



# Résumés

Une journée pour  
**La recherche sur la biomasse en Suisse**

**Nouveaux concepts et applications, rapports  
d'expérience pratique, énergie et climat**

Jeudi 09 Mai 2019

Aula du bâtiment de l'OFROU, 3063 Ittigen



Les auteurs sont seuls responsables du contenu des présents résumés.

---

# Programme

---

08:30	<i>Acceuil &amp; Café</i>
09:00	<b>Allocution de bienvenue</b> R. Schmitz, responsable de la Recherche énergétique et Cleantech, OFEN
09:10	<b>Actualités du monde politique</b> M. Buchs, Energies renouvelables, OFEN
09:25	<b>Actualités de l'IEA Bioenergy Task 44</b> T. Schildhauer, PSI, Villigen, délégué IEA Bioenergy Task 44
<b>Thème 1: Nouveaux concepts (de réflexion) et applications (S. Hermle, OFEN)</b>	
09:40	<b>Cellules d'électrolyse microbienne– piles à combustibles microbienne; deux systèmes complémentaires</b> F. Fischer HES-SO, Sion
10:05	<b>Transformation à haut rendement du CO2 grâce à l'utilisation de matières «intelligentes» dans le traitement du biogaz</b> A. Heel, ZHAW, Winterthur
10:30	Pause Café – Affiches – Contacts
11:00	<b>L'ajout de matières conductrices ou non conductrices dans la digestion anaérobie</b> P. Principi, SUPSI, Manno
11:20	<b>Flux de carbone et approvisionnement énergétique durable</b> Z. Stadler, HSR, Rapperswil
11:40	<b>Production d'électricité à partir d'engrais de ferme: avancement et perspectives</b> S. Biollaz, PSI, Villigen
12:00	<i>Discussion</i>
<b>Thème 2: Nouvelles technologies à l'échelle pilote – rapports d'expérience pratique (T. Schildhauer, PSI)</b>	
12:10	<b>Carbonisation hydrothermale à l'échelle d'un projet pilote – premières expériences</b> A. Mehli, Klima Grisca Klimastiftung, Chur; B. Kulli, ZHAW, Wädenswil; R. Haymoz, FHNW, Brugg
12:30	<i>Repas – Affiches – Contacts</i>
13:30	<b>Combinaison de la stérilisation et de l'hydrolyse anaérobie avant la fermentation</b> F. Rüschi Pfund, ZHAW, Wädenswil
13:50	<b>Power-to-Gas: Premières expériences avec la méthanisation biologique</b> A. Lochbrunner, RegioEnergie Solothurn
14:10	<b>Power-to-Gas: Premières expériences avec la méthanisation catalytique</b> M. Friedl, HSR, Rapperswil
14:30	<i>Discussion</i>
<b>Thème 3: Énergie et climat – questions multidisciplinaires (M. Buchs, OFEN)</b>	
14:40	<b>Émissions de protoxyde d'azote et de méthane issues des engrais de recyclage épandus</b> N. Efosa, FIBL, Frick
15:00	<b>Évaluation et réductions des émissions de méthane des installations de biogaz agricoles</b> D. Scharfy, Ökostrom Schweiz, Winterthur
15:20	<i>Conclusion – Café – Affiches – Contacts</i>



**Titre du projet : Actualités du monde politique / Stratégie énergétique 2050 et bioénergie**

**Auteur :** Matthieu Buchs

**Institution :** Office fédéral de l'énergie OFEN

**Résumé de la présentation :**

La présentation traitera de la situation actuelle de la bioénergie en Suisse un peu plus d'une année après l'entrée en vigueur de la nouvelle loi sur l'énergie adoptée par le Parlement le 30 septembre 2016 et acceptée par le Peuple en votation populaire le 21 mai 2017. Les autres dossiers politiques en cours et ayant lien avec cette thématique seront également évoqués : révision totale de la loi sur le CO2, révision de la loi sur l'approvisionnement en électricité, loi sur l'approvisionnement en gaz...

**Titre du projet: Actualités de l'AIE Bioenergy Task 44****Auteur:** Tilman J. Schildhauer, PSI**Institutions:** représentants de 9 pays: Allemagne, Australie, Autriche, États-Unis, Finlande, Irlande, Pays-Bas, Suède, Suisse

Les possibilités d'utiliser la biomasse de manière flexible à des fins énergétiques doivent être améliorées et mieux connues. A cet effet, une tâche 44, «Bioénergie flexible» («Flexible Bioenergy» en anglais) a été créée au sein de l'AIE Bioénergie. Elle est dirigée par le Ikka Hannula (Centre national de la recherche technique de la Finlande, VTT) et le professeur Daniela Thrän (**Centre allemand de recherche sur la biomasse, DBFZ**). L'objectif est de promouvoir l'échange d'informations et d'identifier les besoins en matière de recherche.

Lors d'une première rencontre à Stockholm, la nouvelle tâche a été constituée; les représentants des différents États participants ont fait connaissance et ont commencé à organiser le travail.

Il y aura trois séries de travaux:

- 1: Description et état des technologies flexibles de bioénergie
- 2: Élaboration d'une feuille de route pour la recherche
- 3: Aspects systémiques de l'utilisation flexible de la bioénergie

S'y ajoutent des contributions à des projets stratégiques et de collaboration de l'AIE Bioénergie qui nécessitent la coopération de plusieurs tâches, par exemple concernant le gaz renouvelable ou le rôle de la biomasse dans la séquestration du carbone.

# Thème 1 :

Nouveaux concepts  
(de réflexion)  
et applications





**Titre du projet: Cellules d'électrolyse microbienne – piles à combustible microbiennes; deux systèmes complémentaires**

**Auteurs:** Fabian Fischer<sup>1,4</sup>, Maxime Blatter<sup>1</sup>, Marion Jaussi<sup>1</sup>, Louis Delabays<sup>2</sup>, Christian Pierre Cachelin<sup>3</sup>, Gerald Huguenin<sup>2</sup>

**Institutions:**

<sup>1</sup>Institut of Life Technologies, HES-SO Wallis-Valais, Haute École Spécialisée de Suisse occidentale, route du Rawyl 64, 1950 Sion.

<sup>2</sup>Systemes Informatiques Embarqués, HE-Arc, Haute École Spécialisée Suisse Occidentale, Espace de l'Europe 11, 2000 Neuchâtel.

<sup>3</sup>Institut Systèmes industriels, HES-SO Wallis-Valais, Haute École Spécialisée de Suisse occidentale, route du Rawyl 47, 1950 Sion.

<sup>4</sup>Institut Énergie et techniques environnementales, HES-SO Wallis-Valais, Haute École Spécialisée de Suisse occidentale, route du Rawyl 47, CH-1950 Sion.

**Contexte:**

L'épuration des eaux usées consomme 1 à 2% de la production suisse d'électricité, mais celles-ci contiennent davantage d'énergie qu'il n'en faut pour leur traitement. Durant le processus d'épuration, les systèmes bioélectriques produisent en effet de l'électricité, ce qui permet d'économiser de l'énergie. Selon les résultats disponibles, ils génèrent également davantage de méthane que les centrales de méthanisation conventionnelles.

**But du projet:**

L'objectif du projet est de démontrer que la pile à combustible microbienne (PCM) et la cellule d'électrolyse microbienne (CEM) sont des systèmes bioélectriques complémentaires susceptibles d'être intégrés dans une station d'épuration. Les travaux prévus examinent ce postulat au moyen de réacteurs bioélectriques pilotes. La phase biologique doit permettre d'économiser, de produire et d'extraire de l'électricité des eaux d'épuration. L'électrolyse bioélectrique sert à produire davantage de méthane plus rapidement durant la méthanisation. Le potentiel de réduction des coûts des deux systèmes ainsi que leur capacité effective à générer davantage d'énergie que les systèmes actuels font l'objet d'une étude.

**Procédé et méthode:**

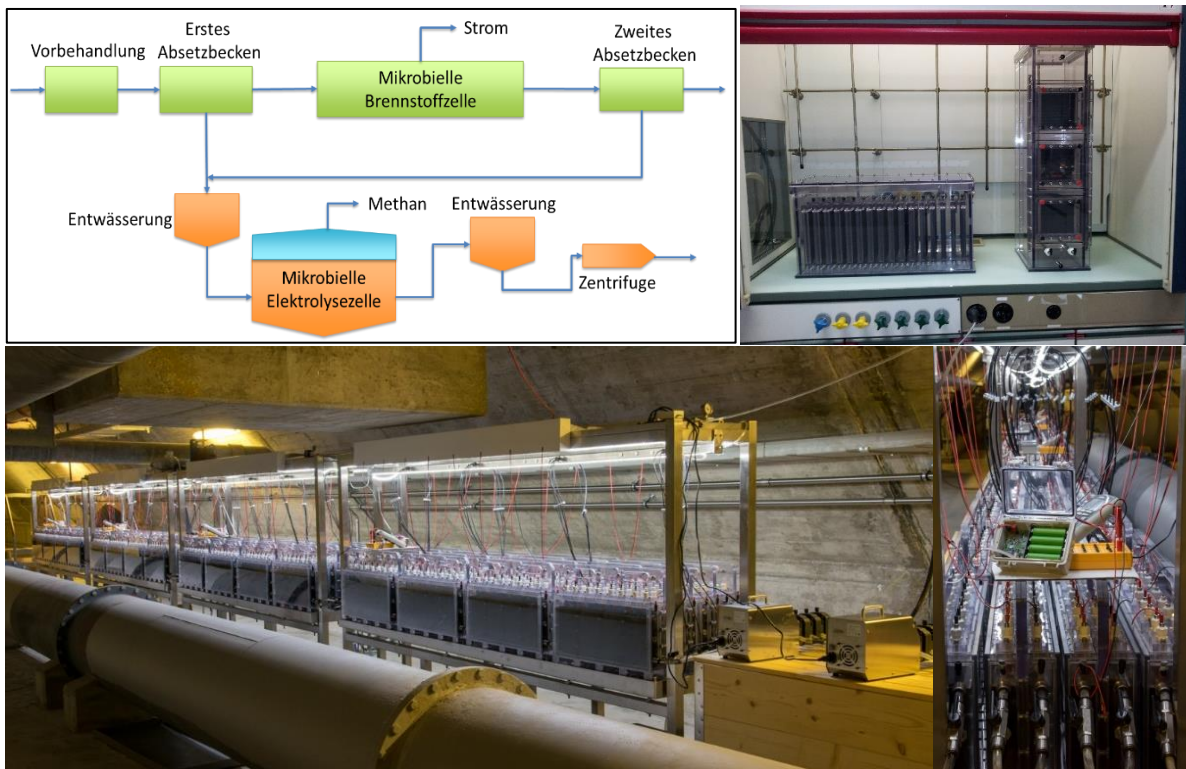
Des réacteurs de grande taille sont construits sur la base de différents travaux préliminaires afin de tester l'implémentation à grande échelle des systèmes bioélectriques. Des essais sont menés en laboratoire et dans des stations d'épuration.

**Résultats:**

Deux types de réacteurs bioélectriques ont été conçus avec un logiciel de CAO, puis montés dans un atelier polymécanique. Le plus grand mesure quatorze mètres de long pour une capacité de 1000 litres. Il s'agit d'une pile à combustible microbienne composée de 64 sous-unités. Soumise pour la première fois à un courant d'eaux usées en octobre 2018, cette installation fonctionne en continu depuis lors. Au cours des cinq premières semaines, des biofilms se sont formés. Ceux-ci épurent désormais les eaux usées de leurs composants organiques. La pile à combustible microbienne produit de l'électricité grâce à cette dégradation électrobiologique que l'on peut optimiser au moyen d'un régulateur MPP et stocker sur des batteries au lithium. Dans le deuxième procédé bioélectrique, le méthane est produit à partir de boues d'épuration activées et fraîches. Jusqu'à présent, la méthanisation dans la cellule d'électrolyse microbienne a généré des concentrations de méthane légèrement plus élevées que le processus de comparaison réel dans la station d'épuration.

La station d'épuration proposée dans le présent projet modifie le processus d'épuration des eaux usées que l'on connaît généralement. Le processus aérobie de l'étape biologique est transformé en une digestion anaérobie qui économise et produit de l'électricité. D'après les observations précédentes, il en résulte également des boues d'épuration activées, qui sont introduites dans le processus dit d'électro-méthanisation avec les boues d'épuration fraîches. La cellule d'électrolyse microbienne utilisée à cet effet accélère le processus de méthanisation et le rend plus complet qu'auparavant. Cela signifie que, selon les tendances mesurées, le biogaz produit contient davantage de méthane et moins de CO<sub>2</sub>.

### Graphique et photos:



**Figure 1:** en haut à gauche: schéma d'une station d'épuration avec deux systèmes bioélectriques complémentaires. En haut à droite: deux grandes cellules d'électrolyse microbienne de 50 litres pour la production de méthane. En bas à gauche: pile à combustible microbienne (PCM) de 1000 litres pour l'épuration des eaux usées et la production d'électricité. En bas à droite: ligne de PCM vue d'en haut avec l'une des quatre unités de stockage électrique.

### Références:

- Fischer, F., Sugnaux, M., Savy, C., Huguenin G., Microbial fuel cell stack power to lithium battery stack: Pilot concept for scale up. *Applied Energy*, 2018, 230, 1633-1644.
- Sugnaux, M., Happe, M., Cachelin, C. P., Gloriod, O., Huguenin, G., Blatter, M., & Fischer, F. Two stage bioethanol refining with multi litre stacked microbial fuel cell and microbial electrolysis cell. *Bioresource Technology*, 2016, 221, 61-69.
- Sugnaux, M., Happe, M., Cachelin, C. P., Gasperini, A., Blatter, M., & Fischer, F. Cathode deposits favor methane generation in microbial electrolysis cell. *Chemical Engineering Journal*, 2017, 324, 228-236.

**Titre du projet: Transformation à haut rendement du CO<sub>2</sub> grâce à l'utilisation de matières «intelligentes» dans le traitement du biogaz****Auteurs:** Renaud Delmelle, Tanja Franken, Andreas Borgschulte & Andre Heel**Institutions:** ZHAW, EMPA**Contexte:**

Les énergies renouvelables jouent un rôle important dans l'approvisionnement énergétique de la Suisse. L'industrie gazière suisse vise une augmentation massive de la part du méthane de source renouvelable sur le marché de la chaleur qui passera de 1% actuellement à 30% en 2030. À cet effet, il s'agira, d'une part, de développer les installations de biogaz et, d'autre part, de procéder à des optimisations techniques au niveau du matériel et des processus dans le cadre du raffinage du biogaz.

**But du projet:**

Le CO<sub>2</sub> résiduel issu des biogaz s'en sépare pour former des émissions. Le projet soutenu par l'OFEN et le FOGA se consacre spécifiquement à ces résidus apparemment sans valeur. Deux concepts de catalyseurs entièrement nouveaux (Smartcat) doivent être développés (méthanisation par sorption et catalyseurs autorégénérateurs) pour pallier les défauts en matière d'efficacité (CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>) et les empoisonnements par contamination (S).

**Procédé et méthode:**

Au lieu de séparer le CO<sub>2</sub> du biogaz brut, on le transforme sans séparation préalable en CH<sub>4</sub> par addition de H<sub>2</sub> et au moyen d'un nouveau catalyseur à base de nickel. Contrairement à tous les autres procédés conventionnels, ce nouveau catalyseur permet d'y parvenir de manière très efficace. La particularité de ce procédé réside dans le fait qu'il permet de convertir à 100% en CH<sub>4</sub> l'intégralité du CO<sub>2</sub> et de l'H<sub>2</sub>. Ce CH<sub>4</sub> est même produit à sec, ce qui permet d'éliminer des étapes de traitement supplémentaires et donc de réduire les coûts. Ainsi, la teneur en CH<sub>4</sub> présente dans le biogaz peut être doublée. Le méthane issu de ce raffinage présente une qualité permettant de l'injecter directement dans le réseau. Les procédés et catalyseurs conventionnels ne sont pas en mesure d'offrir cette possibilité.

**Résultats:**

Deux nouveaux concepts de catalyseur et de réacteur ont été développés pour l'exigeant processus catalytique de méthanisation du CO<sub>2</sub> à partir de biogaz. Grâce à des concepts de matières innovantes, il a été possible, d'une part, de prévenir les phénomènes de dégradation catalytique et microstructurelle provoqués par des températures élevées ou des poisons de catalyseurs et, d'autre part, de remédier aux faibles rendements en CH<sub>4</sub> et à l'insuffisance des ressources.

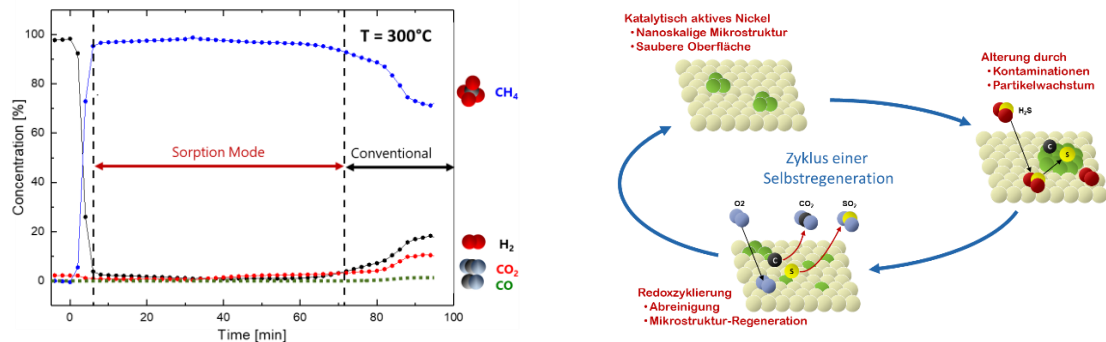
La méthanisation du CO<sub>2</sub> basée sur la sorption permet, une fois passé le seuil des 300 °C, de transformer l'intégralité du CO<sub>2</sub> en méthane. Sans séparation des gaz en aval, un flux de produit sec composé à 100% de CH<sub>4</sub>, dont la teneur en CO<sub>2</sub>, en CO ou en humidité est quasi nulle, sort du réacteur. La vitesse de régénération, soit l'extraction de l'eau des pellets de zéolithe, a été améliorée et la durée de vie triplée.

D'autre part, un catalyseur qui se régénère dans des conditions de fonctionnement dynamiques permet de libérer la phase catalytique active de la structure en nanodispersion, mais aussi de la réinstaller de manière réversible. Grâce à la conception ciblée des matières, le nouveau catalyseur atteint une teneur en méthane de 80% à 450-500 °C avec seulement 2,5% en poids de nickel. Une régénération réversible nécessite une température de 650 °C, car la diffusion du nickel est fortement inhibée lorsque la température diminue. Cependant, après une régénération multiple, il a pu être démontré que la microstructure est à nouveau dispersée de manière optimale et fine, ce qui permet d'allonger la durée de vie et de prévenir la dégradation.

Afin d'augmenter le degré de maturité technologique (TRL), un prototype d'1 kW a été mis au point pour déterminer les paramètres de fonctionnement pertinents pour la méthanisation et la régénération. Le concept de réacteur modulaire est ainsi prêt pour un transfert technologique vers une installation de démonstration: actuellement la HSR et un consortium industriel testent le «Smartcat» en conditions réelles dans un environnement semi-industriel situé dans une nouvelle installation «power-to-gas».

Le concept du réacteur se trouve également dans une phase de développement qui doit permettre d'optimiser son adéquation à un usage industriel (HEPP), mais également sa rentabilité et sa durabilité (SmarHiFe).

### Graphiques / illustrations:



**Figure 1:** à gauche: durant la phase active du catalyseur un CH<sub>4</sub> de grande pureté exempt d'H<sub>2</sub>O, de CO<sub>2</sub> et de CO est synthétisé. En mode conventionnel, le gaz produit comporte en outre du CO, du CO<sub>2</sub> et de l'H<sub>2</sub>O; à droite: schéma d'auto-régénération du «Smartcat».

### Références:

- Delmelle, R., Terreni, J., Remhof, A., Heel, A., Proost, J. & Borgschulte, A. (2018): Evolution of Water Diffusion in a Sorption-Enhanced Methanation Catalyst. *Catalysts* 8, 341, doi:10.3390/catal8090341.
- Baier, J., Schneider, G. & Heel, A. (2018): A Cost Estimation for CO<sub>2</sub> Reduction and Reuse by Methanation from Cement Industry Sources in Switzerland. *Frontiers in Energy Research* 6, doi:10.3389/fenrg.2018.00005.
- Terreni, J., Trottmann, M., Delmelle, R., Heel, A., Trtik, P., Lehmann, E. H. & Borgschulte, A. (2018): Observing Chemical Reactions by Time-Resolved High-Resolution Neutron Imaging. *The Journal of Physical Chemistry C* 122, 23574-23581, doi:10.1021/acs.jpcc.8b07321.
- Delmelle, R., Duarte, R. B., Franken, T., Burnat, D., Holzer, L., Borgschulte, A. & Heel, A. (2016): Development of improved nickel catalysts for sorption enhanced CO<sub>2</sub> methanation. *Int. J. Hydrogen Energy* 41, 20185-20191, doi:10.1016/j.ijhydene.2016.09.045.
- Borgschulte, A., Delmelle, R., Duarte, R. B., Heel, A., Boillat, P. & Lehmann, E. (2016): Water distribution in a sorption enhanced methanation reactor by time resolved neutron imaging. *Phys Chem Chem Phys* 18, 17217-17223, doi:10.1039/c5cp07686b.
- Burnat, D., Kontic, R., Holzer, L., Steiger, P., Ferri, D. & Heel, A. (2016): Smart material concept: reversible microstructural self-regeneration for catalytic applications. *Journal of Materials Chemistry A* 4, 11939-11948, doi:10.1039/c6ta03417a.
- Steiger, P. et al. (2017): Structural Reversibility and Nickel Particle stability in Lanthanum Iron Nickel Perovskite-Type Catalysts. *ChemSusChem* 10, 2505-2517, doi:10.1002/cssc.201700358.

