



Berne, le 2 septembre 2020

---

# **Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?**

Rapport du Conseil fédéral  
en réponse au postulat 18.4211 Thorens  
Goumaz du 12 décembre 2018

---

*Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?*

## **Table des matières**

<b>1</b>	<b>Contexte .....</b>	<b>3</b>
1.1	Mandat.....	3
1.2	Les émissions négatives sont indispensables pour un réchauffement global de 1,5 °C au maximum .....	3
1.3	La Suisse doit réduire à zéro ses émissions nettes de gaz à effet de serre d'ici à 2050 .....	5
<b>2</b>	<b>Potentiel des technologies d'émission négative pour la Suisse .....</b>	<b>7</b>
2.1	Définitions.....	7
2.2	Potentiel pour la Suisse et niveau de développement.....	13
2.3	Conclusions sur le potentiel pour la Suisse .....	26
<b>3</b>	<b>Actions possibles .....</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>31</b>
	<b>Annexe : abréviations .....</b>	<b>32</b>

# 1 Contexte

## 1.1 Mandat

Le texte du postulat 18.4211 Thorens Goumaz déposé le 12 décembre 2018 : « Le Conseil fédéral fournit un rapport dans lequel il montre quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> (captation et stockage ou utilisation de carbone) pour les futures politiques climatiques de la Suisse ». Dans le développement, la conseillère se réfère au Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour préciser que nous ne pouvons faire l'économie de mesures de captage et de stockage ou d'utilisation du CO<sub>2</sub> si nous voulons limiter le réchauffement mondial à 1,5 °C. Comme les émissions négatives de CO<sub>2</sub> posent de grands défis tant sur le plan technique que financier, nous devons évaluer le potentiel ainsi que les bénéfices et les risques associés à ces émissions – étant entendu qu'elles ne doivent en aucun cas remplacer les efforts de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.

Reconnaissant la nécessité d'une telle évaluation et considérant en particulier le potentiel que la communauté scientifique attribue aux technologies d'émission négative pour atteindre les objectifs climatiques internationaux, le Conseil fédéral a proposé le 20 février 2019 d'accepter le postulat. Le Conseil national l'a adopté le 22 mars 2019.

## 1.2 Les émissions négatives sont indispensables pour un réchauffement global de 1,5 °C au maximum

En approuvant l'Accord de Paris sur le climat de décembre 2015<sup>1</sup>, la communauté internationale s'est fixé comme objectif de contenir l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels, tout en poursuivant l'action menée pour la limiter à 1,5 °C, étant entendu que cela réduirait sensiblement les risques et les effets des changements climatiques.

Dans son rapport spécial d'octobre 2018 sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels<sup>2</sup> (appelé ci-après « rapport spécial du GIEC »), le GIEC a présenté les avantages significatifs – pour l'homme comme pour l'environnement – d'une limitation du réchauffement planétaire à 1,5 °C plutôt qu'à 2 °C : selon les projections, la limitation à 1,5 °C réduirait plus sensiblement les menaces telles que les phénomènes météorologiques extrêmes, la disparition des espèces et l'acidification des océans, ainsi que les risques concernant la santé humaine, la sécurité alimentaire et l'approvisionnement en eau. Contrastant fortement avec ces projections, la trajectoire actuelle des contributions cumulées des États agissant dans le cadre de l'Accord de Paris, si elle se poursuit, risque d'entraîner un réchauffement climatique d'environ 3 °C<sup>3</sup> – un niveau auquel la bascule abrupte et irréversible des écosystèmes devient vraisemblable<sup>4</sup>.

Aujourd'hui, la température moyenne de la planète est déjà supérieure de 1,1 °C à la celle utilisée pour représenter les conditions préindustrielles<sup>5</sup>. Cette élévation est la conséquence directe des

<sup>1</sup> RS 0.814.012

<sup>2</sup> GIEC, 2018 : 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 du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté. Disponible en anglais sous [www.ipcc.ch/sr15](http://www.ipcc.ch/sr15) (le résumé à l'intention des décideurs est disponible en français sous [www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM\\_fr.pdf](http://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_fr.pdf)).

<sup>3</sup> Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), septembre 2019 : *The Heat is On – Taking Stock of Global Climate Ambition*. Disponible en anglais sous <https://unfccc.int/fr/node/200124>.

<sup>4</sup> Se reporter par exemple à T. M. Lenton et. al., 2019 : *Climate tipping points – too risky to bet against*. Nature 575, 592–595. doi:10.1038/d41586-019-03595-0.

<sup>5</sup> Cf. communiqué de presse du 15 janvier 2019 de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) : <https://public.wmo.int/fr/medias/communiqués-de-presse/l'omm-confirme-que-2019-se-classe-au-deuxième-rang-des-années-les-plus>

## Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

émissions de gaz à effet de serre dues aux activités humaines (émissions anthropiques), en particulier les émissions de CO<sub>2</sub> générées par la combustion d'agents énergétiques fossiles tels que le charbon, le pétrole et le gaz naturel. Pour stabiliser le réchauffement climatique, ces émissions doivent être limitées, c'est-à-dire contenues à l'intérieur d'un « budget de CO<sub>2</sub> ».

Selon les estimations du GIEC, le budget mondial de CO<sub>2</sub> qui permettrait encore de limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C est d'environ 500 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>. Comme les émissions de CO<sub>2</sub> de ces dernières années s'élèvent à près de 40 milliards de tonnes par an, ce budget pourrait être totalement épuisé d'ici une dizaine d'années. Il est donc urgent que les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> décroissent massivement : selon les trajectoires d'émissions présentées dans le rapport spécial du GIEC, il faudrait que les émissions anthropiques mondiales nettes de CO<sub>2</sub> diminuent d'environ 45 % depuis les niveaux de 2010 jusqu'en 2030, deviennent égales à zéro vers 2050 et soient ensuite négatives dans la plupart des cas (Figure 1). C'est le seul moyen de limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C avec un degré de probabilité suffisamment élevé. Les émissions anthropiques d'autres gaz à effet de serre tels que le méthane (CH<sub>4</sub>) et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) issus de l'agriculture doivent elles aussi décroître rapidement.

L'objectif de zéro émission nette vise une situation d'équilibre entre le volume de CO<sub>2</sub> rejeté dans l'atmosphère et le volume de CO<sub>2</sub> retiré de celle-ci et stocké dans des puits naturels ou artificiels. Selon le GIEC, cet objectif nécessite des *émissions négatives* ; ce principe consiste à retirer durablement du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère terrestre par des moyens techniques (on parle également de technologies CDR, *carbon dioxide removal*). L'objectif « émissions nettes négatives » vise une situation dans laquelle le volume de CO<sub>2</sub> retiré durablement de l'atmosphère et stocké dans des puits est supérieur au volume de CO<sub>2</sub> rejeté dans l'atmosphère.

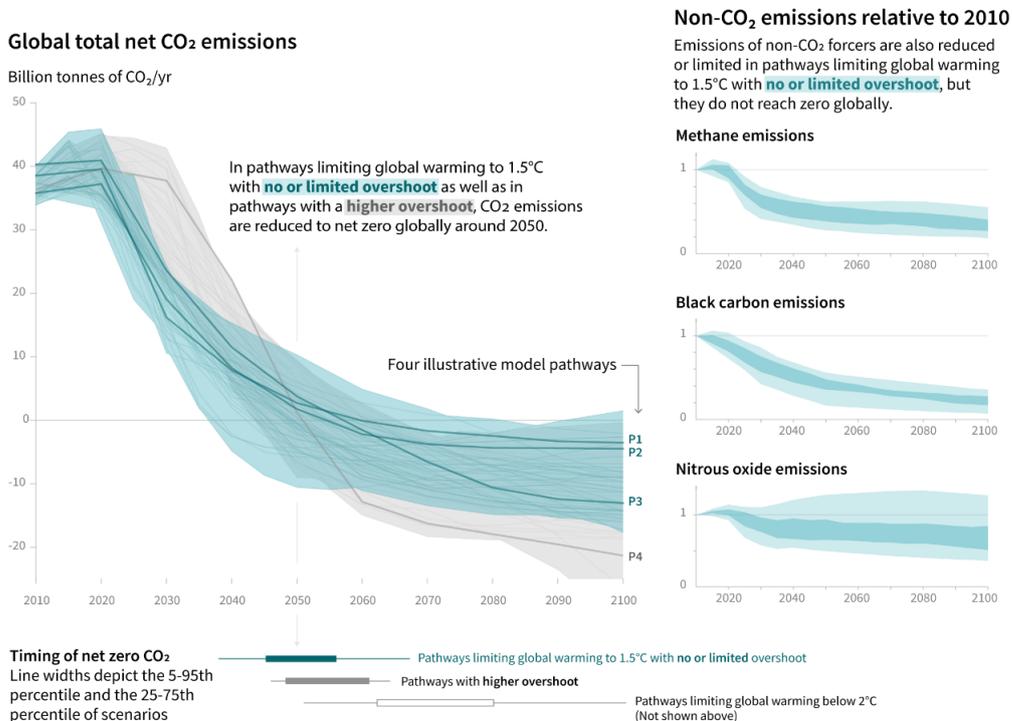
Plus nous tarderons à réduire massivement les émissions de CO<sub>2</sub>, plus le budget de CO<sub>2</sub> sera dépassé rapidement. Nous devons alors produire davantage d'émissions négatives et la probabilité de franchir le seuil de réchauffement de 1,5 °C sera plus élevée – avec toutes les conséquences néfastes qui accompagnent un réchauffement accru. Toutes les trajectoires d'émissions analysées par le GIEC qui limitent le réchauffement planétaire à 1,5 °C font de la production d'émissions négatives une condition préalable indispensable et prévoient l'élimination de 100 à 1000 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> au cours de ce siècle (soit 2,5 à 25 fois le volume actuel des émissions annuelles de CO<sub>2</sub>). Produire des émissions négatives dans cet ordre de grandeur – sous réserve de faisabilité technique – n'ira pas sans générer des conflits d'objectifs, en particulier dans le domaine de l'utilisation du sol (cf. point 2).

Selon l'état actuel des connaissances, le volume d'émissions négatives potentiellement requis ne peut pas être produit durablement au moyen d'une seule technologie (potentiels limités, conflits d'utilisation, effets secondaires indésirables) mais nécessite une vaste palette de procédés à l'échelle planétaire (cf. point 2). Il existe toutefois un fossé important entre le besoin mondial d'émissions négatives, qui va croissant d'après les trajectoires d'émissions du GIEC, et les avancées actuelles en termes de recherche, de développement et de pénétration de marché. En l'absence de conditions générales favorables, ce fossé pourrait être impossible à combler dans le temps imparti. Des incitations réglementaires bien définies pourraient en revanche ouvrir de vastes champs de développement et de commercialisation pour les acteurs innovants des domaines de la recherche et de l'économie, qui pourraient ainsi soutenir la croissance de la demande mondiale d'émissions négatives (cf. point 3). Les États en avance dans ce domaine pourraient aider les autres pays ainsi que les institutions internationales à développer les capacités requises en matière d'émissions négatives.

Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

## Global emissions pathway characteristics

General characteristics of the evolution of anthropogenic net emissions of CO<sub>2</sub>, and total emissions of methane, black carbon, and nitrous oxide in model pathways that limit global warming to 1.5°C with no or limited overshoot. Net emissions are defined as anthropogenic emissions reduced by anthropogenic removals. Reductions in net emissions can be achieved through different portfolios of mitigation measures illustrated in Figure SPM.3b.



**Figure 1 :** Le budget mondial de CO<sub>2</sub> qui permettrait de maintenir le réchauffement climatique à 1,5 °C est limité. Les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> doivent donc suivre une trajectoire permettant d'atteindre le zéro émission nette d'ici à 2050, puis devenir négatives dans la plupart des cas. Pour cela, il faut, d'une part, réduire massivement les émissions de CO<sub>2</sub> et, d'autre part, extraire le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère en grande quantité grâce à des technologies d'émission négative. Les émissions d'autres gaz à effet de serre tels que le méthane et le protoxyde d'azote doivent elles aussi décroître rapidement. Source : GIEC, 2018

## 1.3 La Suisse doit réduire à zéro ses émissions nettes de gaz à effet de serre d'ici à 2050

En ratifiant l'Accord de Paris en octobre 2017, la Suisse s'est engagée à réduire de moitié ses émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2030 par rapport à leur niveau de 1990. Cet objectif de réduction figure dans le projet actuel de révision totale de la loi du 23 décembre 2011 sur le CO<sub>2</sub><sup>6</sup>. Se basant sur le rapport spécial du GIEC, le Conseil fédéral a décidé lors de sa séance du 28 août 2019 de revoir cet objectif à la hausse, en visant un objectif de zéro émission nette à partir de 2050<sup>7</sup>. La compensation des émissions restantes, issues notamment de l'agriculture, de l'incinération des déchets et de la production de ciment, devra être assurée par l'utilisation de puits naturels et artificiels. La Suisse entend ainsi contribuer aux efforts internationaux destinés à limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C. Pour l'heure, l'objectif de zéro émission nette à l'horizon 2050 (ou « objectif climat 2050 ») n'est pas juridiquement contraignant ; il est fixé à titre indicatif.

<sup>6</sup> RS 641.71 ; objet du Conseil fédéral 17.071

<sup>7</sup> Cf. Communiqué de presse du Conseil fédéral du 28 août 2019 : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/communiques/msg-id-76206.html>.

## Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

L'initiative populaire pour un climat sain (Initiative pour les glaciers) lancée le 27 novembre 2019 demande que l'objectif de zéro émission nette soit inscrit dans la Constitution. Si le Conseil fédéral est favorable à cette proposition, il est en revanche opposé à l'interdiction générale des énergies fossiles et à l'exigence selon laquelle les exceptions à cette interdiction devront impérativement être neutralisées par des puits situés en Suisse. Considérant cela, le Conseil fédéral a décidé lors de sa séance du 3 avril 2020 d'opposer à l'initiative un contre-projet direct et a ouvert pour cela une procédure de consultation le 2 septembre 2020.

L'objectif climat 2050 constitue la pierre angulaire de la Stratégie climatique 2050 que la Suisse doit soumettre au Secrétariat de l'ONU sur les changements climatiques d'ici à la fin 2020<sup>8</sup>. Cette stratégie à long terme doit montrer de quelle manière la Suisse peut atteindre l'objectif annoncé, quelles mesures elle doit mettre en œuvre pour y parvenir et comment les émissions doivent évoluer d'ici là dans les différents secteurs. Elle doit également se pencher sur le rôle des émissions négatives dans la réalisation de l'objectif. Sans anticiper le contenu de la stratégie à long terme, il est déjà possible d'énoncer ce qui suit concernant l'évolution des émissions en Suisse et le besoin potentiel en émissions négatives en 2050<sup>9</sup> :

- La priorité doit être donnée à la réduction aussi complète que possible des émissions de gaz à effet de serre issues des énergies fossiles. Sont particulièrement concernés les secteurs du bâtiment, de la mobilité et de l'industrie, pour lesquels il existe aujourd'hui déjà des solutions de substitution respectueuses du climat. Ces secteurs doivent supprimer leurs émissions de gaz à effet de serre aussi complètement que possible d'ici à 2050. Les autres émissions de gaz à effet de serre non liées à la demande énergétique qui sont générées par l'agriculture, le secteur des déchets, la production de ciment et les solvants (gaz à effet de serre synthétiques) doivent elles aussi être réduites au maximum.
- Le niveau auquel s'établiront les émissions restantes dépendra du progrès technologique, des futures préférences de la société en matière d'alimentation et des modes de consommation. À l'horizon 2050, les émissions difficilement évitables devraient atteindre en Suisse les ordres de grandeur suivants (en équivalents CO<sub>2</sub> [éq.-CO<sub>2</sub>]) :

production de ciment	environ 2 millions de tonnes d'éq.-CO <sub>2</sub> par an
incinération des ordures ménagères et autres déchets	3 à 3,5 millions de tonnes d'éq.-CO <sub>2</sub> par an
agriculture <sup>10</sup>	environ 4,1 millions de tonnes d'éq.-CO <sub>2</sub> par an
- Ces quelque dix millions de tonnes d'éq.-CO<sub>2</sub> générées chaque année devraient être neutralisées à partir de 2050. Le CO<sub>2</sub> lié à la production de ciment et à l'incinération des ordures ménagères pourrait être capté directement à la source et stocké (lire l'encadré 1 sur les technologies de captage et stockage du CO<sub>2</sub>), tandis que les émissions agricoles devraient être compensées par des émissions négatives (cf. point 2).
- En 2018, les émissions suisses générées par le transport aérien international (mesurées sur la base des quantités de carburant pour avion écoulées en Suisse) se sont élevées à environ 5,7 millions de tonnes d'éq.-CO<sub>2</sub><sup>11</sup>. À partir de 2050, ces émissions devraient être

<sup>8</sup> Conformément à l'art. 4.19 de l'Accord de Paris, toutes les Parties doivent soumettre des stratégies climatiques à long terme au Secrétariat de l'ONU sur les changements climatiques d'ici à la fin 2020.

