

Rôle de la gestion des déchets dans la future politique climatique nationale – ouverture de la discussion sur le concept de « carbon hub »

Contexte

La Suisse a ratifié l'accord de Paris sur le climat, s'engageant ainsi à réduire massivement les émissions de CO₂. Afin d'atteindre ces objectifs climatiques très ambitieux, le GIEC évoque la possibilité de capturer du CO₂ dans l'air ambiant pour le stocker dans des formations géologiques (direct air capture)¹. Avant d'en arriver là, il semble écologiquement et économiquement judicieux d'empêcher le CO₂ de s'échapper dans l'atmosphère et de le capturer directement là où il est produit de manière concentrée.

Les UVTD suisses émettent près de 4.2 millions de tonnes de CO₂ par année, dont 2.1 millions de tonnes de CO₂ fossiles. Cela équivaut à environ 4.5% des émissions fossiles totales en Suisse (47.24 millions de tonnes d'éq-CO₂ en 2017). Rien ne laisse présager une baisse des quantités de déchets incinérés, de sorte que la production de de CO₂ fossiles des UVTD ne va pas diminuer à moyen terme.

Les UVTD suisses peuvent contribuer de deux manières à réduire efficacement les émissions nationales de CO₂.

1. **Manière indirecte : remplacement des énergies fossiles par la production thermique des UVTD**
 Cette piste est concrétisée dans la convention d'objectifs sur le CO₂ conclue entre l'ASED et le DETEC. Remplacer un chauffage à mazout par un raccordement au réseau de chauffage à distance permet de réduire les émissions de CO₂. Dans la convention d'objectif, le DETEC a fixé que, pour comptabiliser une tonne de réduction d'émission de CO₂, une UVTD doit injecter 4.45 MWh de chaleur dans un réseau chauffage à distance.
 Les 30 UVTD actuellement en service en Suisse fournissent ensemble plus de 3.7 millions de MWh de chaleur, ce qui permet d'éviter l'émission de 830'000 tonnes de CO₂ par année. En fournissant également de l'électricité, les UVTD permettent une réduction indirecte supplémentaire de 33 000 tonnes de CO₂. S'ajoutent à cela une réduction de 240 000 tonnes de CO₂ liée à la récupération de métaux dans les résidus de combustion (cendres et mâchefers). En tout, l'utilisation efficace des rejets thermiques et la récupération de métaux permettent d'éviter l'émissions d'environ **1.1 million de tonnes de CO₂ par année**.

2. **Manière directe : séparation du CO₂ dans les gaz de combustion des UVTD (carbon capture)**
 La manière directe (piégeage du CO₂ dans les gaz de combustion) n'a encore jamais été appliquée sur une UVTD. Dans le cadre des travaux préparatoires en vue d'une nouvelle convention d'objectifs avec le DETEC pour la période après 2020, la question s'est posée de savoir si le piégeage du CO₂ pouvait apporter une contribution importante à la réduction des émissions des UVTD. Par contribution importante, nous entendons une réduction des émissions de plus de 1 million de tonnes de CO₂. L'ASED a chargé le laboratoire Sustainability in Business Lab (sus.lab) de l'EPFZ d'étudier cette question.

Résultats des travaux du sus.lab

La capture du CO₂ contenu dans les gaz épurés d'UVTD est techniquement faisable. Cette technologie consomme passablement d'énergie, soit **1 MWh_{therm.} plus 0.1 MWh_{el.} par tonne de CO₂ séparé**. L'énergie utilisée pour piéger le CO₂ ne peut pas être vendue, ce qui génère un manque à gagner pour l'UVTD.

Les coûts de piégeage, y compris le manque à gagner lié à la consommation d'énergie, atteignent **environ CHF 70.- par tonne de CO₂**.

L'étude de sus.lab montre que ce n'est pas le piégeage du CO₂ qui pose le plus grand défi, mais plutôt l'utilisation judicieuse du CO₂ ainsi capturé. Rappelons que le CO₂ est une forme très stable de carbone. Son utilisation comme matière première pour la synthèse de molécules organiques nécessite par conséquent énormément d'énergie. Le stockage définitif dans des réservoirs géologiques (gisements de gaz vides, formations rocheuses adéquates) s'avère donc être la seule solution réaliste pour un objectif de plus de 1 million de tonnes de CO₂ par année.

¹ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/pr_181008_P48_spm_en.pdf

Proposition : les UVTD comme future « carbon hubs » ?

Sur la base des résultats de l'étude de sus.lab, nous avons développé une vision que nous souhaitons soumettre à la discussion.

Dans notre vision pour 2050, les chauffages à combustibles fossiles sont remplacés par le chauffage à distance, les pompes à chaleur ou l'énergie solaire. Quant au trafic routier, il est électrifié ou fonctionne à l'hydrogène. Le carbone doit néanmoins continuer à être oxydé en CO₂ dans certains secteurs. Parmi ces secteurs économiques difficiles à « décarboner », citons par exemple les UVTD, les cimenteries, les installations de production de l'industrie chimique, les aciéries et les grandes centrales de chauffe à bois.

Ces installations industrielles où de l'énergie continue d'être produite en brûlant des combustibles carbonés sont ce que nous appelons les « **carbon hubs** ».

Les **carbon hubs** présentent trois caractéristiques essentielles :

1. **Ils produisent de grandes quantités de CO₂** dans le cadre de processus industriels très difficiles à décarboner ;
2. **Ils séparent au moins 90% du CO₂ produit directement à la source**, en piégeant le CO₂ produit lors de la combustion
3. **Ils injectent le CO₂ capturé dans un réseau continental de conduites** relié à des sites de stockage géologiques.

Le réseau continental est relié à des réservoirs de CO₂ de très grande capacité, tels des gisements de gaz vides ou des formations géologiques adéquates. Les installations de production de carburant de synthèse pourraient aussi prélever du CO₂ dans le réseau.

Le concept de « carbon hubs » permettrait de réduire les émissions de CO₂ des UVTD et d'autres sources ponctuelles importantes à zéro, voire de les rendre négatives. L'industrie et le secteur du traitement des déchets continueraient certes à *produire* du CO₂, mais *n'émettraient* plus de CO₂ fossiles. Les grandes sources de CO₂ biogène pourraient aussi être utilisées comme carbon hubs pour générer des émissions négatives.

Prochaines étapes

L'ASED souhaite lancer la discussion sur le concept de « carbon hub ». En tant qu'organisation représentant une quarantaine de 40 carbon hubs potentiels, l'ASED a la légitimité et la représentativité pour porter ce concept.

L'ASED souhaite aussi s'engager activement pour favoriser le développement des deux éléments techniques nécessaires, soit la séparation du CO₂ et le transport de CO₂, par exemple avec les démarches concrètes ci-après :

- **Mise en place rapide de la séparation du CO₂ à l'échelle industrielle** dans une UVTD suisse ; d'une part comme projet phare et d'autre part pour réunir l'expérience pratique nécessaire en condition d'exploitation réelle.
- **Élaboration d'un projet logistique pour le transport du CO₂** sur de longue distance.

Que pensez-vous du concept de « carbon hubs » et du rôle de l'ASED pour promouvoir ce concept ? Faites-nous part de vos remarques et commentaires ! (Quartier@vbsa.ch, ou contact_suslab@ethz.ch)

Vous trouverez plus d'informations et des réponses à vos éventuelles questions dans la partie Q & A qui suit.