**Titre du projet: L'ajout de matières conductrices ou non conductrices dans la digestion anaérobie****Auteurs:** P. Principi, R. König, M. Cuomo, A. DeCorso, E. Lavigna, M. Spaggiari, A. DeCarolis**Institution:** Haute école spécialisée de la Suisse italienne; Département des technologies innovantes; Institut d'ingénierie mécanique et de technologie des matériaux.**Contexte:**

La digestion anaérobie (DA) est un processus de dégradation des composés chimiques en plusieurs étapes dans lequel les polysaccharides, les protéines, les acides nucléiques et les lipides sont d'abord transformés par fermentation en hydrogène, en formiate, en acétate et en CO<sub>2</sub>, puis convertis en méthane. Dans ces séquences de réaction, on a observé que différents microorganismes interagissent par une relation de syntrophie pour exploiter des matières organiques complexes en tant que source de carbone et d'énergie. Les microorganismes syntrophiques peuvent transférer de l'énergie chimique sous forme de composés chimiques solubles ou par l'échange direct d'électrons. La littérature récente fait état de l'utilisation de matières conductrices dans le digesteur pour faciliter le processus favorisant l'échange d'électrons.

**But du projet :**

L'objectif est de tester la capacité de différentes matières à servir de vecteur pour la production de méthane par syntrophie.

**Méthodologie:**

Dans un premier temps, on sélectionne un certain nombre de matières susceptibles d'être ajoutées dans le cadre d'expériences de DA (fibre de carbone, biochar, nanotubes de carbone, charbon actif et zéolite). Ces matières sont ensuite analysées sur le plan de leur densité, de leur conductivité et de la dimension de leurs particules. Les essais ont été effectués par lots pour deux configurations de réacteur avec de l'éthanol comme seule source de carbone. Des expériences à l'éthanol et à l'inoculum servent de référence. La production et la composition du biogaz sont mesurées par rayonnement infrarouge et chromatographie gazeuse.

**Matières:**

Les matières choisies sont le graphène (Directa Plus, Pure G+), les nanotubes de carbone multi-parois (Nanocyl, NC7000), le charbon actif (Norit), le biochar (Verora), la fibre de carbone (FC Carbon) et la zéolite (Zeocem, mi-cro50). L'évaluation de leur morphologie au moyen d'une observation au microscope électronique révèle que ces matières sont caractérisées par une composition granulométrique de grande taille: graphène  $0,262 \pm 0,058 \mu\text{m}$ , charbon actif  $3,224 \pm 2,362 \mu\text{m}$ , biochar  $22,891 \pm 13,234 \mu\text{m}$ , nanotubes de carbone  $106,817 \pm 40,949 \mu\text{m}$ , fibre de carbone  $7,238 \pm 0,736 \mu\text{m}$  et zéolite  $4,434 \pm 2,472 \mu\text{m}$ .

Les matières ont été compactées puis mesurées sur les plans de la densité et de la conductivité afin de comparer leur capacité à favoriser l'échange d'électrons selon le concept du transfert direct d'électrons entre les espèces (DIET).

Sur le plan de la conductivité, le graphène (581,308 S/m) affiche les meilleurs résultats, suivi des nanotubes de carbone (453,158 S/m), du charbon actif (14,085 S/m), de la fibre de carbone (1,035 S/m) et du biochar (0,055 S/m). La zéolite affichant une valeur de conductivité inférieure à la limite de détection, elle est considérée comme non conductrice.

**Effet DIET.** Les conséquences de l'adjonction de matières dans la production de méthane ont été évaluées dans des réacteurs à petite échelle (150 ml) et à plus grande échelle (3,5 l) en ajoutant, à parts égales, de l'éthanol comme seule source de carbone et un inoculum mesuré en tant que matière

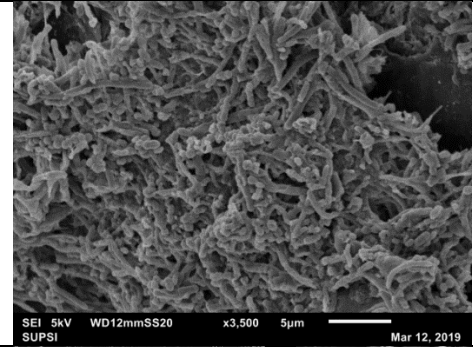
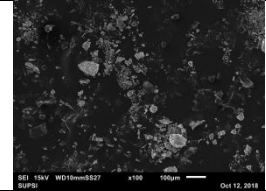
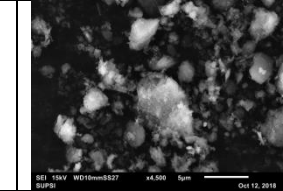
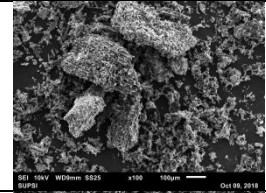
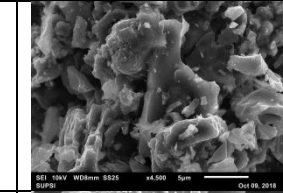
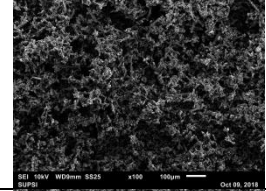
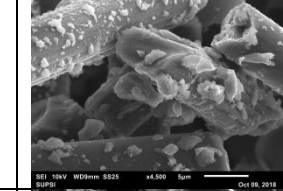
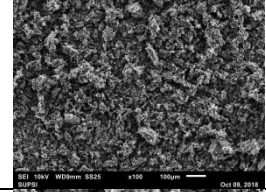
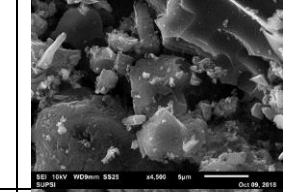
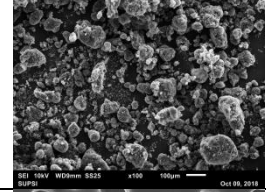
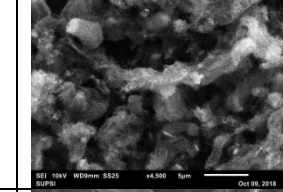
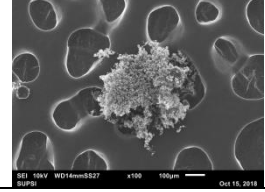
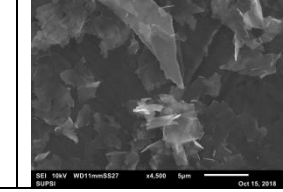
solide volatile. La courbe de production cumulative obtenue lors du test a été comparée à celle servant de référence.

Les essais à petite échelle ont montré un écart-type élevé et une faible reproductibilité imputables à la difficulté de doser une même quantité de matière.

Les essais à plus grande échelle montrent une augmentation significative de la production de biogaz et de méthane dans les essais avec le graphène.

**Effet porteur.** Les résultats préliminaires ne font pas état d'un effet porteur dans le laps de temps défini pour les tests.

**Illustrations:**

 <p>SEI 5kV WD12mmSS20 x3,500 5µm SUPS1 Mar 12, 2019</p>	<p>Illustration 1: multiplication de microorganismes dans les réacteurs de digestion anaérobie</p>	
 <p>SEI 10kV WD10mmSS27 x100 100µm SUPS1 Oct 12, 2018</p>	 <p>SEI 10kV WD10mmSS27 x4,500 5µm SUPS1 Oct 12, 2018</p>	<p>Illustration 2: observation de zéolite au microscope électronique; grossissement de 100 x (a) et de 4500 x (b).</p>
 <p>SEI 10kV WD9mmSS25 x100 100µm SUPS1 Oct 09, 2018</p>	 <p>SEI 10kV WD9mmSS25 x4,500 5µm SUPS1 Oct 09, 2018</p>	<p>Illustration 3: observation de biochar au microscope électronique; grossissement de 100 x (a) et de 4500 x (b)</p>
 <p>SEI 10kV WD9mmSS25 x100 100µm SUPS1 Oct 09, 2018</p>	 <p>SEI 10kV WD9mmSS25 x4,500 5µm SUPS1 Oct 09, 2018</p>	<p>Illustration 4: observation de fibre de carbone au microscope électronique; grossissement de 100 x (a) et de 4500 x (b)</p>
 <p>SEI 10kV WD9mmSS25 x100 100µm SUPS1 Oct 09, 2018</p>	 <p>SEI 10kV WD9mmSS25 x4,500 5µm SUPS1 Oct 09, 2018</p>	<p>Illustration 5: observation de charbon actif au microscope électronique; grossissement de 100 x (a) et de 4500 x (b)</p>
 <p>SEI 10kV WD9mmSS25 x100 100µm SUPS1 Oct 09, 2018</p>	 <p>SEI 10kV WD9mmSS25 x4,500 5µm SUPS1 Oct 09, 2018</p>	<p>Illustration 6: observation de nanotubes de carbone au microscope électronique; grossissement de 100 x (a) et de 4500 x (b)</p>
 <p>SEI 10kV WD14mmSS27 x100 100µm SUPS1 Oct 15, 2018</p>	 <p>SEI 10kV WD14mmSS27 x4,500 5µm SUPS1 Oct 15, 2018</p>	<p>Illustration 7: observation de graphène au microscope électronique; grossissement de 100 x (a) et de 4500 x (b)</p>

**Titre du projet: Flux de carbone et approvisionnement énergétique durable**

**Auteurs:** Zoe Stadler, Stefano Moret, Theodoros Damartzis, Boris Meier, Marcello Borasio, Professeur Markus Friedl, Professeur François Maréchal

**Institutions:** HSR Hochschule für Technik Rapperswil; EPFL Sion

**Contexte:**

La réduction des émissions de dioxyde de carbone en Suisse, dans le cadre d'une politique climatique durable, passe par la diminution de la consommation mais aussi par la défossilisation des produits, des carburants et des combustibles. Étant donné que de nombreuses ressources renouvelables telles que la biomasse sont disponibles en quantité limitée, ce projet examine comment différentes sources de carbone peuvent être utilisées le plus efficacement possible pour répondre à la demande.

