Economie circulaire appliquée

Le procédé Phos4life pourrait être installé sur le site Emmenspitz à Zuchwil/SO pour fabriquer de l'acide phosphorique haute qualité à partir des cendres de boues d'épuration.

En bref

Mi-2019, les huit partenaires présentés ci-dessus ont chargé la Fondation ZAR d'étudier s'il était possible de construire et d'exploiter une centrale Phos4life sur le site Emmenspitz à Zuchwil/SO pour produire de l'acide phosphorique à partir des cendres de boues d'épuration (CBE) et, le cas échéant, quelles seraient les conditions à respecter. Le résultat de l'étude est clair: la construction d'une centrale Phos4life sur le site Emmenspitz pourrait devenir un projet phare d'envergure nationale pour l'économie circulaire. Ce projet vise à récupérer le phosphore provenant des eaux usées. C'est un nutriment essentiel à la vie. Il s'agirait concrètement de traiter 40'000 t CBE par année pour en extraire 12'000 t d'acide phosphorique technique, ressource essentielle pour la fabrication d'engrais et bien d'autres applications industrielles.
L'étude de faisabilité est positive. D'une part, le procédé a été simplifié et optimisé. D'autre part, le site choisi présente de précieux avantages:

- ✓ un terrain idéal pour la construction d'une centrale Phos4life capable de traiter jusqu'à 40'000t/a de cendres de boues d'épuration
- ✓ un fournisseur d'énergie renouvelable sous forme de vapeur et d'électricité: KEBAG Enova
- ✓ une excellente connexion aux réseaux routier et ferroviaire, avec les dégagements nécessaires à la logistique
- ✓ un potentiel de synergie avec d'autres procédés
- ✓ une situation répondant aux exigences légales
- ✓ un préavis positif des autorités sur la base de l'enquête préliminaire et du cahier des charges

Le 27 avril 2023, les résultats des études préliminaires ont été présentés aux partenaires du projet.

Le phosphore, nutriment essentiel à la vie

Le phosphore est un nutriment essentiel pour les végétaux, les animaux et les êtres humains. Il est irremplaçable et constitue le troisième tiers nutritif, à côté de l'azote et du potassium, entrant dans la composition de nombreux engrais à la base de la production alimentaire.

Consommer du phosphore laisse des traces

La fabrication primaire d'engrais minéraux phosphorés utilise de l'acide phosphorique produit à partir de phosphate brut. Au niveau mondial, l'acide phosphorique est utilisé à plus de 80 % pour la fabrication des engrais. La production d'acide phosphorique à partir de phosphate brut fait intervenir de l'acide sulfurique. A l'échelle mondiale, chaque tonne d'acide phosphorique génère environ 5 tonnes de résidus, dont du phosphogypse radioactif (contenant p. ex. de l'uranium). Selon les régions, ces résidus sont mis en décharge de manière contrôlée ou non, voire «éliminés» par immersion dans l'océan. Cette empreinte écologique grève aussi tous les engrais phosphorés que la Suisse importe. L'impact environnemental généré dans les pays producteurs est largement ignoré par les pays acheteurs et n'est pratiquement pas monétisé aujourd'hui.

Où trouver les traces de notre phosphore ?

A travers notre alimentation, nous ingérons régulièrement du phosphore, que nous éliminons en grande partie. On le retrouve donc dans les eaux usées. Pour prévenir son accumulation dans les cours d'eau, le phosphore est éliminé par floculation dans les STEP. Il se retrouve ainsi piégé dans les boues d'épuration.

Cadre légal

Le Conseil fédéral a édicté le 4 décembre 2015 l'ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (OLED), en vertu de la loi sur la protection de l'environnement et de la loi sur la protection des eaux. Selon cette ordonnance, le phosphore contenu dans les eaux usées communales, les boues des stations d'épuration des eaux usées ou les cendres résultant du traitement thermique de ces boues doit être récupéré et faire l'objet d'une valorisation matière à partir du 1er janvier 2026.

Récupérer le phosphore des eaux usées, quel défi ?

Les boues d'épuration déshydratées et les cendres de boues d'épuration provenant de STEP avec palier d'élimination chimique du phosphore présentent une teneur en phosphore assez faible (resp. 2 à 6 % et 5 à 12 % P) et des concentrations relativement élevées en métaux lourds. Elles ne conviennent donc pas à l'utilisation directe ni à la fabrication d'engrais phosphorés haute qualité. Un recyclage durable du phosphore présuppose une séparation efficace des polluants. La fabrication d'acide phosphorique techniquement pur à partir de CBE offre une voie possible. L'acide phosphorique ainsi obtenu peut être directement utilisé à des fins industrielles ou comme ressource pour la fabrication d'engrais.

Fabriquer de l'engrais, une vision qui a déjà existé une fois!

Dès 1881, la Fabrique chimique de Uetikon/ZH produisait notamment de l'acide phosphorique et des engrais minéraux phosphorés, jusqu'à ce que des problèmes écologiques et des questions de rentabilité mettent un terme à cette production. Elle a laissé des traces (dont du phosphogypse) dans le lac de Zurich et sur ses rives, lesquelles font actuellement l'objet d'un coûteux assainissement.

La fabrication d'engrais minéraux à partir de matières premières appropriées n'est pas très compliquée. Une séparation sélective et la gestion des polluants – en particulier lors de l'extraction des matières premières – constituent une étape cruciale qui devrait être aussi rigoureuse que préventive au sens de la loi sur la protection de l'environnement, dans l'optique d'une future fabrication d'engrais en Suisse. Il s'agit de tenir compte de cette réflexion également dans le cadre de l'analyse des coûts et d'agir avec rigueur afin de ne pas reporter les problèmes sur les générations futures.

Procédé Phos4life

En 2014, il n'existait pas de procédé généralisé pour la fabrication d'acide phosphorique à partir des cendres de boues d'épuration. La Fondation ZAR a cherché un partenaire pour développer un tel procédé et a mandaté à cet effet Técnicas Reunidas, entreprise générale espagnole. Celle-ci a développé le procédé Phos4life pour la récupération d'acide phosphorique techniquement pur et a testé avec succès une installation pilote de 2017 à 2018. Les métaux lourds contenus dans les cendres de boues d'épuration sont séparés de manière efficace, ce qui permet de les valoriser ou de les mettre en décharge. L'acide phosphorique techniquement pur correspond à la qualité de référence sur le marché et se caractérise par un excellent potentiel commercial, tant pour les applications chimico-techniques que pour la production d'engrais.

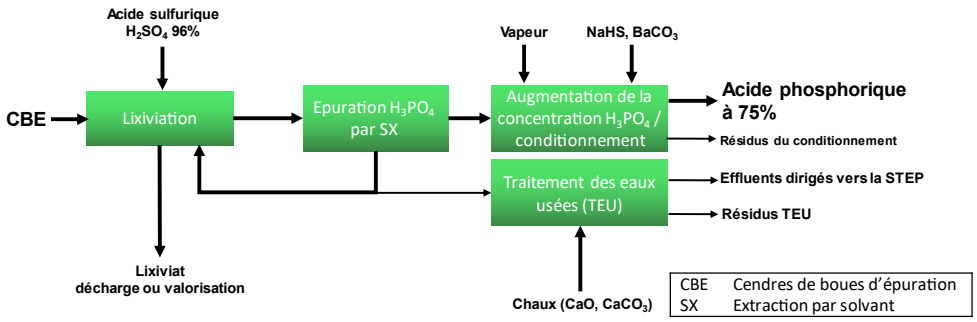

Fig. 1: Procédé Phos4life pour la fabrication d'acide phosphorique technique à partir des cendres de boues d'épuration

L'étude a ensuite montré qu'une centrale Phos4life en Suisse n'est judicieuse que si elle peut traiter une quantité assez grande de cendres de boues d'épuration afin de tirer parti des effets d'échelle générés par une installation de taille assez grande.

Mandat des partenaires du projet

Mi-2019, la Fondation ZAR a été mandatée par une entité regroupant 8 partenaires de droit public responsables de l'élimination des boues d'épuration pour examiner la mise en œuvre du procédé Phos4life sur le site Emmenspitz. Les 8 partenaires de cette entité traitent actuellement quelque 40'000 t/a CBE – soit environ la moitié des CBE générées en Suisse. Cette quantité a été prise comme référence pour la capacité de la centrale en cours d'étude.

Etudes réalisées

En vue des travaux nécessaires, la ZAR a mandaté l'entreprise Ramboll en qualité de bureau d'assistance au maître d'ouvrage, ainsi que les concepteurs Fiedler Beck Ingenieure (architecture, construction), Ramboll (technique EMCRG), TBF Partner (génie civil, logistique, écologie, technique du bâtiment), Técnicas Reunidas SA (technologie clé) et VTU Schweiz (installations annexes) pour élaborer les bases de l'étude du projet.

L'étude de faisabilité du projet Phos4life sur le site Emmenspitz repose notamment sur les points suivants:

- ✓ élaboration d'un plan logistique coordonné privilégiant l'utilisation du raccordement existant au réseau ferroviaire
- ✓ analyse des espaces disponibles, des bâtiments et de la configuration
- ✓ identification de toutes les parties d'installation nécessaires à l'exploitation de la centrale Phos4life: préparation des agents d'exploitation, stockage et évacuation des produits et des résidus, EMCR et interfaces avec les autres installations. L'analyse tient compte de l'intégration aux infrastructures existantes dans la mesure du possible et du raisonnable
- ✓ examen des critères d'éligibilité du projet en vue des autorisations officielles
- ✓ budgétisation des dépenses d'investissement et d'exploitation

Le site Emmenspitz

L'usine de valorisation thermique des déchets d'incinération (UVTD) KEBAG sise sur le site Emmenspitz est en cours de remplacement. La nouvelle UVTD KEBAG Enova est dimensionnée de manière à pouvoir traiter thermiquement jusqu'à 265'000 t de déchets. L'énergie ainsi générée est renouvelable et peut être réinvestie dans le procédé Phos4life. De plus, on trouve aussi sur ce site une STEP qui traite depuis des décennies les eaux usées du syndicat communal de la région Solothurn-Emme (ZASE). La mise à disposition du terrain nécessaire à la centrale Phos4life en 2027 est conditionnée par la déconstruction de bâtiments subsistants sur le site après la construction de la nouvelle UIOM.

Fig. 2: le site Emmenspitz

Résultats des études préliminaires

La faisabilité du procédé Phos4life pour le traitement de 40'000 t/a CBE sur le site Emmenspitz est démontrée. Les objectifs de la convention de projet ont été atteints et les questions posées ont trouvé réponse. La Fondation ZAR terminera le projet en établissant un plan business d'ici fin 2023, qu'elle présentera aux partenaires du projet.

Coûts de la récupération du phosphore CBE

Les tensions géopolitiques actuelles se traduisent par un facteur d'incertitude très élevé, tant en ce qui concerne le calcul des coûts que la situation sur le marché des matières premières. L'analyse des coûts se fonde par conséquent sur le niveau des prix 2020.

Les coûts d'investissement calculés dans le cadre du projet se montent à CHF 155 mio. pour la construction de l'installation jusqu'à l'exploitation régulière. La marge de précision est de ±30%. Les coûts de financement et les coûts d'amortissement (CAPEX) se montent à environ 190 CHF/t CBE et représentent environ 25% des coûts globaux, correspondant approximativement aux recettes de la vente d'acide phosphorique. Les coûts d'exploitation (OPEX) chiffrés à env. 600 CHF/t CBE ne sont pas couverts par le produit des ventes. Ces coûts non couverts doivent être financés par une taxe de traitement sur les livraisons de cendres de boues d'épuration à hauteur d'env. 580 CHF/t. Les surcoûts effectifs du procédé Phos4life par rapport à l'actuelle monocombustion et à la mise en décharge des CBE se montent à 490 CHF/t CBE, après déduction des taxes actuelles de mise en décharge, soit env. 90 CHF/t CBE après monocombustion.

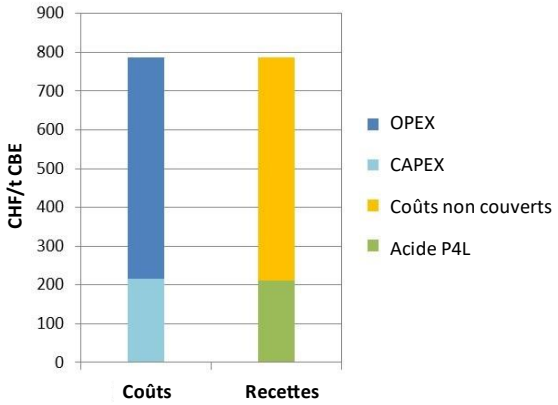

Fig. 3: Finances d'une centrale P4L, 40'000 t/a CBE.

Le procédé Phos4life est plus écologique que l'extraction minière du phosphore

La fabrication d'acide phosphorique P4L à partir de cendres de boues d'épuration est plus écologique que l'extraction primaire d'acide phosphorique. Les écopoints (EP) peuvent être considérablement réduits par le procédé P4L. Le scénario de référence table sur la valorisation des résidus (minéraux et métaux lourds).

Le bilan CO_2 du procédé Phos4life est également meilleur que celui de la production primaire. Cet avantage est lié avant tout au palier de traitement des eaux usées (TEU), qu'il s'agira d'optimiser dans une prochaine phase du projet.

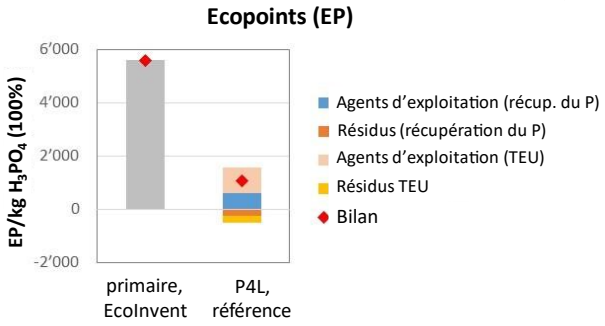

Fig. 4: Comparaison des écopoints (EP) entre production d'acide phosphorique primaire et acide phosphorique P4L

La récupération du phosphore issu des CBE nécessite une base légale de financement

Nous importons non seulement des engrais phosphorés, mais aussi des quantités considérables d'aliments pour animaux et de denrées alimentaires concernant du phosphore. Il suffit donc de récupérer une partie du phosphore dans les boues d'épuration ou leurs cendres pour couvrir la demande en phosphore de l'agriculture suisse, en complément du phosphore présent dans les farines carnées.

Du point de vue écologique, il faudrait viser une utilisation aussi complète que possible du phosphore disponible, mais du point de vue économique, ce n'est guère indiqué de financer la récupération du phosphore à travers une taxe sur les eaux usées, si c'est pour vendre ensuite le phosphore sur des marchés étrangers.

Un modèle de financement analogue à celui des micropolluants serait judicieux, selon lequel tous les producteurs d'eaux usées participent aux coûts, indépendamment du fait que le phosphore soit récupéré ou non dans leurs boues d'épuration. Il s'agit là d'une condition importante pour la constitution d'une entité prête à investir dans un projet de ce type.

Autres informations

ou courriel à stefan.schlumberger@kebag.ch