<sup>9</sup> OFEV, mars 2020 : *Document de travail, Objectif climat 2050 : zéro émission nette de gaz à effet de serre*. Disponible sous [www.bafu.admin.ch/](http://www.bafu.admin.ch/) > Thèmes > Thème Climat > Informations pour spécialistes > Objectif climat 2050.

<sup>10</sup> Cette valeur correspond à l'objectif de la [Stratégie Climat pour l'agriculture](#), qui prévoit de réduire les émissions agricoles de moitié d'ici à 2050 par rapport à leur niveau de 1990 (cf. [www.blw.admin.ch](http://www.blw.admin.ch) > Production durable > Environnement > Climat).

<sup>11</sup> Ce chiffre correspond aux émissions de CO<sub>2</sub>, de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O. Les données de l'inventaire des émissions de gaz à effet de serre sont disponibles sous [www.bafu.admin.ch/fr/inventaire-des-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre](http://www.bafu.admin.ch/fr/inventaire-des-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre). Selon les estimations, l'impact climatique global du transport aérien (à savoir les gaz à effet de serre précités, auxquels s'ajoute l'impact produit par le NO<sub>x</sub>, la vapeur d'eau et les particules de sulfate et de suie) est une à trois fois supérieur aux seules émissions de CO<sub>2</sub> du transport aérien (se référer p. ex. à Urs Neu, 2020 : *Émissions des transports aériens et leur impact sur le climat*. Swiss Academies Communications 15 (9) ; publication disponible sous [www.proclim.ch/id/cSx4y](http://www.proclim.ch/id/cSx4y)).

compensées par le biais d'émissions négatives si elles ne peuvent pas être réduites au moyen de carburants climatiquement neutres ou de moteurs alternatifs et si elles sont intégrées dans l'objectif de zéro émission nette.

- Le Conseil fédéral se réserve la possibilité d'atteindre l'objectif de zéro émission nette d'ici à 2050 notamment par le biais de mesures à l'étranger. Conformément à l'art. 6 de l'Accord de Paris, de telles imputations sont en principe autorisées dans le cadre de coopérations internationales. À titre d'exemple, il pourrait être intéressant pour la Suisse de participer à des projets de puits à l'étranger, attendu que son propre potentiel est limité et que l'acceptation de cette technologie par la société suisse n'est pas encore acquise.
- Le Conseil fédéral ne s'est pas encore exprimé sur l'évolution après 2050. Le rapport spécial du GIEC indique toutefois clairement que, pour limiter durablement le réchauffement planétaire à 1,5 °C, le bilan des émissions devra être *négatif* durant la seconde moitié du siècle (cf. point 1.2).

## 2 Potentiel des technologies d'émission négative pour la Suisse

### 2.1 Définitions

Avant de s'intéresser davantage aux émissions négatives, il est essentiel de distinguer clairement les différents moyens de lutte contre le changement climatique. Par analogie avec les définitions de Jan C. Minx *et. al.*<sup>12</sup>, les possibilités de réaction le long de la chaîne causale du changement climatique sont les suivantes (Figure 2) :

1. *Prévention des émissions de gaz à effet de serre* : cette mesure consiste à intervenir à la source afin d'empêcher ou de diminuer les rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Il s'agit en particulier de réduire les émissions provenant des agents énergétiques fossiles et d'autres sources non fossiles telles que l'agriculture (exemples : baisse de la demande, gains en efficacité, passage aux énergies renouvelables, modification des habitudes alimentaires). Il est également possible de capter le CO<sub>2</sub> à la sortie des installations émettrices, notamment les installations de production de ciment ou d'incinération des ordures ménagères, dans le but de le stocker (technologie de captage et stockage du CO<sub>2</sub> ou CCS, *carbon capture and storage*). Dans certaines circonstances, le CO<sub>2</sub> capté peut être utilisé comme une matière première, par exemple dans des matériaux de construction (technologie de captage et utilisation du CO<sub>2</sub> ou CCU, *carbon capture and utilisation* ; lire l'encadré 1).
2. *Extraction du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère grâce aux technologies d'émission négative (NET)* : ces technologies consistent à extraire le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et à le stocker durablement grâce à des procédés biologiques et techniques<sup>13</sup>. Au même titre que les mesures de prévention, les NET combattent la cause du changement climatique, à savoir la concentration accrue de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère par rapport aux niveaux préindustriels. Les mesures de prévention doivent empêcher le CO<sub>2</sub> d'entrer dans l'atmosphère, tandis que les NET doivent l'en extraire.

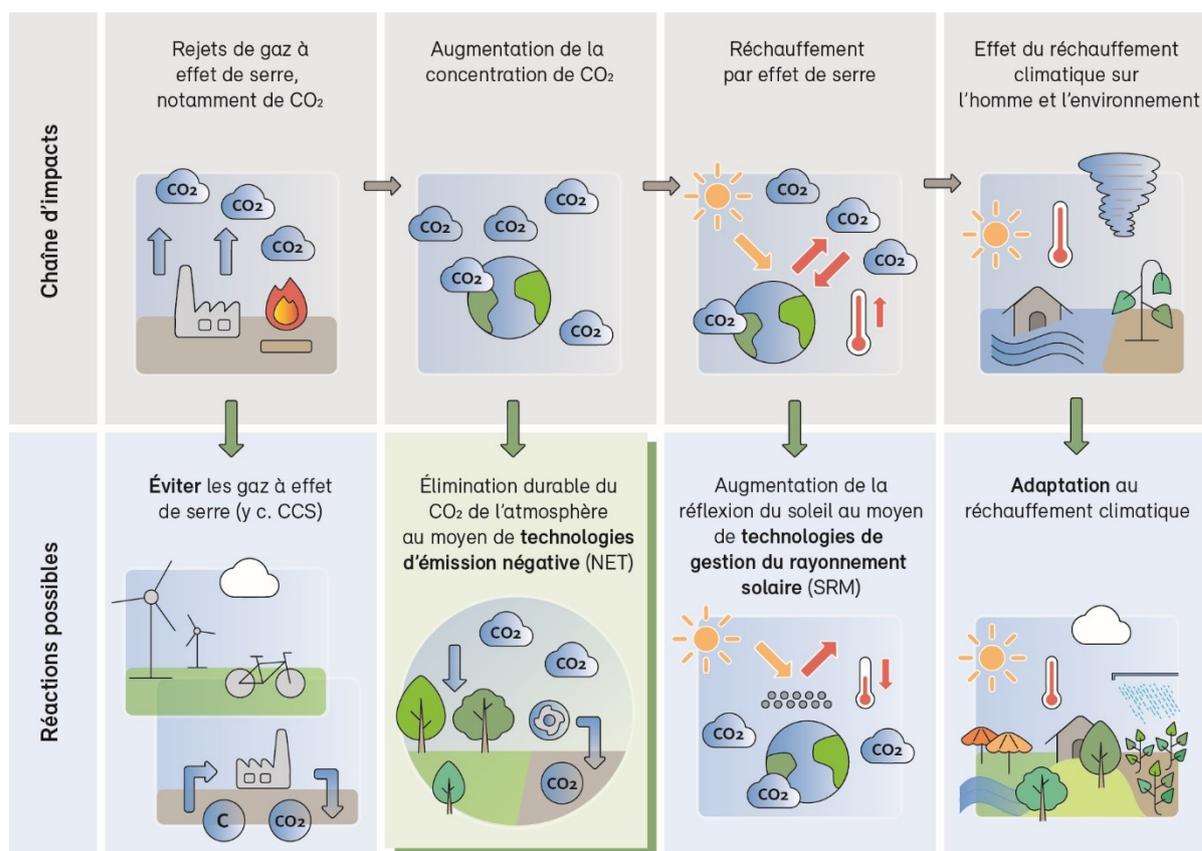
<sup>12</sup> Jan C. Minx *et. al.*, 2018 : *Negative Emissions – Part 1: Reserach landscape and synthesis*. Environmental Research Letters 13, 063001. Disponible sous <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf9b>

<sup>13</sup> Des procédés permettant d'extraire d'autres gaz à effet de serre tels que le méthane sont également à l'étude au niveau international. Comme le CO<sub>2</sub> est le gaz à effet de serre le plus présent dans l'atmosphère mais aussi le plus persistant, le rapport spécial du GIEC et le présent rapport du Conseil fédéral se concentrent toutefois sur l'extraction du seul CO<sub>2</sub>. Par analogie, le terme « CDR » (de l'anglais *carbon dioxide removal*, extraction du dioxyde de carbone) est fréquemment utilisé comme un synonyme de « NET ».

Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

3. **Gestion du rayonnement solaire (SRM)** : cette technologie consiste à augmenter artificiellement la réflexion du rayonnement solaire (p. ex. en introduisant dans l'atmosphère des particules d'air réfléchissantes) afin de lutter contre le réchauffement de la surface terrestre. Contrairement aux mesures de prévention et aux NET, la gestion du rayonnement solaire ou SRM (*solar radiation management*) ne combat pas la cause du changement climatique mais son effet ou son symptôme, ce qui signifie qu'elle n'a pas d'action sur la concentration accrue de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (lire l'encadré 2).
4. **Adaptation** : des mesures d'adaptation doivent permettre à l'homme et à la nature de mieux s'accommoder des effets inévitables du changement climatique (p. ex. gestion de la chaleur et de l'eau face à la multiplication des vagues de chaleur et des périodes de sécheresse).

Les NET et la SRM sont souvent regroupées sous le terme générique « géo-ingénierie », ce qui peut être source d'ambiguïtés et de malentendus. Certes, les NET et la SRM ont en commun de ne pas agir au niveau des sources d'émission mais plus loin dans la chaîne causale du changement climatique (une fois que la concentration de gaz à effet de serre s'est accrue dans l'atmosphère) et de pouvoir théoriquement intervenir à grande échelle dans le système climatique de la Terre. Mais il s'agit de deux concepts si fondamentalement différents qu'il n'est pas opportun de les regrouper : les NET s'attaquent directement à la concentration accrue de CO<sub>2</sub> tandis que les techniques SRM ciblent son effet, à savoir la modification du bilan du rayonnement de la planète (qui est à l'origine de l'élévation de

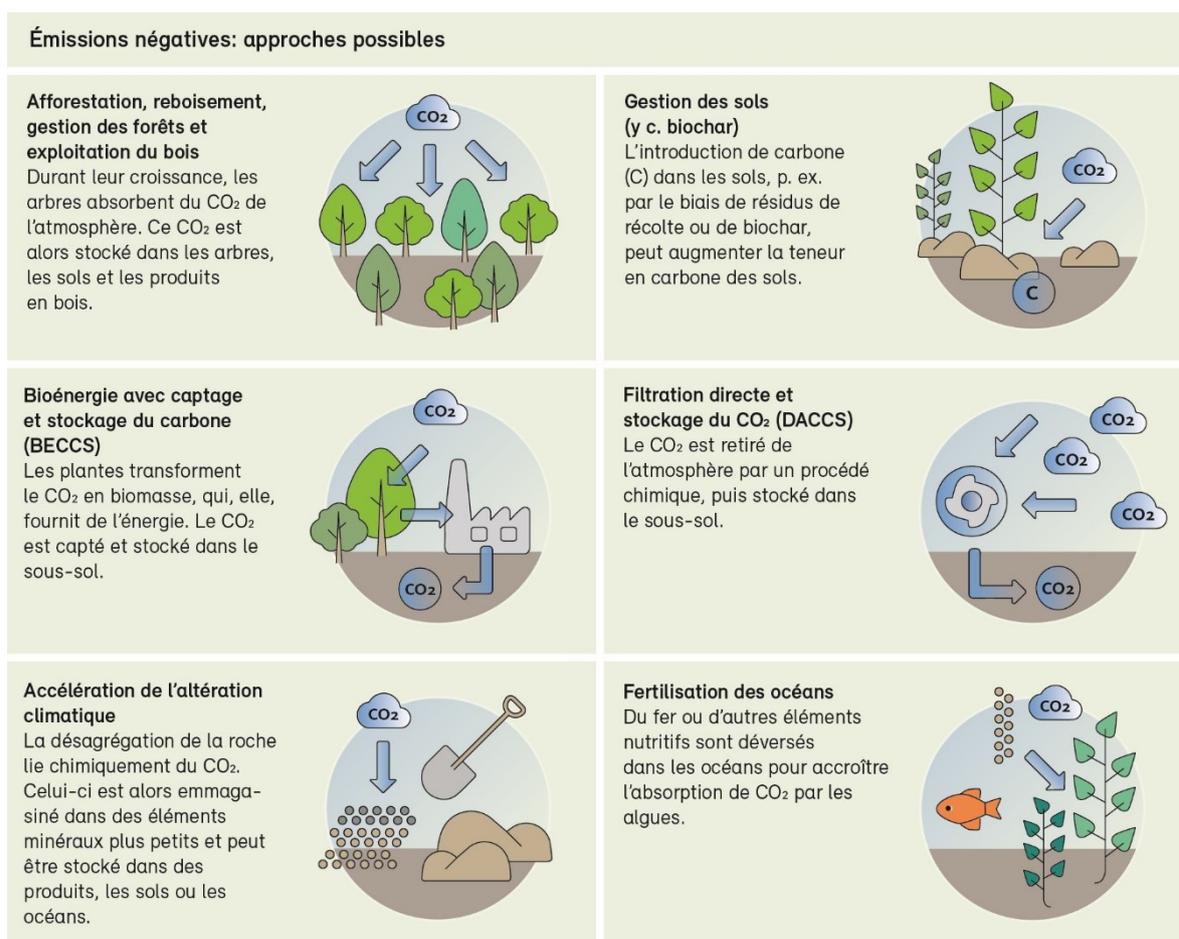


**Figure 2** : L'être humain peut intervenir de différentes façons le long de la chaîne causale du changement climatique. Il peut empêcher que des gaz à effet de serre soient rejetés dans l'atmosphère, d'une part en évitant de produire de telles émissions et, d'autre part, en captant et en stockant durablement les gaz émis (CCS). Il peut utiliser des procédés biologiques et techniques pour extraire activement le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et réduire ainsi sa trop forte concentration (NET). Il peut combattre le symptôme des émissions de gaz à effet de serre, à savoir le réchauffement, en augmentant la réflexion du rayonnement solaire (SRM). Enfin, il peut s'adapter aux effets du réchauffement climatique qui ne peuvent plus être évités. Source : schéma de l'OFEV inspiré de Jan C. Minx et al. (2018).

## Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

la température mondiale). Reconnaisant cette distinction approuvée par de nombreux climatologues, le GIEC a choisi de ne pas employer le terme « géo-ingénierie » dans son rapport spécial et d'évaluer séparément les deux concepts « NET » (synonyme : « CDR ») et « SRM ».

Nous connaissons aujourd'hui déjà une vaste palette de technologies d'émission négative qui utilisent des approches différentes pour extraire le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et le stocker *plus ou moins durablement*. Le CO<sub>2</sub> peut en principe être absorbé par la biomasse via la photosynthèse ou être capté au moyen de procédés chimiques (filtrage de l'air ou fixation dans des matières minérales). Il est ensuite possible de stocker le CO<sub>2</sub> – ou, selon le procédé, uniquement le carbone (C) – dans la biomasse de surface (p. ex. le bois), dans le sol, dans le sous-sol géologique, dans des matières minérales ou dans des fonds marins (Figure 3). Les approches pertinentes pour la Suisse sont



**Figure 3 :** Plusieurs approches permettent d'extraire le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. L'une consiste à fixer le CO<sub>2</sub> dans la biomasse par différents moyens : gestion forestière active avec exploitation du bois, gestion active du sol, apport de charbon végétal, utilisation de la bioénergie avec captage et stockage du CO<sub>2</sub> (bioenergy with carbon capture and storage, BECCS). Une autre consiste à utiliser des machines pour capter directement le CO<sub>2</sub> contenu dans l'air et le stocker dans le sous-sol (direct air carbon capture and storage, DACCS). Une troisième vise à accélérer les processus naturels d'altération qui fixent chimiquement le CO<sub>2</sub> dans les roches. Pour que ces approches produisent des émissions négatives, il est impératif que le CO<sub>2</sub> soit stocké de façon durable – ce qui est difficile à garantir, en particulier dans les domaines de la gestion des forêts et des sols. Les approches discutées ne sont pas encore suffisamment éprouvées ou leur effet sur le climat est trop faible. Source : schéma de l'OFEV inspiré du Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC)<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Cf. [www.mcc-berlin.net/forschung/kurzdoessiers/negativeemissionen.html](http://www.mcc-berlin.net/forschung/kurzdoessiers/negativeemissionen.html).

Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

détaillées au point 2.2. Pour que les émissions négatives aient un impact à long terme sur le climat, il est impératif que le CO<sub>2</sub> soit stocké durablement : à titre de comparaison, le CO<sub>2</sub> stocké dans la biomasse forestière ou dans la couche d'humus a plus de risque de retourner dans l'air que le CO<sub>2</sub> stocké dans le sous-sol profond ou dans des matières minérales, par exemple à la suite d'un événement exceptionnel (incendie de forêt, p. ex.) ou en cas d'exploitation intensive du sol. Les approches discutées ne sont pas encore suffisamment éprouvées ou leur effet sur le climat est trop faible (cf. point 2.2).

**Encadré 1 : Les technologies CCUS servent-elles à retarder, éviter, recycler ou rendre négatives les émissions de CO<sub>2</sub> ? Tout dépend de la source de CO<sub>2</sub>.**

Les technologies de captage, d'utilisation et de stockage du CO<sub>2</sub> (CCUS, *carbon capture, utilisation and storage*) regroupent :

- la technologie CCS (*carbon capture and storage*) qui consiste à capter le CO<sub>2</sub> à la source ou dans l'atmosphère puis à le stocker à long terme et
- la technologie CCU (*carbon capture and utilisation*) qui consiste à capter le CO<sub>2</sub> puis à l'utiliser comme matière première.

Ces technologies ne sont pas toujours des technologies d'émission négative (NET) à proprement parler. Tout dépend de la source d'émission du CO<sub>2</sub> capté.

Appliquée aux émissions de CO<sub>2</sub> **d'origine fossile** (provenant p. ex. de centrales thermiques à combustibles fossiles ou d'installations d'incinération des déchets) ou géogène (provenant p. ex. d'installations de production de ciment), la technologie CCS permet **d'éviter les émissions de CO<sub>2</sub>**. Elle vise à ne pas rejeter dans l'atmosphère du CO<sub>2</sub> initialement contenu dans le sous-sol.

Appliquée aux émissions de CO<sub>2</sub> **d'origine biologique**, par exemple à la part biogène des émissions des usines d'incinération des ordures ménagères. La technologie CCS entraîne alors la **production d'émissions négatives** (en recourant à la technologie BECCS [*bioenergy with carbon capture and storage*]). Dans ce cas, le CO<sub>2</sub> a été préalablement extrait de l'atmosphère et stocké par les végétaux, eux-mêmes utilisés comme combustibles.

Le **captage direct du CO<sub>2</sub> présent dans l'air** associé à un stockage permanent des émissions (DACCS, *direct air carbon capture and storage*), sous réserve que la production d'électricité et de chaleur nécessaire au procédé soit également décarbonée, entraîne lui aussi la production **d'émissions négatives**.

Il existe actuellement dans le monde une vingtaine de sites de production de gaz naturel et de sites industriels (production d'hydrogène, produits chimiques) qui, grâce à la technologie CCS, captent et stockent environ 40 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an ; d'autres sites sont en construction ou planifiés<sup>15</sup>. Une partie du CO<sub>2</sub> ainsi capté est utilisée dans l'industrie pétrolière. Il est injecté dans des gisements pétroliers en exploitation pour augmenter la quantité de pétrole brut qui peut en être extrait (*enhanced oil recovery*). Si le CO<sub>2</sub> ainsi capté est certes stocké à long terme, son utilisation conduit à la production de pétrole brut et donc *in fine* à des émissions de CO<sub>2</sub>, le stockage net du CO<sub>2</sub> n'ayant lieu que dans des circonstances particulières rares.

Le CO<sub>2</sub> capté peut aussi être utilisé comme matière première pour fabriquer des carburants, des combustibles ou d'autres produits riches en carbone (CCU), dans une logique **d'économie circulaire du CO<sub>2</sub>**. Citons par exemple la technologie **Power-to-X**, qui utilise du CO<sub>2</sub>, de l'eau et de l'électricité pour produire du méthane et des produits chimiques. Si le CO<sub>2</sub> utilisé comme matière

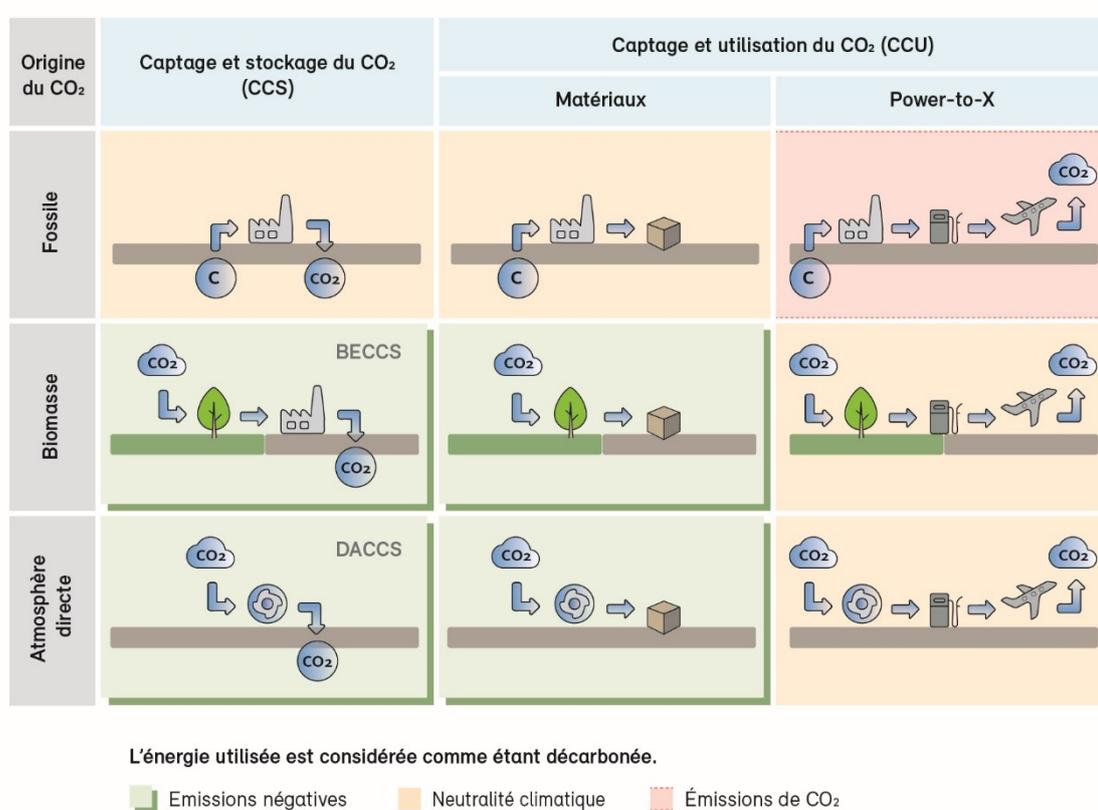
<sup>15</sup> Global CCS Institute, 2019 : *The Global Status of CCS: 2019*. Disponible en anglais sous [www.globalccsinstitute.com/resources](http://www.globalccsinstitute.com/resources).

Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

première a été capté dans l'atmosphère ou s'il provient de la biomasse, le procédé peut devenir climatiquement neutre.

L'utilisation de la technologie CCU doit être replacée dans un contexte d'analyse du cycle de vie. Pour que les produits ne génèrent pas d'émissions différées de CO<sub>2</sub>, l'électricité nécessaire à leur fabrication doit avoir une origine renouvelable ou décarbonée. Comme cette ressource n'est disponible qu'en quantité limitée, l'utilisation de cette technologie doit être réservée principalement à la substitution des émissions difficilement évitables (comme celles de l'aviation p. ex.).

Lorsque le CO<sub>2</sub> est **utilisé et stocké à long terme dans des matériaux de construction**, il est nécessaire de distinguer son origine. S'il provient de sources fossiles (ou géogènes), l'utilisation de la technologie CCU permet d'atteindre, au mieux, la neutralité climatique. S'il est retiré de l'atmosphère, elle permet la production d'émissions négatives.



**Figure 4 :** Les technologies de captage, d'utilisation et de stockage du CO<sub>2</sub> (CCUS) peuvent avoir un impact très différent sur le climat selon l'origine du CO<sub>2</sub> capté et sa durée de stockage. S'agissant du CO<sub>2</sub> d'origine fossile ou géogène issu de la production de ciment, elles peuvent au mieux empêcher les émissions (stockage dans le sous-sol ou dans des matériaux à longue durée de vie tels que les matériaux de construction ; zéro émission nette) et pour le moins les retarder par une application Power-to-X (p. ex. utilisation intermédiaire comme carburant). S'agissant du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère fixé dans la biomasse (BECC) ou capté directement dans l'air (DACCS), elles peuvent au mieux produire des émissions négatives (stockage dans le sous-sol ou dans des matériaux à longue durée de vie) et pour le moins faire une utilisation intermédiaire du CO<sub>2</sub> capté avec une technologie Power-to-X avant de le rejeter à nouveau dans l'atmosphère (zéro émission nette). Les utilisations intermédiaires du CO<sub>2</sub> atmosphérique, comme carburant ou comme matériau à courte durée de vie, pourraient constituer la base d'une économie circulaire du CO<sub>2</sub> respectueuse du climat ; elles ne produisent toutefois aucune émission négative. Source : schéma de l'OFEV.

*Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?*

Le captage du CO<sub>2</sub> à la source nécessite moins d'énergie que son captage dans l'atmosphère et il est meilleur marché. En dehors de tout autre critère (comme le lieu de stockage p. ex.), le captage à la source du CO<sub>2</sub> d'origine fossile ou géogène est l'option la moins cher.

Quelle que soit la technologie de captage utilisée, la **durée du stockage** est un point essentiel. Le CO<sub>2</sub> doit en effet être stocké sur le long terme (plusieurs décennies au minimum) pour que les technologies CCUS contribuent réellement à la réduction des émissions. Cette « permanence » n'est pas nécessairement atteinte avec tous les procédés CCU, notamment avec la production de carburants ou de combustibles.

**Encadré 2 : La gestion du rayonnement solaire (SRM) vise à refroidir la Terre, sans toutefois produire aucune émission négative. Une approche incertaine qui reste à tester.**

La SRM a pour ambition de diminuer le rayonnement solaire reçu à la surface de la Terre, par exemple grâce à l'introduction dans l'atmosphère de particules d'air réfléchissantes. En théorie, cette technologie pourrait contribuer à limiter temporairement le réchauffement climatique (tant que cette mesure est maintenue). Elle ne produit toutefois aucune émission négative puisqu'elle ne consiste pas à extraire le CO<sub>2</sub> de l'air mais à modifier le bilan de rayonnement de la planète. Les incertitudes scientifiques liées à son application et aux risques possibles pour l'être humain et l'environnement sont toutefois conséquentes et insuffisamment étudiées. Considérant cela, les Académies suisses des sciences estiment que pour l'instant, l'utilisation de la SRM au-delà des applications locales ne peut être justifiée<sup>16</sup>. Les techniques SRM n'auraient par ailleurs aucun impact positif sur l'acidification des océans résultant des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>, puisqu'elles combattent le symptôme (réchauffement) mais pas la cause (émissions de gaz à effet de serre). La gestion du rayonnement solaire n'a été prise en compte dans aucune des trajectoires d'émissions modélisées par le GIEC (cf. point 1.2).

Au plan international, l'expansion des dommages climatiques augmente le risque de voir des États, des acteurs économiques et même des particuliers utiliser de façon unilatérale et non coordonnée des technologies risquées et à peine testées – en particulier des technologies SRM – avec de graves conséquences possibles pour l'environnement et pour de larges couches de la population. Dans ce contexte, il est important que les instances internationales concernées s'emploient à clarifier les opportunités et les risques des technologies SRM et NET, ainsi que les lacunes de connaissances, et discutent d'approches garantissant une gouvernance internationale efficace pour la recherche, l'application et le contrôle de ces technologies. C'est précisément dans cette optique que la Suisse, à l'occasion de la quatrième assemblée générale du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) qui a eu lieu en mars 2019, a déposé une résolution demandant que le PNUE réalise à l'intention des États membres une étude sur le potentiel, les risques et les besoins de gouvernance relatifs à différentes technologies (CDR, NET et SRM). Cette demande n'ayant pas encore fait l'objet d'un consensus, la Suisse et d'autres pays continuent d'œuvrer pour que le PNUE réalise une telle étude et, ce faisant, enclenche un processus de discussions multilatérales sur la gouvernance (cf. point 3). En parallèle, la Suisse s'est engagée à ce que le GIEC se saisisse de la question de la gouvernance des NET et de la SRM et a concrétisé son soutien en finançant une étude du Centre international de gouvernance des risques (IRGC) de l'École polytechnique fédérale de Lausanne<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> Académies suisses des sciences, 2018 : *Inverser les émissions ou influencer le rayonnement solaire : La « géo-ingénierie » est-elle raisonnable, réalisable et, si oui, à quel prix ?* Disponible sous [www.proclim.ch/id/hWSRV](http://www.proclim.ch/id/hWSRV).

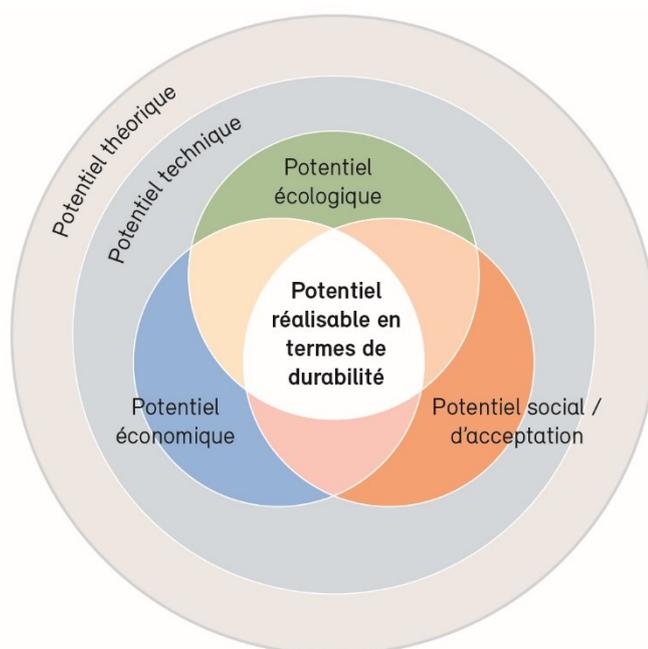
<sup>17</sup> IRGC, 2020 : *International governance issues on climate engineering. Information for policymakers*. Rapport sur mandat de l'OFEV. Disponible sous [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch) > Thèmes > Thème Affaires internationales > Publications et études > Études.

Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

## 2.2 Potentiel pour la Suisse et niveau de développement

Selon les estimations actuelles, plusieurs moyens pourraient permettre à la Suisse d'extraire le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et de le stocker *plus ou moins durablement* : meilleure gestion des forêts et des sols, apport de charbon végétal, utilisation de technologies BECCS et DACCS, accélération du processus d'altération du ciment. Les émissions négatives résultant du stockage *durable* du CO<sub>2</sub> pendant plusieurs décennies ou, mieux encore, pendant plusieurs siècles pourraient apporter une contribution à la réalisation de l'objectif de zéro émission nette à l'horizon 2050 (cf. point 1.3).

Si certaines approches telles que le boisement ou le reboisement sont déjà bien connues, d'autres telles que la technologie DACCS sont encore balbutiantes. La capacité des différentes approches à produire des quantités substantielles d'émissions négatives d'ici à 2050 dépend non seulement de leur potentiel *théorique* (limites de la physique et de la chimie) et de leur potentiel *technique* (état actuel de la recherche) mais aussi, de façon significative, de leurs potentiels *économique* (conditions économiques et réglementaires générales), *écologique* (ne pas porter atteinte aux écosystèmes) et *social* (acceptation par la société). Ces cinq critères déterminent le *potentiel durablement réalisable*, qui peut varier avec le temps – par exemple en fonction des évolutions techniques, économiques et sociales (Figure 5).



**Figure 5 :** La capacité du potentiel théorique des technologies d'émission négative (NET) à se réaliser durablement (potentiel déterminé par les limites de la physique et de la chimie) dépend des évolutions techniques, des limites écologiques, des opportunités économiques et de l'acceptation sociale. Le potentiel durablement réalisable n'est pas une grandeur fixe : il peut croître ou décroître avec le temps selon que les conditions générales sont favorables ou défavorables. Il existe actuellement plusieurs barrières qui font obstacle à la réalisation durable d'une part aussi grande que possible du potentiel théorique des NET.

Dans son rapport commandé par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), la fondation Risiko-Dialog a fait le point sur l'état actuel (2019) des connaissances relatives à l'application des NET en Suisse<sup>18</sup>. Sur la base des indications fournies par les parties prenantes, elle estime que la Suisse dispose au total d'un potentiel de puits *théorique* à long terme d'environ six millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Le potentiel effectivement *réalisable*, difficile à quantifier précisément, devrait toutefois être nettement inférieur ; il dépend de l'évolution des technologies, mais aussi des conditions-cadres

<sup>18</sup> Fondation Risiko-Dialog, 2019 : *The Role of Atmospheric Carbon Dioxide Removal in Swiss Climate Policy*. Rapport sur mandat de l'OFEV. Disponible sous [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch) > Thèmes > Thème Climat > Publications et études > Études.

## *Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?*

économiques et réglementaires, d'aspects écologiques et de l'acceptation des NET par la société suisse.

S'appuyant sur les estimations des Académies suisses des sciences<sup>19</sup>, la fondation Risiko-Dialog estime que le coût actuel d'une tonne de CO<sub>2</sub> extraite de l'atmosphère est compris entre zéro et plus de 1000 francs, les approches biologiques ayant tendance à être meilleur marché. Avec le temps, les fourchettes de coûts peuvent évoluer à la hausse (p. ex. en raison des quantités limitées de biomasse disponible) ou à la baisse (p. ex. en raison des progrès techniques et des effets d'échelle).

Les potentiels estimés pour 2050 sur la base des connaissances actuelles (effet de puits annuel) sont présentés dans le tableau 1 avec leur coût respectif. Comme les approches biologiques sont en situation de concurrence pour l'utilisation du sol et de la biomasse, leurs potentiels se chevauchent partiellement, si bien qu'il n'est pas possible de les additionner tels quels. Cet aspect a été pris en compte pour estimer le potentiel total, dans le sens d'une approche portefeuille.

Les différentes approches, avec leur potentiel et l'état de leur développement en Suisse, sont décrites ci-après de façon plus détaillée. Comme une mise en œuvre à l'étranger (p. ex. dans le cadre de coopérations internationales régies par l'art. 6 de l'Accord de Paris) peut en principe être imputée à l'objectif de la Suisse, à savoir zéro émission nette d'ici à 2050, les potentiels éventuellement exploitables à l'étranger sont également pris en considération. Le rapport de la fondation Risiko-Dialog donne un aperçu complet de la situation du point de vue des parties prenantes suisses. Le rapport spécial du GIEC fournit pour sa part une vue d'ensemble des potentiels, des coûts, des opportunités et des risques associés aux NET à l'échelle planétaire<sup>20</sup>.

---

<sup>19</sup> Académies suisses des sciences, 2018

<sup>20</sup> Cf. GIEC, 2018, chap. 4 (*Strengthening and Implementing the Global Response*), section 4.3.7 (Carbon Dioxide Removal CDR).

Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

**Tableau 1** : Les effets de puits théoriques, données par an et par NET, sont calculés sur la base des indications fournies par différentes parties prenantes (fondation Risiko-Dialog, 2019). Comme les approches biologiques sont en situation de concurrence pour l'utilisation du sol et de la biomasse, leurs potentiels se chevauchent partiellement, si bien qu'il n'est pas possible de les additionner tels quels. Les puits de carbone que constituent les forêts, le bois et les sols peuvent, après quelques décennies seulement, atteindre un niveau ne permettant plus de stockage supplémentaire. Dans certaines circonstances, ils peuvent même devenir à leur tour des sources d'émission de CO<sub>2</sub>. S'agissant de la technologie DACCS, la grandeur indiquée est le potentiel théorique total de stockage géologique du CO<sub>2</sub> en Suisse ; seule une part infime de ce potentiel annuel pourrait être réalisée, pour autant que les puits géologiques en Suisse puissent être desservis. Les coûts présentés sont des estimations réalisées par les Académies suisses des sciences<sup>21</sup>.

<b>Technologie d'émission négative</b>	<b>Potentiel théorique en Suisse en 2050<sup>22</sup></b> (effet de puits annuel considéré séparément pour chaque approche (sauf pour total DACCS) ; des chevauchements sont possibles)	<b>Coût par tonne de CO<sub>2</sub> extraite de l'atmosphère<sup>23</sup></b> (seuil actuel et seuil possible pour demain)
<i>Gestion des forêts et exploitation du bois</i>	3,1 millions de tonnes / an (y c. effet de substitution de 1 à 2 millions de tonnes)	de 1 à 100 francs
<i>Gestion des sols</i>	2,7 millions de tonnes / an (pour quelques décennies)	de 0 à 80 francs
<i>Apport de charbon végétal</i>	2,2 millions de tonnes / an (si la biomasse sèche disponible est utilisée en quasi-totalité)	de 10 à 135 francs
<i>Utilisation de la bioénergie avec captage et stockage du CO<sub>2</sub> (BECCS)</i>	5,1 millions de tonnes / an (si la biomasse sèche disponible est utilisée en totalité)	de 50 à 250 francs
<i>Captage direct du CO<sub>2</sub> de l'air et stockage (DACCS)</i>	2500 millions de tonnes (potentiel théorique <u>total</u> de stockage géologique)	de 40 à 1000 francs
<i>Altération accélérée du ciment</i>	2,5 millions de tonnes / an	de 20 à > 1000 francs
<b>Potentiel théorique total estimé selon les parties prenantes</b> (approche portefeuille, estimation globale sans les chevauchements)	6 millions de tonnes / an	

<sup>21</sup> Académies suisses des sciences, 2018

<sup>22</sup> Fondation Risiko-Dialog, 2019

<sup>23</sup> Académies suisses des sciences, 2018

Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

### **Boisement, reboisement, gestion des forêts et exploitation du bois**

**Définition** : le boisement consiste à garnir d'arbres, par semis ou par plantation, une surface qui n'est plus boisée depuis au moins 50 ans. Si la surface a été boisée au cours des 50 dernières années, on parle de reboisement. La gestion des forêts regroupe toutes les activités qui contribuent à ce que la forêt remplisse ses multiples fonctions. L'exploitation du bois est une activité de gestion des forêts qui consiste à récolter des arbres de manière ciblée afin d'utiliser leur bois en tant que produit ou à des fins énergétiques.

**Potentiel** : une meilleure gestion des forêts avec exploitation du bois peut avoir une action *théorique* de protection du climat correspondant à environ 3 millions de tonnes d'éq.-CO<sub>2</sub> par an (émissions de CO<sub>2</sub> évitées grâce à des effets de substitution, émissions négatives éventuelles)<sup>24</sup>. Cet effet peut être obtenu en valorisant autant que possible le surplus de biomasse, d'abord sous forme de produits ligneux à longue durée de vie et ensuite comme agent énergétique pour la production de courant ou de chaleur (utilisation en cascade). Le bois peut non seulement extraire le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et le stocker sous forme de carbone, mais également être utilisé comme un matériau de construction (à la place du ciment) ou comme un agent énergétique de substitution (pour la production de courant ou de chaleur) et ainsi empêcher des émissions supplémentaires de CO<sub>2</sub> d'origine fossile ou liées à la production de ciment (1 à 2 millions de tonnes d'éq.-CO<sub>2</sub> par an). Les émissions négatives résultent toutefois uniquement du volume supplémentaire de CO<sub>2</sub> stocké durablement dans les produits ligneux et dans les forêts (1 à 2 millions de tonnes d'éq.-CO<sub>2</sub> par an). Si les produits ligneux sont ensuite utilisés à des fins énergétiques, le CO<sub>2</sub> qu'ils contiennent est relâché dans l'air, ce qui produit un effet « zéro émission nette » ; pour des émissions négatives durables, il faut capter le CO<sub>2</sub> au moment de la combustion puis le stocker à long terme dans une formation géologique (BECCS).

Par manque de surfaces libres, les boisements à grande échelle sont impossibles en Suisse. Même la reforestation naturelle de surfaces abandonnées offre peu de potentiel car elle entre en conflit avec d'autres objectifs politiques (création de valeur au niveau régional, aspect du paysage, biodiversité, etc.). On s'attend toutefois à ce que la surface forestière augmente sous l'effet des changements climatiques, puisque la limite de la forêt en zone montagneuse pourrait s'élever de 500 m. Au cours des trente dernières années, la forêt suisse a fixé dans ses arbres et dans son sol près de 2,5 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Les récoltes de bois étant peu importantes, le volume de bois disponible en forêt est déjà relativement conséquent, en particulier dans les secteurs difficiles d'accès. La possibilité de dégager un potentiel supplémentaire en renonçant à exploiter (partiellement) la forêt afin d'augmenter le volume de bois disponible (forêt « puits de carbone ») existe uniquement dans des stations déterminées et pour des peuplements forestiers adaptés. Pour produire des émissions négatives à long terme, il faudrait que les volumes de bois disponibles soient augmentés et préservés dans des stations adaptées, que les récoltes de bois fassent entièrement l'objet d'une utilisation en cascade et que l'utilisation du bois à des fins énergétiques soit combinée au captage et au stockage du CO<sub>2</sub> (BECCS)<sup>25</sup>.

**Risques** : de grands volumes de carbone sont actuellement stockés dans des systèmes biologiques tels que les forêts. Or ce stockage est réversible puisque le carbone peut à nouveau être libéré sous l'effet de processus divers, par exemple à l'occasion d'une perturbation (incendie de forêt, tempête, attaque de nuisibles, sécheresse, etc.) ou suite au vieillissement des peuplements. Selon le processus impliqué dans la dégradation de la biomasse, le carbone peut être relâché très rapidement (incendie de forêt) ou sur une période allant de plusieurs années à plusieurs décennies (dégradation du bois mort). En augmentant les risques de perturbation, l'amplification des changements climatiques pourrait avoir pour effet de transformer certains puits forestiers en sources de carbone, les processus de dégradation devenant plus importants que l'augmentation de la biomasse. Ce risque est

<sup>24</sup> Fondation Risiko-Dialog, 2019

<sup>25</sup> OFEV, 2007 : *Effets de l'économie forestière et de l'industrie du bois suisses sur le CO<sub>2</sub>*. Disponible en allemand sous [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch) > Thèmes > Thème Climat > Publications et études (résumé en français).

## Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

particulièrement grand dans les régions où les peuplements d'arbres sont, aujourd'hui déjà, fortement touchés par la chaleur et la sécheresse. Pour cette raison, il est important de mettre en œuvre des mesures visant à adapter la forêt aux effets des changements climatiques. Parce qu'une forêt a également besoin d'espace, un boisement forcé entrerait en conflit avec d'autres utilisations (p. ex. l'agriculture).

Opportunités, acteurs et obstacles : les approches décrites se distinguent positivement par leurs coûts relativement bas et leur maturité technique ; elles sont éprouvées et connues. Le défi consiste à déterminer leur effet de puits de carbone dans le cadre d'une analyse approfondie du cycle de vie (écobilan considérant les atteintes à l'environnement tout au long du cycle de vie). L'effet de puits doit être évalué globalement pour l'ensemble de la Suisse. Une évaluation fragmentée par surface partielle (forêt) ou par volume partiel (bois) pose des problèmes de délimitation et comporte un risque de double comptage. Bien que la demande de bois soit actuellement considérable en Suisse, les prix pratiqués sont si bas qu'ils ne permettent pas de couvrir les coûts de la récolte de bois dans certaines régions et que la demande doit être satisfaite par des importations. La coordination entre la gestion des forêts et l'utilisation du bois est également compliquée par des échelles de temps différentes : la demande de bois peut évoluer très rapidement en réaction à des tendances à court terme, tandis que la production de bois est dépendante de la croissance des essences demandées. Pour exploiter au mieux le potentiel de stockage de carbone de la gestion des forêts et l'exploitation du bois, il faudrait notamment renforcer la demande de bois suisse, ce qui suppose de coordonner la coopération entre le secteur des forêts et celui du bois.

