

Résumé

Introduction, objectifs, démarche

Des procédés de récupération du phosphore ont été développés, notamment dans l'aire germanophone, en perspective des prescriptions légales à venir sur la récupération du phosphore contenu dans les boues d'épuration, les farines animales, etc.

La Suisse a beaucoup investi ces dernières années dans les systèmes décentralisés de déshydratation et de séchage des boues d'épuration, car une grande partie de ces boues est éliminée dans les cimenteries. Cette infrastructure d'élimination devrait continuer d'être utilisée, même si la récupération du phosphore devient obligatoire, et ainsi être amortie judicieusement.

C'est pourquoi ce projet évalue les procédés possibles de récupération du phosphore dans les eaux usées ou les boues d'épuration qui n'utilisent pas les cendres de boues d'épuration comme intrant. L'état actuel du développement de divers procédés chimiques humides de récupération du phosphore dans les stations d'épuration est analysé et évalué à l'aune de critères écologiques, économiques et techniques, et en vue de leur mise en œuvre dans l'actuelle infrastructure du pays.

Dans un premier temps, le présent rapport dresse un état des lieux des procédés de récupération du phosphore dans les eaux usées et les boues d'épuration (phase 1, Récapitulation : chapitre 2). Il établit ensuite une évaluation sommaire des différents procédés (phase 2, partie 1, Évaluation sommaire des procédés : chapitre 3). Les procédés les plus prometteurs sont ensuite évalués en détail (phase II, partie 2, Évaluation détaillée des procédés retenus : chapitre 4). Les représentants des procédés analysés ont reçu ici la possibilité de donner un avis personnel, ce qu'ils ont fait.

Pour ce qui est du meilleur projet pilote pour la STEP *ara region bern ag*, un schéma de mise en œuvre sera élaboré en temps utile.

Récapitulation (Phase I)

La majorité des systèmes existants fait partie de la catégorie des **procédés de cristallisation et de précipitation**. L'intrant de ces systèmes est soit l'eau des boues, soit les boues digérées. Les procédés de cette catégorie sont déjà mis en œuvre à l'échelle industrielle et commercialisés (p. ex. Air-Prex[®], Ostara Pearl[®], NuReSys[®]). Or ils ne permettent de précipiter que la fraction de phosphore dissoute sous forme de phosphate. C'est pourquoi, ils ne sont pas compatibles avec une élimination du phosphore par précipitation à l'alun et au sel de fer. Ils ont néanmoins l'avantage d'être relativement simples d'un point de vue technique. La recherche actuelle est centrée sur le domaine des systèmes Fix-Phos- (Hildesheim SEHi) et PhoStrip (Bruxelles nord).

Tout comme la précipitation et la cristallisation, les procédés d'**échange d'ions** nécessitent comme matériau de départ du phosphate dissous. Il faut y ajouter un autre intrant qui est le substrat échangeur d'ions. Actuellement seul le procédé PHOSIEDI entre en ligne de compte. Il a en effet été testé avec succès dans une installation de démonstration à la STEP de Rastatt.

Même quelques procédés de **minéralisation acide** des boues d'épuration donnent déjà des résultats à l'échelle industrielle (p. ex. Stuttgart, Seaborne/Gifhorn). Ils sont très prometteurs en termes d'efficacité de récupération, mais très coûteux techniquement, sans compter qu'ils nécessitent de grandes quantités de produits chimiques. Seul le procédé Budenheim se distingue en utilisant seulement du CO₂ pour former le gaz carbonique, et de faibles quantités de chaux, mais il a besoin d'une très forte pression. Comme les autres procédés de minéralisation acide, il est compatible avec

l'élimination du phosphore par précipitation au sel ferreux. Il sera prochainement testé dans une installation semi-industrielle à Mayence.

Les procédés de **décomposition hydrothermale** visent en premier lieu à améliorer la disponibilité biologique des boues traitées (hydrolyse thermique) ou à déshydrater et sécher efficacement celles-ci tout en produisant du biocharbon (HTC). La récupération de phosphore est soit un processus annexe soit elle est activement favorisée en prévision d'une possible obligation future. Tandis que CAMBI, KREPRO et Aqua-Reci ne suscitent, pour diverses raisons, aucun intérêt dans les projets actuels de recherche, les travaux sur la récupération du phosphore s'orientent vers la carbonisation hydrothermale des boues d'épuration (p. ex. RWTH Aachen). La société AVA-CO2 est actuellement le premier prestataire à avoir demandé un brevet pour un procédé concret de récupération du phosphore avec HTC. La lixiviation à l'acide détache le phosphore du charbon HTC et le concentre en acide phosphorique par nanofiltration.

Les procédés de **décomposition thermochimique** utilisent la quasi-totalité de l'énergie contenue dans les boues d'épuration pour le processus, ou bien ils produisent parfois un gaz qui peut être à son tour utilisé pour l'énergie (p. ex. Mephrec : combustion du gaz de haut-fourneau notamment possible en petite centrale de co-génération). Les principaux obstacles à la récupération du phosphore par décomposition thermochimique sont d'une part la disponibilité plutôt mauvaise des produits pour les plantes et d'autre part la complexité du processus (températures et pressions élevées, épuration des fumées).

Il faut aussi mentionner des **procédés spéciaux** comme la séparation magnétique et l'osmose directe combinée à la distillation membranaire. Ils ont tous deux des approches innovantes, mais la recherche est encore au stade du laboratoire. Les innovations se font rares ces dernières années..

Évaluation sommaire (Phase II, partie 1)

L'évaluation sommaire place en tête certains procédés de précipitation et de cristallisation plus ou moins établis (AirPrex®, Fix-Phos, PHOSPAQ™, NuReSys®, PECO et Ostara Pearl®). Ils compensent leur inconvénient majeur, un faible taux de récupération, avec de très bons résultats pour presque tous les autres critères. De plus, il faut relever tout spécialement les bonnes évaluations des procédés de décomposition hydrothermale, PHOXNAN et AquaReci® et de minéralisation acide, Stuttgart et Budenheim Carbonic Acid Process, ainsi que des procédés thermochimiques Mephrec et ATZ Eisenbadreaktor, et de décomposition hydrothermale HTC d'AVA-CO2, qui sont comparables aux systèmes de précipitation et de cristallisation. Seuls sont mal notés les deux procédés spéciaux et le procédé de décomposition hydrothermale Krepro. La récapitulation des résultats de l'évaluation sommaire figurent à la page 2222.

Une **analyse de sensibilité** montre qu'en doublant la pondération du taux de récupération, qui est un critère majeur, on observe un glissement sensible des résultats aux dépens de la précipitation et de la cristallisation, mais au profit de pratiquement tous les autres. Avec cette pondération, aucun mode de précipitation et de cristallisation ne se place plus parmi les sept premiers.

Les trois procédés à analyser en détail sont sélectionnés d'après leur conformité à certaines **conditions cadres**. Sont exclus tous les modes qui présupposent du biophosphore et qui ne permettent pas de poursuivre l'exploitation des infrastructures d'élimination actuelles. Le nombre des procédés à prendre en compte s'en trouve ainsi drastiquement réduit : tous ceux de précipitation et de cristallisation, par exemple, se voient écartés.

Les procédés Stuttgart, Budenheim Carbonic Acid Process et carbonisation hydrothermale (HTC) sont retenus pour l'évaluation détaillée.

Évaluation détaillée (Phase II, partie 2)

Le **procédé Stuttgart** est un procédé classique de minéralisation acide. Il est, parmi les trois systèmes retenus, celui qui bénéficie du développement le plus avancé. Il donne de bons taux de récupération (presque 50 %, selon le pH), mais il utilise beaucoup de produits chimiques d'où des coûts d'exploitation élevés. Son potentiel d'amélioration est pratiquement nul, ce qui exclut toute optimisation conséquente (p. ex. pour réduire l'utilisation de produits chimiques).

Le **procédé Budenheim** n'a jusqu'à présent été testé qu'en laboratoire. Il a néanmoins donné de bons résultats à maints égards, et plus particulièrement en termes de consommation de produits chimiques. Les premières estimations des coûts pour une installation industrielle semblent très prometteuses. Si les résultats des essais en laboratoire peuvent être confirmés au cours des essais pilotes semi-industriels (dès l'été 2015 à la STEP de Mayence), le procédé Budenheim deviendra l'alternative la plus intéressante dans le domaine de la récupération du phosphore dans les boues d'épuration.

Les **procédés HTC** qui séchent les boues d'épuration sans consommer beaucoup d'énergie ont le potentiel de réduire sensiblement l'empreinte de carbone et les frais de l'élimination des boues d'épuration (à savoir dans les cimenteries). Il permet aussi de récupérer une importante quantité du phosphore contenu dans les boues d'épuration tout en utilisant nettement moins de produits chimiques, et donc en générant moins de frais, qu'avec le procédé classique de minéralisation acide. Il serait souhaitable de mener un projet pilote industriel de procédé HTC, mais cela nécessite de mettre en place une chaîne complète de processus (HTC avec récupération des eaux de processus, lixiviation acide, concentration du phosphore). L'idéal serait de mener un tel projet pilote là où il faut remplacer un système de séchage de boues d'épuration, ce qui n'est pas actuellement le cas à la STEP *ara region bern ag*. Dès qu'une installation pilote de carbonisation hydrothermale des boues d'épuration sera réalisée, il faudra prévoir au même endroit le projet pilote d'un mode adéquat de récupération du phosphore, comme p.ex. AVA cleanphos.

Recommandation et conclusions

Le procédé Budenheim est celui qui remplit au mieux les exigences posées à la récupération du phosphore en phase humide. À la différence des deux autres procédés, il possède un gros potentiel aussi bien d'innovation que de développement, et il peut aussi remplir sans restriction les conditions cadres pour le présent projet.

Il est donc proposé de retenir le procédé Budenheim pour le projet pilote à la STEP *ara region bern ag*. Dans un premier temps, il faut néanmoins attendre les résultats des essais semi-industriels à Mayence, c'est-à-dire l'automne 2015. Dans un deuxième temps, l'organe responsable définira la suite des travaux. La teneur de l'OTD révisée devrait être connue à ce moment-là.