**Objectif du projet:**

L'objectif du projet «Carbon Flows in the Energy Transition» est, d'une part, de donner une vue d'ensemble des sources de carbone disponibles en Suisse ainsi que des besoins suisses en énergie et en produits basés sur le carbone et d'établir un aperçu des technologies qui transforment les différentes sources de carbone en produits finis. D'autre part, le projet examine des scénarios d'avenir possibles concernant l'évolution des flux de carbone en Suisse dans l'éventualité de la prise de mesures politiques telles qu'une taxe sur le CO<sub>2</sub> ou une interdiction d'importer certains produits. Il s'agit de répondre à certaines questions en particulier: par exemple, selon que l'on se place d'un point de vue économique ou écologique, est-il plus judicieux d'utiliser la biomasse pour la production de bioplastiques ou de biocarburants? Le rôle de la récupération du CO<sub>2</sub> doit également être pris en considération.

**Procédure / méthodologie:**

Une partie importante du projet consiste à rassembler des données sur les sources de carbone, les besoins et les technologies de transformation. Dans un premier temps, on examine à cet effet le potentiel théoriquement disponible des sources de carbone existantes ainsi que leur potentiel utilisable réel. Les besoins en carbone sont définis par catégories: mobilité (privée et publique) et transports, chaleur, électricité, produits chimiques et produits à base de carbone. Il convient de souligner que les besoins peuvent aussi parfaitement être satisfaits par des technologies non basées sur le carbone: par exemple, la mobilité privée est assurée à la fois par des véhicules électriques et des voitures diesel. Diverses technologies permettent de transformer les sources de carbone en produits finis. Les plus importantes dans le domaine de la transformation de la biomasse et du dioxyde de carbone (captage et utilisation du carbone) sont documentées dans le cadre du projet et utilisées pour le calcul.

Afin d'élaborer des scénarios et d'optimiser les flux, les ensembles de données ci-dessus sont ensuite intégrés dans le modèle EnergyScope qui se concentre sur l'optimisation des flux énergétiques suisses. Le modèle doit être adapté pour calculer non seulement les flux d'énergie, mais aussi les flux de carbone et pour les optimiser, au choix, économiquement ou écologiquement.

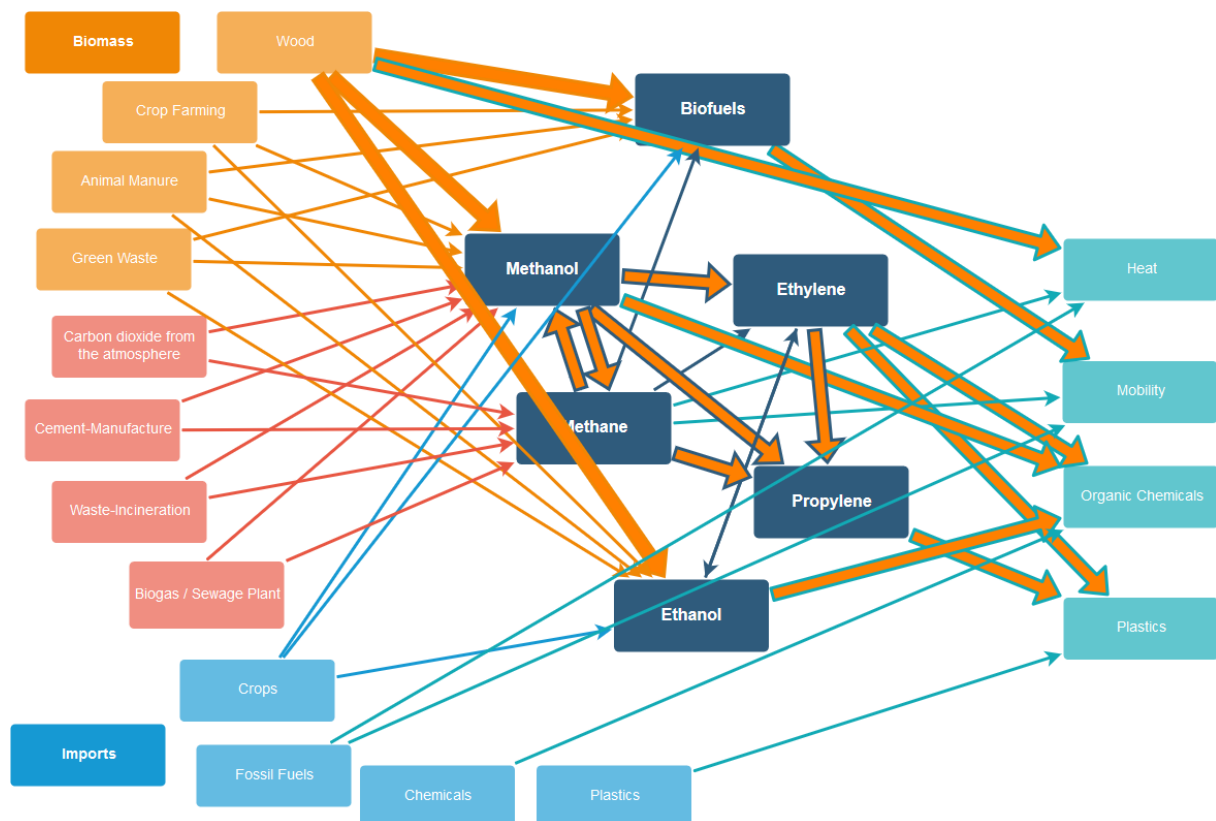
**Résultats à ce jour:**

Au total, quatre sources de dioxyde de carbone provenant de la biomasse ligneuse, sept de la biomasse non ligneuse et huit sources de dioxyde de carbone ont été identifiées en Suisse. Le potentiel utilisable (durable) de la biomasse ligneuse est de 3,2 Mt, ou 50,7 PJ, et celui de la biomasse non ligneuse est de 3,1 Mt, ou 47,4 PJ (données du SCCER BIOSWEET).

7,4 Mt de dioxyde de carbone peuvent être récupérées auprès des grands émetteurs concentrés. L'atmosphère est par ailleurs une source quasi inépuisable de CO<sub>2</sub>, avec toutefois une plus faible

concentration de 410 ppm actuellement (données de l'avant-projet «Renewable Methane for Transport and Mobility»). Le carbone est également importé sous diverses formes. Selon l'Office fédéral de la statistique, les besoins en agents énergétiques en Suisse s'élevaient à 854 PJ au total en 2016. Les carburants occupent la première place avec 292 PJ, suivis de l'électricité avec 210 PJ, des combustibles pétroliers avec 137 PJ et du gaz avec 117 PJ. La demande de combustibles pétroliers diminue, tandis que celle de carburants et de gaz continue d'augmenter. En 2017, le ravitaillement en carburant d'aviation dans les aéroports suisses atteignait un volume de 1,7 Mt. Les besoins en plastique s'élèvent quant à eux à près de 1,7 Mt par an. Dans le cas de l'utilisation du dioxyde de carbone comme matière première, la plupart des voies de production du plastique incluent le méthanol. Pour la production de carburants, les modes de production directs sont considérés. Le méthanol joue également un rôle important en tant que produit intermédiaire dans les technologies de la biomasse. S'y ajoutent les diverses possibilités de production de biogaz et de méthane. Dans ce projet, les besoins en carburants d'aviation et leur production sont aussi pris en compte, ce qui n'est pas le cas dans la plupart des modèles et concepts. L'attribution de la matière première au produit fini se fait via l'outil adapté EnergyScope qui optimise les trajectoires carbone selon des critères économiques ou écologiques.

### Graphiques / photos:



**Figure 1** : Le bois est une matière première polyvalente qui peut être utilisée pour la production de chaleur, de biocarburants et de plastiques. L'identification des modes d'utilisation les plus judicieux d'un point de vue économique ou écologique fait partie de ce projet de recherche.



**Références:**

- Avant-projet Renewable Methane for Transport and Mobility:
  - o Meier, Boris; Ruoss, Fabian et Friedl, Markus: Investigation of Carbon Flows in Switzerland with the Special Consideration of Carbon Dioxide as a Feedstock for Sustainable Energy Carriers; Energy Technology 5: 864 – 876
  - o Meier, Boris; Ruoss, Fabian; Friedl, Markus: Aqua & Gas n° 9, 2016: CO<sub>2</sub> als Rohstoff für Treibstoffe
  - o Stadler, Zoe; Meier, Boris; Ruoss, Fabian; Friedl, Markus: Treibstoff aus Abgasen; Aqua & Gas n° 9, 2018
- Avant-projet EnergyScope:
  - o Moret, Stefano: Strategic energy planning under uncertainty, thèse n° 7961, 2017



**Titre du projet: Production d'électricité à partir d'engrais de ferme: avancement et perspectives****Auteur:** Serge Biollaz**Institutions:** SCCER BIOSWEET: Institut Paul Scherrer (PSI), Université des sciences appliquées de Zurich (ZHAW), Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Haute École spécialisée bernoise (HES-BE), École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)**Contexte:**

En Suisse, une centaine d'installations transforment actuellement le biogaz issu d'engrais de ferme en électricité. Seule une petite partie du potentiel que recèle l'engrais de ferme est ainsi utilisée. Les causes en sont multiples.

**Objectif du projet:**

Dans le groupe de projets portant sur la production d'électricité à partir d'engrais de ferme («Hofdünger zu Strom»), différents partenaires travaillent sur diverses étapes du processus, afin d'augmenter la rentabilité de toute la chaîne de création de valeur de la transformation d'engrais de ferme en énergie électrique. Si judicieux, lorsque de nouvelles solutions techniques le permettent, le potentiel de l'engrais de ferme existant est mis à profit pour produire de l'électricité.

**Procédé / méthodologie:**

Dans le groupe de projets portant sur la production d'électricité à partir d'engrais de ferme, différentes approches sont utilisées au sein des projets autonomes. Des **discussions entre experts** sont menées pour développer une meilleure compréhension des interactions d'ordre technique et économique dans la chaîne de création de valeur et ainsi déterminer les coûts réels et les objectifs de coûts. Les partenaires impliqués sont la ZHAW, la HES-BE, l'EPFL, le WSL, le PSI et la coopérative Ökostrom-Schweiz. Des **installations pilotes sont créées et exploitées** pour les différentes étapes du processus telles que la fermentation, l'épuration du gaz ou la transformation en électricité, afin d'obtenir des données de mesure fiables des différentes étapes du processus en vue de leur reproduction à plus grande échelle. La HES-BE et la ZHAW se focalisent sur la fermentation, le PSI sur l'épuration du gaz et l'EPFL sur la technologie SOFC. Lors de la prochaine étape, des **projets menés en commun** testeront notamment l'épuration du gaz pour apporter la preuve technique et économique que les systèmes SOFC traditionnels peuvent également être exploités sans grandes modifications avec du biogaz épuré.

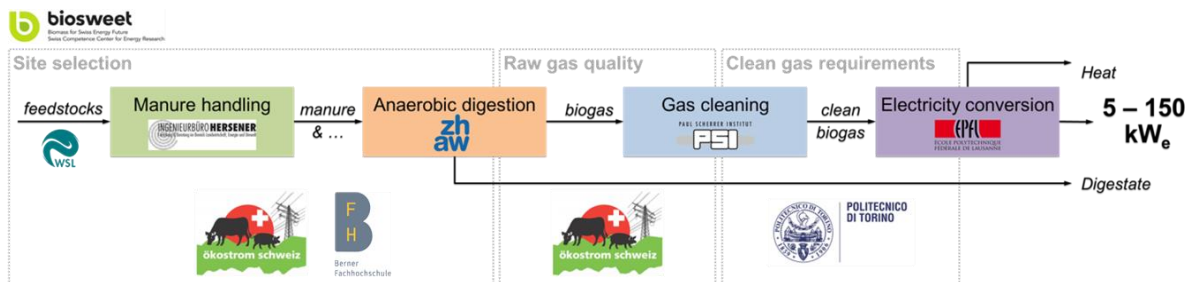
**Résultats:**

La collaboration nationale et internationale en réseau permet des synergies lors de l'acquisition de nouvelles connaissances techniques et du développement des projets subséquents. L'optimisation d'une chaîne de processus pour la production d'énergie électrique à partir d'engrais de ferme exige de la part de l'ensemble des partenaires impliqués dans les projets une réflexion concertée, mais en même temps autonome.

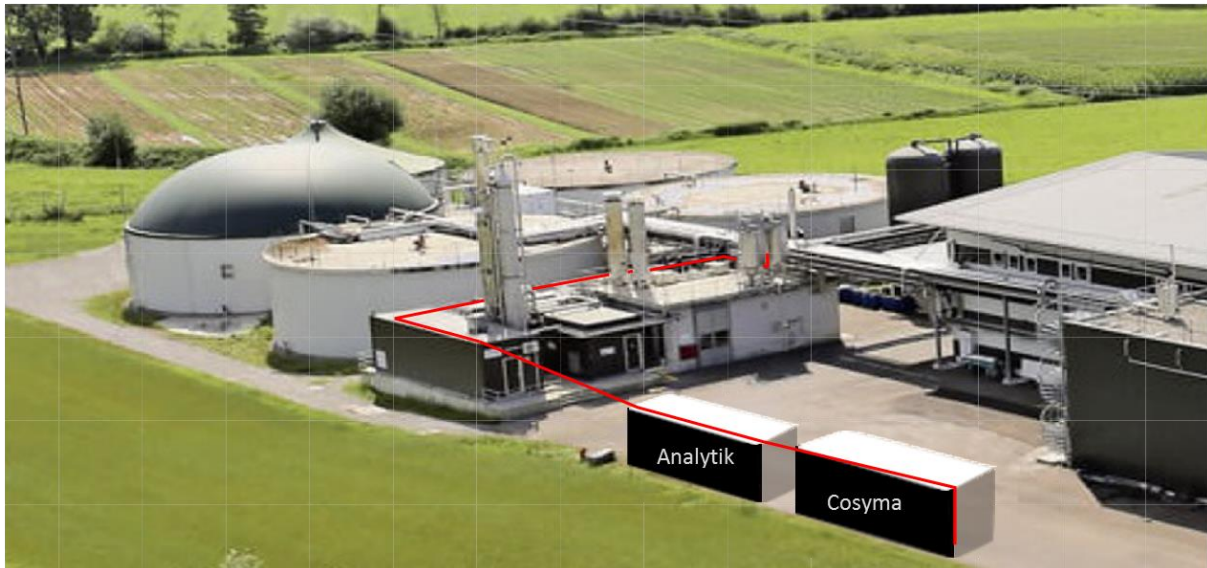
Le projet soutenu par l'OFEN portant sur l'épuration du biogaz pour les SOFC arrive dans la phase la plus délicate, c'est-à-dire la mise en service de l'installation d'essai du PSI sur le site SwissFarmerPower à Inwil (SFPI). Le nouveau projet «Waste2Watts» soutenu par l'UE a été lancé le 1<sup>er</sup> janvier 2019: il vise entre autres l'exploitation à long terme d'une pile SOFC de 6 kWel avec du biogaz jusqu'à fin 2020.

Ces prochains mois, les informations clés pour toute la chaîne de création de valeur seront consolidées afin de définir les exigences détaillées pour une installation de démonstration. Par ailleurs, les modalités du déploiement doivent être concrètement établies avec les partenaires industriels pour la réalisation de 10 000 installations à l'échelle de 10 à 50 kWel.

## Graphiques / photos:



**Figure 1 :** Chaîne de création de valeur: Production d'électricité à partir d'engrais de ferme via SOFC



**Figure 2:** Site de l'installation d'essai du PSI chez SwissFarmerPower à Inwil (test d'épuration du gaz pour la SOFC et du diagnostic d'exploitation dans le cadre d'un test sur 500 heures)

## Références:

Samuel Majerus, Dirk Lauinger et Jan Van herle, *Taking Advantage of the Vastly Underused European Biogas Potential: Break-Even Conditions for a Fuel Cell and an Engine as Biogas Converters*, J. Electrochem. En. Conv. Stor. 15(3), 031006 (9 avril 2018) (7 pages) N° du document: JEECS-17-1067; doi: 10.1115/1.4039045

## Thème 2 :

Nouvelles technologies à  
l'échelle pilote – rapports  
d'expérience pratique



**Titre du projet: Carbonisation hydrothermale à l'échelle d'un projet pilote – premières expériences**

**Auteurs:** Andreas Mehli<sup>1</sup>, Raphael Haymoz<sup>2</sup>, Dieter Winkler<sup>2</sup>, Timothy Griffin<sup>2</sup>, Gabriel Gerner<sup>3</sup>, Rahel Wanner<sup>3</sup>, Beatrice Kulli<sup>3</sup>, Alex Treichler<sup>3</sup>, Urs Baier<sup>3</sup>, Martin Kühni<sup>3</sup>

**Institutions:** <sup>1</sup> Klima GRischa Klimastiftung Graubünden, GRegio Energie AG, Mehli Landmaschinen; <sup>2</sup> Haute École spécialisée de la Suisse du Nord-Ouest (FHNW) ; <sup>3</sup> Université des sciences appliquées de Zurich (ZHAW)

**Contexte:**

La Suisse produit de grandes quantités de déchets organiques, dont la valorisation énergétique et/ou le recyclage ne sont pas toujours gérés de manière satisfaisante. La technologie de la carbonisation hydrothermale (HTC) offre une possibilité d'assécher efficacement ces biomasses et de les mettre à disposition en tant qu'agents énergétiques alternatifs. À température et pression élevées, cette technologie transforme les biomasses humides, comme les boues d'épuration ou le lisier, en un produit de type charbon écologique pouvant être utilisé comme agent énergétique.

**Objectif du projet:**

L'objectif du HTC Innovationscampus Rheinmühle de Coire consiste à développer, à l'aide de la technologie HTC, un processus qui transforme des déchets organiques selon une méthode hygiénique, respectueuse de l'environnement et du climat. Ce processus doit permettre une utilisation énergétique, mais également une récupération de nutriments pour les plantes dans l'agriculture. La pièce maîtresse du projet est une installation d'une capacité de 10 m<sup>3</sup> par jour assurant une carbonisation hydrothermale en continu. Dans le cadre de ce projet, l'installation est optimisée aussi bien au niveau de sa capacité de fonctionnement et de son efficacité énergétique que sur le plan des composants des flux de produits.

**Procédé / méthodologie:**

L'idée centrale du projet est l'optimisation de l'assemblage des principaux équipements – échangeur de chaleur, chauffage, réacteur, séparation du charbon et de l'eau – et de tous les éléments périphériques auxiliaires. Dans le même temps, une étude est menée sur les flux de matières de nutriments tels que phosphore, azote et métaux lourds, afin de garantir une utilisation optimale de la matière brute. Un fermenteur anaérobie à lit fixe est utilisé pour le recyclage de l'eau de processus. L'eau de processus et le digestat sont testés concernant les composants et la dégradation des éléments, afin de détecter de possibles effets inhibiteurs et d'optimiser le rendement du méthane. À cet effet, des expériences en laboratoire sont menées en plus du test à grande échelle. Dans le cadre du projet, les charbons sont examinés afin de déterminer les diverses propriétés du carburant susceptibles d'influer sur la qualité (pouvoir calorifique, densité volumique, fusibilité des cendres, analyse immédiate et analyse élémentaire des composants), car ces caractéristiques influencent considérablement les processus de combustion. La formation de polluants est par ailleurs mesurée lors de tests de combustion dans de petits foyers de combustion.

**Résultats:**

Après de premières adaptations, l'installation HTC a pu être mise en service en avril 2018. Les conditions de processus escomptées d'environ 200°C et 20 bars ont été réalisées dès la première exécution. Au début, l'installation a fonctionné avec du lisier fermenté (composé de 80% de lisier et de 20% de restes d'aliments). La forte teneur en azote du lisier fermenté a provoqué des émanations d'ammoniac. Compte tenu de la procédure d'autorisation, les boues d'épuration n'ont pu être utilisées

qu'en novembre 2018. L'exploitation avec les boues d'épuration s'est avérée nettement plus simple car les risques d'obturation et les émanations étaient moindres.

Lors de la première phase de test avec du lisier fermenté, la production de gaz du fermenteur anaérobie à lit fixe était beaucoup trop faible. Actuellement, il est encore impossible d'établir avec précision si cela est dû aux effets inhibiteurs ou à une biologie encore inadaptée à cause de l'absence d'une exploitation régulière et de la présence de difficultés techniques. La valorisation efficace de l'eau de processus exige un fonctionnement stable de l'installation HTC pour la biologie anaérobie.

