

TRANSFORMER LES DÉCHETS BIOLOGIQUES EN CHARBON

Il y a plus de 100 ans, le chimiste allemand Friedrich Bergius décrivait comment les substances végétales se transforment en charbon en quelques heures sous l'influence de la pression et de la chaleur. La « carbonisation hydrothermale » (HTC), comme on appelle scientifiquement ce processus, connaît aujourd'hui une renaissance: une installation pilote à Coire a examiné le potentiel de HTC pour la récupération des nutriments végétaux à partir des déchets organiques ainsi que la valorisation énergétique du charbon HTC.



La véritable innovation de l'installation de Coire est ce tube de 6 m de long dans lequel les boues d'épuration sont chauffées puis comprimées avant de parvenir au réacteur. Le chauffage est assuré par de l'huile thermique chaude à 270 °C circulant dans la gaine du tube. A l'intérieur du tube, une vis sans fin (une partie est retirée sur la photo) pousse lentement la boue d'épuration tout en assurant qu'elle n'adhère pas à la paroi du tube pendant le chauffage. Photo: Rapport final de l'OFEN

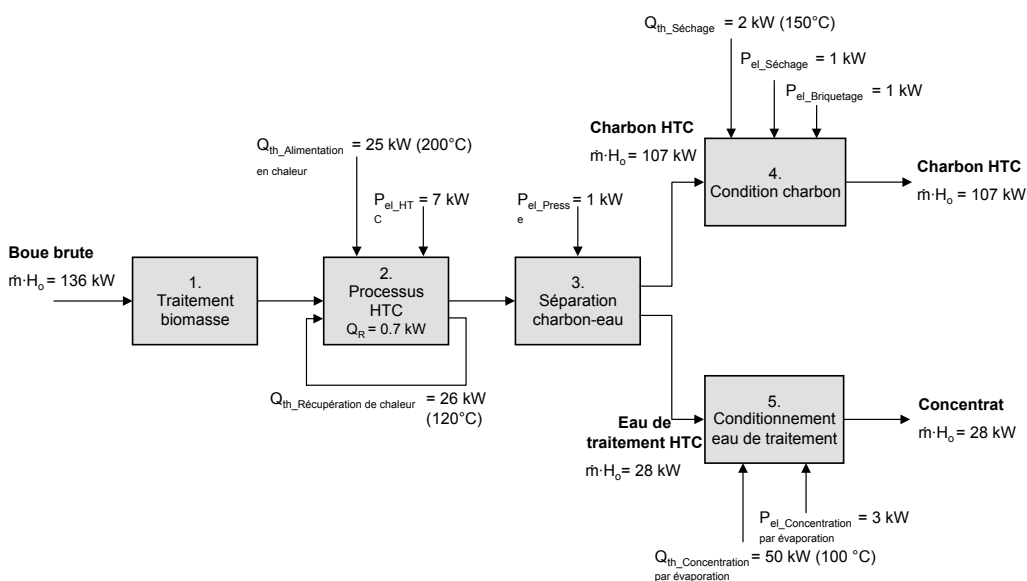
Ce que nous désignons volontiers de « déchets » au quotidien est souvent une source de substances précieuses et nutritives. Cela s'applique également aux boues produites dans les stations d'épuration des eaux usées (STEP) et qui, jusqu'à présent, étaient essentiellement éliminées dans des stations d'incinération des boues (également appelées mono-incinération), les stations d'incinération des déchets et les cimenteries. Les boues d'épuration contiennent, entre autres, de l'azote et du phosphore, deux ingrédients de base des engrais pour plantes. A partir de 2026, au moins 50 % du phosphore des boues d'épuration devront être récupérés, comme l'exige l' « Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets » (OLED). Il existe différentes méthodes pour la récupération. L'une d'entre elles a récemment été étudiée dans une installation pilote de « carbonisation hydrothermale » (HTC) à Coire.

