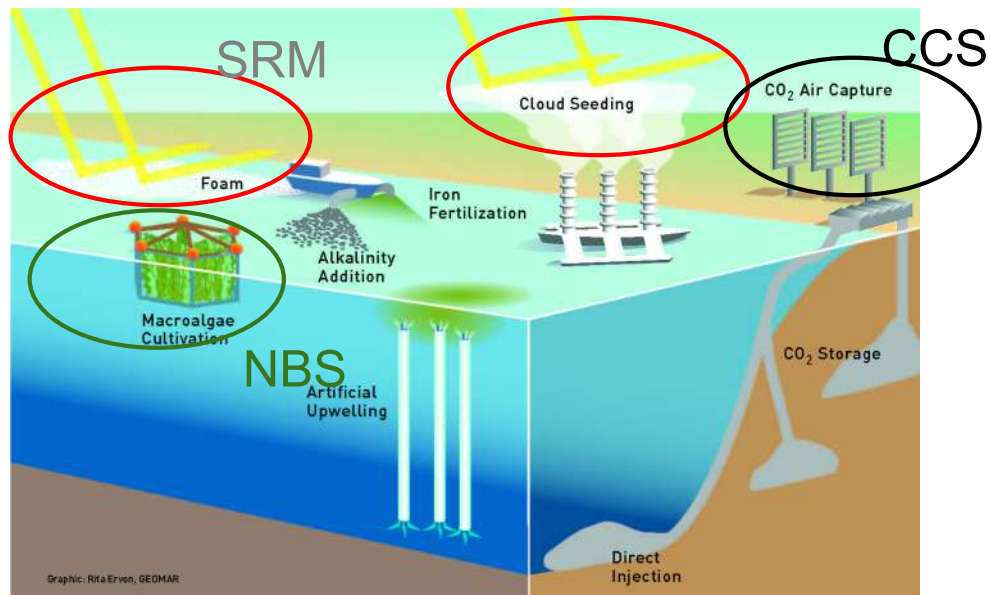
Nature (land) based solutions

Limites et différence de vision avec l'Europe

- 3. Le problème de l'interaction des solutions avec le changement climatique
Le risque d'échec des solutions face au changement climatique:
 - **sol:** risque de perte de carbone des sols par augmentation de la température
 - **Foresterie:** vulnérabilité des forêts: Risque de dépérissement des zones reboisée. Choix des essences peu abordé (risque de choix d'essences à croissance rapide mais peu résiliente).

Nature (ocean) based solutions

Schéma de principe



Source: GEOMAR

- Les solutions basées sur l'océan disposent de pendant au techniques de 'SRM', 'CDR' et CCS
- Mais elles disposent aussi d'approches géochimiques (alcalinisation, ajout de nutriments) qui ont un fort pouvoir d'élimination du CO₂ mais dont les risques sont inconnues
- Elles restent des solutions non conventionnelles, non prise en compte dans les trajectoires d'émissions compatibles avec l'Accord de Paris

Nature (ocean) based solutions



Source: OceanNETs, expérience l'alcalinisation en mésocosme à Gran Canaria

- En 2020-2021, il y avait seulement quelques actions en cours, notamment dans le contexte du Climate Intervention Research Act (NOAA).
- Depuis, le rapport de la NASEM “A Research Strategy for Ocean Carbon Dioxide Removal and Sequestration” (2021) a initié un mouvement. Notamment des collaborations avec l'Europe qui a financé (via H2020 et HEU) des programmes d'expérimentation d'alcanisation in situ (photo) afin de mieux comprendre les risques associés à ces solutions
- \$2,5 Mds dont \$1Mds sur des recherche prioritaire

Magnitude of the funding

(lastest update Feb 2022)

Administration Biden : une approche « whole-of-government »

Budget CCUS *disponible 2022*

- **Budget fédéral : \$368M**

Captage (\$150M), utilisation (\$38M), stockage (\$117M),
Captage direct dans l'air (\$63M)

- **Infrastructure Plan : plus de \$2Mds**
(*\$12,5 Mds sur 5 ans*)

Captage sur sites industriels charbon, gaz et autres ; R&D
et démonstrateurs (\$680M)

Captage direct dans l'atmosphère et stockage:
4 "hubs" pré-commerciaux, AAP projets (\$815M) ;
transports CO2 (\$600M, prêt)

- **Energy Act 2020: plus de \$1,3Md** (*estimé*)
(*\$6,65 Mds sur 5 ans*)
- **Build Back Better Act:** \$550 Mds climat et énergie

- **Budget NBS (USDA)**

*Conservation, suivi des services environnementaux
et du stockage du C (\$161M)*

*"Climate smart": agriculture intelligente; forêts
(volet R&D)*

Budget 2023

- Mémoire OSTP pour la R&D
- Adressé aux Ministères et agences
- Priorité climat : CCSU et NBS

Crédit Carbone 45Q:

- **The Catch act** (introduit au sénat juin 2021)
- Evolution du montant
- Evolution de l'assiette

62

Carbon Capture Improvement Act (voté 8/2021)

New players

(lastest update Feb 2022)

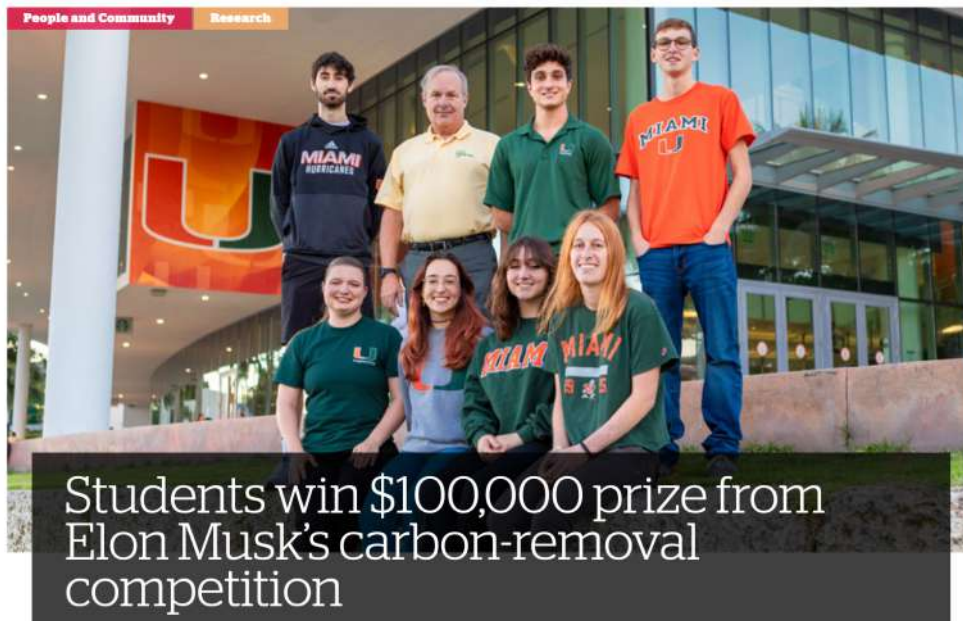
Le rôle des fondations

Le rôle des think tanks et autres lobbyistes

Carbon Utilization Research Council, Carbon Capture coalition, Global CCS Institute, Atlantic Council

Mobilisation des ONG

500 organisations demandent arrêt du soutien au CCSU (fin août 2021)



Nom du projet	Financeur	Technologie	Montant (USD)
<i>Carbon Engineering</i>	Fondation Gates	DAC	nc
<i>X Prize for Carbon Removal</i>	Musk Foundation	DAC et NBS	100 millions
<i>The Restore Fund</i>	Apple, Conservation International	NBS	200 millions
<i>Nature Conservancy</i>	Bezos Earth Fund	NBS	100 millions
<i>World Wildlife Fund</i>	Bezos Earth Fund	NBS	100 millions
<i>Environmental Defense Fund</i>	Bezos Earth Fund	NBS	100 millions

Outro

The use of Negative Emissions for Music Bands ?



 **climeworks**

supported by

COLDPLAY