Les premières études des composants du lisier de fermentation, de la boue digérée et de leurs produits dérivés donnent une indication sur la répartition des nutriments et des métaux lourds. Le bilan des flux de matières et de leur variabilité n'a pas pu être établi de façon exhaustive, car la durée du test pour un fonctionnement stable était trop courte. Cela sera étudié à l'occasion d'une plus longue période de test lors d'une prochaine étape.

Les propriétés des charbons en matière de technologie des carburants ont pu être examinées et la formation de polluants a pu être mesurée lors des tests de gazéification et de pyrolyse. Avec la composition actuelle du charbon, les valeurs limites de l'OPair sont nettement dépassées. Compte tenu de leur pouvoir calorifique comparable à celui du bois, les charbons représentent un combustible d'appoint intéressant pour les usines d'incinération des ordures ménagères, les cimenteries ou les grandes installations comparables conçues pour gérer une forte teneur en cendres et équipées d'installations adéquates pour l'épuration des fumées.

Une nouvelle conception de la séparation du charbon et de l'eau est actuellement testée pour améliorer le rendement de charbon. Au cours du 2<sup>e</sup> trimestre, un nouvel échangeur de chaleur et un nouveau réacteur seront installés et testés afin d'optimiser la gestion thermique. Une série d'études / optimisations en matière de processus suivront afin de déterminer l'influence de différents paramètres (matières sèches dans l'alimentation, temps de rétention, température, valeur pH et homogénéité de la matière brute) sur l'efficacité énergétique de l'installation et sur les propriétés du charbon et de l'eau de processus. Les études portant sur la dégradabilité de l'eau de processus dans le fermenteur à lit fixe sont aussi particulièrement pertinentes.

#### **Graphiques / photos:**





**Titre du projet: Combinaison de la stérilisation et de l'hydrolyse anaérobie avant fermentation****Auteurs:** Stefan Huber (wigako) / Florian Rüschi Pfund (ZHAW)**Institutions:** wigako – wittwer gas kompost / ZHAW – Fachstelle Umweltbiotechnologie**Contexte:**

Dans l'installation de biogaz de Süderen (BE), destinée à la transformation d'engrais de ferme et de co-substrats, les composants servant à l'alimentation et au prétraitement du substrat ont vieilli et doivent être assainis. Une installation d'alimentation et de prétraitement du substrat innovante flambant neuve verra le jour dans le cadre de ces travaux. Outre la rénovation des composants de prétraitement mécanique et de stérilisation (Figure 2), deux nouvelles enceintes d'hydrolyse (hyper)thermophiles anaérobies (Figure 3) seront désormais intégrées en tant que première étape d'une fermentation en deux étapes (Figure 1).

**Objectif du projet:**

La rénovation vise principalement à assurer la performance mécanique et l'exploitation hydraulique de l'installation, ainsi qu'à maintenir une capacité de stockage suffisante en matière de substrat et de produit. Sous l'angle de la microbiologie et de la technique du processus, la nouvelle configuration de l'installation promet une plus grande stabilité au niveau de la commande du processus, en particulier lors de la fermentation thermophile, et davantage de constance, voire une hausse, au niveau de la production de biogaz (Figure 4). Afin de démontrer les résultats positifs de la fermentation en deux étapes et d'effectuer un réglage optimal des processus de prétraitement et de décomposition, il est nécessaire de procéder à une description et à une analyse systématique des différents effets liés au prétraitement et des étapes de la fermentation.

**Procédé / méthodologie:**

Une première étape consistera à identifier les paramètres pertinents du processus afin d'en déduire la technique MCR (mesure, commande, régulation) optimale de la fermentation en deux étapes en combinaison avec la stérilisation. Il s'agira d'établir l'état de la technique et les connaissances acquises dans les domaines de l'hydrolyse anaérobie thermophile et de l'influence de la stérilisation.

Après la mise en service de la nouvelle installation, son exploitation sera optimisée. Les paramètres d'exploitation déterminants et les différents mélanges de substrats seront analysés et évalués lors d'une phase d'optimisation et de démonstration intensive, faisant l'objet d'un suivi scientifique et comprenant plusieurs campagnes de mesure dans la perspective d'une exploitation optimisée sur le plan énergétique et en matière de technique du processus.

**Résultats:**

Les travaux de construction du composant de prétraitement ont bien avancé. La mise en service de la fermentation en deux étapes est prévue pour l'automne 2019. Une fois l'exploitation constante configurée, plusieurs campagnes de mesure se dérouleront sur une durée de plus de 12 mois.

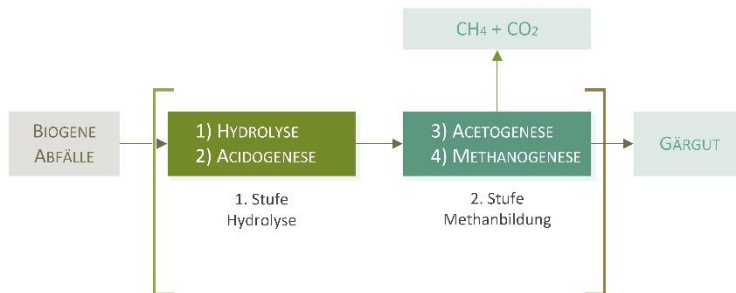
L'étude d'accompagnement vise à obtenir des résultats et à définir des recommandations dans les domaines suivants:

- ❖ élaboration de conseils et de stratégies concernant la mise en service optimale de la fermentation en deux étapes;
- ❖ définition des paramètres d'exploitation et des valeurs MCR pertinents, tels que la température, le temps de séjour, la valeur de pH, le FOS/TAC, la production de biogaz et les

fourchettes optimales correspondantes, en tant que résultat de plusieurs campagnes de mesure;

- ❖ déduction de conditions ayant trait au processus, devant permettre de déboucher, dans la mesure du possible, sur un processus de fermentation stable et un rendement en méthane élevé; ce faisant, l'effet des étapes de prétraitement sur les différentes catégories de substrat est pris en compte et ces étapes sont également considérées sous l'angle énergétique.

### Graphiques / illustrations:



**Figure 1 :** Principe de la fermentation anaérobie en deux étapes (graphique: Judith Krautwald, ZHAW)  
Étape de l'hydrolyse en amont: variante du procédé pour le prétraitement biologique de substrats

Biogene Abfälle = Déchets biogènes

Hydrolyse = Hydrolyse

Acidogenese = Acidogénèse

1. Stufe Hydrolyse = 1<sup>re</sup> étape: hydrolyse

Acetogenese = Acétogénèse

Methanogenese = Méthanogénèse

2. Stufe Methanbildung = 2<sup>e</sup> étape : formation de méthane

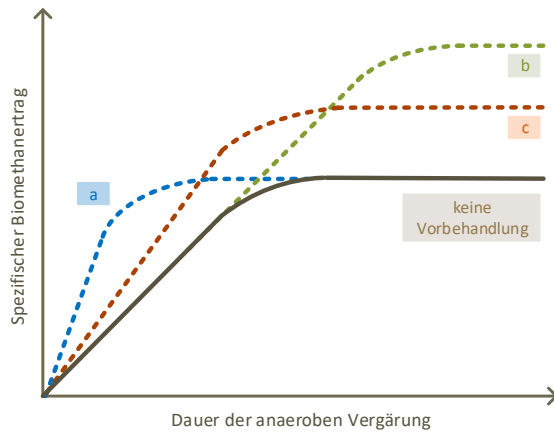
Gärgut = Digestat



**Figure 2:** État des travaux: deux nouveaux réservoirs destinés à la stérilisation ont été installés (illustration: wigako)  
Étape de stérilisation en amont: pour la pasteurisation de déchets soumis à des mesures d'hygiène à >70°C, 1h



**Figure 3:** État des travaux: les fondations des deux nouveaux réservoirs d'hydrolyse sont prêts (illustration: wigako)  
Fermentation en deux étapes: 1<sup>re</sup> étape de l'hydrolyse anaérobie de substrats liquides



**Figure 4** : Effets positifs de la fermentation en deux étapes: réduction de la durée du processus et augmentation du degré de décomposition (graphique: Judith Krautwald, ZHAW)

a) Accélération de la décomposition anaérobie → réduction de la durée;

b) Meilleur rendement en biométhane → augmentation du degré de décomposition;

c) Meilleur rendement en biométhane lors de la décomposition accélérée.

Spezifischer Biomethanertrag = Rendement spécifique en biométhane

Keine Vorbehandlung = Aucun prétraitement

Dauer der anaeroben Vergärung = Durée de la fermentation anaérobie



**Titre du projet: Installation de méthanisation biologique de Zuchwil**

**Auteur:** Andrew Lochbrunner, chef du projet STORE&GO WP3, Regio Energie Solothurn

**Institutions:**

- Regio Energie Solothurn
- Société Electrochaea GmbH de Munich pour la livraison de l'unité de méthanisation
- Haute École technique de Rapperswil (HSR)
- Société Suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux (SSIGE)
- Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (EMPA)
- École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)

**Contexte:**

Regio Energie Solothurn participe au projet STORE&GO ([www.storeandgo.info](http://www.storeandgo.info)) dans le cadre du programme européen pour la recherche et l'innovation Horizon 2020.

L'installation est le perfectionnement d'une installation exploitée à Avedore, au Danemark. Ce perfectionnement se base principalement sur l'optimisation de l'automatisation.

- Budget total du projet: 28 millions d'euros
- Durée: 4 ans
- 27 partenaires de recherche
- 6 pays
- 3 technologies différentes de méthanisation sur 3 sites
- Budget du site soleurois: environ 6 millions d'euros
- Part de Regio Energie subventionnée par le Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI)
- L'installation de Regio Energie Solothurn est la seule installation avec méthanisation biologique

**Données techniques:**

- |                                  |                                 |
|----------------------------------|---------------------------------|
| • Température de service         | 62°C                            |
| • Volume de réacteur             | 3,5 m <sup>3</sup>              |
| • Production de gaz renouvelable | 30 Nm <sup>3</sup> /h (325 kW)  |
| • Consommation d'hydrogène       | 120 Nm <sup>3</sup> /h (425 kW) |
| • Dioxyde de carbone             | 30 Nm <sup>3</sup> /h           |
| • Rejets thermiques              | 100 kW                          |

**Objectif du projet:**

La recherche s'articule autour de la production de gaz renouvelable par le biais de la méthanisation et du stockage en quantité industrielle afin de permettre une exploitation rentable. Outre les aspects technologiques, elle tient également compte de considérations économiques et juridiques.

- Obtention d'une teneur en méthane de 96% lors de l'injection
- Obtention de la quantité injectée maximale de 30 Nm<sup>3</sup>/h de GNS

**Procédé / méthodologie:**

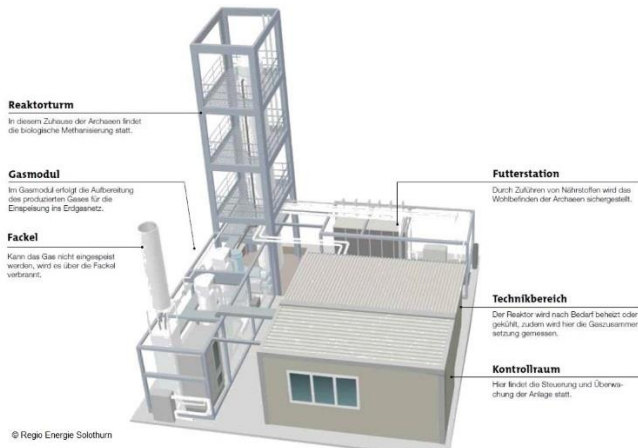
- Réalisation d'un fonctionnement continu durant 500 heures
- Détermination du degré d'efficacité de l'installation
- Détermination des coûts d'exploitation
- Détermination du matériel d'exploitation nécessaire
- Détermination de la période de démarrage, depuis le mode veille jusqu'à l'injection

- Détermination du fonctionnement en charge partielle

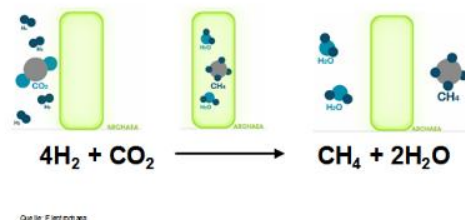
**Résultats:**

Aujourd'hui, l'installation se trouve dans la phase finale de mise en service. Le plus grand défi actuel est l'achèvement du système de commande. Des résultats concernant l'exploitation ne sont pour l'heure pas disponibles.

**Graphiques / photos:**



**Figure 1 :** Structure de l'installation



**Figure 2 :** Processus de transformation



**Figure 3 :** Tour de réacteur à gauche, skid pour gaz avec torche à droite



**Figure 4 :** Refroidisseur de processus, skid pour liquides et tour de réacteur

**Références:**

<https://storeandgo.info/downloads/>

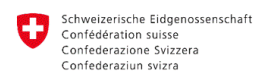
**Titre du projet: High Efficiency Power-to-Methane Pilot (HEPP)**

**Auteurs:** Professeur Markus Friedl, Luiz de Sousa, Luca Schmidlin, Christoph Steiner, Justin Lydement

**Institutions:** HSR Hochschule für Technik Rapperswil, École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Zürcher Hochschule der Angewandten Wissenschaften (ZHAW), Union européenne, Fonds pour la recherche (FOGA) de l'industrie gazière suisse, Office fédéral de l'énergie (OFEN), Office fédéral de l'environnement (OFEV), Innosuisse, Swiss Competence Center for Energy Research Heat and Electricity Storage (SCCER HaE), ville de Rapperswil-Jona, Audi, Apex AG, Mems AG, Chemical Process Engineering (CPE), Emerson, Swagelok, Energie Zürichsee Linth AG, Erdgas Obersee – Linth Transport AG, Elektrizitätswerk Jona-Rapperswil (EWJR), Energie 360°, Sankt Galler Stadtwerke (sgsw), Erdgas Regio, Hitachi Zosen Inova, GasDirekt



This project is co-funded by the European Union



Bundesamt für Umwelt BAFU

Innosuisse – Schweizerische Agentur für Innovationsförderung

Bundesamt für Energie BFE

**Contexte:**

Power-to-Methane est un procédé prêt à être commercialisé qui permet de produire du méthane à partir d'électricité renouvelable et dont l'efficacité atteint environ 50 %.

**Objectif du projet:** L'objectif du projet est d'accroître, grâce à de nouvelles technologies, l'efficacité du procédé Power-to-Methane jusqu'à 70 % et d'améliorer la rentabilité des centrales Power-to-Methane.

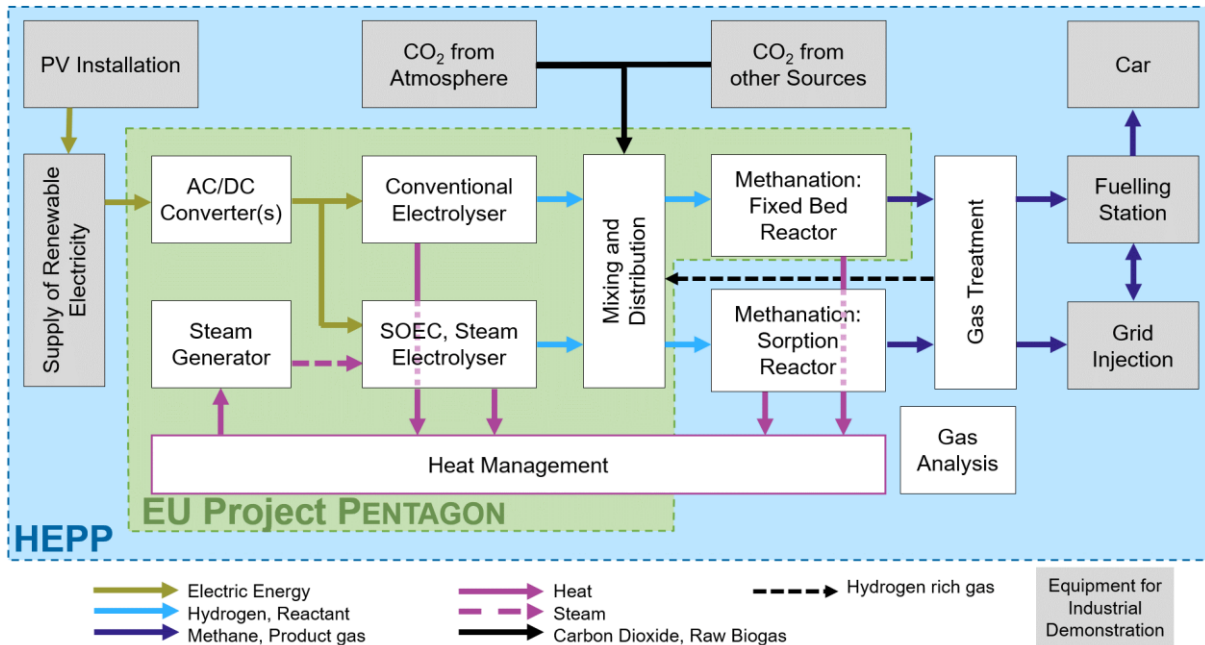
**Procédure / méthodologie:**

Une installation pilote à petite échelle a été construite. Elle présente toutes les caractéristiques et les composants d'une grande centrale Power-to-Methane: elle alimente une station-service distribuant du méthane, est reliée au réseau de gaz naturel et peut extraire le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. Pour atteindre les objectifs visés, de nouvelles technologies sont utilisées dans cette installation: électrolyse à haute température (SOEC), technologie membranaire pour l'épuration du gaz, nouveaux procédés de méthanisation et nouveaux capteurs à faible coût. Ces technologies sont combinées à un nouveau système de gestion de la chaleur pour former un système complet.

**Résultats:**

L'installation a été inaugurée en octobre 2018 et est en cours de mise en service au moment de la rédaction du présent résumé en mars 2019. Sur la base des tests réalisés dans le cadre de ce projet, la société MEMS AG peut déjà proposer sur le marché un système de capteurs pour les installations Power-to-Methane. L'amélioration de l'efficacité doit pouvoir être démontrée au cours de l'été.

**Graphiques / photos:**



**Figure 1 :** Schéma de l'installation



**Figure 2:** Installation en octobre 2018



**Références:**

Wang, L., Miana, A., C.R. de Sousac, L., Diethelm, S., Van herle, J., Maréchal, F. «Integrated System Design of a Small-scale Power-to-Methane Demonstrator», Chemical Engineering Transactions, Vol. 61, 2017



## Thème 3:

# Énergie et climat – questions multidisciplinaires



**Titre du projet: Émissions de protoxyde d'azote et de méthane issues des engrais de recyclage épandus****Auteurs:** Norah Efosa**Institutions:** Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL); EPF Zurich (Sustainable Agroecosystems)**Contexte:**

L'excédent d'azote issu de la fertilisation de la production végétale ne reste dans le sol qu'en faible quantité. Lessivé sous forme de nitrate ou se volatilisant sous forme de protoxyde d'azote ou d'ammoniac suite à une dénitrification incomplète, il constitue une menace pour l'environnement, car il contribue à l'eutrophisation et accélère le changement climatique. Les engrais de recyclage, tels que le lisier fermenté, le digestat et le jus de pressage, permettent non seulement de produire de l'énergie, mais aussi de valoriser des déchets organiques et de clore le cycle de l'azote. Afin d'optimiser l'utilisation d'engrais de recyclage entre autres dans l'agriculture biologique, des études scientifiques doivent être réalisées pour analyser l'impact des engrais sur l'environnement. Dans le cadre du projet «GHG-Recycle4Bio», une étude menée sur le terrain pendant plusieurs années se penche pour la première fois en Suisse sur l'impact climatique des engrais de recyclage et les possibilités de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

**Objectifs du projet:**

- Analyser l'impact climatique des engrais de recyclage par la quantification du protoxyde d'azote et du méthane, puissants gaz à effet de serre, dans le cadre d'une étude de terrain s'étendant sur deux ans et demi.
- Identifier les facteurs clés qui déterminent les émissions de protoxyde d'azote afin de proposer des stratégies de gestion adaptées.

**Procédé / méthodologie:**

Trois types d'engrais de recyclage sont étudiés du point de vue de leur impact climatique: (1) le lisier fermenté produit par une installation de biogaz agricole, (2) le lisier fermenté mélangé à du charbon végétal et (3) le digestat liquide issu d'une installation de biogaz industrielle. À titre de comparaison, du lisier de bovins et deux types d'engrais témoins, l'un non fertilisé et l'autre fertilisé en minéraux, sont également analysés. Par année et par hectare, 140 kg d'azote sont répandus en deux épandages. La rotation des cultures a été définie au préalable comme suit: maïs d'ensilage (2018), blé d'hiver (2018/19), moutarde jaune (culture dérobée 2019) et orge d'hiver (2019/20).

Les émissions de protoxyde d'azote et de méthane sont mesurées au moyen de 48 chambres statiques fermées au moins toutes les deux semaines mais à une fréquence accrue après les épandages d'engrais, les mesures culturales et les phénomènes météorologiques particuliers, notamment les pluies qui suivent une longue période de sécheresse. En plus des échantillons de gaz, des échantillons de terre (0-20 cm) sont également prélevés, afin de suivre le parcours de l'azote minéral dans le sol et de mettre ces données en relation avec celles concernant le protoxyde d'azote.