Questions et réponses sur le concept de carbon hubs

Table des matières

Rôle de l'ASED	4
Qui est l'ASED ?	4
Pourquoi l'ASED se pique-t-elle d'élaborer un concept de politique climatique ?	4
Est-ce vraiment judicieux de capturer le carbone dans les fumées d'UVTD ?	4
N'existe-t-il pas de manière moins onéreuse d'éviter ou de compenser les émissions de CO ₂ , p. ex. la rénovation des bâtiments, la mobilité électrique, mais aussi la reforestation, etc. ?	4
Ne faudrait-il pas plutôt veiller à réduire les quantités incinérées dans les UVTD et recycler plus de plastique ?	4
Ne pourrions-nous pas réduire les quantités incinérées en triant plus de déchets biologiques et en les transformant p. ex. en méthane dans des installations de biogaz ?	4
Ne pourrait-on pas utiliser le CO ₂ comme matière première, p. ex. pour la synthèse du méthane (power-to-gas) ?	5
Le stockage géologique de CO ₂ est-il judicieux dans une perspective de cycle de vie s'il faut construire de nouvelles infrastructures telles des pipelines ?	5
Faisabilité technique	5
Existe-t-il des possibilités réalistes pour stocker le CO ₂ à long terme ?.....	5
Existe-t-il des réservoirs suffisamment grands ?.....	5
La technologie a-t-elle fait ses preuves ?	5
Le stockage géologique de CO ₂ est-il sûr ? Que se passera-t-il en cas de fuite de CO ₂ ?.....	6
Est-il possible de stocker le CO ₂ en Suisse ?	6
Coûts	6
Combien coûte la séparation de 1 tonne de CO ₂ dans le gaz épuré d'un carbon hub ?.....	6
Combien coûte le stockage à long terme de 1 tonne de CO ₂ ?	7
Autres questions techniques	7
Quelle est la concentration de CO ₂ dans le gaz épuré d'un carbon hub ?	7
Quels sont les besoins en énergie pour séparer 1 tonne de CO ₂ dans le gaz épuré d'un carbon hub ?.....	7
Un pipeline (réseau de CO ₂) est-il la seule possibilité pour transporter le CO ₂ ?.....	7

Rôle de l'ASED

Qui est l'ASED ?

L'ASED est l'association suisse des exploitants d'installations de traitement des déchets. Ses membres sont des usines de valorisation thermique des déchets (UVTD), mais aussi des décharges ainsi que des installations de tri et de méthanisation. Les plus grands émetteurs de CO₂ parmi les membres de l'ASED sont les 30 usines de valorisation thermique des déchets, les usines d'incinération de déchets spéciaux ainsi que les usines d'incinération des boues d'épuration.

Pourquoi l'ASED se pique-t-elle d'élaborer un concept de politique climatique ?

L'ASED compte environ 40 « carbon hubs » potentiels parmi ses membres, lesquels rejettent ensemble plus de 4 millions de tonnes de CO₂ (dont la moitié de CO₂ fossile).

Est-ce vraiment judicieux de capturer le carbone dans les fumées d'UVTD ?

N'existe-t-il pas de manière moins onéreuse d'éviter ou de compenser les émissions de CO₂, p. ex. la rénovation des bâtiments, la mobilité électrique, mais aussi la reforestation, etc. ?

Le stockage de CO₂ est en effet une technologie plutôt onéreuse et il faut absolument utiliser toutes les possibilités pour éviter ou compenser les émissions de CO₂. Cependant, les études du GIEC montrent qu'il faudra exploiter toutes les technologies disponibles afin d'atteindre les objectifs climatiques, même la capture de CO₂ atmosphérique (p. ex. direct air capture)². Avant de mettre en œuvre ces solutions extrêmes, il semble écologiquement et économiquement judicieux de veiller à ce que le CO₂ ne soit pas rejeté dans l'atmosphère, mais capturé immédiatement auprès des grandes sources ponctuelles (la capture du CO₂ contenu dans les fumées d'une UVTD est environ 2 à 3 fois plus efficace du point de vue énergétique que la capture du CO₂ atmosphérique).

Ne faudrait-il pas plutôt veiller à réduire les quantités incinérées dans les UVTD et recycler plus de plastique ?

Il faut absolument poursuivre les efforts de réduction de la production de déchets et encourager le recyclage. Malheureusement, les effets de la croissance économique mais surtout démographique compensent les efforts de réduction des déchets. Divers scénarios ont été établis dans une étude de Prognos datant de 2017 (« Siedlungsabfallaufkommen Schweiz 2050 »). Dans le scénario basé sur la poursuite de la tendance actuelle, les quantités incinérées augmenteraient de 36% suite à la croissance économique et démographique. Même une stratégie très ambitieuse en matière de recyclage ne permettrait de réduire les quantités que de 10%.

Notons aussi que le plastique ne peut pas être recyclé indéfiniment. Le recyclage peut augmenter fortement la durée d'utilisation du plastique, mais l'incinération est inéluctable après la dernière utilisation. En outre, rien ne laisse présager une réduction de la quantité de plastique produit dans l'industrie. Au contraire : la production de plastique va encore fortement augmenter³.

Ne pourrions-nous pas réduire les quantités incinérées en triant plus de déchets biologiques et en les transformant p. ex. en méthane dans des installations de biogaz ?

Le tri des déchets biogènes doit être encouragé, car les déchets urbains qui contiennent trop de déchets biogènes ne peuvent pas être stockés convenablement, et les substances nutritives et matières structurantes qu'ils contiennent sont perdues pour le sol si ces déchets biogènes sont incinérés. Une augmentation notable du tri des déchets biogènes semble néanmoins difficile. En effet, on constate déjà une forte contamination des déchets biogènes avec des matières plastiques. Cette contamination augmente avec le pourcentage de déchets biogènes collectés séparément.

² Communiqué de presse sur le rapport sur le réchauffement à 1.5 degré, oct. 2018 -

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/pr_181008_P48_spm_en.pdf, rapports cf. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

³ The Future of Petrochemicals: Towards more sustainable plastics and fertilisers, Methodological annex, Figure A.1 S. 7, OECD/IEA 2018

Ne pourrait-on pas utiliser le CO₂ comme matière première, p. ex. pour la synthèse du méthane (power-to-gas) ?

C'est faisable et est déjà testé dans différentes installations pilotes. Il existe néanmoins trois restrictions fondamentales :

1. Afin de pouvoir provoquer la réaction chimique $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$, il faut d'abord produire de l'hydrogène (H₂). La production de ce dernier par électrolyse nécessite beaucoup d'énergie. La transformation de 1 million de tonnes de CO₂ en méthane (CH₄) requiert plus de 180 000 t H₂ ou 9 TWh d'électricité pour l'électrolyse⁴. Cela équivaut à 16% de la consommation d'électricité actuelle de la Suisse⁵. Cette électricité devrait provenir de sources renouvelables pour que le système power-to-gas soit écologiquement défendable ;
2. En cas de production d'hydrogène, il paraît logique d'utiliser directement l'hydrogène, p. ex. dans une pile à combustible ;
3. Lorsque le méthane produit par power-to-gas est brûlé, du CO₂ est rejeté. Power-to-gas n'est donc pas un puits de CO₂, mais uniquement un stockage à court terme.

Le stockage géologique de CO₂ est-il judicieux dans une perspective de cycle de vie s'il faut construire de nouvelles infrastructures telles des pipelines ?

Une analyse complète du cycle de vie a par exemple été réalisée pour la production de ciment. Elle a débouché sur des réductions de CO₂ pouvant atteindre 78% (transport sur 200 km en pipeline et stockage à 1000 m de profondeur)⁶. Des « émissions négatives » sont possibles si des combustibles d'origine biologique (bois) sont utilisés.

Faisabilité technique

Existe-t-il des possibilités réalistes pour stocker le CO₂ à long terme ?

Oui, les options les plus avancées en Europe se situent en mer du Nord où des gisements de gaz naturel vides peuvent être utilisés comme réservoir. En Norvège, le consortium industriel « Northernlights »⁷ constitué d'Equinor (anciennement Statoil), Shell et Total élabore une première installation dans laquelle le CO₂ d'une UVTD d'Oslo et d'une cimenterie sera stocké.

La Norvège prévoit d'ouvrir ces réservoirs à des émetteurs européens à partir de 2024 environ (calendrier provisoire). Le parlement norvégien se prononcera sur les investissements nécessaires pour le projet en 2020/2021, de sorte que des capacités de près de 5 millions de tonnes pourraient exister dès 2023/2024 environ. Le calendrier pour la mise à disposition de capacités supplémentaires dépendra de l'intérêt d'autres pays et de l'industrie. Des efforts similaires sont faits en Hollande. Dans le cadre du projet Porthos⁸, une décision portant sur des investissements pour la mise à disposition de capacités de 2 à 5 millions de tonnes par année dans d'anciens gisements de gaz sous la mer du Nord est attendue en 2020.

Existe-t-il des réservoirs suffisamment grands ?

Une estimation réalisée pour la Norvège table sur des capacités de stockage en mer de 70 gigatonnes, ce qui équivaut à environ 20 fois les émissions annuelles actuelles de l'UE28.

La technologie a-t-elle fait ses preuves ?

Il existe plus de 20 grandes installations dans le monde (existantes ou planifiées) avec des capacités de plus 400 000 tonnes⁹.

4 L'électrolyse à l'échelle industrielle nécessite env. 50kWh par kg H₂.

5 La consommation d'électricité s'est élevée à 57.6 TWh en Suisse en 2017 (OFEN 2019).

6 Life cycle assessment of carbon capture and storage in power generation and industry in Europe, Volkart et al., 2013

7 <https://www.equinor.com/en/how-and-why/impact-assessments/northernlights.html>

8 <https://rotterdamccus.nl/en/companies-register-interest-for-porthos-co2-storage-project/>

9 <https://co2re.co/FacilityData#map>

Le stockage géologique de CO₂ est-il sûr ? Que se passera-t-il en cas de fuite de CO₂ ?

Le stockage de CO₂ dans des formations géologiques est testé depuis plusieurs décennies dans le monde entier, en partie dans le cadre de l'extraction de pétrole et de gaz, en partie spécifiquement en lien avec la capture et le stockage de carbone. Des cadres régulateurs et des standards industriels ont été développés sur cette base pour assurer la sécurité, p. ex. la directive de l'UE relative au stockage géologique de CO₂ (« CCS-Directive ») ou la norme ISO/TC 265 - Captage du dioxyde de carbone, transport et stockage géologique.

En Europe, Equinor¹⁰ a par exemple réalisé, depuis 1996, un test longue durée sur 20 ans dans le cadre du projet Sleipner, dans lequel 15.5 millions de tonnes de CO₂ (0.9 million de tonnes par année) ont été injectées dans des aquifères salins à une profondeur de 800 à 1000 m sous le fond de la mer. Aucune fuite de CO₂ n'a été détectée.

Une étude¹¹ portant sur six grands projets CCS (Sleipner and Snøhvit, Norvège ; Aquistore and Quest, Kanada ; In Salah, Algérie ; Illinois Industrial Carbon Capture and Storage (IICCS) project, USA) et sur d'autres projets plus petits n'a détecté une fuite mesurable de CO₂ dans aucune des installations. Des recherches supplémentaires sur les risques et le stockage à long terme sont évidemment nécessaires.

Est-il possible de stocker le CO₂ en Suisse ?

Le stockage géologique en profondeur de CO₂ ne sera probablement pas possible en Suisse¹² ces 10 à 20 prochaines années. Une analyse systématique du sous-sol doit encore être faite et des réservoirs potentiels doivent être étudiés dans un test longue durée.

Un potentiel existe néanmoins à long terme : la Suisse possède aussi des aquifères salins à la profondeur adéquate de 800 à 2500 m, combinés avec des couches rocheuses imperméables. Des informations importantes, telles l'emplacement exact de formations adéquates, manquent néanmoins encore pour pouvoir choisir les sites les plus prometteurs.

La caractérisation de la géologie pour la production d'énergie géothermique est actuellement soutenue par des fonds publics en Suisse. Il pourrait être judicieux de combiner ces recherches avec l'examen de l'aptitude à stocker le CO₂.

Coûts

Combien coûte la séparation de 1 tonne de CO₂ dans le gaz épuré d'un carbon hub ?

Les coûts dépendent fortement du prix de l'énergie utilisée et se situent à environ CHF 20.- par tonne de CO₂ sans énergie thermique. Ils augmentent à près de CHF 56.- par tonne de CO₂ s'il faut procéder à la purification et à la liquéfaction.

S'ajoutent à cela les coûts d'opportunité de l'énergie thermique (pouvant sinon p. ex. être utilisée pour la production d'électricité) d'environ CHF 46.- par tonne de CO₂ séparé¹³ ou de CHF 75.- si une purification et une liquéfaction, procédés consommant beaucoup d'énergie, sont nécessaires¹⁴.

La somme totale peut donc osciller entre CHF 68.- et 131.- par tonne de CO₂. Ces chiffres pourront être déterminés avec précision lors de la planification concrète d'une installation.

¹⁰ Anciennement Statoil

¹¹ Alcalde, Juan et al. "Estimating geological CO₂ storage security to deliver on climate mitigation." Nature communications vol. 9, 1 2201. 12 Jun. 2018, doi:10.1038/s41467-018-04423-1

¹² Based on current estimates, theoretical (unproven) storage capacity in Swiss deep porous geological formations may be up to 2.6 Gt of CO₂ (equivalent to storing app. 70 years' worth of Swiss CO₂ emissions)

¹³ 0.8 MWh per t/CO₂ of thermal energy converted assuming 66% electric conversion efficiency and electricity sales price of rp 8.7/kWh

¹⁴ 1.3 MWh per t/CO₂ of thermal energy converted assuming 66% electric conversion efficiency and electricity sales price of rp 8.7/kWh

Tous les coûts portent sur une séparation de près de 90% du CO₂ émis. Une étude de l'Agence internationale de l'énergie (AIE)¹⁵ montre que le taux de séparation de CO₂ pourrait être augmenté à 99% moyennant une hausse des coûts d'environ 8% par tonne.

Combien coûte le stockage à long terme de 1 tonne de CO₂ ?

Les estimations sommaires actuelles des coûts tablent sur environ CHF 340.- par tonne de CO₂ pour le processus entier en Norvège et le transport à partir de la Suisse¹⁶. Ce montant très élevé vaut néanmoins pour des installations pilotes. On s'attend à ce que les coûts baissent à près de CHF 110.- par tonne au cours des 10 prochaines années. Cela équivaldrait à des coûts totaux annuels de CHF 400 millions pour les UVTD suisses. Cette estimation ne tient néanmoins pas compte des éventuelles recettes provenant de la vente de certificats de compensation d'émission de CO₂.

Autres questions techniques

Quelle est la concentration de CO₂ dans le gaz épuré d'un carbon hub ?

La concentration de CO₂ dans la cheminée d'un carbon hub s'élève à environ 10%. Cela signifie que la séparation est beaucoup plus efficace que dans l'air où la concentration n'atteint plus que 0.04% (la séparation dans une UVTD est env. 2 à 3 fois plus efficace du point de vue énergétique que dans l'air).

Quels sont les besoins en énergie pour séparer 1 tonne de CO₂ dans le gaz épuré d'un carbon hub ?

La technologie nécessite relativement beaucoup d'énergie avec une consommation de 1 MWh d'énergie thermique et de 0.1MWh d'énergie électrique par tonne de CO₂ séparé.

Un pipeline (réseau de CO₂) est-il la seule possibilité pour transporter le CO₂ ?

Le transport par rail ou par bateau est aussi possible. Vu les quantités attendues, les pipelines devraient néanmoins être nettement moins chers. Des études détaillées sont en cours à ce sujet dans le cadre de projets de recherche internationaux (p. ex. Elegancy¹⁷) auxquelles participent des chercheurs de l'EPF et du PSI.

Si vous avez d'autres questions, veuillez les envoyer à contact_suslab@ETHZ.ch. Nous tenterons d'y répondre et nous les intégrerons dans notre liste.

¹⁵ Technical report «Towards zero emissions CCS in power plants using higher capture rates or biomass» by the International Energy Agency Greenhouse Gas R&D Programme (IEAGHG), 2019

¹⁶ Assuming transport by train/ship to Norway in the current price scenario and a hypothetical CO₂ pipeline to Norway in the scenario referring to the 10 years in the future

¹⁷ <http://www.act-ccs.eu/elegancy>