Étranger : la préservation des surfaces forestières à l'échelle de la planète est un moyen efficace et peu coûteux d'empêcher des émissions considérables. Dans le contexte des négociations internationales sur le climat, l'initiative REDD+ (Réduire les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de la déforestation et de la dégradation des forêts, *Reduction of Emissions from Deforestation and Forest Degradation*) propose un cadre dans lequel il est possible d'empêcher la libération de CO<sub>2</sub> par les forêts tout en obtenant des effets globalement positifs sur la conservation de la biodiversité et sur les bases d'existence de la population locale. Dans son Plan stratégique sur les forêts 2017–2030, l'Organisation des Nations Unies a fixé comme objectif une augmentation de la surface forestière mondiale de 3 % d'ici à 2030, ce qui permettrait d'extraire davantage de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. Comme précédemment, la Suisse peut apporter une contribution majeure à la protection du climat dans le cadre de la coopération au développement et du financement international dans le domaine du climat, à travers des projets visant à reboiser d'anciennes surfaces forestières ou à restaurer des surfaces forestières dégradées. Le boisement de surfaces libres nécessite toutefois de grandes superficies, des droits d'utilisation stables et de l'eau, ce qui peut concurrencer la production de denrées alimentaires dans certains pays. Des puits forestiers situés à l'étranger pourraient contribuer à la réalisation de l'objectif « zéro émission nette » de la Suisse si des mesures étaient mises en œuvre pour garantir la durabilité du stockage de CO<sub>2</sub> dans les forêts (seul moyen de produire des émissions négatives) et si un système de prise en compte reposant sur des mécanismes de mesure et de contrôle établis était instauré.

### Gestion des sols

Définition : la teneur en carbone des sols varie en fonction des intrants (p. ex. apport de lisier et résidus de récolte) et des extrants (p. ex. processus de décomposition). Pour augmenter la teneur en carbone du sol, il faut soit injecter davantage de carbone, soit bloquer les processus de libération du carbone.

Un enrichissement est possible aussi bien dans la couche supérieure (p. ex. fumure organique, résidus de récolte, cultures intercalaires, assolement amélioré, culture de plantes fourragères vivaces, travail réduit du sol, transformation de terres cultivées en surfaces herbagères) que dans le sous-sol (p. ex. culture de plantes à enracinement profond, apport mécanique par labour profond). Une autre

## *Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?*

possibilité pour produire de la biomasse en surface consiste à utiliser des systèmes agro-forestiers (combinaison de la culture agricole et/ou de la détention d'animaux avec l'exploitation d'arbres et d'arbustes sur la même surface), des haies et des bosquets champêtres. L'apport de charbon végétal constitue un cas spécial, décrit séparément plus bas. La plupart des mesures précitées sont déjà utilisées en Suisse pour préserver ou augmenter la fertilité du sol.

**Potentiel** : selon des estimations optimistes, une meilleure gestion des sols sur tout le territoire suisse, associée à des pratiques agricoles adaptées, permettrait théoriquement de stocker dans les sols près de 2,7 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an pendant quelques décennies<sup>26</sup>. Les premières estimations d'Agroscope (centre de compétences de la Confédération pour la recherche agricole) indiquent toutefois que les potentiels réalisables sont nettement inférieurs, la mise en œuvre et l'effet des mesures étant fortement conditionnés par la station considérée et par le mode de gestion à long terme. Une estimation globale est donc peu significative, d'autant que la quantification est empreinte de grandes incertitudes dues notamment à l'absence d'informations détaillées sur la totalité des sols suisses.

En Suisse, les sols organiques exploités (anciens marais) émettent environ 0,6 million de tonnes d'éq.-CO<sub>2</sub> par an. Leur remise en eau et/ou le recours à des utilisations alternatives supportables économiquement et aptes à empêcher la dégradation supplémentaire de la substance organique (p. ex. paludiculture<sup>27</sup>, riziculture inondée) constituent des mesures efficaces de protection du climat. Les sols minéraux drainés, plus nombreux, sont également suspectés de libérer beaucoup de CO<sub>2</sub>, mais ce phénomène n'a encore fait l'objet d'aucune étude approfondie. Si elles ne produisent pas d'émissions négatives, les mesures qui réduisent les pertes de carbone dans les sols drainés contribuent au moins à diminuer le volume d'émissions qu'il faudra compenser par des émissions négatives.

**Risques** : la performance de puits de carbone a un caractère fini : il est limité par le fait que l'enrichissement des sols avec du carbone va créer un nouvel état d'équilibre entre la production et la dégradation de la substance organique. De ce fait, le potentiel de puits annuel peut être exploité uniquement pendant quelques décennies. Au même titre que les puits forestiers, les puits dans les sols sont réversibles. Mais contrairement à la forêt (utilisation du bois en cascade), le sol n'est pas un réservoir de carbone que nous pouvons « vider » sans porter atteinte au climat pour que l'effet de puits de carbone soit maintenu à long terme dans une mesure significative. Le carbone stocké peut être libéré rapidement à la suite d'un changement dans le mode de gestion des sols ou, à long terme, en raison des effets des changements climatiques. Les mesures visant à introduire de la biomasse supplémentaire dans le sol peuvent concurrencer d'autres utilisations de la biomasse (p. ex. installations de méthanisation) ou donner lieu à des excédents d'éléments nutritifs et à des apports de polluants dans le sol.

**Opportunités, acteurs et obstacles** : la teneur du sol en carbone organique (« teneur en humus ») est un indicateur de la fertilité du sol et de sa gestion durable. En plus de leur effet de puits de carbone, les mesures qui favorisent la production d'humus peuvent présenter les avantages suivants : elles augmentent les rendements agricoles, améliorent la perméabilité à l'eau, favorisent la biodiversité des sols et diminuent l'érosion. De nombreuses techniques sont suffisamment mûres pour être mises en œuvre ; certaines sont déjà établies en Suisse et appartiennent à la pratique agricole. Leurs coûts sont souvent plutôt inférieurs à ceux d'autres NET. Dans cette approche, la difficulté consiste à apporter la preuve d'un enrichissement en carbone, vu que le bilan carbone des sols est influencé par une multitude de facteurs et qu'il existe de grandes disparités dans le temps et dans l'espace. Le stockage du carbone dans les sols est une question qui prend de plus en plus d'importance dans les discussions sur la protection du climat car les sols (au même titre que les forêts) peuvent contribuer tout à la fois à empêcher des émissions, à produire des émissions négatives et à favoriser l'adaptation

<sup>26</sup> Fondation Risiko-Dialog, 2019

<sup>27</sup> Gestion en milieu humide de sols organiques préservant la substance organique.

## Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

aux changements climatiques. C'est ainsi notamment que l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG), dans le cadre de projets d'utilisation durable des ressources, s'intéresse aux mesures possibles liées au carbone présent dans les sols<sup>28</sup> et que plusieurs autres acteurs<sup>29</sup> ont lancé des projets spécifiques de gestion des sols. La question de savoir si l'enrichissement des sols avec du carbone constitue une mesure de protection climatique – alors qu'il est actuellement impossible d'estimer son potentiel avec un minimum de certitude – est une question essentielle qui sera discutée jusqu'à l'automne 2021 dans le cadre du postulat 19.3639 « Séquestration du carbone par le sol ».

**Étranger** : parce que les conditions de station à travers le monde varient fortement, au même titre que les facteurs climatiques et socio-économiques, il n'est pas possible d'estimer globalement le potentiel d'un projet de gestion des sols mené à l'étranger. En théorie, de grandes quantités de carbone pourraient être introduites en priorité dans les sols pauvres en nutriments et souvent dégénérés des zones (sub)tropicales. Comme, à certaines conditions, le carbone stocké dans les sols peut être libéré dans l'air sous forme de CO<sub>2</sub>, les projets réalisés à l'étranger ne doivent pas se concentrer exclusivement sur la question climatique ; ils doivent s'intéresser au moins autant à la sécurité alimentaire et donc à la fertilité des sols. Pour l'heure, l'absence d'un mécanisme de mesure et de contrôle efficace et établi dans le monde entier rend incertaine l'imputabilité de ces projets aux objectifs climatiques de la Suisse. Néanmoins, les investissements destinés à la protection des marais intacts ou à la renaturation des marais altérés et des sols organiques utilisés dégénérés – qui représentent à l'échelle de la planète des zones de fortes émissions de CO<sub>2</sub> et, éventuellement aussi, de N<sub>2</sub>O – constituent toujours des mesures efficaces de protection du climat.

### Apport de charbon végétal

**Définition** : le charbon végétal est une biomasse « carbonisée » principalement d'origine végétale. Il existe une multitude de matières premières, de procédés de fabrication et de domaines d'application possibles. Le charbon végétal dont l'apport vise à améliorer le sol et à stocker du carbone est généralement un charbon obtenu par pyrolyse, qui s'est formé à haute température et se caractérise par une forte teneur en carbone. Le charbon végétal peut avoir différents impacts sur le climat (cf. « Potentiel » ci-dessous). En raison de sa stabilité chimique, il reste dans le sol beaucoup plus longtemps que d'autres composés organiques.

**Potentiel** : pour autant que la biomasse durablement exploitable au niveau national soit utilisée en quasi-totalité, l'apport de charbon végétal permettrait en théorie de stocker jusqu'à 2,2 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an<sup>30</sup>. Dans les sols agricoles, il contribuerait par ailleurs à réduire sensiblement les émissions de N<sub>2</sub>O. Dans le futur, des installations de pyrolyse pourraient être couplées avec des réseaux de chauffage à distance et des unités CCS (captage et stockage du CO<sub>2</sub> par pyrogénéation), ce qui permettrait de produire de l'énergie neutre en CO<sub>2</sub> et de générer des émissions négatives à partir du gaz de pyrolyse capté.

**Risques** : la stabilité du charbon végétal dans le sol est déterminante pour son impact sur le climat. Elle dépend de la matière première et du procédé de fabrication et elle est influencée par les propriétés du sol, le climat et la gestion propre au pays. Plusieurs études semblent indiquer que le carbone introduit dans des terres agricoles d'Europe centrale peut se maintenir pendant plusieurs décennies, voire quelques siècles – mais pas pendant des millénaires comme le suggèrent des études antérieures et des analogies avec des sols tropicaux spéciaux (« terra preta »). Il existe par ailleurs un risque que des polluants (p. ex. des hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP, des polychlorobiphényles PCB et des métaux lourds) soient introduits dans le sol avec le charbon végétal. On connaît encore très peu les effets du charbon végétal sur les organismes du sol et on présume

<sup>28</sup> Programme d'utilisation durable des ressources « Humus », offices de l'agriculture et de l'environnement du canton de Soleure, Union soleuroise des paysans (SOBV) ; AgroCO2ncept Flaachthal, association AgroCO2ncept

<sup>29</sup> Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA), myclimate, Terres Vivantes, Ebenrain-Zentrum für Landwirtschaft, Natur und Ernährung, bodenproben.ch ag en collaboration avec CarboCert GmbH

<sup>30</sup> Fondation Risiko-Dialog, 2019

## Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

que son introduction pourrait diminuer l'efficacité de certains produits phytosanitaires. Plusieurs services cantonaux de protection des sols ont exprimé de sérieuses inquiétudes quant à une introduction immédiate à grande échelle (principe de précaution).

Comme la biomasse est un bien dont la disponibilité est limitée, la production de charbon végétal est en concurrence avec d'autres valorisations déjà établies, telles que le compostage, l'utilisation comme engrais de ferme, la production d'énergie et la technologie BECCS. La couleur noire du charbon végétal crée par ailleurs un conflit d'objectifs : les champs plus foncés réfléchissent moins les rayons du soleil, si bien qu'ils chauffent plus rapidement. Cette modification de la réverbération (albédo) sur les surfaces traitées doit encore être étudiée en détail.

De manière générale, la plupart des connaissances disponibles se réfèrent à de courtes périodes d'observation et nous manquons d'études sur les effets à long terme du charbon végétal dans les sols agricoles. En raison de trop nombreuses incertitudes, l'effet climatique ne peut pas encore être décrit avec précision. Pour pouvoir évaluer les observations disponibles, qui sont parfois contradictoires, nous avons besoin d'essais en plein champ étudiant à long terme et simultanément le plus grand nombre d'aspects possibles (parmi lesquels la matière première et le mode de fabrication du charbon végétal, le type et la nature du sol, la modification des propriétés physiques et chimiques du sol, le bilan du carbone et des nutriments, la disponibilité de l'eau, la biologie du sol, le rendement, les émissions de gaz à effet de serre et les polluants) et d'analyses sur le cycle de vie de systèmes globaux<sup>31</sup>.

Opportunités, acteurs et obstacles : dans la pratique actuelle, le charbon végétal est généralement utilisé pour améliorer la fertilité du sol. Mais des essais de production végétale ont montré que les rendements n'augmentent pas dans tous les cas et que l'effet sur les propriétés du sol dépend fortement du type de sol. Il existe également des évaluations contradictoires concernant la capacité de rétention d'eau et l'effet à long terme sur les émissions de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>), qui est tantôt positif, tantôt neutre ou négatif.

En Suisse, la vente de charbon végétal (dont la quantité n'est pas limitée à ce jour) requiert l'octroi d'une autorisation par l'OFAG et suppose que le produit respecte les critères d'obtention du certificat EBC « premium » (*European Biochar Certificate*). Cette exigence de qualité vise à empêcher que des polluants pénètrent dans le sol et s'y accumulent. Le prix de vente d'une tonne de charbon végétal est actuellement de l'ordre de 1000 francs. Ce prix élevé fait obstacle à une utilisation à grande échelle.

L'entreprise bâloise d'approvisionnement en énergie IWB a annoncé qu'à partir de l'hiver 2020/2021 une nouvelle installation de pyrolyse injectera chaque année 2,7 millions de kWh de chaleur dans le réseau de chauffage à distance (ce qui correspond à l'approvisionnement d'environ 300 foyers) et produira près de 570 tonnes de charbon végétal par an. De son côté, la ville de Zurich étudie l'intérêt d'une installation de pyrolyse pour la réalisation de son objectif « zéro émission nette » à l'horizon 2030. En principe, le couplage d'une installation de pyrolyse avec un consommateur d'énergie et une unité CCS offre la possibilité d'exploiter la biomasse de plusieurs façons, tout en stockant du carbone dans le sol et du CO<sub>2</sub> dans le sous-sol profond. Pour exploiter au mieux le potentiel de puits, il faudrait combler les lacunes de connaissances précitées et créer des conditions-cadres favorisant le développement des installations de pyrolyse.

Étranger : il est difficile d'estimer le potentiel de puits que le charbon végétal représente à l'échelle de la planète, car – comme pour le potentiel de stockage dans les sols (voir plus haut) – les analyses se heurtent à la grande diversité des conditions de station, à l'absence d'essais de terrain à grande échelle et à la situation de concurrence entre les différentes utilisations de la biomasse (agriculture, énergie, autres solutions de stockage du CO<sub>2</sub>). Comme il n'existe actuellement aucun mécanisme de

<sup>31</sup> Umweltbundesamt, 2016 : *Chancen und Risiken des Einsatzes von Biokohle und anderer „veränderter“ Biomasse als Bodenhilfsstoffe oder für die C-Sequestrierung in Böden*. Disponible sous [www.umweltbundesamt.de/publikationen/chancen-risiken-des-einsatzes-von-biokohle-anderer](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/chancen-risiken-des-einsatzes-von-biokohle-anderer) (en allemand).

## Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

mesure et de contrôle établi au plan international, une prise en compte dans les objectifs climatiques de la Suisse est incertaine. Quelques projets ciblés menés à l'étranger, qui utilisent le charbon végétal pour le stockage du CO<sub>2</sub>, visent à produire simultanément d'autres effets positifs, par exemple un approvisionnement durable en énergie. Considérant que ces projets vont dans le sens d'une action climatique durable à l'échelle planétaire, la Confédération leur apporte son soutien, notamment dans le cadre de la plate-forme REPIC<sup>32</sup>.

### Utilisation de la bioénergie avec captage et stockage du CO<sub>2</sub> (BECCS)

**Potentiel** : la technologie BECCS combine l'utilisation de la bioénergie (chaleur et électricité) – par exemple dans une centrale thermique à bois – avec un procédé connu mais encore peu utilisé dans le monde qui consiste à capter le CO<sub>2</sub> à la sortie de la cheminée puis à le stocker dans le sous-sol profond (CCS). Si la biomasse durablement exploitable<sup>33</sup> était entièrement utilisée ainsi, elle offrirait une capacité de stockage théorique de 5,1 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an<sup>34</sup>. Dans ce cas toutefois, les autres approches biologiques telles que l'exploitation des forêts et l'utilisation du bois ou l'apport de charbon végétal n'offriraient aucun potentiel de puits *supplémentaire* puisque la biomasse disponible serait déjà entièrement accaparée par la technologie BECCS.

En Suisse, la biomasse est déjà utilisée à des fins énergétiques dans des installations d'incinération des ordures ménagères (environ 50 % de déchets biogènes, représentant 2,1 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an), des installations de traitement des eaux usées, des centrales thermiques à bois, des réseaux de chauffage à bois et des installations de méthanisation. Le CO<sub>2</sub> émis par ces installations pourrait être capté et stocké via un procédé BECCS. Si du charbon végétal était produit à grande échelle à l'avenir, le CO<sub>2</sub> contenu dans les gaz de pyrolyse pourrait lui aussi être stocké durablement via un procédé BECCS.

**Risques** : l'exploitation à grande échelle de la biomasse par la technologie BECCS est en conflit avec d'autres besoins, en particulier avec les besoins en terres, en eau et en nutriments de la production de denrées alimentaires. Si nous voulons minimiser les dégâts aux écosystèmes et aux animaux, la biomasse doit nécessairement provenir de sources durables. Par ailleurs, la technologie CCS consomme de l'énergie sous forme de chaleur, d'électricité et de matières premières (p. ex. pour d'éventuels pipelines de CO<sub>2</sub>) : pour que la contribution à la protection du climat soit maximale, cette énergie doit être produite dans le plus grand respect du climat. La contribution climatique effective ne peut être déterminée que sur la base d'analyses complètes du cycle de vie réalisées tout au long de la chaîne de production, ce qui suppose de régler au préalable d'importantes questions de délimitation.

Si le sous-sol suisse dispose d'un potentiel de stockage *théorique* de 2500 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> – principalement sur le Plateau, dans des aquifères salins à 800–2500 m de profondeur (strates rocheuses perméables dont les pores et les fissures sont parcourus par de l'eau salée)<sup>35</sup> –, le potentiel *réalisable* (puits de carbone annuel réalisable) est encore inconnu, faute d'essais sur le terrain. Des essais contrôlés, réalisés sur le terrain selon des standards internationaux établis, doivent d'abord apporter la preuve qu'il est possible d'injecter du CO<sub>2</sub> dans des formations géologiques en Suisse ; dans le cadre de ces essais, il faut également étudier et réduire au maximum les dangers possibles, par exemple les vibrations et les fuites de CO<sub>2</sub>. Pour le moment, il n'existe aucun programme d'encouragement public ni aucune incitation réglementaire pour soutenir l'exploration du potentiel national de stockage géologique du CO<sub>2</sub>. Des activités de recherche sont toutefois déjà

<sup>32</sup> REPIC : Promotion des énergies renouvelables, de l'efficacité énergétique et de l'efficacité de l'utilisation des ressources dans les pays en développement et en transition. Une plate-forme interdépartementale des offices fédéraux SECO, DDC, OFEV et OFEN. Site Web : [www.repic.ch](http://www.repic.ch).

<sup>33</sup> La biomasse sèche disponible (potentiel supplémentaire exploitable) est estimée à 2,8 millions de tonnes. Se reporter au rapport de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), 2017 : *Biomassenpotenziale der Schweiz für die energetische Nutzung : Ergebnisse des Schweizerischen Energiekompetenzzentrums SCCER BIOSWEET*. Disponible sous [www.wsl.ch](http://www.wsl.ch) > Publikationen, (rapport en allemand, avec vue d'ensemble en français)

<sup>34</sup> Fondation Risiko-Dialog, 2019

<sup>35</sup> Office fédéral de l'énergie, 2010 : *Studie zur Abschätzung des Potenzials für CO<sub>2</sub>-Sequestrierung in der Schweiz*. Résumé disponible en français sous le titre « Potentiel pour le piégeage géologique du CO<sub>2</sub> en Suisse ». Disponible sous [www.aramis.ch](http://www.aramis.ch), numéro de projet 102922.

## *Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?*

menées : depuis 2011, le Service géologique national de swisstopo réalise, dans son laboratoire du Mont Terri à St-Ursanne, des expériences de stockage du CO<sub>2</sub> dans les argiles à Opalinus, en collaboration avec des partenaires internationaux du Consortium Mont Terri. L'argile à Opalinus non seulement a les propriétés idéales pour stocker des déchets radioactifs, mais peut aussi être utilisée pour le stockage géologique du CO<sub>2</sub>. Ce type de roche couverture joue un rôle clé dans l'évaluation de la possibilité de stocker durablement et en toute sécurité du CO<sub>2</sub> dans les roches situées en dessous. Utilisée comme couverture, l'argile à Opalinus doit empêcher la fuite de gaz, comme le CO<sub>2</sub>, dans la biosphère depuis les roches utilisées comme site de stockage. Ce type d'argile est très répandu sur le Plateau et dans le Jura. Le laboratoire du Mont Terri est donc un lieu unique dans le monde permettant d'étudier les aspects sécuritaires liés au stockage du CO<sub>2</sub>. Il pourrait donc s'avérer utile d'y développer la collaboration internationale dans le domaine de la recherche.

Opportunités, acteurs et obstacles : la technologie CCS est une technologie connue et éprouvée dans les secteurs de l'énergie et de l'industrie, qui permet de stocker le CO<sub>2</sub> de façon durable et fiable (encadré 1). L'économie suisse dispose d'un certain savoir-faire dans le domaine des composants CCS, tandis que les hautes écoles et les hautes écoles spécialisées sont très actives en matière de recherche. À ce jour, il n'existe aucune installation BECCS en Suisse.

En mai 2019, l'Association suisse des exploitants d'installations de traitement des déchets (ASED) a ouvert une discussion sur le développement de la technologie CCS dans le secteur des déchets, dans le cadre de son concept « carbon hub »<sup>36</sup>. Selon l'ASED, il serait possible de tester prochainement cette technologie dans une usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM). Les coûts sont estimés à 70 francs par tonne de CO<sub>2</sub> capté. Reste à définir où et comment le CO<sub>2</sub> capté pourrait être stocké. Pour le transport vers un lieu de stockage en Suisse ou à l'étranger, les moyens envisagés sont le train, le bateau ou les pipelines de CO<sub>2</sub> (à construire). D'après les estimations de l'ASED, le coût supplémentaire pour le transport et le stockage dans la mer du Nord est de 340 francs par tonne de CO<sub>2</sub> pour les installations pilotes, et il devrait ensuite baisser pour atteindre 110 francs dans une dizaine d'années. L'ASED désigne sous le terme « carbon hubs » les installations qui produisent de grandes quantités de CO<sub>2</sub>, en captent au moins 90 % à la source et injectent le CO<sub>2</sub> capté dans un réseau de transport de CO<sub>2</sub> (qui pourrait être européen à l'avenir) relié à des sites de stockage géologiques. En plus de la quarantaine d'UIOM représentées au sein de l'ASED, des installations industrielles telles que des usines de ciment pourraient également intégrer le réseau. Le concept « carbon hub » contribuerait d'une part à empêcher des émissions de CO<sub>2</sub> d'origine fossile et, d'autre part, à produire des émissions négatives à partir de déchets biogènes.

Le captage technique, le transport et le stockage géologique du CO<sub>2</sub> font de la technologie BECCS l'une des approches NET les plus coûteuses. Les coûts pourraient toutefois baisser si la technologie était mise en œuvre dans de grandes installations (p. ex. dans des UIOM) et si l'infrastructure de transport et de stockage du CO<sub>2</sub> faisait l'objet d'efforts coordonnés, comme le prévoit le concept « carbon hub » de l'ASED.

Selon les estimations de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), l'exploitation en Suisse de cinq formations géologiques permettant de stocker un volume total de 1 à 2,5 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an pourrait avoir un coût global (stockage, exploitation et surveillance) compris entre 10 et 30 francs par tonne de CO<sub>2</sub>.

Les sondages géologiques effectués dans le cadre de projets géothermiques en Suisse pourraient être l'occasion d'identifier en même temps des potentiels de stockage de CO<sub>2</sub>, puisque les méthodes de prospection sont identiques dans les deux cas. À l'heure actuelle, il n'existe toutefois aucune incitation encourageant les responsables de ces projets à engager des ressources supplémentaires pour une telle exploration. Du côté de la Confédération, le Service géologique national de swisstopo

<sup>36</sup> ASED, 27 mai 2019 : *Le concept « carbon hub » : Une proposition de l'ASED pour la politique climatique*. Disponible sous <https://ybsa.ch/le-concept-carbon-hub-une-proposition-de-lased-pour-la-politique-climatique/>

## *Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?*

est très actif dans la recherche de ressources géothermiques. L'exploration du sous-sol dans le but de trouver des sites de stockage du CO<sub>2</sub> découle des tâches prévues par ses bases légales. Ce service est donc en mesure de jouer un rôle important concernant l'exploitation des synergies en matière d'exploration du sous-sol.

Étranger : la seule grande installation de démonstration se trouve aux États-Unis, dans l'Illinois. Depuis 2017, elle permet de stocker sur place, dans le sous-sol, près d'un million de tonnes de CO<sub>2</sub> par an provenant de la production de bioéthanol<sup>37</sup>. En 2019, la centrale électrique de la société Drax (Royaume-Uni) est devenue la première installation au monde capable de capter le CO<sub>2</sub> produit par la combustion de la biomasse ; des utilisations intermédiaires sont à l'étude pour le CO<sub>2</sub> capté (CCU), ainsi que la possibilité d'un stockage dans la mer du Nord<sup>38</sup>. Le captage du CO<sub>2</sub> par des UIOM fait actuellement l'objet de projets-pilotes en Norvège, aux Pays-Bas, en Suède et au Japon<sup>39</sup>.

En Europe, les formations géologiques qui se prêtent actuellement au stockage du CO<sub>2</sub> à grande échelle sont d'anciens champs gaziers épuisés et des aquifères salins situés sous la mer du Nord. À partir de 2024, le consortium « Northern Lights » (Equinor, Shell, Total), avec le soutien de l'État norvégien, veut proposer à des clients européens un réseau de transport de CO<sub>2</sub> liquéfié avec des capacités de stockage sous la mer du Nord (jusqu'à 5 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an)<sup>40</sup>. Aux Pays-Bas, dans le cadre du projet CCS « Porthos », un consortium public travaille à la réalisation d'un réseau de collecte et de transport qui permettra de stocker dans la mer du Nord le CO<sub>2</sub> émis par les installations industrielles du port de Rotterdam ; à partir de 2023, le projet devrait permettre le stockage d'environ 2 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an<sup>41</sup>. Il existe des projets similaires au Royaume-Uni, dont un, soutenu par le gouvernement britannique, a déjà obtenu une licence pour le stockage du CO<sub>2</sub> sous la mer du Nord<sup>42</sup>.

L'exportation de flux de CO<sub>2</sub> en vue de leur stockage dans le sous-sol marin est actuellement interdite par le droit international en application de l'art. 6 du protocole de 1996 à la Convention de 1972 sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets et d'autres matières (Protocole de Londres)<sup>43</sup>. Un amendement à l'art. 6 adopté en 2009 est supposé lever cette interdiction, mais il n'est toujours pas entré en vigueur car seules six Parties contractantes (Norvège, Pays-Bas, Royaume-Uni, Iran, Estonie et Finlande), sur les 34 requises, l'ont ratifié à ce jour. En octobre 2019, les Parties contractantes au Protocole de Londres ont adopté une résolution pour autoriser l'application provisoire de l'amendement, ce qui permet désormais aux États ayant déposé une déclaration d'application provisoire d'exporter du CO<sub>2</sub> en vue de son stockage géologique<sup>44</sup>.

En l'état actuel des choses, il paraît peu probable que la Suisse participe directement à un projet d'installation BECCS à l'étranger, d'autant que les pays étrangers concernés voudront imputer ces émissions négatives à leurs propres objectifs de réduction. En revanche, il serait envisageable à moyen terme d'exporter le CO<sub>2</sub> d'origine biogène capté en Suisse en vue d'un stockage géologique à l'étranger, dans le sens du concept « carbon hub » de l'ASED (ce qui supposerait de mettre en place l'infrastructure nécessaire au transport du CO<sub>2</sub>). Pour pouvoir exporter du CO<sub>2</sub> destiné à être stocké dans le sous-sol marin, il faudrait toutefois que la Suisse, dans le cadre du Protocole de Londres, crée les conditions requises par le droit international (dépôt de l'instrument d'approbation de l'amendement de 2009 et déclaration de son application provisoire).

<sup>37</sup> Communiqué de presse du 4 juillet 2017 de la société Archer Daniels Midland : <https://www.adm.com/news/news-releases/adm-begins-operations-for-second-carbon-capture-and-storage-project-1>

<sup>38</sup> Communiqué de presse du 7 février 2019 de la société Drax : [https://www.drax.com/press\\_release/world-first-co2-beccs-ccus/](https://www.drax.com/press_release/world-first-co2-beccs-ccus/)

<sup>39</sup> IEAGHG 2020/06 : « CCS on Waste to Energy » (publication à venir)

<sup>40</sup> Site web : <https://northernlightscs.com>

<sup>41</sup> Site web : <https://www.rotterdamccus.nl/en/>

<sup>42</sup> Site web : <https://theacornproject.uk/>

<sup>43</sup> RS 0.814.287.1

<sup>44</sup> Communiqué de presse du 11 octobre 2019 de l'Organisation maritime internationale (OMI) : <http://www.imo.org/fr/mediacentre/meetingsummaries/lclp/pages/lc-41-lp-14-.aspx>

Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

### Captage direct du CO<sub>2</sub> de l'air et stockage (DACCS)

**Potentiel** : des procédés chimiques permettent de filtrer directement le CO<sub>2</sub> présent dans l'air ambiant en vue de son stockage géologique. Comme pour la technologie BECCS (voir plus haut), le potentiel de puits théorique de la technologie DACCS est naturellement limité par la capacité de stockage géologique disponible – qui est encore inconnue faute d'essais sur le terrain. Contrairement aux procédés CCS qui captent le CO<sub>2</sub> au niveau d'une source ponctuelle à forte concentration de CO<sub>2</sub>, la technologie DACCS capte directement le CO<sub>2</sub> présent dans l'air ambiant. Elle consomme beaucoup plus d'énergie, en particulier sous forme de chaleur industrielle. Pour qu'une installation DACCS contribue effectivement à la protection du climat, il faut que cette énergie provienne d'une source durable ou qu'il soit possible de récupérer la chaleur industrielle produite. Certains procédés peuvent par ailleurs consommer beaucoup d'eau, ce qui réduit encore le potentiel.

**Risques** : la contribution de la technologie DACCS à la protection du climat ne peut être déterminée correctement que sur la base d'analyses complètes du cycle de vie, notamment au regard de ses besoins importants en énergie (et éventuellement en eau). Les risques liés à un stockage géologique en Suisse sont les mêmes que pour la technologie BECCS.

**Opportunités, acteurs et obstacles** : la première installation commerciale au monde de captage direct du CO<sub>2</sub> (sans stockage) se trouve à Hinwil près de Zurich. Elle a été développée par la start-up suisse Climeworks, fondée en 2009 par deux anciens étudiants de l'École polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ). Depuis sa mise en service en mai 2017, elle capte chaque année près de 900 tonnes de CO<sub>2</sub> présent dans l'air. Le CO<sub>2</sub> capté alimente une serre voisine, où il est utilisé pour favoriser la croissance des végétaux (dans ce cas particulier, l'effet visé est la neutralité en CO<sub>2</sub> puisque le CO<sub>2</sub> n'est pas stocké durablement ; lire l'encadré 1). La technologie Climeworks utilise un procédé basse température (de 80 à 120 °C) et consomme peu d'eau. La chaleur résiduelle est valorisée dans une UIOM. La conception modulaire de l'installation permet d'occuper un minimum d'espace au sol, contrairement à d'autres approches NET. Selon Climeworks, le coût actuel de la technologie DACCS (avec stockage) s'élève à 600–800 francs par tonne de CO<sub>2</sub> et devrait baisser jusqu'à 100 francs d'ici quelques années grâce aux progrès techniques et aux effets d'échelle – à condition que la demande augmente fortement.

Le captage direct du CO<sub>2</sub> présent dans l'air est la seule méthode de captage qui n'est pas dépendante des conditions de station (exception faite du besoin énergétique). Il est donc possible d'installer des modules à l'emplacement exact d'un site de stockage géologique, ce qui règle la question du transport du CO<sub>2</sub> (contrairement aux technologies CCS et BECCS).

**Étranger** : seule une poignée d'entreprises étrangères développent des solutions DACCS, parmi lesquelles la société américaine Global Thermostat (procédé basse température similaire à celui de Climeworks) et la société canadienne Carbon Engineering (procédé haute température [ $> 800$  °C] et forte consommation d'eau). La première installation de démonstration de captage direct du CO<sub>2</sub> avec stockage a été mise en service en Islande en 2017 dans le cadre du projet « CarbFix2 » soutenu par l'Union européenne et placé sous la direction de Reykjavik Energy<sup>45</sup>. Elle est composée de modules Climeworks. Une centrale géothermique installée sur place fournit de l'électricité et de la chaleur pour le procédé DACCS. Le CO<sub>2</sub> capté, qui est pompé sur place en direction du sous-sol, réagit avec la roche basaltique locale dans laquelle il se fixe rapidement. Sur des sites adaptés (p. ex. en Islande et avec une infrastructure existante de transport et de stockage), le coût du stockage varie entre 25 et 50 euros par tonne de CO<sub>2</sub><sup>46</sup>. Il existe d'autres formations basaltiques adaptées au stockage du CO<sub>2</sub> au Moyen-Orient, en Inde, en Afrique du Sud et au nord-ouest des États-Unis.

<sup>45</sup> Site web : <https://www.carbfix.com/carbfix2>

<sup>46</sup> Ingvi Gunnarssona et. al., 2018 : *The rapid and cost-effective capture and subsurface mineral storage of carbon and sulfur at the CarbFix2 site*. International Journal of Greenhouse Gas Control 79, 117–126. Disponible sous <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2018.08.014>

## *Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?*

Dans le futur, la participation de la Suisse à des projets DACCS menés sur des sites étrangers optimisés du point de vue énergétique et géologique pourrait constituer une solution intéressante pour « acheter » des émissions négatives imputables à l'objectif de zéro émission nette de la Confédération. Pour que les coûts soient intéressants, il faut toutefois que les conditions de marché s'améliorent rapidement et sensiblement.

### **Altération accélérée du ciment**

**Potentiel** : l'altération est un processus au cours duquel la roche fixe naturellement le CO<sub>2</sub>. Ce phénomène est observé également dans le béton utilisé pour la construction. Il neutralise partiellement (recarbonatation) la réaction chimique qui libère le CO<sub>2</sub> pendant la fabrication du ciment<sup>47</sup>. Selon l'association de branche cemsuisse, le béton de construction a la capacité de fixer chimiquement – de façon naturelle et tout au long de sa vie (y compris à l'état de gravats) – près de 15 % des émissions de CO<sub>2</sub> liées à la fabrication du ciment. Des moyens techniques permettent d'amplifier ce processus naturel de manière ciblée. Dans les conditions actuelles (volumes de gravats et procédés disponibles), ils pourraient théoriquement permettre le stockage supplémentaire de 75 000 tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Si l'on tient compte de l'augmentation des volumes de gravats, le potentiel de puits théorique pourrait même atteindre 2,5 millions de tonnes par an en 2050, à condition que tout le béton démolé en Suisse fasse l'objet d'une recarbonatation ciblée et complète.

**Risques** : selon l'état actuel des connaissances, la recarbonatation du béton ne semble présenter aucun risque notable pour l'environnement ni pour l'être humain. Sa contribution à la protection du climat ne peut toutefois être déterminée correctement que sur la base d'analyses du cycle de vie, comme c'est le cas pour toutes les autres approches NET.

**Opportunités, acteurs et obstacles** : comme la liaison chimique du CO<sub>2</sub> dans le béton de démolition est très stable, les procédés d'altération accélérée promettent un stockage durable du CO<sub>2</sub>, possiblement pendant des siècles. En Suisse, cette approche est actuellement expérimentée par des sociétés telles que Sika Technologies et Neustark, une start-up de l'EPFZ. Neustark a réalisé une installation pilote à Berne en 2019 et prévoit la mise en service d'une installation commerciale de démonstration en 2020. En raison du manque de demande, le coût élevé de cette technologie fait obstacle à une mise en œuvre à grande échelle sur le territoire suisse.

**Étranger** : la société canadienne Carbon Cure a développé un procédé prêt à être mis sur le marché et la société américaine Blue Planet travaille sur un projet de recarbonatation accélérée du béton. En théorie, on pourrait également envisager de répandre à la surface du sol d'autres roches adaptées finement broyées (silicates et carbonates) pour qu'elles fixent le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. Nous manquons toutefois d'essais de terrain pour évaluer correctement la capacité de stockage que cela pourrait représenter, ainsi que l'impact possible sur les sols, les eaux souterraines et les écosystèmes. Considérant le manque de maturité de cette technologie, il semble peu probable que la Suisse prenne part à des projets internationaux dans un avenir proche.

---

<sup>47</sup> Les cimenteries produisent du clinker et du CO<sub>2</sub> à partir de calcaire ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ). La recarbonatation utilise la réaction chimique inverse pour fixer de nouveau le CO<sub>2</sub> dans le ciment.

**Encadré 3 : Quelle pourrait être l'importance pour la Suisse d'autres idées de production d'émissions négatives, comme la fertilisation des océans ?**

Grâce à l'intervention humaine, les océans pourraient en théorie absorber davantage de CO<sub>2</sub> atmosphérique qu'ils ne le font naturellement. Entre autres idées, on pourrait envisager d'accélérer l'altération de certaines matières minérales dans les océans ou de fertiliser les océans avec des éléments nutritifs tels que le fer, le but étant d'accélérer la croissance des algues et donc la fixation du CO<sub>2</sub>. Mais comme ces approches ont à peine été testées, voire pas du tout, il est impossible de savoir quel volume de CO<sub>2</sub> elles permettraient de stocker durablement et quel impact elles pourraient avoir sur les écosystèmes marins.

Depuis l'adoption d'un amendement en 2013, le Protocole de Londres réglemente aussi la géo-ingénierie marine et donc les technologies d'émission négative applicables aux océans. Cet amendement interdit la fertilisation des océans, mais l'autorise pour des travaux de recherche (soumis à autorisation). Cet amendement n'est toutefois pas encore en vigueur car seules six Parties contractantes l'ont ratifié à ce jour. En 2008, les Parties contractantes à la Convention de 1992 sur la diversité biologique<sup>48</sup> se sont elles aussi prononcées contre la fertilisation à grande échelle des océans<sup>49</sup>. Ces décisions sont largement considérées *de facto* comme un moratoire *de facto* contre la fertilisation commerciale des océans.

Dans ce contexte, il paraît improbable que des approches telles que la fertilisation des océans puissent avoir de l'importance pour la Suisse dans la perspective de son objectif de zéro émission nette d'ici à 2050. La Suisse veillera toutefois à ce que les discussions sur les besoins de gouvernance qui se poursuivent au niveau international portent également sur ce type d'approches (encadré 2 et point 3).

## 2.3 Conclusions sur le potentiel pour la Suisse

Les puits de CO<sub>2</sub> détaillés ci-dessus ne peuvent absorber qu'une quantité limitée de CO<sub>2</sub> et tous n'ont pas la même aptitude à stocker le CO<sub>2</sub> le plus durablement possible.

La capacité d'absorption des puits biologiques (végétation, sol), c'est-à-dire l'augmentation du stock de carbone au-dessus du niveau actuel, est très limitée en Suisse en raison du manque de surfaces libres, d'une densité de peuplement déjà importante dans les forêts et du niveau relativement élevé des réserves actuelles de carbone dans le sol. Les conditions sont nettement plus favorables dans de nombreuses autres régions du monde. Le principe de précaution impose de ne pas remplir des puits biologiques pour compenser des émissions évitables de gaz à effet de serre tant qu'il n'est pas certain que les approches techniques de type BECCS ou DACCS peuvent produire des émissions négatives en quantité nécessaire. Une fois pleins, ces puits ne seront plus disponibles pour compenser des émissions difficilement évitables à l'avenir, par exemple les émissions agricoles. Les puits biologiques sont réversibles et ce risque est présent dans tous les projets de stockage en rapport avec l'utilisation des forêts ou des sols. Afin qu'il soit possible de produire des émissions négatives ayant un impact sur le climat, le CO<sub>2</sub> doit être stocké de façon durable. Comme cet aspect doit être pris en compte dans l'éventualité d'une imputation aux objectifs climatiques de la Suisse, il est essentiel d'obtenir un consensus sur la notion de « stockage durable ». Du point de vue du climat, une période de plusieurs décennies est un minimum. Parmi les points positifs, le développement de puits biologiques dans la limite d'un risque maîtrisable crée des effets de synergie bienvenus, par exemple en ce qui concerne la productivité ou la qualité écologique des sites.

<sup>48</sup> RS 0.451.43

<sup>49</sup> Décision IX/16 adoptée par la Conférence des Parties à la Convention sur la diversité biologique à sa neuvième réunion, mai 2008.

## Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

S'agissant des puits géologiques exploitables par les technologies BECCS et DACCS, les capacités de stockage théoriques identifiées semblent pouvoir couvrir la demande actuellement prévisible, aussi bien en Suisse (environ 60 fois le volume actuel des émissions annuelles de CO<sub>2</sub>) que dans le reste du monde. On peut partir du principe qu'il est possible de stocker durablement le CO<sub>2</sub> dans des aquifères salins du sous-sol profond (pendant plusieurs décennies au minimum) ou par fixation minérale dans des roches basaltiques (durée illimitée) en appliquant les meilleures pratiques disponibles. Toutefois, aucun puits géologique de CO<sub>2</sub> n'a encore été exploré ni exploité en Suisse. De plus, une infrastructure de transport du CO<sub>2</sub> devrait être mise sur pied. Il faudrait en outre que les technologies BECCS et DACCS parviennent plus rapidement sur le marché.

Un grand nombre de questions élémentaires concernant la mise en œuvre des NET – notamment les coûts, les conséquences environnementales et les conflits d'objectifs – restent à clarifier tant au niveau national qu'international, au point qu'il est difficile d'obtenir des affirmations fiables sur les potentiels *durablement réalisables* des différentes NET en Suisse. Par ailleurs, soit les procédés discutés n'ont pas encore été éprouvés par la pratique, soit ils ne sont pas suffisamment opérationnels pour contribuer à la réalisation des objectifs climatiques. Afin de combler ces déficits de connaissances, les activités de recherche et de développement relatives aux NET devraient être intensifiées.

### 3 Actions possibles

Engager des efforts considérables dans le domaine des NET, tant au niveau national qu'international, est une nécessité qui découle de l'Accord de Paris mais qui est encore trop peu pris en compte par les milieux politiques et la société. En l'espace de 30 ans, la Suisse doit non seulement réduire au maximum ses émissions de gaz à effet de serre dans tous les secteurs, mais aussi prévoir des capacités de stockage biologique et technique durable de l'ordre de plusieurs millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an.

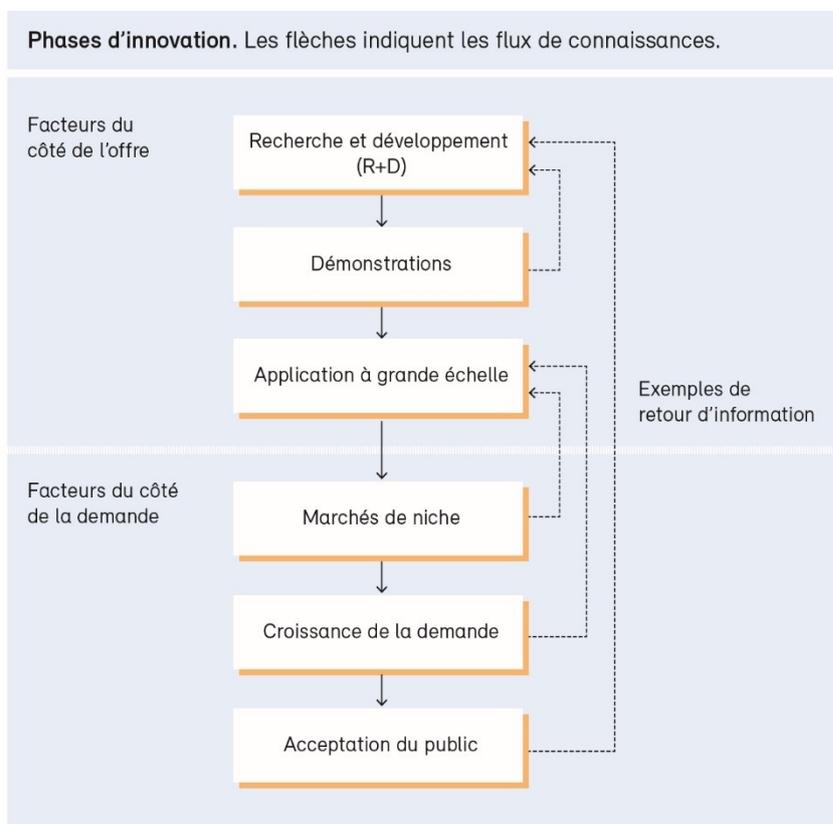
Dans ce contexte, il conviendrait d'examiner dès aujourd'hui la manière dont un cadre favorable au développement renforcé des NET pourrait être créé, en plus des conditions-cadre permettant une réduction massive des émissions de gaz à effet de serre. Cela devrait se faire en adéquation avec les objectifs de développement durable définis par l'ONU (*sustainable development goals*) et dans le respect des principes fondamentaux du droit de l'environnement : principe de précaution (mieux vaut prévenir que guérir), principe de causalité (principe du pollueur-payeur), principe de lutte à la source (toute atteinte à l'environnement doit autant que possible être évitée), principe de l'évaluation globale (réduire les nuisances dans leur ensemble) et principe de coopération (élaboration et application en concertation avec les partis politiques, les cantons, les acteurs économiques et la société)<sup>50</sup>. L'objectif de zéro émission nette d'ici à 2050 devrait par ailleurs être atteint au moyen d'une gestion des coûts et des ressources aussi efficiente que possible.

Au vu des connaissances actuelles, il pourrait être préférable d'étudier et de travailler en parallèle sur plusieurs approches NET différentes, dans le sens d'une approche portefeuille, afin d'augmenter les chances d'une utilisation réussie et durable permettant de produire les quantités d'émissions négatives qui seront requises à l'avenir. Les mesures qui ne contribuent pas directement à la réalisation de l'objectif climat 2050, mais qui aident d'autres États ou d'autres acteurs à développer des NET, profitent également à la Suisse : elles ralentissent le réchauffement planétaire et augmentent la demande mondiale de solutions NET – que la Suisse, si elle se positionne bien, pourrait satisfaire par des recherches, des produits et des services innovants.

<sup>50</sup> OFEV, 2013 : *Le droit de l'environnement en bref*. Disponible sous [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch) > Thèmes > Thème Droit de l'environnement > Publications et études.

## Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

En fonction du degré de maturité d'une approche NET, il est possible d'intervenir à différents stades de son cycle d'innovation pour en accélérer le développement : des travaux de recherche jusqu'à l'échelle commerciale (côté offre) et au niveau des conditions de marché (côté demande) (Figure 6). Selon l'approche choisie, différents acteurs sont concernés (Confédération, cantons, communes, économie, recherche, etc.).



**Figure 6 :** Grâce à des mesures côté offre et côté demande, le cycle d'innovation d'une technologie à émission négative peut être soutenu à différentes étapes, depuis la recherche et développement jusqu'à la mise sur le marché. Schéma de l'OFEV, basé sur Gregory F. Nemet et al.<sup>51</sup>

### Niveau national

Au niveau national, il convient d'examiner comment la compréhension de l'importance des NET peut être renforcée au sein de la Confédération ainsi que dans les cantons et les communes. Le développement de ces technologies, s'il touche à la politique climatique « classique », concerne aussi d'autres domaines publics tels que les politiques de l'agriculture, des forêts et de l'énergie, la gestion des déchets, la réglementation du sous-sol, les infrastructures de transport (du CO<sub>2</sub>), la promotion de la recherche et le transfert des technologies. Il convient donc d'examiner l'opportunité d'institutionnaliser et de coordonner les échanges et les travaux de développement au sein de l'administration fédérale, en l'occurrence dans le cadre du Comité interdépartemental Climat (CI Climat) placé sous la direction de l'OFEV. A cela pourrait s'ajouter l'élaboration d'une feuille de route dédiée aux NET qui, en conformité avec la stratégie climatique à long terme, montrerait plus concrètement comment il est possible de produire d'ici à 2050 les émissions négatives nécessaires. Les potentiels durablement réalisables devraient, à cette occasion, être calculés avec une plus grande précision, et la possibilité d'impliquer davantage de parties prenantes issues des milieux de la recherche et de la science devrait être examinée. Il est également possible d'examiner comment le

<sup>51</sup> Gregory F. Nemet et al., 2018 : *Negative emissions – Part 3: Innovation and upscaling*. Environmental Research Letters 13, 063003. Disponible sous <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabff4>.

## Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

développement des NET peut être accompagné de mesures de communication ciblées à destination de l'opinion publique, de manière à améliorer la compréhension et l'acceptation dans le dialogue avec la population.

Les pouvoirs publics ont déjà à disposition une multitude d'organes de promotion de la recherche et de l'innovation (p. ex. Fonds national suisse, Académies suisses des sciences, Innosuisse, recherche de l'administration) qui pourraient être davantage mobilisés au profit de la recherche et de la promotion des NET, par exemple dans le cadre de programmes de recherche ciblés. La recherche sur les NET dispose aussi d'infrastructures comme ICOS (*integrated carbon observation system*), EPOS (*european plate observing system*) et ECCSEL (*european carbon dioxide capture and storage laboratory infrastructure*), qui favorisent les approches multidisciplinaires non seulement au plan national mais aussi au plan international<sup>52</sup>. Des fonds et programmes publics thématiques, comme la promotion de la recherche et de l'innovation de l'OFEN, la recherche environnementale de l'OFEV (les NET sont un thème de recherche prioritaire pour la période 2021–2024<sup>53</sup>), le nouveau Fonds pour le climat instauré dans la révision totale de la loi sur le CO<sub>2</sub> et les activités de recherche de l'OFAG devraient eux aussi faire du développement des NET un objectif de promotion. Les travaux d'Agroscope et de l'institut WSL sur les puits (et les sources) de carbone biologiques pourraient être davantage axés sur une possible contribution au stockage durable du CO<sub>2</sub> d'ici à 2050. Pour sa part, la coopération entre le secteur forestier et le secteur du bois pourrait être étudiée plus avant, de manière à mieux exploiter le potentiel d'émissions négatives offert par le stockage du CO<sub>2</sub> dans des produits ligneux ayant une durée de vie aussi longue que possible. Le laboratoire du Mont Terri pourrait quant à lui davantage se positionner en tant que pôle de recherche dans le domaine du stockage géologique du CO<sub>2</sub> afin d'assurer le transfert des connaissances au plan international. Parallèlement aux questions de recherche relevant des sciences naturelles et de la technique, certains aspects systémiques (p. ex. analyses du cycle de vie) et relevant des sciences sociales ou humaines (p. ex. acceptation, équité) en rapport avec les NET pourraient eux aussi être approfondis.

Les approches NET décrites au point 2.2 ont en Suisse une maturité technique suffisante pour pouvoir être testées dans le cadre de projets pilotes ou de démonstration, voire pour pénétrer des marchés de niche. Dans le domaine de la valorisation des déchets, géré principalement par les pouvoirs publics, il serait possible de soutenir des projets développés selon le concept « carbon hub » de l'ASED (projet de démonstration dans une UIOM avec une unité de captage du CO<sub>2</sub>, p. ex.). Chaque fois que possible, les projets pilotes ou de démonstration devraient être associés à une recherche sur les analyses du cycle de vie.

La Confédération – qui, avec son objectif de zéro émission nette d'ici à 2050, crée le besoin de technologies d'émission négative – joue un rôle important dans la structuration de la demande et des marchés. Il s'agit d'examiner la possibilité de créer des incitations aussi efficaces et efficientes que possible dans le cadre de sa politique climatique mais aussi dans les autres domaines réglementaires concernés (p. ex. agriculture, forêts, bois, énergie). Pour commencer, il faudrait qu'elle détermine si la fixation d'objectifs climatiques distincts – à savoir un objectif de prévention ou de réduction des émissions de gaz à effet de serre et un objectif de production d'émissions négatives – créerait une distinction suffisamment claire pour permettre l'élaboration de mesures efficaces ciblant séparément les différents objectifs<sup>54</sup>. Les mesures pourraient s'appuyer sur des instruments connus relevant de la politique climatique (comme l'échange de quotas d'émission ou la taxe d'incitation sur le CO<sub>2</sub>) et tenir compte d'autres instruments tels que les normes relatives aux émissions de CO<sub>2</sub>, les quotas et les appels d'offres. Par ailleurs, il est important – pour une question de transparence et de fiabilité et, au final, pour la protection du climat – de définir des critères de qualité nationaux aidant à apprécier les

<sup>52</sup> SBFI, 2019 : Feuille de route suisse pour les infrastructures de recherche en vue du message FRI 2021–2024 (Feuille de route suisse pour les infrastructures de recherche 2019). Disponible sous [www.sbf.admin.ch](http://www.sbf.admin.ch) > Recherche et innovation > Infrastructures de recherche.

<sup>53</sup> OFEV, 2020 : *Plan directeur de recherche Environnement pour les années 2021–2024*. Disponible sous [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch) > Thèmes > Thème Formation, recherche et innovation > Publications et études.

<sup>54</sup> Se reporter par exemple à Duncan P. McLaren et al., 2019 : *Beyond « Net-Zero » : A Case for Separate Targets for Emissions Reduction and Negative Emissions*. *Frontiers in Climate*. Disponible sous <https://doi.org/10.3389/fclim.2019.00004>.

## Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

capacités de stockage durable du CO<sub>2</sub> sur la base des connaissances scientifiques les plus récentes. Il serait également opportun de vérifier si l'exécution de certaines tâches, pour être la plus appropriée possible, doit être confiée à la Confédération elle-même ; il pourrait s'agir de tâches en rapport avec une possible infrastructure nationale de transport du CO<sub>2</sub> ou avec la création d'une organisation nationale pour le stockage du CO<sub>2</sub> dans le sous-sol (organisation à orientation coopérative, à l'instar de la Nagra<sup>55</sup>). Une telle organisation pourrait mettre à profit des synergies avec les prospections géothermiques réalisées sur le territoire national (p. ex. caractérisation du sous-sol et forages d'exploration). Pour cela, des incitations associant la prospection de ressources géothermiques à la prospection de puits géologiques pour le stockage du CO<sub>2</sub> pourraient être créées.

### Niveau international

La Confédération pourrait examiner la façon dont elle peut soutenir les coopérations internationales de recherche et d'innovation portant sur les NET et à leur développement durable, par exemple dans le cadre d'une participation au programme Horizon Europe (programme-cadre de l'Union européenne pour la recherche et l'innovation pour la période allant de 2021 à 2027), d'une participation et d'un renforcement de la participation à des projets du Forum stratégique européen sur les infrastructures de recherche (ICOS, EPOS et ECCSEL) ou d'une participation active au réseau Energy Technology Network de l'Agence internationale de l'énergie ou aux groupements multilatéraux d'organes nationaux de promotion de la recherche et de l'innovation (p. ex. *accelerating CCS technologies* [ACT]<sup>56</sup> et *bioenergy sustaining the future* [BESTF]<sup>57</sup> dans le cadre de l'instrument ERA-NET<sup>58</sup> d'Horizon 2020 et d'Horizon Europe).

La Suisse pourrait par ailleurs étudier la possibilité de déposer l'instrument d'approbation de l'amendement de 2009 au Protocole de Londres et la déclaration de son application provisoire pour permettre le transport transfrontière du CO<sub>2</sub> en vue de son stockage dans le sous-sol marin d'un territoire étranger.

Considérant l'art. 6 de l'Accord de Paris, il s'agit également déterminer dans quelle mesure elle pourrait à l'avenir contribuer à la production d'émissions négatives dans des pays partenaires, tout en imputant ces émissions aux objectifs de réduction de la Suisse, et développer des projets pilotes adaptés.

Dans le cadre de ses activités internationales, la Suisse est déjà pleinement engagée en faveur d'une protection du climat ambitieuse et planétaire visant à limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C. La nécessité de développer massivement les NET au niveau mondial (en complément de la réduction drastique des émissions de gaz à effet de serre) peut faire l'objet de discussions plus fournies dans les forums internationaux, dans les échanges bilatéraux et dans le cadre des activités d'aide au développement et pour que ce besoin urgent soit débattu autant que possible sur la base de projets concrets. La Suisse poursuivra également ses efforts, dans le cadre de forums internationaux et notamment du PNUÉ, pour continuer à faire avancer le débat sur les connaissances liées aux NET et à la SRM et sur les approches garantissant une gouvernance internationale efficace (encadré 2).

---

<sup>55</sup> La Nagra (Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs) est le centre de compétences techniques de Suisse pour l'évacuation des déchets radioactifs dans des dépôts en couches géologiques profondes.

<sup>56</sup> Cf. [www.act-ccs.eu](http://www.act-ccs.eu).

<sup>57</sup> Cf. [www.eranetbestf.edu](http://www.eranetbestf.edu).

<sup>58</sup> Cf. [www.sbf.admin.ch](http://www.sbf.admin.ch) > Recherche et innovation > Coopération internationale dans le domaine de la recherche scientifique et de l'innovation > Instruments multilatéraux de collaboration > ERA-NET.

*Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?*

## **4 Conclusion**

Pour atteindre les objectifs climatiques, il est aujourd'hui indispensable de produire des émissions négatives, c'est-à-dire d'extraire artificiellement du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et de le stocker durablement. Si l'élévation moyenne de la température planétaire doit être limitée à 1,5 °C afin de parer aux effets irréversibles les plus graves du réchauffement climatique, les émissions négatives constitueront à l'avenir un instrument important de la politique climatique.

En Suisse, l'objectif du Conseil fédéral de réduire à zéro les émissions nettes de gaz à effet de serre d'ici à 2050 nécessite de neutraliser environ 10 millions de tonnes d'éq.-CO<sub>2</sub> par an à partir de 2050 au moyen de technologies CCUS et d'émissions négatives – sous réserve que les émissions de gaz à effet de serre soient massivement réduites dans tous les secteurs.

Comme presque tous les autres États du monde, la Suisse commence à peine à comprendre l'importance des technologies d'émission négative et à développer les capacités requises. Mais comparée à beaucoup d'autres pays, elle est bien placée pour jouer un rôle moteur dans le développement des NET compte tenu de ses capacités de recherche et d'innovation et du savoir-faire qu'elle a déjà acquis en la matière. Il s'agit désormais de faire les bons choix, y compris au niveau de la Confédération, pour libérer durablement le potentiel des NET en Suisse comme à l'étranger.

Quelle pourrait être l'importance des émissions négatives de CO<sub>2</sub> pour les futures politiques climatiques de la Suisse ?

## Annexe : abréviations

ACT	initiative visant à promouvoir les projets de recherche et d'innovation dans le domaine des technologies CCS ( <i>accelerating CCS technologies</i> )
ASED	Association suisse des exploitants d'installations de traitement des déchets
BECCS	utilisation de la bioénergie avec captage et stockage du CO <sub>2</sub> ( <i>bioenergy with carbon capture and storage</i> )
BESTF	initiative visant à promouvoir les projets de recherche et d'innovation dans le domaine de la bioénergie ( <i>bioenergy sustaining the future</i> )
CCS	captage et stockage du CO <sub>2</sub> ( <i>carbon capture and storage</i> )
CCU	captage et utilisation du CO <sub>2</sub> ( <i>carbon capture and utilisation</i> )
CCUS	captage, utilisation et stockage du CO <sub>2</sub> ( <i>carbon capture, utilisation and storage</i> )
CDR	activités humaines consistant à extraire le CO <sub>2</sub> de l'atmosphère en vue de le stocker durablement ( <i>carbon dioxide removal</i> )
CI Climat	Comité interdépartemental Climat, coordonné par l'OFEV
DACCS	captage direct du CO <sub>2</sub> de l'air et stockage ( <i>direct air carbon capture and storage</i> )
ECCSEL	infrastructure de recherche dans le domaine des technologies CCS ( <i>european carbon dioxide capture and storage laboratory infrastructure</i> )
EPOS	infrastructure de recherche dans le domaine des sciences de la Terre ( <i>european plate observing system</i> )
Éq.-CO <sub>2</sub>	équivalents CO <sub>2</sub>
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
ICOS	infrastructure de recherche visant à quantifier le bilan des gaz à effet de serre en Europe et dans les régions limitrophes ( <i>integrated carbon observation system</i> )
NET	technologie d'émission négative ( <i>negative emission technology</i> ) ; terme employé comme un synonyme de CDR dans le présent rapport
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
SRM	gestion du rayonnement solaire ( <i>solar radiation modification</i> ) ; activités humaines consistant à influencer le bilan de rayonnement de la planète en vue d'atténuer le réchauffement
UIOM	usine d'incinération des ordures ménagères