**Résultats:**

Pendant la culture de maïs d'ensilage en 2018, les analyses n'ont révélé aucune différence cohérente entre les engrais en ce qui concerne l'émission de protoxyde d'azote (figure 1). Après le premier apport d'engrais au début du mois de mai, aucune hausse directe des émissions de protoxyde d'azote n'a été détectée. Cela s'explique probablement par le taux d'humidité très faible du sol pendant cette période. Le deuxième apport d'engrais au début du mois de juin a été suivi, à quelques jours près, de précipitations, les premières depuis une longue période de sécheresse. Par rapport aux engrais liquides, qui n'affichaient pas une différence nette entre eux, les émissions de protoxyde d'azote ont

doublé dans le cas de l'engrais enrichi en minéraux et diminué d'un tiers pour l'engrais témoin non fertilisé. Les mesures culturales, en particulier le passage de la herse étrille lors d'une précipitation, qui déclenchent des processus de minéralisation et de mobilisation des nutriments dans le sol, ont entraîné la hausse des émissions de protoxyde d'azote pour tous les types d'engrais.

La teneur du sol en azote minéral a augmenté après les deux apports d'engrais (figure 2). Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées pour l'engrais témoin fertilisé en minéraux et les valeurs les moins élevées pour l'engrais témoin non fertilisé.

Les engrais de recyclage et le lisier de bovins se situent entre les deux engrais témoins. Après le deuxième épandage, les mesures d'azote minéral affichaient des résultats tendanciellement moins élevés dans le cas du lisier de bovins que dans celui des engrais de recyclage.

### Graphiques / Illustrations:



Mesures de gaz à effet de serre  
(photo: FiBL, 2018)

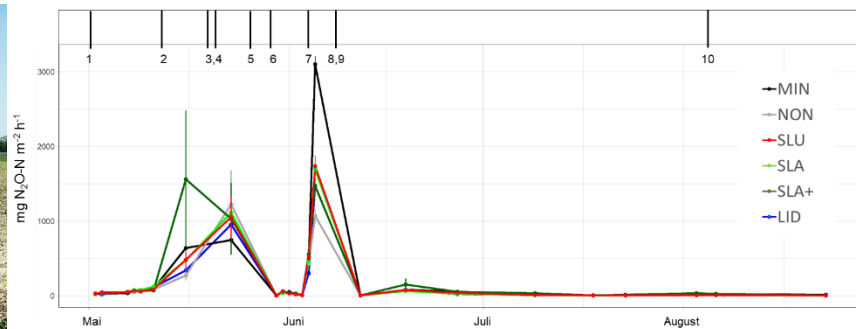
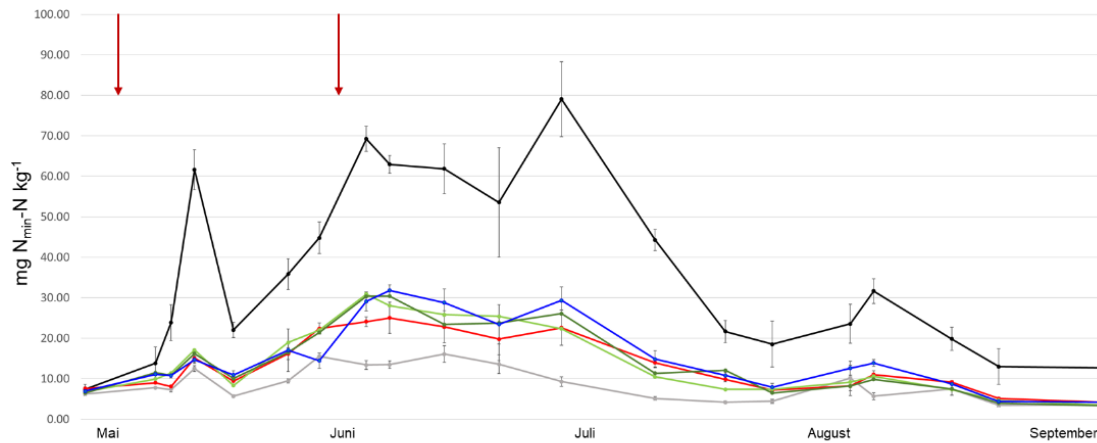


Abb.1: Lachgasemissionen (n=8) während der Silomaiskultur 2018 für die Düngerverfahren: Rindergülle (SLU), Biogasgülle (SLA), Biogasgülle und Pflanzenkohle (SLA Biochar) und Presswasser (LID) sowie die Kontrollverfahren: mineralisch gedüngt (MIN), ungedüngt (NON). Fehlerbalken zeigen den Standardfehler an. Kulturmassnahmen und Ereignisse wie folgt: 1-Düngergabe (04.05.2018, 70 kg N ha<sup>-1</sup>), 2-Striegel, 3-Striegel, 4-Niederschlag > 10 mm, 5-Striegel, 6-Düngergabe (29.05.2018, 70 kg N ha<sup>-1</sup>), 7-Niederschlag > 10 mm, 8-&9-Hacke, 10-Bewässerung (540 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).

**Figure 1** : Émissions de protoxyde d'azote (n=8) pendant la culture de maïs d'ensilage 2018 selon les types d'engrais: lisier de bovins (SLU), lisier fermenté (SLA), lisier fermenté et charbon végétal (SLA Biochar) et jus de pressage (LID), ainsi que l'engrais témoin fertilisé en minéraux (MIN) et l'engrais témoin non fertilisé (NON). Les barres d'erreur indiquent les erreurs-types. Suite des mesures culturales et des événements: 1 – apport d'engrais (04.05.2018, 70 kg N ha<sup>-1</sup>), 2 – herse étrille, 3 – herse étrille, 4 – précipitations > 10 mm, 5 – herse étrille, 6 – apport d'engrais (29.05.2018, 70 kg N ha<sup>-1</sup>), 7 – précipitations > 10 mm, 8 & 9 – binage, 10 – irrigation (540 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).



**Abb.2:** Verlauf des mineralischen Stickstoffs ( $n = 4$ ) im Boden (0-20 cm) in den Düngerverfahren: Rindergülle (SLU), Biogasgülle (SLA), Biogasgülle und Pflanzenkohle (SLA Biochar) und Presswasser (LID) sowie in den Kontrollverfahren: mineralisch gedüngt (MIN), ungedüngt (NON). Durch rote Pfeile gekennzeichnet sind beide Düngergaben im Silomais 2018 (04.05.2018 und 29.05.2018, je  $70 \text{ kg N ha}^{-1}$ ).

**Figure 2 :** Parcours de l'azote minéral ( $n=4$ ) dans le sol (0-20 cm) selon les engrais : lisier de bovins (SLU), lisier fermenté (SLA), lisier fermenté et charbon végétal (SLA Biochar) et jus de pressage (LID), ainsi que l'engrais témoin fertilisé en minéraux (MIN) et l'engrais témoin non fertilisé (NON). Les flèches rouges indiquent les deux apports d'engrais lors de la culture de maïs d'ensilage 2018 (04.05.2018 et 29.05.2018, toujours  $70 \text{ kg N ha}^{-1}$ ).

#### Références:

Eickenscheidt, T., Freibauer, A., Heinichen, J., Augustin, J. et Drösler, M.: Short-term effects of biogas digestate and cattle slurry application on greenhouse gas emissions affected by N availability from grasslands on drained fen peatlands and associated organic soils, *Biogeosciences*, 11, 6187-6207.  
 Hüppi, R., Felber, R., Neftel, A., Six, J. et Leifeld, J.: Effect of biochar and liming on soil nitrous oxide emissions from a temperate maize cropping system, *SOIL*, 1, 707-717, doi:10.5194/soil-1-707-2015, 2015.





**Titre du projet: Évaluation et réductions des émissions de méthane des installations de biogaz agricoles****Auteurs:** Scharfy, Deborah; Anspach, Victor**Institution:** Coopérative Ökostrom Schweiz**Contexte:**

Les installations de biogaz agricoles utilisent de l'engrais de ferme, des déchets et des résidus pour produire du biogaz. Celui-ci est transformé en électricité et en chaleur ou injecté dans le réseau de gaz une fois traité. En réduisant les émissions de méthane issues du stockage d'engrais de ferme et en produisant des énergies renouvelables, ces installations fournissent une contribution majeure à la protection du climat. Des pertes de méthane, dues entre autres à des fuites, ne sont toutefois pas exclues. La réduction de ces pertes au minimum est donc un objectif important pour l'ensemble des exploitants d'installations et constitue le point de départ du projet EvEmBi.

**Objectif du projet:**

Le projet EvEmBi (= Evaluation and reduction of methane emissions from different European biogas plants) est mené conjointement par différentes institutions spécialisées d'Allemagne, d'Autriche, de Suède, de Danemark et de Suisse. Son objectif principal pour les années 2018 à 2021 est de mesurer la quantité de méthane émise par différents types d'installations de biogaz dans les secteurs de l'agriculture, de la gestion des déchets et des stations d'épuration. Les résultats permettront non seulement de définir des facteurs d'émission pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, mais également de formuler et de tester des mesures destinées à diminuer les émissions, afin que les exploitants d'installations de biogaz puissent accroître leur efficacité.

**Procédé / méthodologie:**

Dans le cadre du projet, les émissions de méthane de 31 installations de biogaz sont mesurées à distance et sur site. En Suisse, trois installations de biogaz agricoles font plusieurs fois l'objet de mesures en tant qu'unité à l'aide de lasers sensibles au méthane (méthode de mesure à distance) et des mesures sont également effectuées directement sur leurs composants individuels afin de déterminer leur étanchéité au méthane (méthode de mesure sur site). Les trois installations se distinguent par leur taille, qui va de 120 kW<sub>el</sub> à 440 kW<sub>el</sub>.

**Résultats:**

La première campagne de mesure a eu lieu en 2018. Les trois installations ont été soumises aux deux méthodes de mesures. La mesure à distance se déroulait toujours sur une longue période de 4 à 8 semaines. Outre les mesures de méthane, d'autres paramètres servant à l'interprétation des résultats ont également été relevés dans le cadre d'entretiens et de collectes de données. Les résultats des mesures sur site restent comparables à ceux des contrôles effectués jusqu'à présent sur ces installations. En raison des contraintes du modèle et des conditions de vent, les émissions de méthane n'ont pu être modélisées par des mesures à distance que pour une petite partie des intervalles de la durée de mesure. Les résultats seront interprétés après la deuxième campagne de mesure.

**Graphiques / illustrations:**



NOTES:

NOTES: