

BIOÉNERGIE, STOCKAGE GÉOLOGIQUE DU CARBONE ET RESSOURCES EN EAU

ENJEUX, IMPACTS ET BONNES PRATIQUES

EDF

french water partnership
fwp pfe
partenariat français pour l'eau

Édito

Pourquoi cette publication ?

La COP 21 a fixé un objectif de limitation de l'augmentation de la température à 2°C, voire 1.5°C, qui va s'avérer difficile à atteindre et implique une hausse de l'ambition des Etats dans leurs programmes de réduction des gaz à effet de serre (GES). Pour atteindre cet objectif, il est souvent évoqué de recourir, en complément des mesures d'atténuation, à ce que l'on appelle un renforcement des émissions négatives[1]. Celles-ci pourraient donc jouer un rôle important dans l'atteinte de l'objectif de neutralité carbone pour 2050, affiché par plusieurs Etats, dont ceux de l'UE.

Dans le rapport spécial 1,5°C du GIEC publié en octobre 2018, de nouvelles filières ont été identifiées en ce sens, telles que la BECCS (*Bioenergy with Carbon Capture and Storage*), largement présente dans les scénarios impliquant les émissions négatives. La BECCS combine l'intérêt de la production de biomasse, de la production de bioénergie et de la capture du CO_2 ainsi généré en grande profondeur géologique.

Il nous semble important de regarder, au-delà de l'impact carbone, les impacts potentiels sur les ressources en eau de cette filière, car cette dernière comporte de forts risques en termes de consommations d'eau et de contaminations superficielles ou souterraines. Au-delà même des problèmes de ressources en eau, un autre risque subsiste : la concurrence des usages avec d'autres secteurs majeurs, comme la production agricole à usage alimentaire, ou les potentiels impacts sur la biodiversité.

L'objectif de cette étude est de faire un point sur les conditions de viabilité technique, économique, sociétale et environnementale de la BECCS, et d'identifier les impacts potentiels sur les ressources en eau.

Quelques centrales BECCS sont en service aujourd'hui dans le monde et de nombreux acteurs français sont actifs sur les trois éléments de cette filière, dont certains sont présentés dans ce document.

Face aux retards accumulés et à l'urgence climatique, toutes les solutions doivent être envisagées. La filière BECCS n'est qu'une filière d'émissions négatives possible parmi d'autres qui pourrait concerner des quantités beaucoup plus importantes de captage de carbone. Encore faut-il en mesurer le potentiel et les impacts de ces filières, notamment sur la ressource en eau. Ils vont souvent bien au-delà du seul aspect carbone et nous ne savons pas toujours bien les mesurer.

Le Partenariat Français pour l'Eau (PFE) s'attache à ouvrir tous les champs d'actions qui permettront de limiter les effets du dérèglement climatique sur la ressource en eau, si on ne veut pas voir de nombreux désordres hydrologiques majeurs s'aggraver. Cependant, il attire l'attention sur la nécessité de donner la priorité aux mesures de réduction des émissions de GES ainsi qu'à l'adaptation des secteurs concernés. De nombreuses solutions peuvent être mises en œuvre en ce sens par les acteurs de l'eau. Elles font l'objet de plusieurs publications du PFE.

1.Les émissions négatives correspondent à un captage du CO_2 dans l'air dans le but de réduire sa concentration atmosphérique, via des méthodes d'élimination du dioxyde de carbone grâce à l'augmentation de la capacité des puits naturels de carbone, ou en faisant appel à des méthodes d'ingénierie.

Jean Launay
Président
Partenariat Français pour l'Eau

Jean-Luc Redaud
Président du groupe de travail
Eau, changements climatiques et globaux
Partenariat Français pour l'Eau

Sommaire

1 **En route vers la neutralité carbone** (avant-propos) **4**

2 **Bioénergie avec capture et stockage géologique du carbone** (BECCS) **6**

1. PRÉSENTATION 6
2. ENJEUX 9
3. AUTRES PROCÉDÉS 10

3 **Les limites et les risques de la BECCS** **12**

1. VIABILITÉ ÉCONOMIQUE 12
2. VIABILITÉ SOCIALE 12
3. VIABILITÉ ENVIRONNEMENTALE 13

BECCS & OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE (ODD) 15

4 **Les impacts sur la ressource en eau** **17**

1. PRODUCTION DE BIOMASSE 17
2. PRODUCTION DE BIOÉNERGIE 20
3. CAPTURE ET STOCKAGE GÉOLOGIQUE DU CO_2 (CCS) 21

5 **L'expertise française : exemples de solutions** **23**

RÉDACTION ET COORDINATION : Claire DESOUBRY (Stagiaire, Partenariat Français pour l'Eau et EDF), Alexandre ALIX (Partenariat Français pour l'Eau), Laurent BELLET (EDF)

COMITÉ DE PILOTAGE : Sébastien DUPRAZ (BRGM), Camille EVAIN (Action contre la Faim), Guillaume JUNQUA (IMT Mines Alès), Patrick LACHASSAGNE (HydroSciences Montpellier), Linda LUQUOT (CNRS), Marc-Antoine MARTIN (Académie de l'Eau), Jean-Luc REDAUD (Partenariat Français pour l'Eau), Catherine THOUIN (Comité Français d'Hydrogéologie)

CONCEPTION GRAPHIQUE : Anne-Charlotte de LAVERGNE (ancharlotte.fr)

NOUS REMERCIONS ÉGALEMENT LES PERSONNES SUIVANTES POUR LEURS CONTRIBUTIONS À CETTE PUBLICATION : Anthony BENOIST (CIRAD), Guillaume BENOIT (Partenariat Français pour l'Eau), Paul BONNETBLANC (Ministère de la Transition Ecologique), Adèle COLVEZ (Ministère de la Transition Ecologique), Alexandra DEPREZ (IDDRI), Antoine ESNOUF (INRAE), Philippe GUETTIER (Partenariat Français pour l'Eau), Camélia Moraru (PFE), Gwenaël PODESTA (Ministère de la Transition Ecologique), Guy REINAUD (Pro-Natura International), Pierre RENAULT (INRAE)

AOÛT 2021



En route vers la neutralité carbone

(Avant-propos)

Afin de respecter l'Accord de Paris (2016) visant à limiter le réchauffement climatique planétaire à 1.5°C, 195 pays ont souscrit à l'objectif de contenir l'élévation de la température de la planète « nettement en-dessous de 2°C » par rapport aux niveaux préindustriels, et de poursuivre les efforts pour limiter la hausse des températures à 1.5°C en réduisant de façon massive leurs émissions de CO_2 et autres gaz à effet de serre (GES). La France s'est fixée l'objectif d'atteindre la neutralité carbone pour 2050, en suivant la feuille de route définie par la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) pour conduire sa politique d'atténuation du dérèglement climatique. Cet objectif s'aligne avec les objectifs européens de réduction des émissions nettes de gaz à effet de serre « d'au moins 55% » d'ici à 2030, par rapport aux niveaux de 1990, fixés par le Pacte vert européen (Green Deal).

L'objectif des technologies à émissions négatives est de permettre le **retrait sur le long terme d'une partie du CO_2 de l'atmosphère.**

Pour atteindre la neutralité carbone, le recours aux technologies à émissions négatives fait consensus, la seule réduction massive des émissions de CO_2 n'étant plus suffisante. L'objectif des technologies à émissions négatives est de permettre le retrait sur le long terme d'une partie du CO_2 de l'atmosphère. Parmi les technologies disponibles évoquées par le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC SR1.5), on retrouve le boisement et le reboisement, la remise en état des sols, la bioénergie avec captage et stockage du CO_2 (BECCS), le captage direct dans l'air et le stockage du CO_2 (DACCS), l'altération accélérée des roches calcaires et l'alcalinisation des océans. Ces technologies sont toutes à des niveaux de développement différents et peuvent engendrer des coûts importants. Leur utilisation à grande échelle est cependant encore très controversée. Actuellement, aucune n'est prête à être déployée à l'échelle et à la vitesse nécessaires pour maintenir l'objectif de température de 1.5°C à 2°C, à l'exception de certaines Solutions fondées sur la Nature (SfN).

Bien que les mesures relatives à la neutralité carbone se concentrent sur la réduction et la séquestration des émissions de CO_2, **il est nécessaire que la démarche globale prenne en compte les autres impacts et enjeux environnementaux, tels que la biodiversité, la qualité des sols, l'épuisement des ressources, etc.**

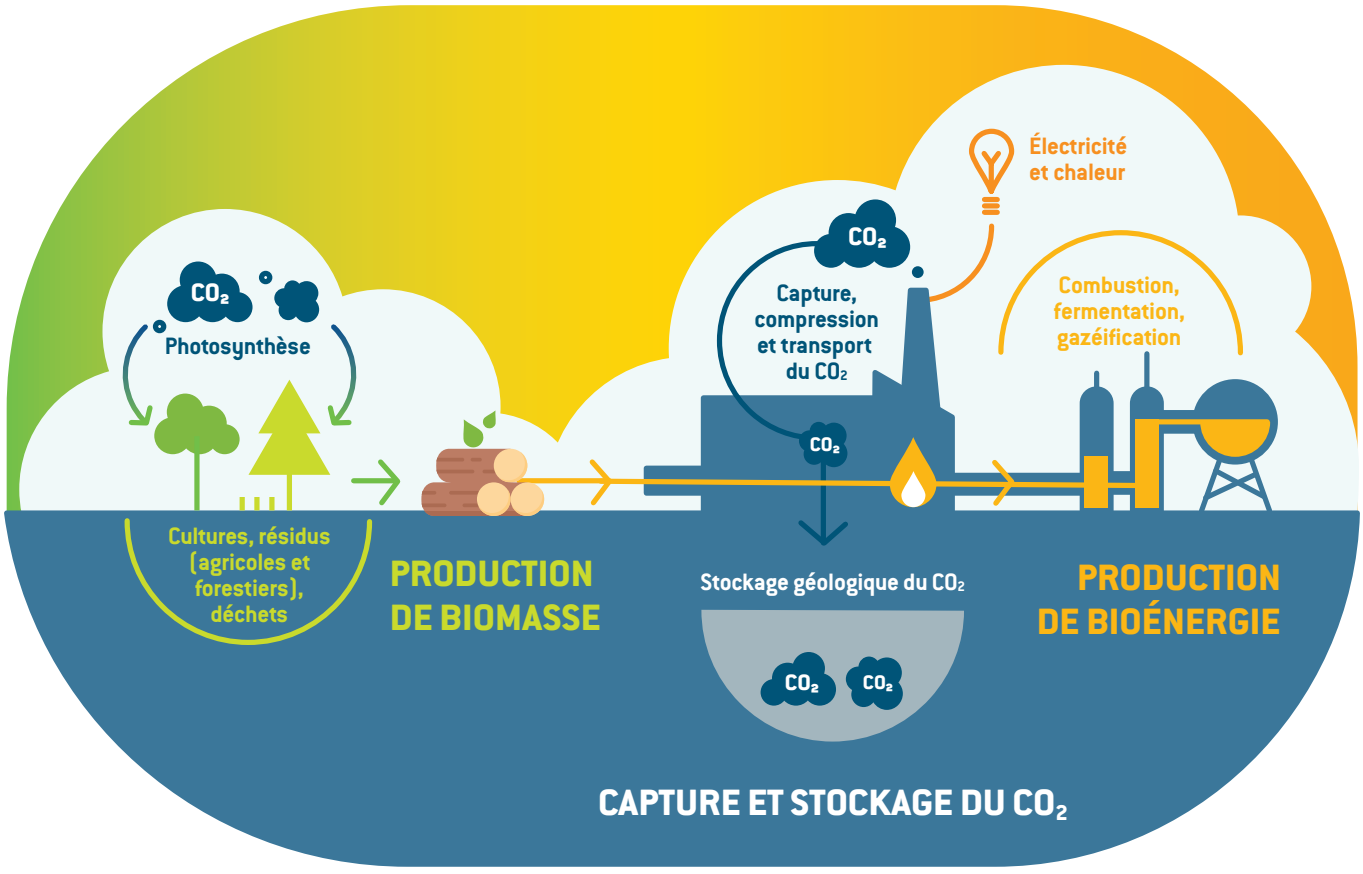
Certaines pratiques de séquestration carbone dans les écosystèmes peuvent générer des co-bénéfices si elles sont mises en place de façon adéquate : remise en état d'écosystèmes, protection des forêts, amélioration de la qualité des sols, de la biodiversité, etc. Elles peuvent aussi avoir un impact positif sur les ressources en eau en limitant la pollution, en améliorant la rétention en eau des sols, en favorisant le cycle de l'eau, etc. A contrario, le développement de certaines pratiques ou technologies risque d'entrer en concurrence au niveau de l'utilisation des terres avec la sécurité alimentaire, la biodiversité ou les services écosystémiques rendus par la nature. La mise en place à grande échelle de la plupart des mesures potentielles d'émissions négatives pourrait avoir des impacts majeurs sur les terres, les nutriments ou l'eau.

Cette synthèse a pour objectif de présenter un focus sur la bioénergie avec capture et stockage de carbone (BECCS - Bioenergy with Carbon Capture and Storage), comme technologie à émissions négatives. D'autres technologies existent, la présente publication ne se propose pas de faire le tour de la question des émissions négatives.

2 Bioénergie avec capture et stockage géologique du carbone (BECCS)

1. PRÉSENTATION

La BECCS, *Bioenergy with Carbon Capture and Storage*, consiste à produire de la bioénergie à partir de biomasse, le tout couplé à un système de capture et stockage géologique du CO_2 (CCS, Carbon Capture and Storage). **Il existe actuellement cinq centrales BECCS actives dans le monde capturant 1.5 $MtCO_2$/an.** [DNV2019]



La biomasse peut être solide (pellet, biocoal, etc.), liquide (éthanol, huile de palme, etc.) ou gazeuse (biométhane, etc.). Elle est utilisée comme combustible de façon directe ou après transformation biologique (notamment par fermentation) ou gazéification (qui produit des gaz combustibles (syngaz) par un ensemble de procédés thermiques). Ce combustible est brûlé dans une centrale thermique biomasse pour produire de l'énergie (sous forme d'électricité) et de chaleur (dans le cas de la cogénération).

La bioénergie représente actuellement 55% de l'énergie renouvelable en France. [MTE]

Selon le rapport de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), la demande mondiale en bioénergie pour l'année 2020 était de presque 65 EJ. 90% de cette demande était issue de biomasse solide. **Environ 40% de cette biomasse a été utilisée cependant pour les méthodes de cuisine traditionnelle non durables, inefficaces et surtout responsables de 2.5 millions de décès prématurés, causés par la pollution de l'air engendrée.** [AIE]

Le principe des émissions négatives pour la BECCS

La biomasse est produite par photosynthèse, au cours de laquelle le CO_2 présent dans l'atmosphère est capté. La production de bioénergie à partir de biomasse durable est donc considérée comme neutre en émissions de CO_2 car le carbone émis suite à la combustion est préalablement capté dans l'atmosphère lors de la photosynthèse.

En couplant la production de bioénergie à un système de capture et stockage de carbone (CCS), le processus peut alors avoir un bilan d'émissions négatif. Les émissions de carbone dues à la combustion de biomasse ne sont pas rejetées dans l'atmosphère, mais capturées et stockées de façon durable dans des couches géologiques profondes. Dans ces systèmes, il faut toutefois considérer uniquement des sources de biomasse durables. En effet, certains procédés présenteraient un bilan beaucoup plus désavantageux : l'utilisation de biomasse non renouvelée (par exemple par déforestation) ou qui induit de manière plus générale un changement significatif de l'usage des sols (remplacement de cultures alimentaires, menant à un changement de leur lieu de production).

D'où provient la biomasse ?

GESTION FORESTIÈRE

- **Foresterie à rotation courte** (SRF) : aulne, cendres, hêtre, bouleau, eucalyptus, mûrier à papier, sycomore etc.
- **Taillis à rotation courte** (SRC) : saule, peuplier, etc.

La biomasse bois-énergie est la plus consommée dans le monde.

AUTRES RÉSIDUS ET DÉCHETS

- **Résidus forestiers primaires :** copeaux de bois provenant de branches, cimes ou tiges de bois de mauvaise qualité, etc. ;
- **Résidus forestiers secondaires :** sous-produits de scieries : sciure, écorce, etc. ;
- **Résidus forestiers tertiaires :** bois provenant de la gestion municipale, déchets en bois ;

Résidus des cultures agricoles, déchets verts, biodéchets des ménages, déchets de la restauration, de la distribution, des industries agroalimentaires et de la pêche, boues d'épuration, gaz de décharge.

CULTURE À VOCATION ÉNERGÉTIQUE

Cultures vivaces et herbacées : miscanthus, panic érigé, etc.

En France, seules les cultures intermédiaires à vocation énergétiques (CIVE) sont autorisées. Elles sont réglementées par un pourcentage de la culture alimentaire initiale, afin qu'elles ne deviennent pas l'activité principale de la parcelle.

CULTURE ALIMENTAIRE

Cultures annuelles conventionnelles :

- culture à huile (palme, colza, tournesol, etc.),
- culture à sucre / amidon (canne, betterave, maïs, céréales, etc.).

BIOMASSE MARINE

Algues, micro algues, phytoplancton et macro algues

La biomasse marine est de plus en plus étudiée et présente des perspectives de production importantes. En termes d'espace, de ressource en eau et de nutriments, la BECCS basée sur une biomasse marine pourrait être une meilleure option à long terme que la biomasse bois ou culture. En effet, le niveau de productivité est plus élevé, la demande en eau douce n'est plus nécessaire et la demande en nutriments plus faible si un système de recyclage efficace est mis en place. Cependant, elle reste encore peu considérée car sa composition irrégulière et inadéquate pour la combustion classique rend difficile son essor. Le développement à grande échelle n'est pas encore atteint et des années de recherche seront encore nécessaires pour un déploiement fiable et viable avec un bon rapport coût-efficacité.

La BECCS n'est pertinente que dans le cas d'utilisation d'une biomasse durable.

En Europe, deux directives LULUCF[2] et REDII[3] définissent un cadre législatif précis, assurant que la biomasse utilisée et échangée au sein du commerce européen est bien d'origine durable, et ce indépendamment de sa provenance géographique. L'ordonnance n° 2021-235, du 3 mars 2021 transpose cette dernière dans la législation française. Les critères de durabilité s'appliquent à toutes les étapes de la chaîne, allant jusqu'à la mise à la consommation de ces produits, autrement dit à l'extraction ou la culture des matières premières, à la transformation, au transport, à la distribution et à l'utilisation. Tous les opérateurs intervenant dans cette chaîne doivent pouvoir être en mesure de justifier du respect de critères environnementaux.

La biomasse est actuellement source de nombreuses utilisations : alimentation, combustibles, engrais, fibres, meubles, charpentes, chaleur, électricité, chimie verte, produits biosourcés, biomatériaux, etc. Cette utilisation variée peut être la source de conflits d'usages, mais aussi de l'espace nécessaire à sa production, avec un risque grandissant de pression sur la ressource pour les années à venir.

Fonctionnement du système de capture et stockage géologique du CO_2 (CCS) :

Le processus de CCS se déroule en trois étapes :

1. **la capture du CO_2** au niveau du système de production de bioénergie : permet d'isoler le CO_2 des autres éléments auxquels il pourrait être mélangé comme la vapeur, les particules, les gaz soufrés et azotés, etc. Cette capture peut se faire selon trois méthodes principales qui sont actuellement à des stades de maturité différents : le captage précombustion, le captage postcombustion et l'oxycombustion.

2. **le transport après compression du CO_2** peut se faire (1) par canalisation cela impose la création d'un réseau avec des spécifications propres au transport du CO_2 (les gazoducs sont déjà très présents en Amérique du Nord), (2) par bateau : actuellement peu développé, mais les conditions sont similaires à celles du gaz de pétrole liquéfié (GPL) et (3) par train ou camion : moyens de transport trop peu rentables pour être utilisés, sauf peut-être sur circuit court.

3. **le stockage géologique du CO_2 :** peut se faire dans d'anciens réservoirs de gaz naturel ou de pétrole épuisés ou dans des aquifères salins. Ce stockage peut être *onshore* (sur le continent) ou *offshore* (en mer). **Mondialement, on estime le potentiel de stockage géologique entre 8 000 et 10 000 milliards de tonnes, l'Europe représentant entre 300 et 500 milliards de tonnes, principalement en Norvège et Grande-Bretagne.**

Ce processus peut également être couplé à des activités industrielles pour lesquelles les émissions de CO_2 sont inhérentes aux matières premières et aux processus de production. Ces émissions ne peuvent pas être réduites par des mesures de décarbonation classiques. C'est en particulier le cas des cimenteries, des raffineries, des industries sidérurgiques et pétrochimiques, etc., qui représentent le quart des émissions de CO_2 issues de l'industrie au niveau mondial.

Aujourd'hui, une vingtaine de projets sont en cours dans le monde, majoritairement liés à l'exploitation pétrolière. Le volume stocké à ce jour, un peu inférieur à 40 millions de tonnes de CO_2 par an, reste anecdotique par rapport au niveau d'émission de CO_2 mondial. Pour comparaison, les émissions de gaz à effet de serre de la France sur son territoire s'élevaient en 2020 à 441 $MtCO_2eq$/an et les émissions mondiales annuelles liées à la combustion de ressources fossiles et à l'industrie (excepté celles liées à la déforestation) s'élevaient en 2019 à 37 milliards de tonnes de CO_2. **Les installations CCS ne captent aujourd'hui qu'un millième des émissions CO_2 mondiales**, alors que l'AIE prévoit un volume stocké via le CCS de 1.6 Gt/an en 2030 et de 7.6 Gt/an en 2050. [AIE]

2. *Regulation on Land Use, Land Use Change and Forestry*
3. *Renewable Energy Directive II (2018)*



En France, un seul projet pilote a été développé et il n'existe à ce jour aucun projet à l'échelle industrielle. Dans son avis sur le CCS publié en juin 2020 [ADEME], **l'ADEME identifie en France trois zones de stockage de CO_2 exploitables, situées autour de Dunkerque, Le Havre et Lacq** et qui tiennent compte de contraintes techniques, géologiques, économiques, réglementaires et sociales.

2. ENJEUX

La BECCS est une technologie à forts enjeux dans l'atteinte de la neutralité carbone, notamment par sa place au sein d'un réseau complexe entre agriculture et alimentation, énergie et climat.

Elle occupe une place de plus en plus importante dans les scénarios de transition énergétique visant à atteindre l'objectif de 1.5°C. **La BECCS se retrouve dans trois des quatre scénarios du GIEC** [GIEC] qui précise néanmoins qu'elle ne constitue pas pour autant la solution unique. Plus récemment, on retrouve également la BECCS dans le rapport de l'AIE de 2021 [AIE], qui prévoit un volume de CO_2 stocké par la BECCS de 1.3Gt/an en 2050.

Le recours majeur à la bioénergie est très ambitieux, comme pour de nombreux autres scénarios. On lui reproche d'ailleurs un manque de réalisme, notamment étant donné la surface de terres arables qui serait nécessaire et le manque d'informations sur la durabilité de la biomasse utilisée. L'Institut du Développement Durable et des Relations Internationales (IDDRI) met en avant qu'un croisement entre les rapports « Climate Change and Land » et 1.5°C du GIEC souligne une utilisation des terres risquée dans le cadre de déploiement de la BECCS pour les scénarios P3[4] et P4[4], voire même pour le scénario P2[4] dans le cas d'une gestion des terres peu adaptée. [IDDRI] **Le rapport conjoint du GIEC et de *l'Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES) met en avant l'absence de lien positif entre BECCS et biodiversité et les dangers liés à un déploiement à grande échelle.** [GIEC/IPBES]



Au niveau français, la SNBC prévoit la mise en place à hauteur de 15 $MtCO_2$/an captées via CCS en 2050, dont 5 $MtCO_2$/an issues de l'industrie et 10 $MtCO_2$/an issues de la biomasse pour l'énergie (BECCS). [SNBC]

4. Le scénario P2 met l'accent sur une convergence entre durabilité et économie, avec une acceptabilité sociétale limitée pour ce qui est de la BECCS. Le scénario P3 est un scénario intermédiaire selon lequel le développement sociétal, comme le développement technologique, suit des schémas habituels. La réduction des émissions s'obtient principalement par une modification de la façon dont l'énergie et les produits sont obtenus et, dans une moindre mesure, par une réduction de la demande. Le scénario P4 est un scénario à forte intensité de ressources et d'énergie. La réduction des émissions s'obtient notamment par un usage intensif de BECCS.

Rôle majeur de la réduction des émissions

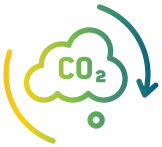
Bien que l'élimination du CO_2 soit un facteur nécessaire à la réussite de l'objectif 1.5°C, **il est important de souligner qu'elle ne peut pas remplacer une réduction rapide et profonde des émissions actuelles de carbone et autres gaz à effets de serre. Cette réduction des émissions doit également être accompagnée d'une réduction de la demande en énergie.**

Il est nécessaire de réfléchir à la gouvernance à mettre en place afin d'éviter que la potentielle présence de technologies à émissions négatives ne réduise pas les efforts de réduction d'émissions de CO_2, et ce à toutes les échelles, du mondial au local.

Dans le cas contraire, dans un scénario dans lequel les réductions des émissions de CO_2 ne seraient atteintes que tardivement, il serait nécessaire, pour maintenir le réchauffement climatique à 1.5 ou 2°C, de déployer la BECCS, en parallèle à d'autres solutions à émissions négatives, à très grande échelle. L'IDDRI alerte sur un tel déploiement qui permettrait peut-être de réduire les émissions de CO_2 dans l'atmosphère, mais aurait des conséquences désastreuses sur les écosystèmes, la biodiversité, les ressources et les Objectifs de Développement Durable : mise en danger de la sécurité alimentaire, de l'accès à l'eau potable, risques de conflits, problèmes de santé, etc. [IDDRI]

3. AUTRES PROCÉDÉS

D'autres technologies se rapprochent du fonctionnement de la BECCS : la BECCU (bioénergie avec capture et (ré)utilisation du CO_2), la capture directe dans l'air, le biochar.



Utilisation ou réutilisation du CO_2

En alternative au stockage, l'utilisation ou ré-utilisation du CO_2 capté peut être envisagée (BECCU). Cette valorisation / réutilisation peut avoir lieu dans de nombreux domaines dans la méthanisation, qui permet la production de méthane en combinant le CO_2 et l'H_2, dans des produits manufacturés, de construction, dans la chimie, dans l'agroalimentaire, etc. Il est important de rappeler que la notion d'*émissions négatives* dépend d'une séquestration du carbone sur le long terme. **L'utilisation du CO_2 capté rentre donc dans le cadre des émissions négatives uniquement si ce CO_2 n'est pas rapidement réémis dans l'atmosphère via la consommation du bien ou du service qu'il a permis de créer.** A noter que, dans certains cas, l'utilisation de ce CO_2 capté permet de diminuer l'exploitation de sources de carbone fossiles. La BECCU a une empreinte eau très similaire à la BECCS, celle-ci étant principalement liée à la production de biomasse. Il faut cependant y ajouter l'empreinte eau liée aux processus nécessaires à l'utilisation du CO_2.

Capture directe du CO_2 dans l'atmosphère

La capture directe de CO_2 dans l'atmosphère avec stockage géologique, désignée par l'acronyme DACCS (*Direct Air Carbon Capture and Storage*), est un autre procédé à émissions négatives. Le principe est de filtrer l'air de l'atmosphère, et de capturer les molécules de CO_2 présentes, et de les stocker ensuite durablement en profondeur.

Le principe est de **filtrer l'air de l'atmosphère et de capturer les molécules de CO_2** présentes dans celui-ci, afin ensuite de les stocker durablement en profondeur.

Cette technologie, souvent comparée à la BECCS, demande moins de ressources. En effet, l'installation de DACCS ne demanderait qu'une faible utilisation des sols et bien moins de ressources en eau ou en nutriments. Elle aurait donc un impact plus faible sur les écosystèmes et la biodiversité. Sa consommation d'eau concerne cependant les ressources de surface et des nappes phréatiques disponibles pour l'utilisation humaine et peut entrer en concurrence des usages urbains, industriels et agricoles. Un rapport de 2020 [WF] définit l'empreinte eau de la DACCS de l'ordre de 4.01 m^3/tonne CO_2 capturé. Cette technologie est à ce jour à un stade de développement peu avancé et nécessite un coût énergétique et financier important. En France, elle est mentionnée dans la SNBC mais seulement comme une option, du fait de son stade encore précoce de recherche et développement. L'IEA considère quant à elle la DACCS comme l'une des plus grosses opportunités en termes d'innovation.

BIOCHAR →

Le biochar repose, tout comme la BECCS, sur la capacité de la biomasse à capter le CO_2 de l'atmosphère. La biomasse, généralement issue de résidus agricoles, est transformée par pyrolyse (combustion sous haute température, sans oxygène), permettant d'obtenir un produit solide appelé biochar (abréviation de « bio-charcoal », charbon végétal), du gaz (méthane et hydrogène) et un liquide utilisable comme biocarburant. Le biochar se présente sous forme de petits fragments noirs légers et poreux, composés majoritairement de carbone. Pour un pourcentage de carbone inférieur à 70%, ces fragments sont dans ce cas appelés biocoal ou *black pellet* et servent alors de biocombustible solide pour la production de bioénergie. Le biochar est utilisé comme amendement écologique pour la santé du sol et la séquestration du carbone. Il permet de stimuler le métabolisme du sol et les défenses immunitaires de la plante qui se défend ainsi contre maladies et insectes. De plus, il agit comme un rétenteur d'eau et convient particulièrement aux sols des régions arides. Selon Pro Natura [ProNatura], la production de biochar durable permet « des émissions négatives de carbone en transformant le carbone de la biomasse en structures stables qui restent piégées dans les sols pendant des centaines, voire des milliers d'années ». Le GIEC mentionne également le biochar comme un moyen d'obtenir des émissions négatives à hauteur de 1 à 2 milliards de tonnes de CO_2 par an pour un déploiement à grande échelle. [GIEC]

Pour un pourcentage de carbone inférieur à 70%, ces fragments sont dans ce cas appelés biocoal ou *black pellet*



3 Les limites et les risques de la BECCS

1. VIABILITÉ ÉCONOMIQUE

La BECCS n'est pourtant pas encore prête pour un déploiement à grande échelle. En effet, la mise en place de la BECCS est freinée par le développement lent du CCS. Indépendamment, les différents éléments du processus de la BECCS, tout comme les différentes étapes du CCS, sont technologiquement matures. Le déploiement du processus complet est freiné par le manque d'opportunité économique.

Actuellement, le développement du CCS concerne principalement **la récupération assistée du pétrole** (EOR - *Enhanced Oil Recovery*).

Malgré un intérêt politique pour le CCS dès 2005, celui-ci souffre d'un développement lent, notamment par rapport aux prévisions faites pour 2020. Actuellement, le développement du CCS concerne principalement la récupération assistée du pétrole (EOR - Enhanced Oil Recovery). En effet, dans ce cadre, l'extraction supplémentaire du pétrole couvre les coûts du CCS et permet de rendre le processus de CCS rentable.

Le coût du CCS est principalement lié aux coûts de l'étape de captage, qui diminuent lorsque les fumées sont très concentrées en CO_2. **L'unité de coût du CCS, autour de 100 à 150 €/t de CO_2 capté, est plus forte que le coût de l'émission d'une tonne de carbone déterminé par la réglementation.** On observe néanmoins une évolution des marchés carbone depuis 2020. L'année 2021 a débuté quant à elle avec un prix du carbone supérieur à 40 €/t. Il existe un fort consensus parmi les analystes de marché qui ont révisé leurs prévisions de prix pour la période 2021-2030 à la hausse, en estimant un niveau entre 70 € et 105 €/tCO_2 en 2030. [ECOACT]

Le coût (LCOE) de la bioénergie est variable en fonction des caractéristiques de la biomasse utilisée (type, provenance, etc), de la taille de l'installation, et peut varier entre 70€/MWh et 125€/MWh.

2. VIABILITÉ ÉCONOMIQUE

À ce manque d'opportunité économique s'est ajouté jusqu'à présent un manque d'acceptabilité sociale. Le stockage onshore est beaucoup discuté et est actuellement interdit en Allemagne. **L'ADEME souligne que de nombreux projets de stockage géologiques ont dû faire face à une forte opposition de la population locale,** ce qui a conduit au niveau européen à l'arrêt de nombreux projets CCS *onshore*. La réalisation de projets offshore pose moins la question de l'acceptabilité sociale, mais complexifie la mise en place du CCS ainsi que les coûts liés au transport et au stockage. [ADEME]

Un déploiement de la BECCS à grande échelle pourrait également avoir un impact sur la sécurité alimentaire en termes de disponibilité, d'accès, d'utilisation et de stabilité. En effet, la bioénergie peut impacter la disponibilité et la capacité de production des terres ou les ressources disponibles. Elle peut également conduire à la hausse des prix des produits alimentaires qui affecterait tout particulièrement les segments les plus pauvres des populations, qui consacrent une grande partie de leurs revenus à l'alimentation.

D'un autre côté, la bioénergie peut également soutenir la production alimentaire par une dynamisation de la croissance du secteur agricole, par la création de nouvelles opportunités d'emplois et de revenus, de développement rural et de réduction de la pauvreté. La production de biomasse énergétique pourrait aussi bénéficier aux cultures alimentaires en améliorant la qualité des sols.

La nature et l'ampleur des impacts potentiels sont déterminées par les choix de la matière première, du type de bioénergie, de la gestion de sa production et son adéquation ou non avec le contexte socio-économique et environnemental : prix alimentaires, sécurité énergétique, sécurité alimentaire, déforestation, utilisation des terres, impact sur le dérèglement climatique, etc.

3. VIABILITÉ ENVIRONNEMENTALE

D'un point de vue environnemental, le développement de la BECCS fait aussi débat, en fonction de son échelle de déploiement.

La production de biomasse pour la BECCS entraîne des changements d'utilisation des terres, directs ou indirects. Il peut s'agir de la conversion de terres agricoles déjà existantes à des cultures pour bioénergie, avec pour conséquence un déplacement des cultures alimentaires sur d'autres terres, au détriment d'espaces naturels ou de la conversion directe d'espaces naturels. Ces changements et leurs conséquences sont encore difficilement intégrés aux méthodes d'évaluation telles que les Analyses de Cycle de Vie (ACV) du fait de la complexité de leur prise en compte. **En 2020, l'utilisation totale des sols pour la bioénergie dans le monde était de 330 millions d'hectares, soit l'équivalent de la superficie de l'Inde, selon l'AIE, qui prévoit dans son scénario atteindre 410 millions d'hectares en 2050.** [AIE] Dans certains scénarios, dans lesquels les émissions liées aux énergies fossiles ne sont pas réduites et qui cherchent à maintenir le réchauffement à 1.5°C ou 2°C via la BECCS, cette utilisation atteint 500 millions d'hectares. Il ne faut pas oublier qu'à ces surfaces doit s'ajouter la surface nécessaire à la production alimentaire, qui est également vouée à augmenter avec la croissance démographique.

Les changements d'utilisation des terres conduisent à la modification ou à la disparition d'écosystèmes riches (forêts, zones humides, prairies, etc.) et ont donc un impact sur la biodiversité qui y vit. Le rapport « Planète vivante 2020 » du *World Wide Fund* (WWF) [WWF] rappelle que la destruction des habitats est la première cause de perte de biodiversité. Selon le même rapport, la production agricole représente déjà 80% de la déforestation mondiale et 70% de la perte de biodiversité terrestre. Les informations sur l'impact d'un déploiement à grande échelle de la BECCS sur la biodiversité sont actuellement très incomplètes. À travers deux scénarios de déploiement de BECCS à deux échelles différentes, l'IDDRI souligne l'impact majeur de la BECCS sur la biodiversité dans le cas d'un déploiement à grande échelle. [IDDRI] En plus de l'impact du changement d'utilisation des terres, il semble qu'une grande partie des cultures pourrait se retrouver dans les régions tropicales (qui présentent l'avantage d'avoir de bonnes conditions de culture) ou dans des hotspots de biodiversité. L'IPBES a également alarmé sur la possible compétition entre l'utilisation des terres pour la bioénergie et les zones protégées. Les conséquences de la BECCS sur la biodiversité sont renforcées par le possible déploiement de spécification des cultures ou monocultures, au lieu de leur diversification et complexification, et l'introduction d'espèces invasives. Cela est valable pour les cultures agricoles mais aussi pour les espaces forestiers, bien que ce soit à nuancer notamment dans le cas de BECCS issue de résidus. En plus du déclin de la nature, les pressions exercées par l'homme sur les écosystèmes menacent également la santé humaine et la sécurité alimentaire, qui reposent sur un grand nombre d'espèces sauvages (de plus en plus surexploitées) et cultivées (de moins en moins diversifiées). Cela pourrait avoir un impact économique majeur, estimé par le WWF à plus de 479 milliards de dollars par an.

La production agricole représente déjà 80% de la déforestation mondiale et 70% de la perte de biodiversité terrestre.

L'enlèvement des résidus forestiers dans le cadre d'une gestion durable des forêts permet un meilleur développement des forêts. Cependant, les résidus forestiers et agricoles permettent aussi d'enrichir et de préserver le contenu en éléments nutritifs et la qualité des sols. Leur retrait pourrait avoir un impact négatif sur les propriétés des sols, la disponibilité des nutriments ainsi que sur la biodiversité qui s'y trouve. Jusqu'à 90 % des organismes vivants dans les écosystèmes terrestres, y compris certains pollinisateurs, passent une partie de leur cycle de vie dans les habitats du sol. Sans la biodiversité des sols, les écosystèmes terrestres risqueraient de s'effondrer.

Le rapport du GIEC et de l'IPBES souligne que, à de petites échelles, la plantation de cultures énergétiques, forestières ou d'herbes vivaces pourrait aider à la restauration de zones gravement dégradées. La biodiversité pourrait aussi bénéficier de la mise en place de culture énergétique pérenne venant rediversifier le paysage agricole dominé par des monocultures. [GIEC/IPBES]

L'impact de la BECCS dépendra de son cadre de développement et pourra avoir des effets totalement opposés en fonction des décisions prises : support à la biodiversité, à la protection des stocks de carbone, des écosystèmes et des ressources ou, au contraire, perte de biodiversité bilan carbone positif et exploitation des ressources. **La réponse à ces questions ne pourra pas être universelle.**

À ces impacts doivent également s'ajouter la pollution et la gestion de fin de vie liées aux éléments et espèces chimiques impliqués dans les différents procédés, notamment par exemple lié à l'usage d'amines[5] pour le captage du CO_2 à l'origine de la production de déchets dangereux. [ADEME]

5. Solvant organique qui permet de capter le CO_2 des fumées après combustion

Le bilan des émissions est-il vraiment négatif ?

Il est difficile à réaliser un bilan complet des émissions de CO_2 de la BECCS car il dépend de chaque installation. **La BECCS implique aussi différentes filières, ce qui pose donc le problème de la gestion et de la comptabilisation des émissions d'un secteur à un autre, et d'éviter le « *carbon leakage* ».** De plus, le raisonnement qui consiste à avancer que les émissions de CO_2 émises lors de la transformation de la biomasse en énergie correspondent au CO_2 capté dans l'atmosphère lors de la photosynthèse, est valable au sens strict. Mais, dans le bilan des émissions de GES de la BECCS, il est aussi nécessaire de prendre en compte les émissions de CO_2 dues aux changements d'utilisation des terres, directs et indirects, les émissions liées aux procédés agricoles, notamment l'émission de N_2O causée par l'augmentation de l'utilisation d'engrais azoté, qui va à l'encontre de la réduction des émissions de GES. A cela doivent s'ajouter les émissions liées au transport de la biomasse, à la mise en place du CCS : transport du CO_2, énergie utilisée pour le captage du CO_2, son changement d'état et son injection dans les couches profondes ou les pertes durant le processus.

La biomasse bois est particulièrement touchée par les controverses liées aux émissions. En effet, son efficacité énergétique, plus faible que celle du charbon, est souvent critiquée, impliquant une émission de CO_2 entre 3 % et 50 % supérieure au charbon pour la production d'une unité d'électricité. De plus, dans le cas d'exploitation d'arbres, et non pas que de résidus, le CO_2 émis lors de la combustion mettra des années avant d'être à nouveau capté par de nouvelles plantations d'arbres. À cela s'ajoute le fait qu'une jeune forêt ne présente pas les mêmes capacités d'absorption qu'un écosystème établi, et que cette capacité d'absorption du CO_2 dépend également de facteurs tels que la température, les précipitations, le peuplement, le sol, la pente, l'altitude, etc. Enfin, la combustion du bois émet des polluants représentant un danger pour la santé humaine et le climat.

Le quotidien Reporterre rappelle également la nécessité d'un cadre précis pour ces activités afin d'éviter toute malhonnêteté industrielle, qui pourrait conduire par exemple à dégazer en pleine mer le CO_2 en toute impunité, en l'absence d'odeurs ou de traces visibles à l'œil nu, au lieu d'aller jusqu'au bout du processus de stockage. [REPO]

BECCS & OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE (ODD)

La BECCS se retrouve en lien étroit avec certains ODD, pour lesquels les impacts, positifs ou négatifs, d'un déploiement dépendent du cadre mis en place.

ODD — IMPACTS POTENTIELS



Faim zéro

+
- Préservation d'écosystèmes.
- Amélioration de la qualité des sols, de la productivité agricole, de la teneur en nutriments.[6]

−
- Concurrence avec la production alimentaire.
- Problème d'égalité d'accès aux terres.
- Agriculture intensive qui va à l'encontre de la préservation des écosystèmes et l'adaptation au dérèglement climatique et évènements extrêmes.



Santé

+
- Réduction de la pollution de l'air grâce au captage des fumées et dans le cas du remplacement d'énergies fossiles.

−
- Impact sur l'eau, le sol et la biodiversité qui peuvent entrainer des maladies.



Eau propre et assainissement

+
- Préservation et meilleure gestion d'écosystèmes liés à l'eau (forêts).
- Amélioration de la qualité de certains paramètres des sols : rétention d'eau, infiltration, etc.[6]

−
- Pression sur la ressource en eau et stress hydrique.
- Pollution de l'eau due aux engrais ou pesticides.
- Dégradation d'écosystèmes liés à l'eau (forêts, zones humides).



Énergie propre et à un coût abordable

+
- Augmentation de la part du renouvelable dans le mix énergétique mondial.
- Développement d'une bioénergie durable, pilotable et sûre dans les pays en développement.

−
- Augmentation potentielle du coût de l'énergie due à l'utilisation de biomasse[7] plutôt que d'énergie fossile, couplée à l'installation couteuse de CCS.



Consommation et production responsables

+
- Revalorisation des déchets agricoles, industriels et urbains pour la production d'énergie.

−
- Augmentation de la consommation des ressources (agriculture intensive).



Vie terrestre

+
- Bonnes pratiques agricoles, cultures intermédiaires : amélioration de la qualité des sols et des stocks de carbone organique dans la partie superficielle des sols.[6]

−
- Changement d'utilisation des sols : impacts sur les écosystèmes, risque de déforestation, perte de biodiversité. Impacts sur les écosystèmes d'eau douce en cas de prélèvement /consommation d'eau majeur et de rejet d'eau polluée.

6. Potentiellement valable dans le cas d'un développement à petite échelle et selon des pratiques durables.
7. Le coût de la biomasse dépend du type utilisé mais est en général plus élevé qu'une énergie fossile. Cela est évidemment discutable au cas par cas, notamment lors de l'utilisation de résidus locaux comme biomasse solide par exemple.

ODD supplémentaires,

mentionnés sur le schéma au second plan par rapport à la liste précédente



Travail décent et croissance économique

- (+) • Création d'emploi et dynamisation de régions rurales.
- (−) • Risque de développement du travail des enfants dans les pays en développement.



Industrie, innovation et infrastructure

- (+) • Démocratisation de l'utilisation de CCS qui peut également être appliqué à certaines industries (cimenterie, aciérie, etc.).



Villes et communautés durables

- (+) • Élimination des déchets urbains de façon durable.
- (−) • Vulnérabilité des villes face aux évènements extrêmes liés à l'eau (sécheresse, crues, etc), accentuée par la perte d'écosystèmes majeurs (forêts, zones humides).



Climat

- (+) • Mise en place d'un dispositif en faveur de la diminution de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère
- (−) • Perte de résilience et de capacité d'adaptation face aux événements climatiques à cause de la perte d'écosystèmes majeurs (forêts, zones humides).
  • Changements de priorités : efforts pour réduire les émissions contre solution des émissions négatives



Vie aquatique

- (−) • Pollution des cours d'eau et marine via les engrais, pesticides ou produits chimiques (voir relargage de CO_2 en cas d'accident), eutrophisation.

4 Les impacts sur la ressource en eau

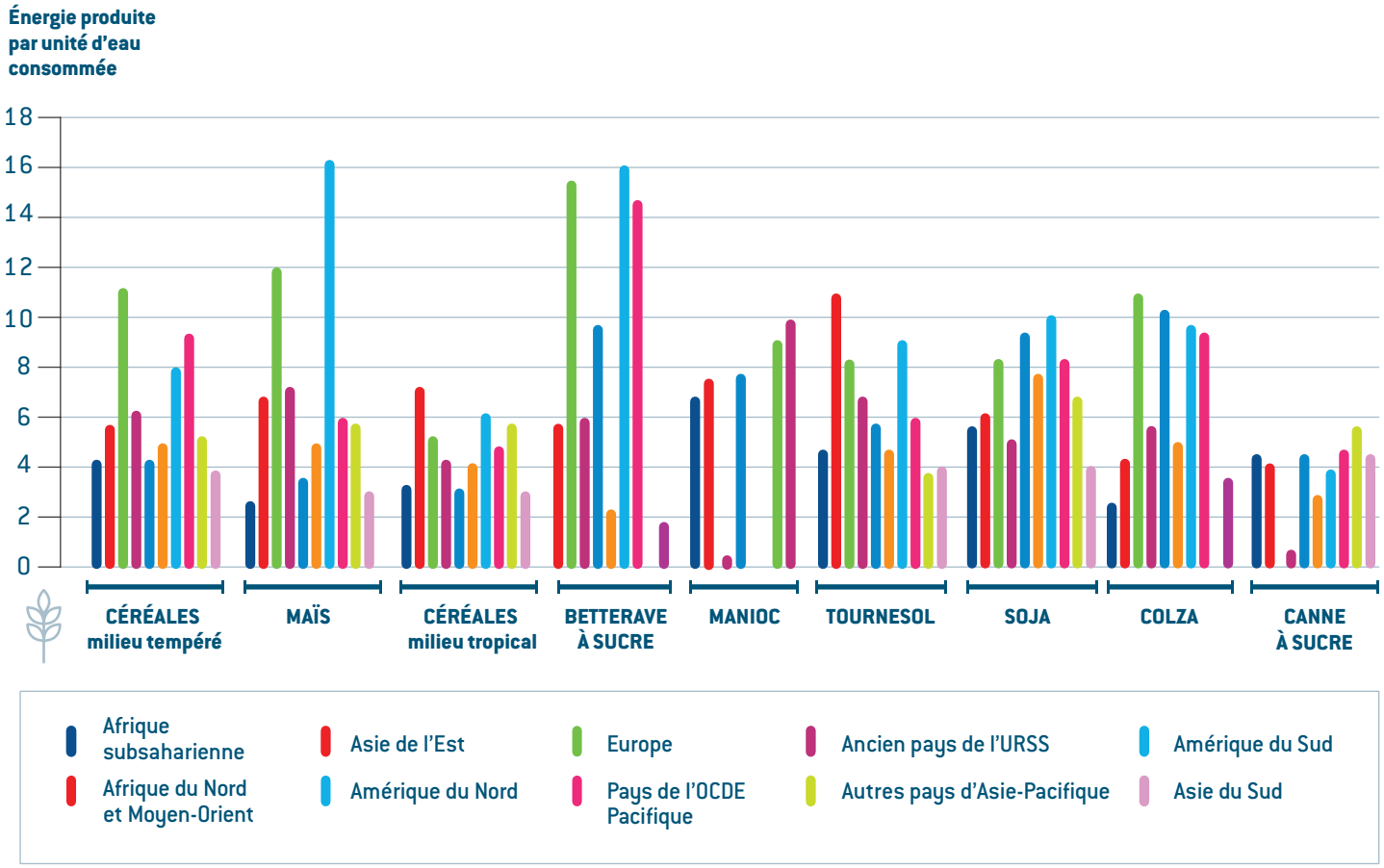
1. PRODUCTION DE BIOMASSE

L'impact de la biomasse sur la ressource en eau concerne principalement la biomasse issue de cultures agricoles et les couverts forestiers. En effet, la valorisation de déchets ou l'utilisation de biomasse marine ont peu d'impact sur l'eau douce.

Globalement, l'agriculture est le plus gros consommateur d'eau sur la planète : 70 % de l'eau prélevée

L'agriculture occupe déjà un tiers de la surface terrestre de la planète. La plus grande partie de la production agricole est alimentée uniquement par les précipitations (agriculture pluviale). Celles-ci étant insuffisantes dans certaines régions du monde, ou à certaines périodes de l'année elles doivent être assistées par des systèmes d'irrigation qui prélèvent les ressources en eau nécessaires dans l'environnement, avec de nombreux exemples d'impacts sur celui-ci et de surexploitation des ressources en eau. L'irrigation est plus importante dans les pays en développement. Les surfaces irriguées pourraient y atteindre 242 millions d'hectares d'ici 2030. Globalement, l'agriculture est le plus gros consommateur d'eau sur la planète : 70 % de l'eau prélevée ; il s'agit en outre d'une consommation nette, l'eau étant évapotranspirée et non retournée après usage dans l'environnement. Cette consommation se répartit de façon irrégulière selon les régions et les saisons. Les périodes où le besoin en irrigation est important coïncident souvent avec les périodes où la ressource en eau est le moins disponible, d'où un recours majeur aux eaux souterraines. En outre, le dérèglement climatique réduit généralement aussi les ressources en eau disponibles, du fait de l'augmentation de l'évapotranspiration et de l'intensification des précipitations. **Il est important de rappeler que l'eau est une ressource locale ; par conséquent un bilan à l'échelle mondiale est peu pertinent.** Celui-ci doit se faire au cas par cas, le prélèvement d'un litre d'eau n'ayant pas les mêmes conséquences pour toutes les zones du globe.

L'empreinte eau des différentes cultures dépend des espèces cultivées. A titre d'ordre de grandeur, l'empreinte eau des cultures se situe entre 165 m^3/MWh et 1425 m^3/MWh : 200 m^3/MWh pour la canne à sucre et la betterave ; 250 m^3/MWh pour le maïs ; 700 m^3/MWh pour le soja et 1300 m^3/MWh pour le colza. [HOEK] L'étude de l'empreinte eau de ces différentes espèces reste difficile, car elle dépend aussi de la localisation de la culture, du système agricole et des conditions climatiques. En prenant en compte les besoins en irrigation, la consommation d'eau peut varier en fonction des cultures, mais aussi, au sein d'un même type de culture, en fonction de sa localisation géographique (voir graphique ci-dessous). Enfin, la quantité d'énergie produite dépend des cultures et peut varier au sein d'une même culture en fonction de sa composition.



Biocombustible produit par unité d'eau consommée pour une sélection de cultures. Moyennes du besoin en eau pour la bioénergie au niveau national, sans tenir compte de la taille des pays. Ces données correspondent à des valeurs moyennes pour une simulation de 1998 à 2003

Evaluation of water use for bioenergy at different scales. S. Yeh *et al.* 2011

Au-delà de la consommation d'eau et de l'impact sur les cycles de l'eau, les pratiques agricoles ont aussi des conséquences sur la qualité de l'eau. **La pollution provient notamment des excédents d'engrais dont l'azote et des pesticides (herbicides, insecticides, fongicides, etc.) utilisés pour l'agriculture intensive. Elle provient aussi des méthodes d'agriculture, d'irrigation, et des contaminations accidentelles liées à la manipulation des produits chimiques.** Une intensification de l'utilisation d'engrais pour augmenter les rendements de la production de biomasse affecterait la qualité à la fois de l'eau en surface et des eaux souterraines. L'utilisation d'engrais impacte aussi la qualité des sols, pouvant entrainer un surcroit de pollution des eaux souterraines. De même, l'utilisation de phosphate, bien qu'inférieure à celle de l'azote, peut aussi entrainer une détérioration de la qualité de l'eau, notamment par eutrophisation des eaux de surfaces et souterraines.

L'utilisation de pesticides joue également un rôle important dans la dégradation de la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques associés. Certains de ces phytosanitaires (tels que l'atrazine) et leurs métabolites sont fortement rémanents dans l'environnement et dépassent encore localement les limites réglementaires dans les sols, les écosystèmes aquatiques et les ressources en eau, malgré une interdiction depuis plusieurs dizaines d'années. Le chlordécone, longtemps utilisé dans les bananeraies en Martinique et en Guadeloupe, a contaminé non seulement le milieu terrestre mais aussi le milieu marin en aval et affecte la faune halieutique par exposition à l'eau contaminée tout au long de la chaine alimentaire.

Le couvert forestier, comme d'autres couverts végétaux, peut limiter l'érosion liée aux épisodes pluvieux intenses. En outre, la sylviculture est en général peu utilisatrice d'engrais ou de phytosanitaires et les interventions (coupes, éclaircies, plantations…) sont bien moins fréquentes ; elle a donc des impacts limités sur la qualité de l'eau. Néanmoins, les forêts, comme tous les végétaux et donc comme l'agriculture pluviale (la forêt étant rarement irriguée), ont besoin d'eau pour leur développement. Ces besoins en eau pluviale sont en général plus importants que ceux d'autres types de couverts végétaux, même agricoles. La plantation ou replantation de forêt sur un territoire peut donc s'accompagner d'impacts significatifs sur le cycle de l'eau tels que la diminution de la recharge des nappes et la baisse du débit des cours d'eau en étiage. Par rétroaction, ces effets peuvent aussi générer des impacts sur la qualité de l'eau (moindre dilution de rejets polluants en rivière par exemple). Des évaluations au cas par cas de ces impacts sur la quantité et la qualité sont donc nécessaires en fonction du type d'essences forestières et de la sensibilité des bassins versants. En Australie par exemple, la sylviculture est soumise, selon un principe de « préleveur-payeur », à une taxation similaire à celle mise en place en France dans le domaine de l'eau et récoltée par les agences de l'eau. En outre, certains types de peuplements forestiers, notamment en contexte aride ou semi-aride, disposent de systèmes racinaires profonds capables de prélever l'eau des premiers mètres du sol, non totalement saturés en eau, et également l'eau des nappes souterraines, jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de profondeur. Cela constitue un prélèvement occulte, qui perturbe le cycle de l'eau : baisse du débit d'étiage des cours d'eau, moindre disponibilité pour d'autres usages ou écosystèmes. Là encore, l'impact « eau » de la sylviculture doit être évalué. L'évapotranspiration des végétaux se traduit par de l'humidité atmosphérique et in fine par de nouvelles précipitations. Cependant, il a été démontré que ces effets de précipitations accrues ne sont significatifs qu'à l'échelle continentale (par exemple la réduction des précipitations sur le versant oriental des Andes du fait de la déforestation amazonienne) et n'ont donc pas de bénéfices locaux, ni pour des surfaces relatives reboisées inférieures à cette échelle continentale.

La plantation ou replantation de forêt sur un territoire peut s'accompagner d'impacts significatifs sur le cycle de l'eau tels que **la diminution de la recharge des nappes et la baisse du débit des cours d'eau en étiage.**

Les zones humides sont des espaces saturés et/ou recouverts d'eau douce, salée ou saumâtre, de façon permanente ou temporaire. En plus d'avoir un rôle écologique (auto-épuration des eaux, réservoirs de biodiversité, réservoirs à CO_2), certaines ou des parties de ces zones permettent l'absorption et le stockage de l'eau lors des phénomènes extrêmes comme les crues ou les tsunamis, réduisant par exemple les inondations. Elles peuvent aussi servir de réservoirs durant les périodes d'étiages (période où le cours d'eau atteint son point le plus bas) ou les épisodes de sécheresses. **Leur intérêt est donc également crucial face au dérèglement climatique et les évènements climatiques extrêmes qui l'accompagnent.**

Ces zones sont déjà grandement menacées par les activités humaines actuelles. Initialement jugées comme non utilisables, les zones humides en France ont diminué de 50% au cours du siècle dernier, face à la pression des activités humaines. Elles sont également menacées par exemple au Pantanal, plus grande zone humide continentale du monde. La sécheresse, liée au dérèglement climatique, combinée aux incendies volontaires, pour défricher les terres agricoles alentours, a entrainé des incendies colossaux détruisant une grande partie de ce hotspot de biodiversité.

Bien que les forêts européennes aient tendance à s'accroître, le bilan est loin d'être le même pour le reste du monde, dont certaines zones souffrent fortement de déforestation. A cela s'ajoute la dégradation des sols, liée au changement d'utilisation des terres ou aux pratiques agricoles. Un sol dégradé favorise l'érosion et le ruissellement, limitant ainsi l'infiltration de l'eau. Cette perturbation de la partie souterraine du cycle de l'eau peut avoir des conséquences locales importantes pour la disponibilité et la qualité des ressources en eau, de surface et souterraines, et leurs usages anthropiques ou écosystémiques.

Le développement à grande échelle de la BECCS pourrait rajouter une pression supplémentaire sur ces territoires et ainsi accentuer les perturbations du cycle de l'eau. Ces impacts sont modélisables et doivent permettre d'évaluer l'acceptabilité de cette pression supplémentaire, en intégrant aussi les effets du dérèglement climatique, la BECCS devant s'inscrire dans le temps long du XXIème siècle.

2. PRODUCTION DE BIOÉNERGIE

Comme toute centrale thermique, une centrale bioénergie utilise de l'eau de refroidissement pour la clôture du circuit de transfert de chaleur, en tant que source froide du cycle thermodynamique. Pour un fonctionnement en circuit ouvert, cette eau est généralement prélevée dans une source proche (lac, cours d'eau, aquifère ou océan), injectée dans le circuit et rejetée en fin de circuit après une évaporation partielle. Dans le cas d'un circuit fermé, le prélèvement d'eau est moins important puisque l'eau circule ensuite en boucle. Il est important de noter la différence entre le prélèvement de l'eau, où l'eau est retirée à sa source et peut y être renvoyée ou non, et la consommation de l'eau qui correspond ici à la quantité d'eau perdue lors de l'évaporation au cours du processus de refroidissement, ou de potentielles fuites du système. La quantité d'eau prélevée et consommée varie en fonction du type de fonctionnement de la centrale, de ses pics d'activité, de son efficacité thermique, de la source d'eau, etc. En France, les prélèvements destinés au refroidissement représentaient 51% des prélèvements d'eau douce en 2013. [STATMTE]



En France, les prélèvements destinés au refroidissement représentaient **51% des prélèvements d'eau douce en 2013.**

Dans une région où la ressource en eau est limitée, le prélèvement d'eau devient vite un problème important et peut créer de la concurrence avec d'autres utilisations. **De plus, ces prélèvements ont tendance à augmenter les années chaudes, que le dérèglement climatique rend d'autant plus fréquentes.**

La production de bioénergie peut aussi avoir un impact sur la qualité de l'eau. **En France, les températures de rejets de l'eau après prélèvement sont réglementées** pour tenir compte de la biodiversité présente dans la zone de rejet, notamment en fonction des espèces de poissons, pour éviter des modifications trop importantes de l'écosystème. **De même, des réglementations encadrent les traitements chimiques** réalisés pour protéger les circuits et le fonctionnement de la centrale (additifs, biocides, inhibiteurs de corrosion, etc.) et que l'eau est amenée à subir lors de son utilisation industrielle. **De telles réglementations sont cependant loin d'être mises en place dans toutes les régions du monde.**

Bien que la production de biomasse (engrais) et les transports aient une part de responsabilité significa-

tive, les émissions liées à la combustion causent la majorité du potentiel d'acidification[8] de la bioénergie : 60 à 74%. L'eutrophisation[9] est, quant à elle, causée en grande partie par la production de la biomasse, la combustion et l'élimination des cendres et le transport de la biomasse. [EDFACVBIO]

Enfin, la quantité d'eau consommée dépend également du type de valorisation de biomasse en énergie. Une valorisation via cogénération permet de diminuer de façon assez conséquente la consommation d'eau par quantité d'énergie produite. De même, pour la plupart des cultures, la production d'électricité a souvent une empreinte eau presque deux fois plus faible que celle de biocarburant. Cette différence est liée à la proportion de la culture utilisée. Pour la production d'électricité, la totalité de la culture peut être utilisée, alors que pour la production de biocarburant (biodiesel ou bioéthanol par exemple) seulement une partie de la culture peut être utilisée. [HOEK]

Localement, l'empreinte eau liée à la production de bioénergie est à relativiser : y avait-il d'autres activités énergétiques sur ces territoires précédemment ? les remplace-t-elle ? l'empreinte eau y est-elle plus forte ou plus faible dans la situation actuelle ?

3. LA CAPTURE ET STOCKAGE GÉOLOGIQUE DU CO_2 (CCS)

Peu d'études existent actuellement sur l'impact du déploiement du CCS sur les ressources en eau. Cependant, une étude de 2020 [WF], avertit sur le fait qu'un déploiement du CCS à grande échelle selon les objectifs des scénarios 1.5°C pourrait doubler l'empreinte eau des activités humaines. Ce résultat est nuancé selon les technologies utilisées, notamment au niveau du captage du CO_2 pour lequel l'oxycombustion semble avoir l'empreinte eau la plus faible. En fonction de la technologie de capture du CO_2 utilisée, l'empreinte eau du CCS peut aller de 0.74 à 575 m^3 H_2O/tonne CO_2 capturé. Le captage post-combustion est une technologie mature et déployée dans les projets de CCS à travers le monde et qui consomme une quantité importante d'eau pour le lavage des amines. L'empreinte eau humaine ne dépasse pas actuellement les limites en eau douce globales imposées par la planète. Cependant, les pressions sur les ressources en eau doivent s'apprécier selon les conditions locales. Ainsi, au niveau local, 50% de la consommation en eau de surface ou provenant des nappes d'eau souterraine et 18% de la consommation en eau via l'hydratation des sols et l'eau de pluie dépassent le niveau maximal envisageable pour une exploitation durable. La mise en place de technologies CCS augmenterait de 84 (±56) km^3/an la consommation en eau de surface ou provenant des nappes phréatiques actuelles estimée à 1700 km^3/an. [WF] Il est donc nécessaire de considérer une étude locale des ressources en eau disponibles avant de mettre en place un projet CCS.

Le captage post-combustion est une technologie mature et déployée dans les projets de CCS à travers le monde et qui **consomme une quantité importante d'eau pour le lavage des amines**

8. Le potentiel d'acidification détermine la perte de nutriments et leur remplacement par des acides à cause des pollutions par le dioxyde de souffre (SO_2), le monoxyde d'azote (NO), le dioxyde d'azote (NOx) ou encore l'ammoniac (NH_3).

9. L'eutrophisation est due à un apport excessif en nutriments, ce qui conduit à une multiplication excessive du phytoplancton et de certaines plantes aquatiques. Les bactéries, qui dégradent cette matière organique, prolifèrent à leur tour, en appauvrissant de plus en plus l'oxygène de l'eau.

Lors de la mise en place de projets CCS, il existe aussi un risque de contamination des réservoirs superficiels et des aquifères notamment au niveau des forages pour le stockage du CO_2. Ce risque peut néanmoins être réduit presqu'en totalité par la mise en place de bonnes pratiques.

Plusieurs ACV nuancent les bénéfices en termes d'émissions de CO_2 du CCS face à l'impact sur d'autres facteurs. Une étude de 2011 estime que les émissions de méthane (NH_3), de solvants (et notamment de produits de dégradation des amines qui peuvent être toxiques) utilisés par la filière CCS pourraient entrainer une augmentation du potentiel d'eutrophisation des eaux de 35 %, leur acidification de 43 %, l'écotoxicité terrestre de 143 % et l'écotoxicité pour les eaux de surface de 167 %. L'INERIS souligne l'importance de nuancer ces chiffres, pour tenir compte des progrès techniques et l'amélioration de l'efficacité des procédés de captage. Les amines sont de plus en plus substituées par des technologies plus propres. [INERIS]



La BECCS avec stockage en couche profonde de gaz carbonique peut contribuer à l'atteinte de la neutralité carbone mais elle doit être analysée au cas par cas selon le contexte. En effet, elle peut avoir un impact négatif sur les ressources en eau, que ce soit de surface ou souterraine, et exercer localement une pression supplémentaire sur celles-ci. Un déploiement à grande échelle semble donc difficilement envisageable, d'autant plus que certains impacts, notamment sur le cycle de l'eau, sont aussi potentiellement accentués par le dérèglement climatique. Un déploiement de façon durable, à plus petite échelle, intégrant au cas par cas les disponibilités locales de la ressource, comme mentionné par le GIEC et l'IPBES pour la biodiversité, semble plus durable et donc également préférable pour les ressources en eau. Cependant, un tel scénario devrait être accompagné en parallèle à la fois d'une réduction majeure des émissions de GES et de mesures d'adaptation.

5 L'expertise française, exemples de solutions

A ce jour, on ne trouve pas de projet BECCS à échelle industrielle sur le territoire français. Cependant, les acteurs français sont actifs sur des projets de bioénergie ainsi que de capture et de stockage de carbone. Au niveau européen et mondial, on retrouve également ce type de projets ainsi que quelques installations ou projets pilotes de BECCS.



ACTEURS FRANÇAIS

PROJET BIOMASSE, RÉSIDUS FORESTIER

Guyane Française



L'Agence Française de Développement a financé Voltalia pour son projet de centrale biomasse bois au sein de la commune de Cacao en Guyane Française. En raison de la croissance démographique et de l'augmentation du taux d'équipement des ménages, la demande en énergie augmente et continuera d'augmenter dans les années à venir. Dans le cadre de l'atteinte d'un mix énergétique 100% renouvelable d'ici 2030 fixé par la loi de transition énergétique, **la Guyane compte sur son domaine forestier exploitable, y compris la défriche agricole, sans toucher à la forêt primaire. Cela lui permet de développer des projets de bioénergie stable, en complément de l'intermittence du solaire et de l'éolien.**

La mise en service de la centrale, d'une puissance de 5.1 MW, a eu lieu à la fin de 2020. Elle se trouve à proximité des grands bassins forestiers, afin de l'alimenter avec du bois provenant d'exploitations forestières et de scieries adjacentes, ces déchets n'étant actuellement pas exploités. L'activité forestière est contrôlée par l'Office national des forêts (ONF). La production sera ensuite injectée sur le réseau public et vendue à un prix inférieur au coût des centrales thermiques en place en Guyane, qui fonctionnent au diesel. La centrale sera dotée d'une capacité de stockage grâce à des batteries d'une capacité de 550 kW / 250 kWh ce qui permettra de moduler extrêmement rapidement la puissance de la centrale et de contribuer à stabiliser le réseau non interconnecté de la Guyane.

PROJET BIOVEA, RÉSIDUS PALME

Côte d'Ivoire

EDF, Meridiam et BIOKALA (filiale du groupe SIFCA) développent depuis 2019 le projet Biovéa, centrale à biomasse de 46 MW, alimentée à partir de déchets agricoles. Cette centrale est en mesure de répondre aux besoins annuels en électricité de l'équivalent de 1.7 millions de personnes. **L'objectif de ce projet est de développer le volet énergie renouvelable de la Côte d'Ivoire, ainsi que de développer l'économie circulaire autour des résidus agricoles (palme, coton, cacao)**. Il permet également de soutenir la filière agro-industrielle ivoirienne et d'améliorer les conditions de vie des populations rurales, en créant plus de 1 000 emplois ou équivalents temps plein et par l'augmentation jusqu'à 15% du revenu de plusieurs milliers de petits planteurs villageois.

La biomasse retenue pour ce projet est constituée principalement des pétioles des feuilles de palmiers, issues de l'élagage d'entretien pour la collecte des régimes. L'huile de palme est la première huile alimentaire en Côte d'Ivoire et provient, en partie, de la production locale insuffisante pour être exportée. **Le plan d'approvisionnement prévu sur les 25 ans à venir ne fait appel qu'à des plantations existantes et anciennes (implantées depuis 1963) avec la garantie d'un approvisionnement dans un rayon de 60 km autour de l'installation. Ce projet n'entraine donc ni déforestation, ni nouvelle plantation de palmiers. Par l'amélioration des rendements, il est même prévu de réduire les surfaces de culture de 9 000ha sur les 25 ans.** Le projet dispose d'une marge de biomasse excédentaire par rapport au besoin annuel de la centrale évalué à 480 000 tonnes environ pour un gisement annuel disponible dans le bassin de 680 000 tonnes. Le bassin d'approvisionnement est composé de deux grandes plantations gérées par PALMCI, filiale du groupe SIFCA, qui représentent environ 25% de l'approvisionnement et de nombreuses plantations villageoises pour environ 75%.

PROJET BIOSTAR, RÉSIDUS AGRICOLES

Afrique de l'Ouest

Le projet Biostar a pour objectifs d'améliorer l'approvisionnement énergétique et de rendre autonomes des PME agroalimentaires d'Afrique de l'Ouest en convertissant leurs résidus en chaleur, force motrice ou électricité et en développant le secteur de la bioénergie. Cinq filières ont été identifiées pour ce projet : noix de cajou (anacarde), karité, riz, mangue et arachide. Elles ont été choisies en fonction de leur importance économique dans les pays concernés, de l'implication massive des femmes au sein de ces filières et également parce qu'elles font l'objet de stratégies nationales pour leur développement durable. Elles sont également toutes concernées par une demande d'énergie pour la transformation de produit agricole à produit alimentaire (décorticage, séchage, extraction, étuvage) et génèrent des résidus peu ou pas valorisés actuellement. Des expériences pilotes au sein d'unités de transformation agroindustrielles sont lancées au Burkina Faso et au Sénégal.

L'objectif est de remédier à un approvisionnement énergétique irrégulier (en qualité et quantité) dans les zones rurales, limitant le développement de PME agroalimentaires et les obligeant à s'installer en zones périurbaines. Cela impose donc le transport des matières premières des zones de production vers les unités de transformation, responsable d'un coût supplémentaire et de pertes post-récoltes. L'inefficacité énergétique de la transformation agroalimentaire, souvent présente, a une incidence sur la qualité des produits et peut engendrer des pertes importantes. De plus, cette situation participe également à l'intensification des milieux urbains et la dévitalisation des zones rurales, dédiées uniquement à l'agriculture. Certains résidus organiques générés par les unités de transformation sont problématiques sur le plan de la santé humaine et de la contamination environnementale, comme les coques d'anacarde, noyaux de mangue, balles de riz, effluents liquides, etc., mais présentent en même temps un potentiel pour la production d'énergie.

Parmi des instituts de recherche et de formation nationaux d'Afrique de l'Ouest et d'Europe, le projet est notamment porté par Le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), l'association Nitidae et co-financé par l'Union Européenne et l'Agence Française de Développement.

PROJET LACQ, CCS

France

Co_2

Lacq est un projet pilote de capture et séquestration de CO_2 dans un ancien gisement de gaz, mené par Total entre 2010 et 2013. **Au cours de ce projet, plus de 50 000 tonnes de CO_2** ont été injectées. L'installation a été mise en place dans le cadre d'une production de vapeur destinée au complexe industriel de Lacq, à partir d'une chaudière à oxycombustion gaz de 30 mégawatts thermiques.

Les quatre chaudières fournissant la vapeur sont responsables de la production de fumées de combustion contenant du CO_2. La cinquième chaudière a été convertie pour pouvoir capter du CO_2 par oxycombustion. Le CO_2 était ensuite purifié et déshydraté, puis comprimé sous 27 bars (concentration de 90 à 93 %) et séché pour être transporté sur 27 km jusqu'au site d'injection grâce à des canalisations existantes. Ces canalisations étaient antérieurement utilisées pour le transport du gaz extrait du champ de Rousse vers l'usine de Lacq. Le réservoir a été exploité pendant 36 ans entre 1972 et 2008 (réservoir de gaz épuisé). Le CO_2, à nouveau comprimé à 40 bars, était injecté dans le réservoir à une profondeur de 4500m. Ce réservoir, protégé par une couche d'argile et de marne de 2000 mètres, formée il y a plus de 35 millions d'années, présente des qualités optimales de sécurité et de pérennité pour le stockage du CO_2.

Ce projet a permis de valider une méthodologie pour sélectionner et qualifier un potentiel site de stockage de CO_2, ainsi que le test de différents outils de surveillance. Un suivi a été mis en place afin de contrôler la qualité des eaux (en surface et en nappes d'eau souterraine), les écosystèmes (faune et flore), et les gaz issus du sol, duquel aucune déviation particulière ou anormale n'est à signaler.

PROJET MÉTHA TREIL, CCU

France

Co_2

Métha Treil est un projet de méthanisation installé sur une exploitation de 540 hectares en Loire Atlantique. L'installation comprend deux digesteurs, un post-digesteur et une installation destinée à capter le CO_2. Les digesteurs sont principalement alimentés par des intrants agricoles provenant à hauteur de 70 % de fumiers, lisiers et ensilages, à 10% de CIVE (implantées et récoltées entre deux cultures principales), et de productions maraîchères déclassées (tomates ou pommes de terre). Dans le contexte de la crise sanitaire, un partenariat a été passé afin de valoriser également des invendus. Leur fermentation produit du gaz, composé de méthane (60%) et de CO_2 (40%), et un digestat utilisé ensuite comme engrais de haute qualité agronomique, ce qui permet un retour au sol des éléments minéraux. **Cela permet de produire sur un an 2 millions de m^3 de biogaz et 15 000 m^3** de digestat brut. Le biométhane est directement injecté sur le réseau GRDF le plus proche et représente actuellement 8% de la consommation de gaz de la commune de Machecoul-Saint-Même.

Un processus de captage de CO_2 a été installé et permet d'éviter le rejet d'une partie du CO_2 dans l'atmosphère comme cela est le cas sur un système de méthanisation classique. Une fois capté et isolé du méthane, le CO_2 est comprimé, asséché, refroidi, et liquéfié. **Il est ensuite amené par camion aux maraîchers partenaires, comme apport nutritionnel pour favoriser la croissance de leurs plantes (tomates notamment), permettant ainsi d'alimenter 15 hectares de serres.** Pour être utilisable par les maraîchers, ce CO_2 doit être pur à au moins 99%. Ici, il l'est à 100% et est donc en cours d'homologation alimentaire.



PROJETS EUROPÉENS ET MONDIAUX

PROJET DRAX, CONVERSION CHARBON BIOMASSE

Royaume Uni



DRAX, la plus grosse centrale à charbon du Royaume-Uni, située dans le Yorkshire, au nord-est de l'Angleterre, est passée d'une des usines les plus polluantes du pays à celle présentant un plan de réduction de ses émissions de CO_2 des plus ambitieux. La centrale a entamé une conversion du charbon vers la biomasse il y a une dizaine d'années et prévoit de se passer entièrement du charbon au cours de l'année 2021. Cette conversion s'inscrit dans la volonté du Royaume-Uni d'arrêter définitivement la production d'électricité via des centrales à charbon.

En 2020, quatre des six réacteurs de DRAX étaient approvisionnés aux pellets de bois. 80 % des 7.5 millions de tonnes de bois brûlés chaque année sont importés d'Amérique du Nord. Ce transport de bois ne représente qu'une empreinte carbone minime pour le projet. La centrale insiste sur son recours principalement à des résidus non utilisés par d'autres industries, comme des cimes ou des branches. 20 % des matières premières proviennent tout de même d'arbres abattus pour l'alimentation de la centrale, mais DRAX assure que cela est fait dans le cadre de l'entretien des forêts, qui sont aérées en coupant régulièrement les éléments les plus chétifs. Les deux unités restantes seront remplacées par des turbines à gaz à cycle combiné de 3.6 GW ainsi que 200 MW de stockage par batteries. Un système de capture de carbone a également été installé, pour réduire les émissions de la centrale. Lors de la COP25, le groupe avait déclaré vouloir atteindre les émissions négatives en 2030.

Cependant, cette conversion pour l'utilisation de la biomasse bois à la place du charbon fait polémique sur différents aspects : problématique de déforestation, atteinte de la neutralité carbone, impact sur les forêts nord-américaines, énergie nécessaire à la production de pellets de bois, etc.

Outre ces controverses sur la neutralité carbone du processus et l'origine durable de la biomasse, le projet de conversion de DRAX a mis en avant la difficulté d'alimenter localement de si grosses centrales en biomasse, ce qui a mené à recourir à l'importation de la majeure partie de la biomasse bois utilisée. **Bien que la conversion ait été progressive, en 2018 son approvisionnement nécessitait 13 millions de tonnes de bois soit, 120% de la production totale de bois du Royaume-Uni à elle seule.**

A la suite de la conversion à la biomasse, le site de DRAX fait maintenant place à un projet pilote de BECCS et a commencé la capture du CO_2 en 2019. L'objectif est ensuite d'acheminer le CO_2 via des pipelines pour un stockage en mer du Nord.

ARCHER DANIELS MIDLAND (ADM) DACATUR, BECCS

Illinois, Etats Unis

L'activité de la ville de Decatur, Illinois, est basée sur la production de maïs et comporte deux principales agro-industries, Tate & Lyle et Archer Daniels Midland (ADM), qui produisent entre autres du sirop de maïs, de l'édulcorant, du biocarburant. ADM a également participé entre 2011 et 2014 à un projet pilote de capture et de stockage de CO_2, permettant de capturer les émissions du processus de fermentation du maïs. Durant cette période, 1 000 tonnes de CO_2, transportées par pipeline, étaient injectées chaque jour dans le grès du Mont Simon qui s'est montré être une zone de stockage pertinente pendant ce projet pilote. Le CO_2 est stocké dans les pores de la roche, dans une couche recouverte de trois autres couches imperméables, qui constituent un plafond étanche et préviennent toute fuite de CO_2. **En 2016, le site a été à nouveau choisi, suite au succès du projet pilote, pour la mise en place d'un projet BECCS à taille industrielle.** La production d'un flux de gaz riche en CO_2 suite à la fermentation du maïs rend le processus de captage assez simple. En 2014, ce projet a été identifié par le GIEC comme le projet de BECCS le plus pertinent à l'époque. Cependant, selon les derniers bilans, le projet capture actuellement moins de CO_2 que prévu initialement. Aucune fuite ni impact négatif n'ont été mesurés pour l'instant. Cette installation reste tout de même un des plus gros projets mondiaux de BECCS.

PROJET NORTHERN LIGHTS, CCS

Norvège

Co_2

Le projet Northern Lights est un projet de captage et stockage de CO_2 (CCS) en mer du Nord, pour l'industrie européenne, porté par l'Etat norvégien et mené en collaboration avec Equinor, Shell et Total. **L'objectif est de permettre aux activités industrielles, générant du CO_2 à proximité des côtes, de pouvoir exploiter cette zone de stockage.** La capture et la liquéfaction du CO_2 sont de la responsabilité de chaque entreprise. Le rôle de Northern Lights sera ensuite de collecter ce CO_2 liquéfié et de le transporter par bateau à partir d'un port adapté tel que Zeebrugge ou Dunkerque. Cette collecte intermédiaire par bateau permet une collecte plus flexible et facilite l'extension du réseau de transport et de stockage. Après une étape de stockage temporaire dans le terminal de Naturgassparken, dans la municipalité d'Øygarden, située à l'ouest de la Norvège, le CO_2 sera pompé et transporté via un pipeline de 110 km jusqu'au lieu de stockage, situé dans le sous-sol à environ 2 500 m sous les fonds marins norvégiens. Le CCS est une technologie mise en œuvre et maitrisée par Equinor, qui n'a observé aucune fuite de CO_2 depuis plus de 24 ans. Le début des opérations est prévu pour 2024. **Northern Lights pourra traiter et stocker jusqu'à 1.5 Mt de CO_2 par an, capacité qui pourra ensuite être augmentée jusqu'à 5 Mt.** Certains industriels ont déjà manifesté leur intérêt pour le projet, notamment Air Liquide ou Arcelormittal. Environ 400 000 tonnes de CO_2 proviendront chaque année de Norcem, une cimenterie norvégienne de l'allemand HeidelbergCement, qui sera dotée d'installations de captage dans le cadre du projet plus large Langskip (« Longship », ou « drakkar » en français) dont fait partie Northern Lights. Une partie du CO_2 proviendra aussi d'une cimenterie d'Oslo.

PROJET CARBFIX, STOCKAGE SOUS FORME MINÉRALE ET DACCS

Islande



Le projet Carbfix est un projet initié en 2007 en Islande qui consiste en la séquestration de carbone par réaction avec des roches basaltiques. De l'eau gazeuse contenant du CO_2 est injectée à haute pression, via des puits d'injection, dans une couche géologique profonde basaltique pour faire réagir le gaz avec le calcium et le magnésium présents dans la roche (altération forcée du calcium et du magnésium). Les carbonates obtenus sont stables pour des centaines d'années et peuvent donc séquestrer le carbone de façon permanente. Le pilote du projet a permis de déterminer que 95% du CO_2 injectés étaient minéralisés dans les deux années suivantes. Le processus demande de grosses quantités d'eau. Cependant, l'eau est pompée et rejetée dans le même aquifère, ce qui permet dans une certaine mesure de fonctionner de façon circulaire. Un projet de démonstration sur le même principe de fonctionnement, mais utilisant de l'eau de mer, est prévu pour 2022. Depuis 2017, Carbfix mène une collaboration avec Climeworks, entreprise Suisse spécialisée dans la capture directe du CO_2 dans l'atmosphère (DAC, Direct Air Capture). Climeworks développe un petit projet pilote de DAC à côté du site de minéralisation de Carbfix, sur le site de la centrale géothermique de Hellisheidi. **Cette centrale fournit l'énergie renouvelable nécessaire au fonctionnement de l'installation de DAC et Carbfix, une solution pour le stockage de CO_2. Face au succès du projet pilote, Climeworks et Carbfix se sont mis d'accord pour le développement d'un plus grand projet, qui devrait commencer à fonctionner en 2021 et pourrait capter jusqu'à 4000 tonnes de CO_2 par an.**

french
water
partnership

fwp
pfe

partenariat
français
pour l'eau

Le Partenariat Français pour l'Eau (PFE) est la plateforme de référence des acteurs français de l'eau publics et privés, actifs à l'international. Elle porte depuis près de 15 ans un plaidoyer au niveau international pour que l'eau constitue une priorité dans les politiques du développement durable et favorise les échanges entre les savoir-faire français et ceux des autres pays. Elle porte avec ses différents membres (État et établissements publics, collectivités, ONG, entreprises, instituts de recherche et de formation ainsi que des experts qualifiés) des messages collectifs pour l'eau dans des enceintes internationales telles que les Nations unies, les Conventions climat et biodiversité, les Forums politiques de haut niveau sur les Objectifs de développement durable.

Retrouvez les activités ainsi que les publications du PFE sur son site internet :

www.partenariat-francais-eau.fr