Dans l'installation HTC, les boues d'épuration de la station d'épuration de Coire, située à proximité, sont soumises à une pression de 20 bars et chauffées simultanément à 200 °C en deux étapes. Les boues chaudes restent dans cet état pendant quatre heures dans un réacteur et sont transformées en boues de charbon (carbonisation hydrothermale). La boue de charbon est ensuite pressée pour produire du charbon HTC et de l'eau de traitement. La plupart du phosphore contenu dans les boues d'épuration doit être transféré dans l'eau de traitement. Pour cela, la boue de charbon est acidifiée avant d'être pressée. Le phosphore peut alors être extrait de l'eau de traitement. « Avec l'installation pilote de Coire, nous avons pu récupérer environ 30 % du phosphore contenu dans



Andreas Mehli montre un morceau de charbon HTC. Le produit de la carbonisation hydrothermale est souvent appelé « biochar », mais ce terme est trompeur car le charbon fossile est également d'origine « biologique ». Le charbon HTC peut être utilisé pour la production d'énergie, mais il entre également en ligne de compte comme amendement du sol, engrais ou matériau pour la production de batteries. Appliqué dans les champs agricoles, le carbone élémentaire reste dans le sol, selon les connaissances actuelles, et agit ainsi comme un puits de carbone; le biochar est potentiellement bénéfique pour l'équilibre hydrique du sol et pour la croissance des plantes. Les chercheurs de la ZHAW ont constaté une accumulation d'acides gras à longue chaîne dans le charbon HTC, une condition favorable à la production de biodiesel. Photo: B. Vogel

les boues fermentées », affirme Gabriel Gerner de la Haute école zurichoise des sciences appliquées (ZHAW), qui a apporté son soutien scientifique au projet. Les chercheurs dirigés par Gerner s'attendaient à ce que la carbonisation favorise la solubilité du phosphore, mais cela ne s'est pas produit. Malgré le succès partiel, l'ingénieur environnemental Gerner



Le graphique montre la puissance électrique et thermique requise pour les étapes du processus d'une installation HTC avec un débit massique de 275 kg par heure, telle que celle mise en œuvre à Coire. Converti en une tonne de boues d'épuration (boues brutes), le procédé HTC nécessite 47 kWh d'énergie électrique et 280 kWh d'énergie thermique pour les cinq étapes du procédé. Pour la comparaison: une tonne de boues d'épuration non fermentées contenant 15% de matière sèche permet d'extraire 140 kg de charbon HTC d'une teneur énergétique de 560 kWh; il est ainsi possible de produire environ 500 kWh de chaleur (à l'aide d'un brûleur FLOX) ou 140 kWh d'électricité plus 250 kWh de chaleur (dans une centrale de cogénération).

reste confiant: « En acidifiant davantage la boue de charbon et en abaissant le pH de 4 à 3, nous devrions satisfaire à l'exigence de 50% de l'OLED ».

Chauffage et carbonisation en étapes individuelles

Le responsable de l'installation pilote HTC est Andreas Mehli. L'entrepreneur dirige une entreprise de machines agricoles, communales et forestières avec 35 collaboratrices et collaborateurs. Depuis 2015, il a monté l'installation HTC sur le terrain de son entreprise, aux portes de la ville, cherchant à apporter des améliorations techniques avec engagement et ingéniosité. Le point de départ était une installation HTC du fabricant allemand Grenol. Après des engorgements répétés, Andreas Mehli a décidé d'échelonner le chauffage du substrat et le processus de carbonisation en deux étapes distinctes. Le premier processus partiel a lieu dans une « vis de chauffe », dans laquelle le substrat est chauffé par de l'huile thermique chaude pendant qu'une vis sans fin le fait avancer lentement. « Grâce à ce composant innovant, nous avons pu faire fonctionner notre système HTC pratiquement sans problème pendant près de 1000 heures entre septembre 2019 et décembre 2020 », conclut Mehli. « Nous avons amélioré l'efficacité énergétique de 60% depuis le début de l'exploitation ».

L'installation fonctionne. Et elle fonctionne avec différents substrats. L'équipe de recherche de la ZHAW et de la Haute école spécialisée du nord-ouest de la Suisse (FHNW) a mené quatre campagnes de mesure avec des boues d'épuration et deux autres avec un mélange de lisier et de digestat. L'installation HTC pourrait également être exploitée avec d'autres formes de biomasse telles que les déchets verts, les déchets alimentaires ou le lisier. Mais chaque substrat a ses propres caractéristiques et nécessite parfois une adaptation de l'installation. Ainsi, pour ne citer qu'un exemple, une presse différente doit être utilisée pour les substrats fibreux tels que le lisier et pour les boues d'épuration. Dans leur projet d'accompagnement, les chercheurs de la ZHAW et de la FHNW ont analysé les flux de matière en détail. Ils fournissent ainsi les bases pour la conception des futures installations HTC.

Transformer le charbon HTC en chaleur et en électricité

A la fin du processus de carbonisation, il reste du charbon HTC et de l'eau de traitement. Les deux produits peuvent être



Les boues d'épuration, chauffées à 200 °C puis comprimées à 20 bars, arrivent dans le réacteur HTC (conteneur blanc) par le tuyau vertical isolé au premier plan. Dans un processus de quatre heures, les boues d'épuration s'y transforment en boues de charbon, dont le charbon HTC solide est ensuite extrait par pressage. Photo: Rapport final de l'OFEN



Le réacteur de carbonisation se compose d'un tube disposé en onze boucles de douze mètres de long chacune, et contenant un total de 5600 litres de boues. Le réacteur est très bien isolé de telle sorte que la boue refroidit de seulement 10 degrés (de 200 à 190 °C) pendant son voyage à travers le réacteur. Dans le réacteur, les boues d'épuration sont transformées en boues de charbon qui, après avoir quitté le réacteur, sont refroidies à 60°C dans un échangeur de chaleur et expansées dans une pompe à vis. Photo: Rapport final de l'OFEN

utilisés énergétiquement: le premier par combustion ou gazéification, le second par fermentation dans une installation de biogaz. L'analyse des flux d'énergie de la valorisation des boues d'épuration montre que quatre cinquième de l'énergie se trouvent dans le charbon et tout de même un cinquième dans l'eau de traitement. A Coire, l'eau de traitement a été recyclée à titre d'essai dans une installation de biogaz en conteneur d'une longueur de 20 pieds. Des essais de gazéification, de pyrolyse et de combustion ont été réalisés avec le charbon HTC. Dans la mesure où les carbonisats contiennent, entre autres, nettement plus d'azote et de soufre que le bois, les valeurs seuils de l'Ordonnance sur la protection de l'air pour les émissions d'oxyde d'azote, de dioxyde de soufre et

de poussières ont été dépassées et une formation accrue de scories a été observée. Comme stipulé dans le rapport final du projet, « l'utilisation énergétique est certes possible, mais uniquement avec une installation d'incinération adaptée et optimisée pour le charbon HTC, et une épuration des gaz de combustion correspondante est recommandée ». En tant qu'alternative plus écologique, la gazéification doit désormais être analysée dans un gazéificateur à lit fixe avec combustion ultérieure du gaz dans un brûleur FLOX.

La question à savoir dans quels cas une utilisation énergétique du charbon HTC et de l'eau de traitement est utile et, par exemple, préférable à une fermentation des substrats dans une installation de biogaz, n'a pas encore de réponse concluante. Selon Andreas Mehli, le procédé HTC est particulièrement avantageux lorsque la valorisation dans l'installation de biogaz n'est pas possible en raison des résidus de plastique. Il convient également de noter que la carbonisation elle-même consomme de l'énergie. Dans le cas des résidus alimentaires, cela correspond à 20 à 30% de l'énergie contenue dans le substrat, et même à 50 à 100% dans le cas des boues, selon qu'elles se trouvaient dans la tour de fermentation ou non. Cependant, selon Mehli, le procédé HTC est néanmoins recommandable dans la mesure où, tout bien considéré, le séchage des boues d'épuration nécessite moins d'énergie qu'avec le procédé de séchage en lit fluidisé thermique couramment utilisé aujourd'hui. En outre, le procédé

MÉTHODE DECRIVÉE EN 1913

Le procédé de la «carbonisation hydrothermale» (HTC) revient au chimiste allemand Friedrich Bergius. Dans un article écrit en 1913, il décrit comment la transformation de la biomasse en charbon, qui prend des millions d'années dans la nature, peut être techniquement imitée en quelques heures. En 1931, il reçoit le prix Nobel de chimie pour la découverte du procédé de production du charbon en tant que source d'énergie. En 2012, la société suisse AVA-CO2 mettait une installation de démonstration HTC en service à Karlsruhe. Depuis, des installations HTC industrielles ont fait leur apparition, entre autres, dans la ville chinoise de Jining et à Relzow (Allemagne du nord). Le procédé HTC est également utilisé dans la production de matériaux chimiques de base. BV

HTC serait avantageux pour la récupération du phosphore.

Application prévue dans la région de Surselva

Après l'achèvement de l'exploitation pilote, l'installation HTC du site précédent sera démantelée. Que reste-t-il? La technologie de carbonisation a démontré sa maturité technique. « A l'heure actuelle, on ne sait toujours pas avec quels substrats et quelles valorisations du charbon HTC la technologie est économiquement intéressante. La valorisation des boues d'épuration pourrait être économiquement intéressante car leur



Après le réacteur, la boue de charbon passe dans une presse où, après l'évacuation de l'eau de traitement, il reste le charbon HTC avec une teneur en eau de seulement environ 30%. Photo: Rapport final de l'OFEN

élimination fait l'objet d'une compensation financière », pense Gerner, chercheur à la ZHAW.

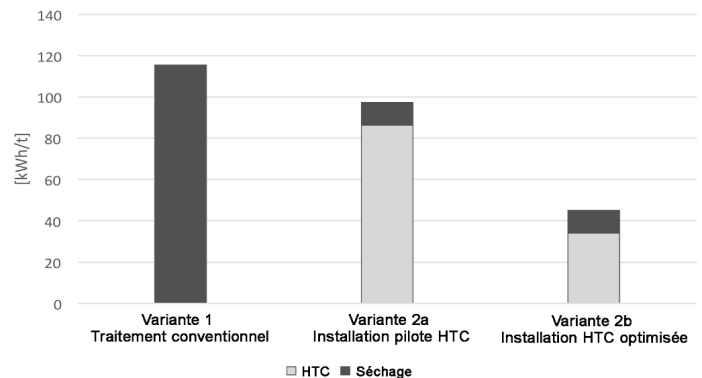
Toutefois, la carbonisation des déchets verts et des déchets alimentaires semble également avoir un potentiel. La première installation commerciale en Suisse, que la Regiun Surselva, une association de 15 communes de la vallée du Rhin antérieur, prévoit de mettre en service en 2022 dans le village de Rueun dans le canton des Grisons, fonctionnera avec ces deux substrats. Le charbon HTC qui y est produit doit être énergétiquement valorisé dans différentes centrales de chauffage urbain de la Surselva alimentées en copeaux de bois; la question de l'utilisation de l'eau de traitement est encore ouverte. Un projet actuel de l'OFEN doit confirmer la faisabilité d'une telle installation. Les questions de planification spatiale, de logistique et de protection contre les émissions seront abordées dans un projet consécutif. Les clarifications concernant la centrale HTC sont de la responsabilité de la fondation < Alpine Energy Research Centre > (AlpEnForCe) à Disentis. Pour le chef de projet Roland Cajacob, l'installation est une étape vers le recyclage régional des déchets et la production d'énergie à partir de la biomasse: « Jusqu'à présent, les déchets verts et les déchets alimentaires devaient être transportés sur 90 km jusqu'à des centres de recyclage; aujourd'hui, ils peuvent être transformés en énergie pratiquement sur le pas de la porte. »

➤ Le **rapport final** du projet « HTC Innovationscampus Rheinmühle - Installation pilote pour la carbonisation hydrothermale » est disponible sur:
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40894>

➤ Dr Sandra Hermle (sandra.hermle@bfe.admin.ch), responsable du projet de l'OFEN bioénergie, et Dr Men Wirz (men.wirz@bfe.admin.ch), responsable du programme pilote et de démonstration de l'OFEN, communiquent des **informations** sur le projet.

➤ Vous trouverez d'autres **articles spécialisés** concernant les projets phares et de recherche, les projets pilotes et de démonstration dans le domaine de la bioénergie sur www.bfe.admin.ch/ec-bioenergie.

Consommation énergétique spécifique thermique



Le séchage conventionnel des boues d'épuration (consistant en une déshydratation mécanique au moyen d'un décanteur centrifuge et d'un séchage en lit fluidisé thermique) nécessite plus d'énergie thermique que le procédé HTC. Avec une installation HTC optimisée, l'avantage énergétique devrait être encore plus important. En termes d'électricité, l'installation pilote HTC (pas encore optimisée) présente une consommation légèrement plus élevée. Graphique: Rapport final de l'OFEN

PROJETS P+D DE L'OFEN

L'installation pilote de Coire pour la carbonisation hydrothermale a été soutenue par le programme pilote et de démonstration de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). L'OFEN encourage ainsi le développement et l'expérimentation de technologies, de solutions et d'approches innovantes qui contribuent de manière significative à l'efficacité énergétique ou à l'utilisation des énergies renouvelables. Des requêtes d'aide au financement peuvent être déposées à tout moment.

➤ www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration