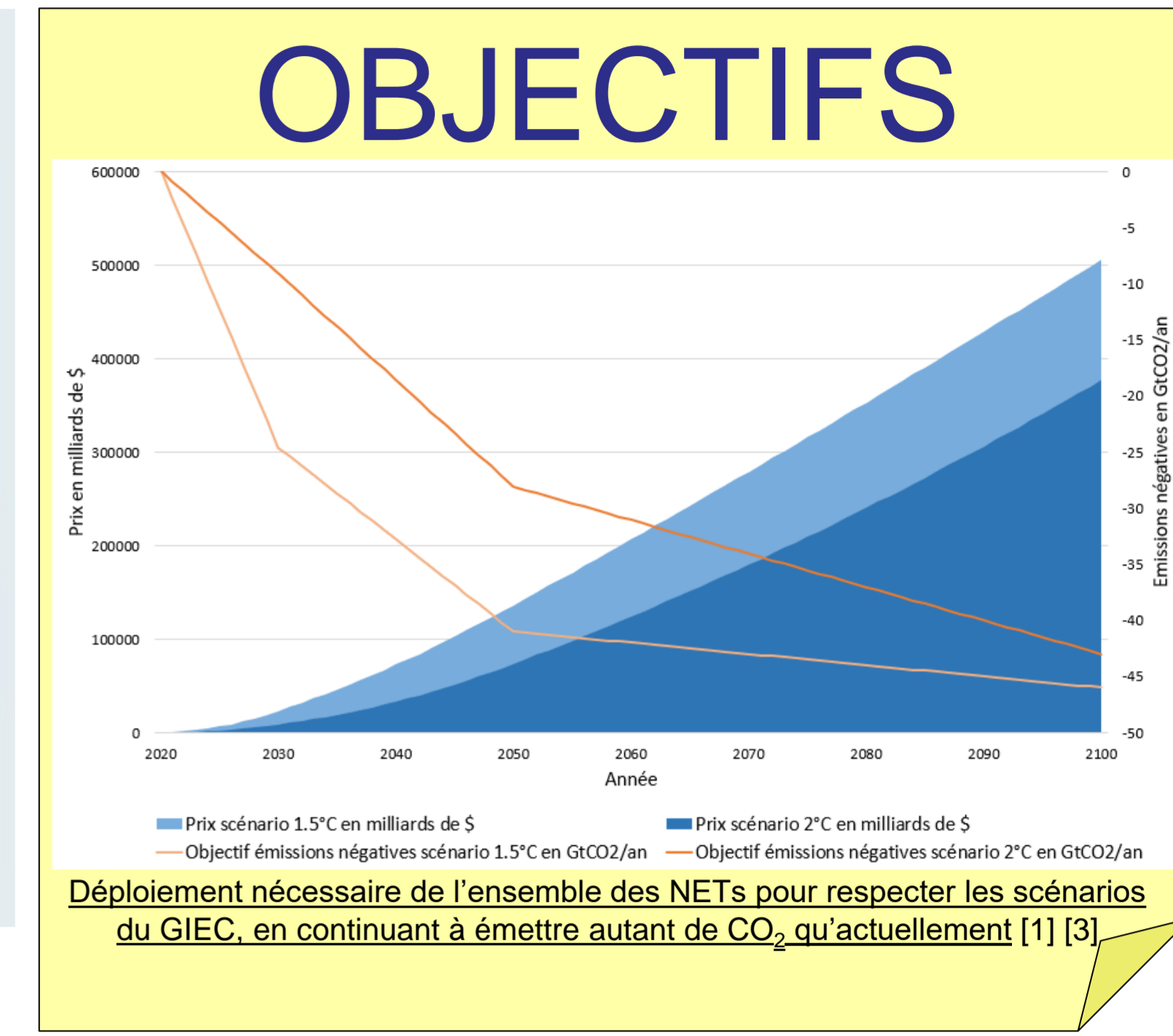
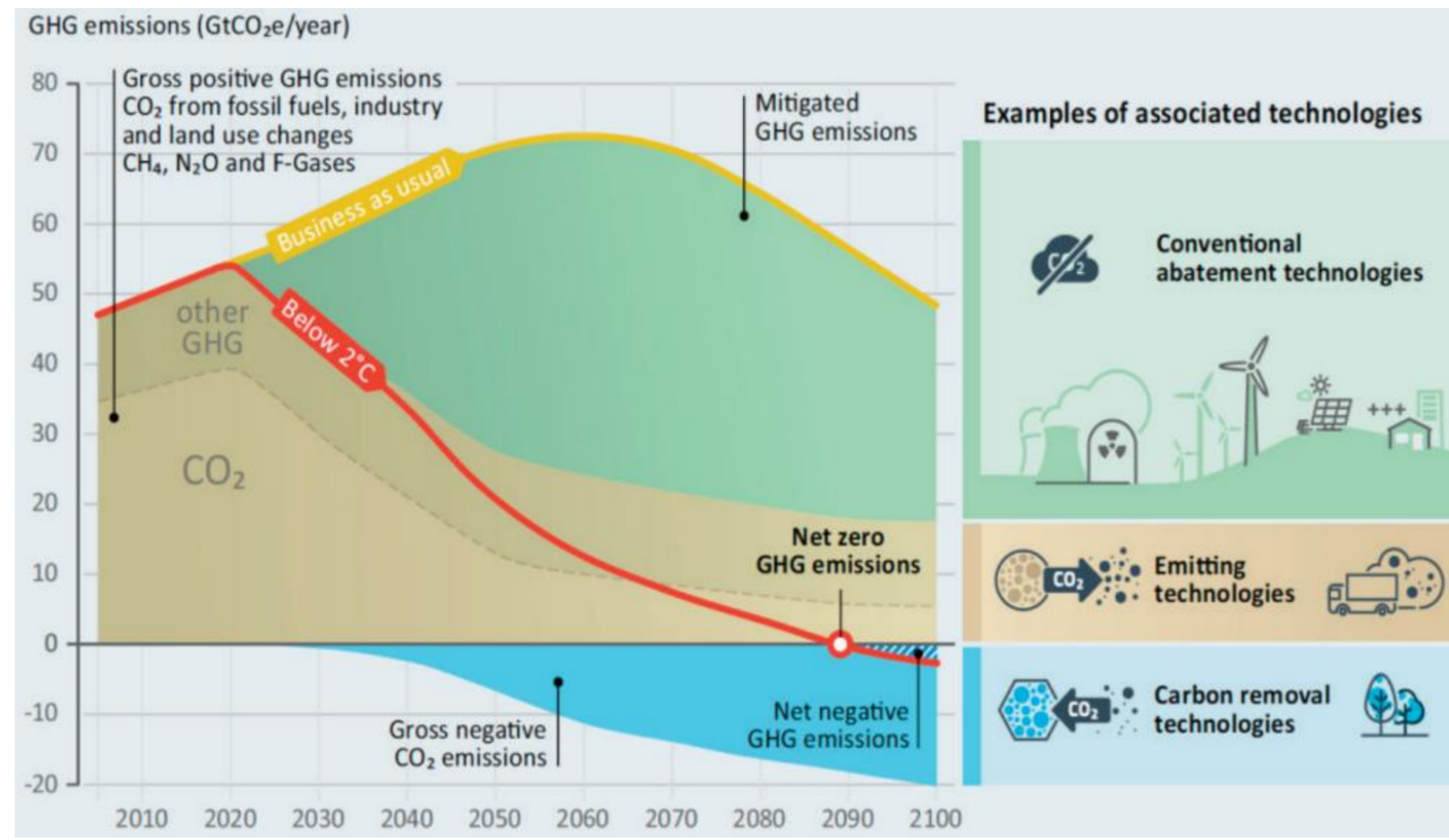


INTRODUCTION

Pour réduire l'impact du changement climatique sur la planète, nous savons qu'il faut limiter l'élévation de la température en-dessous de 1,5°C dans le meilleur des cas et 2°C dans le pire des cas. La plupart des différents scénarios établis par le GIEC [1], incluant un dépassement de ces objectifs ou non, font état de la nécessité d'utiliser des techniques de **captage de dioxyde de carbone** (CCS en anglais pour Carbon Capture and Storage) et des techniques d'**émissions négatives** (NET en anglais pour Negative Emission Technology).

Notre objectif : faire un état des lieux des technologies d'émissions négatives puis déterminer le déploiement « attendu » de ces technologies pour respecter les objectifs de 1,5°C ou 2°C



LES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES

<h3>DACCS (direct air carbon capture and storage)</h3> <p>Capter le CO₂ directement dans l'atmosphère dans un sorbant et stocker ce dernier, par exemple dans le sous-sol</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Marché de niche ✗ Gros coûts de mise en place, potentiels problèmes écologiques et géologiques, énergie pour régénérer les sorbants <p>100\$ à 300\$ par tonne de CO₂</p> <p>Potentiel max :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2050 : 5 GtCO₂/an • 2100 : 12 GtCO₂/an 	<h3>Biochar (bio-charbon)</h3> <p>Piégeage de carbone par combustion de biomasse en un biochar stable, évitant la décomposition de la biomasse en GES dans l'atmosphère</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Amélioration de la qualité du sol, production d'énergie, applicable maintenant ✗ Concurrence avec la production alimentaire, impact sur la biodiversité <p>135\$ à 300\$ par tonne de CO₂</p> <p>Potentiel max :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2050 : 4 GtCO₂/an • 2100 : 30 GtCO₂/an 	<h3>BECCS (bioénergie avec captage et stockage du carbone)</h3> <p>Extraire la bioénergie de la biomasse puis capturer et stocker le carbone (en sous-sol) pour le retirer de l'atmosphère</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Gros potentiel, coût faible ✗ Capacité limitée de stockage du sol, risque de perte de biodiversité, émissions dues au transport, concurrence avec la production alimentaire, faible rendement de conversion énergétique <p>60\$ à 250\$ par tonne de CO₂</p> <p>Potentiel max :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2050 : 10 GtCO₂/an • 2100 : 40 GtCO₂/an 	<h3>Fertilisation des océans</h3> <p>Encourager la captation naturelle du CO₂ par les océans par la pompe biologique</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Coût faible (probablement sous-estimé), fort développement du phytoplancton ✗ Seulement expérimental (interdit sinon), rendement très inférieur au processus naturel, risque pour la biodiversité <p>5\$ à 500\$ par tonne de CO₂</p> <p>Potentiel max :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2050 : 2 GtCO₂/an • 2100 : 4 GtCO₂/an 	<h3>Reforestation et afforestation (A/R)</h3> <p>Reboiser des terres abîmées, déforestées ou des terres inutilisées</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Déploiement possible à grande échelle, respect des écosystèmes ✗ Permanence faible du CO₂ due à la vulnérabilité des forêts (incendies, déforestation), temps de pousse de la forêt (20 à 60 ans), impact sur les populations locales <p>5\$ à 50\$ par tonne de CO₂</p> <p>Potentiel max :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2050 : 3 GtCO₂/an • 2100 : 10 GtCO₂/an
--	--	---	---	--

source [3]

A/R : ÉTUDE APPROFONDIE

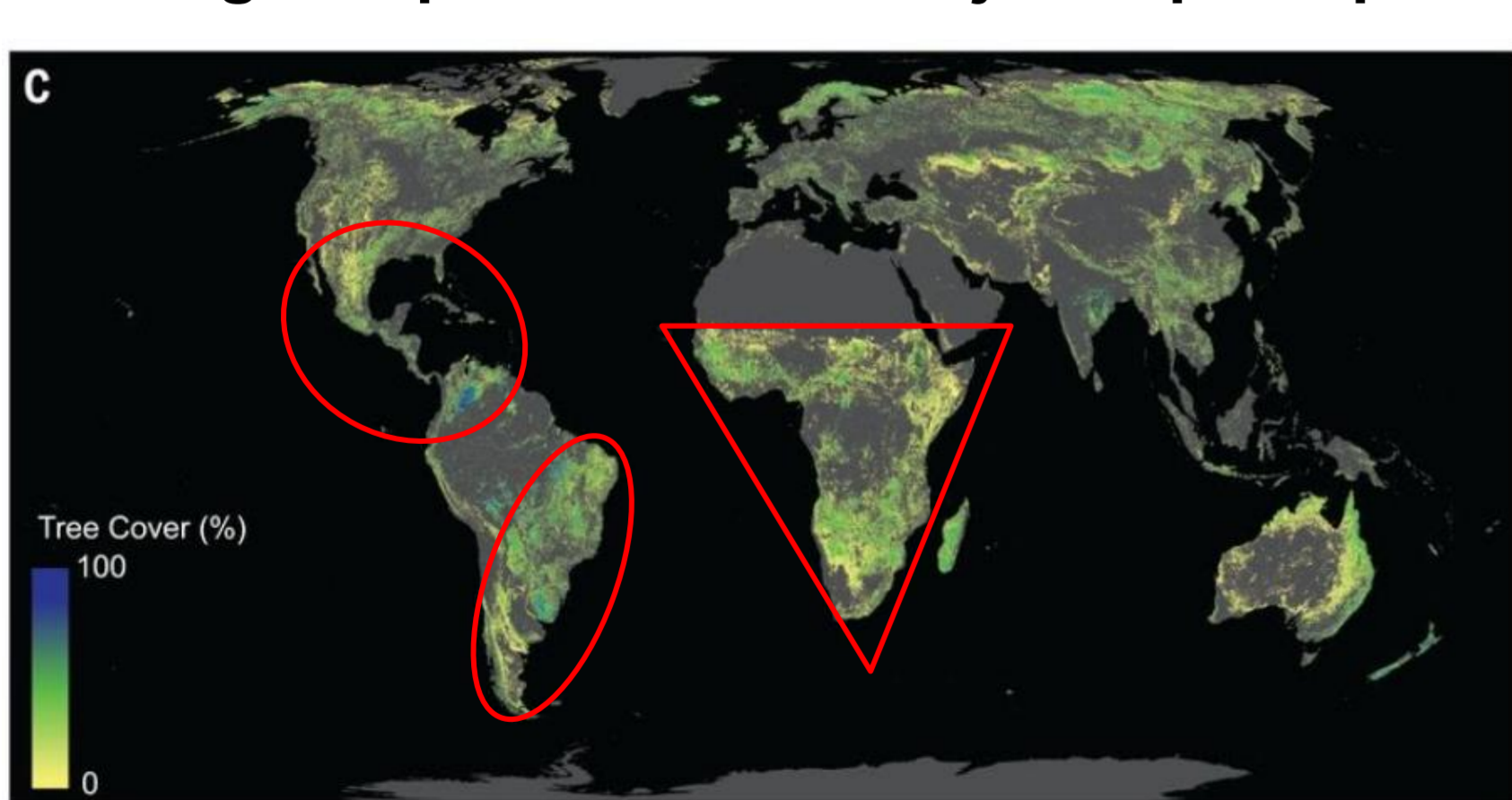
La reforestation et l'afforestation sont des technologies d'émissions négatives très prometteuses car elles sont déployables à grande échelle dès maintenant. Cependant, au vu de l'ampleur de la déforestation (~20% de nos émissions de GES selon WWF), l'A/R doit nécessairement s'accompagner d'une réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD).

Potentiel de l'afforestation et la reforestation

Stock et production des écosystèmes forestiers	Forêt boréale	Forêt tropicale	Forêt tempérée	Forêt mixte	Arbustes
Stock de CO ₂ dans les plantes (t/ha)	60	140	60	60	30
Stock de CO ₂ dans les sols (t/ha)	350	140	95	100	80
Production primaire (t/ha/an)	4	10	5,5	5	4

Les écosystèmes peuvent supporter 900 Mha de forêts additionnelles, qui pourraient stocker 205 GtCO₂. Mais si nous ne dévions pas de la trajectoire actuelle (déforestation, émissions), nous risquons de perdre 223 Mha de canopée forestière d'ici 2050, notamment dans les zones tropicales [4].

Régions pouvant faire l'objet de politiques actives de reforestation



Cette carte de la canopée forestière disponible pour la reforestation montre que les efforts principaux de reforestation et de conservation des forêts doivent porter sur l'Amérique latine et du Sud et l'Afrique, mais la mise en place est freinée car ces régions doivent déjà se battre contre la déforestation et l'exploitation de leurs terres est indispensable (alimentation, bois de feu...) [5].

BECCS : ÉTUDE APPROFONDIE

Pour atteindre l'objectif de 2°C, il faudrait éliminer 14 Gt cumulées de CO₂ grâce à la BECCS, à l'échelle mondiale d'ici 2050. Proportionnellement à leurs émissions, les Etats-Unis devraient alors supprimer 2,1 Gt de CO₂ d'ici 2050 [6]. À l'échelle mondiale, 14 Gt de résidus forestiers et 4,4 Gt de résidus de production agricole sont générés chaque année, ce qui représente 2,8 Gt d'émissions de CO₂ négatives via BECCS. En 2019, 5 installations dans le monde utilisent les technologies BECCS et capturent approximativement 1,5 Mt de CO₂ par an [8].

Etude approfondie aux Etats-Unis

Les Etats-Unis ont un potentiel en BECCS de 110 à 120 MtCO₂ par an en 2020 et 360 à 630 Mt de CO₂ d'ici 2040 [8].

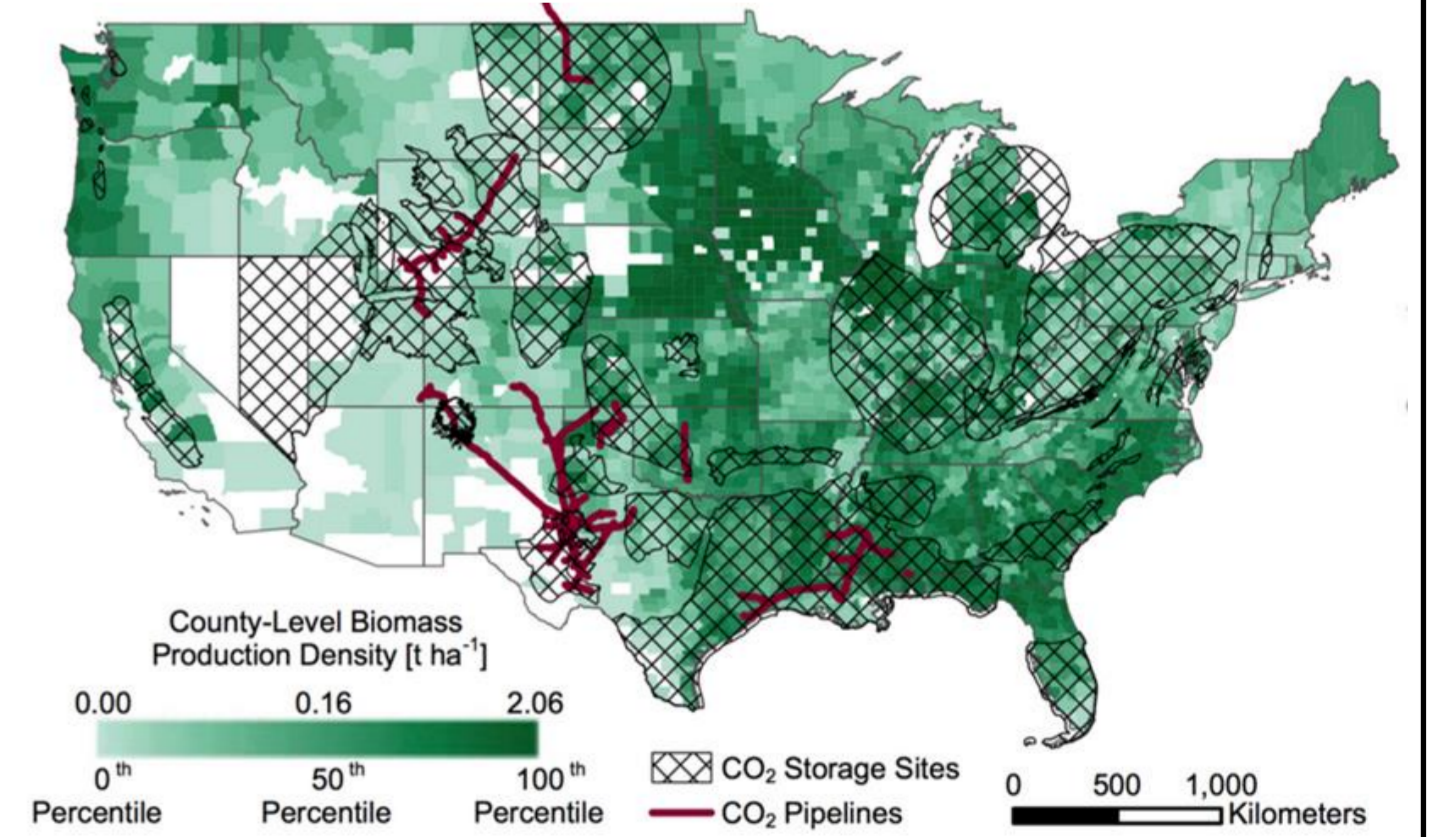
Zones intéressantes pour l'implantation des BECCS :

- infrastructures de pipelines existantes
- peu de transport entre la zone de production de la biomasse et la zone de combustion

Pour 100 km de distance :

- camion : 12 kg de CO₂ / kg de biomasse
- train : 3 kg de CO₂ / kg de biomasse
- barge : 0.75 kg de CO₂ / kg de biomasse

Carte : Projected 2020 biomass production (green) from the US DOE and potential CO₂ storage sites (black crosshatches) from the USGS. Existing CO₂ pipelines are included in red. Adapted from Figure 1 in [8].



Ainsi, en 2020, 1/3 de la biomasse potentielle totale est située suffisamment près du stockage géologique et la capacité de stockage des Etats-Unis est estimée à 3 000 000 Mt de CO₂ [7]. Mais ce potentiel énorme reste limité par la compétition avec la production alimentaire et le stockage du carbone en sous-sol risque de déstabiliser l'écosystème.

Bibliographie

[1] Valérie Masson-Delmotte, et al. *Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre dans le contexte de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté*. ISBN 978-92-9169-251-4, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 2019.

[2] National Academies of Sciences, Engineering. *Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda*. 2018. www.nap.edu, doi:10.17226/25259.

[3] Minx, Jan C., et al. « Negative emissions—Part 1: Research landscape and synthesis », *Environmental Research Letters*, vol. 13, no 6, juin 2018, p. 7-8. DOI.org (Crossref), doi:10.1088/1748-9326/aab9f6.

[4] Bastin, Jean-Francois, et al. « *The Global Tree Restoration Potential* ». *Science*, vol. 365, no 6448, juillet 2019, p. 76-79. doi:10.1126/science.aax0848.

[5] Boulier Joël, et Laurent Simon. « *Forests to the Rescue: What Is Their Potential for Carbon Storage?* » *L'Espace Géographique*, Vol. 39, no 4, p. 309-24

[6] IEA (2016), *World Energy Outlook 2016*, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2016

[7] « *Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda* » at NAP.Edu. www.nap.edu, doi:10.17226/25259. Consulté le 12 décembre 2020.

[8] Baik, E. et al. (2018) Geospatial analysis of near-term potential for carbon-negative bioenergy in the United States, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, doi:10.1073/pnas.1720338115

BILAN

On obtient donc une somme des potentiels maximaux de **24 GtCO₂/an en 2050 et 96 GtCO₂/an en 2100**. On peut considérer que c'est un potentiel maximal dans le cas où les différentes technologies présentées n'entrent pas en compétition et où les limitations présentées ne soient pas sous-estimées. Même sous ces hypothèses, **les NETs ne permettraient même pas de limiter le réchauffement climatique moyen à 2°C d'ici 2050** (28 GtCO₂/an de séquestration minimale). Il est donc nécessaire avant tout de baisser drastiquement nos émissions de CO₂ dès aujourd'hui.

