



## LE THÈME DU MOIS

# EFFLUENTS INDUSTRIELS: TECHNIQUES ET PROCÉDÉS

# Valorisation des effluents industriels: une réalité émergente



Par Patrick Philipon,  
Technoscope

### ABSTRACT

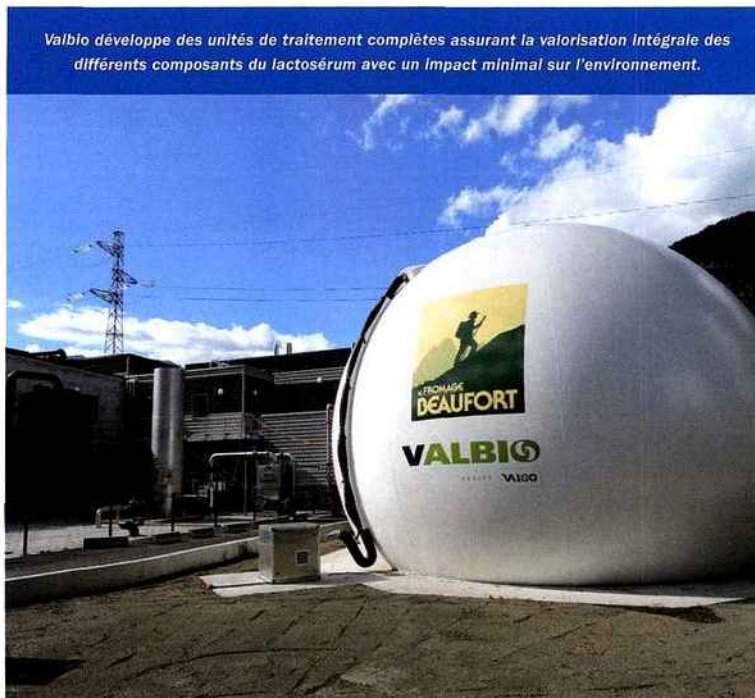
#### Enhancing the value of industrial effluents: an emerging reality.

Whether in dissolved or suspension form, industrial effluents contain substances that have to be eliminated prior to being discharged into nature. Why not enhance their value where possible? There are plenty of examples in the agri-food industry. Whatever the industry sector, however, economic considerations are uppermost: recycling only happens when it is profitable. The rising value of certain substances these days is generating new opportunities.

Que ce soit sous forme dissoute ou en suspension, les effluents industriels contiennent des substances qu'il faut éliminer avant rejet dans la nature. Pourquoi ne pas les valoriser lorsque c'est possible? L'industrie agroalimentaire en fournit de nombreux exemples. Quelle que soit la branche, toutefois, la logique économique prime: le recyclage ne se fait que sous condition de rentabilité. La valeur montante de certaines substances crée aujourd'hui de nouvelles opportunités.

**C**onfrontés à la nécessité de traiter leurs effluents pour des raisons environnementales et/ou réglementaires, de plus en plus d'industriels se posent la question de la récupération de matières intéressantes ou de la valorisation des boues. De manière similaire à ce qui se dessine pour les stations d'épura-

tion urbaines (voir le dossier "Les stations d'épuration du futur", EIN 412), certains effluents industriels pourraient ainsi devenir des sources de matières "premières" dans le cadre d'une économie circulaire. « Encore faut-il que la matière en vaille la peine, sinon mieux vaut l'envoyer en centre de traitement des déchets: la réa-



Valbio

lité économique reste déterminante » tient toutefois à rappeler Antoine Lemaire, Directeur général délégué de CMI Proserpol. Par ailleurs, comme l'explique Sylvain Hermon, responsable "procédés" chez OTV-DBI (Veolia), « en général, il ne reste plus grand-chose à valoriser. Les industriels récupèrent tout ce qu'ils peuvent au cours du process, avant de nous confier leurs effluents à épurer ».

Patrick Peters, PDG de la société Adionics (Paris), a toutefois une vision un peu plus optimiste. « Cela dépend des branches. Dans l'industrie pharmaceutique ou la chimie fine, par exemple, on utilise des produits de valeur que l'on peut retrouver dans les effluents car ils sont parfois introduits en excès pour les besoins de la réaction. Il peut être intéressant de les récupérer. Pas forcément pour les réutiliser directement, car la réglementation est très stricte en pharmacie comme dans l'agroalimentaire, mais pour les exporter vers des process moins sensibles » explique-t-il.

Certains secteurs travaillent sur leurs effluents depuis longtemps. Pierre Emmanuel Goutorbe, Directeur Business Membrane & Filtration chez Orelis Environnement (groupe Alsys), cite par exemple le cas des industries de l'automobile qui se sont lancées dès le début des années 1990 dans la séparation des solvants aqueux et des pigments pour recycler les bains de peinture avec le concours de fabricants de peinture et d'ingénieristes comme Ore-

lis. « Ces techniques, qui se sont généralisées vers les industries du traitement de surface, sont aujourd'hui matures et continuent à contribuer au développement de l'ultrafiltration en membranes polymères ».

La plupart des intervenants sur le marché estiment cependant que la réutilisation de matières encore présentes dans les effluents industriels n'est pas encore entrée dans les mœurs. Avec toutefois les exceptions classiques que constituent l'industrie agroalimentaire et la récupération des métaux précieux. Des marchés nouveaux émergent toutefois, au gré des grandes évolutions technologiques (électronique et objets nomades, en particulier) et des pressions nouvelles sur certaines ressources comme le lithium, les terres rares, etc. De grands opérateurs ainsi que

des sociétés spécialisées dans le traitement des eaux industrielles mais aussi des start-ups créées pour l'occasion élaborent alors des solutions au cas par cas.

### Matières organiques: avantage à la méthanisation

Dans l'agroalimentaire, les entreprises utilisent l'eau pour de nombreuses opérations allant de la culture et l'élevage à la commercialisation des produits finis: Irrigation, arrosage, lavage, conditionnement des produits, refroidissement, intégration au produit... etc. « Dans ce secteur, le modèle mélange des eaux usées, traitement et rejet dans l'environnement est largement répandu », souligne Laurent Sohier, CEO de Helio Pur Technologies. Les utilisations industrielles de l'eau génèrent des eaux usées qui contiennent des matières premières et des produits finis de type organique alimentaire, des micro-organismes ainsi que des acides, des bases, des détergents, des désinfectants utilisés pour les lavages du matériel, des réseaux ou des emballages. « En mettant en place une gestion intelligente des flux d'eaux usées, on se rend rapidement compte que plus de la moitié d'entre-elles n'ont pas besoin d'être traitées avant une réutilisation interne ou externe, explique Laurent Sohier. Le reste, s'il est convenablement trié avec une ou plusieurs matières est facilement traité en vue de les récupérer ou de les réutiliser en externe ». Helio Pur Technologies propose donc des solutions basées sur le tri à la source des eaux usées et le zéro rejet qui permettent aux entreprises, de réaliser des économies sur l'eau achetée ou les traitements avant

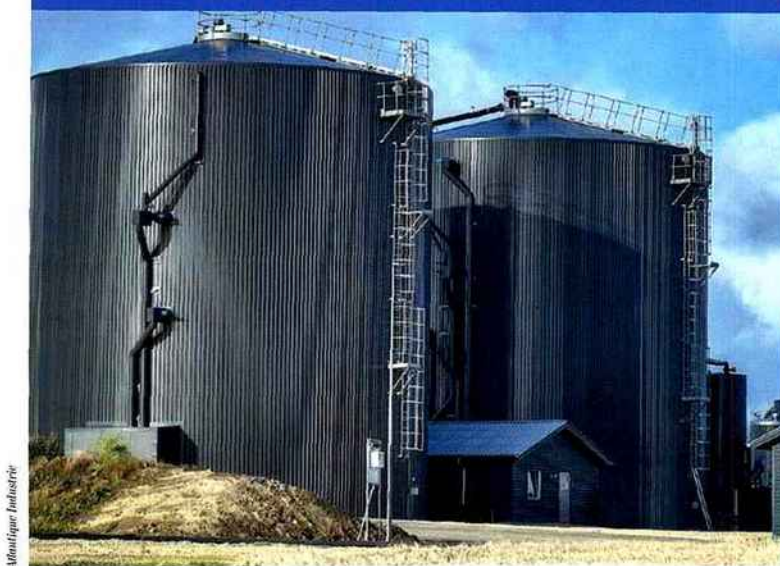
### Le biochar: un combustible nouveau

Autre manière de valoriser les déchets organiques (boues fibreuses, FOM,...) : la fabrication de biochar, ou charbon biologique, utilisé comme amendement des sols agricoles ou comme source d'énergie. CMI propose pour cela sa solution NESA, utilisant un four à soles multiples pour valoriser divers types de déchets. « Par conversion thermique des déchets organiques, on obtient du biochar valorisable en chaudière: il a un PCI proche du charbon, bien supérieur aux pellets » affirme Antoine Lemaire.



CMI Proserpol

Mécanique des fluides, biologie, électromécanique, automatismes... Atlantique Industrie exploite les multiples possibilités de la méthanisation pour valoriser une transformation de déchets vers une énergie et proposer à l'agriculture une nouvelle matière première enrichissant les terres agricoles.



Atlantique Industrie

usage, et de récupérer des matières valorisables en interne ou en externe.

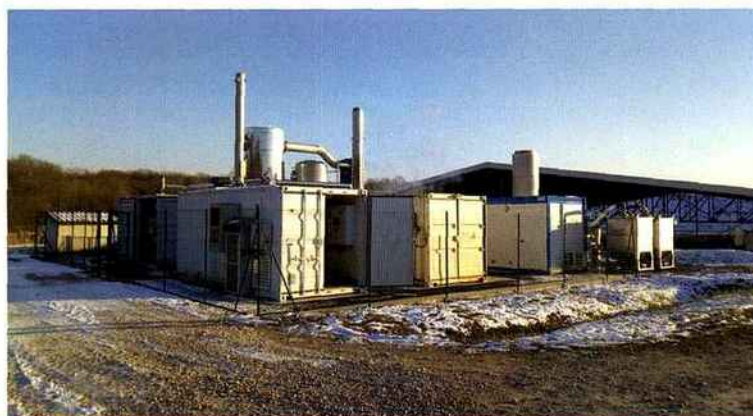
Les industries agroalimentaires ont longtemps dirigé leurs effluents chargés en graisses et matières organiques, tels quels ou sous forme de boues provenant d'un traitement biologique aérobie, vers les filières d'épandage. La pratique touche cependant assez vite ses limites: outre les contraintes réglementaires et les réticences des riverains ou des agriculteurs, il est surtout nécessaire de trouver un débouché à proximité de l'usine afin que les coûts du transport de toute cette eau ne deviennent pas prohibitifs. D'où l'émergence de deux filières permettant de mieux valoriser les boues: la méthanisation et le compostage. « Il faut dès le départ se poser la question de la destination des boues, car méthanisation, épandage ou compostage ne demandent pas la même chose en termes de siccité. C'est la destination qui définit le procédé de traitement à mettre en place » explique Jean-Christophe Orain, chargé d'affaires "industrie" et spécialiste du traitement chez Atlantique Industrie. Parvenir à la siccité exigée peut parfois demander des presses, décanteurs lamellaires ou autres systèmes de déshydratation des boues... que fournit précisément cette société.

La méthanisation - ou digestion anaérobie - des effluents organiques permet de produire du biogaz, un mélange de méthane, dioxyde de carbone et d'impuretés comme du sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S). Produit sur

place, il est utilisé pour générer de l'énergie réinjectée dans le procédé, ou dans le système d'épuration lui-même. À côté de spécialistes de la méthanisation tels que Naskeo, Enprotech, Waterleau ou CMI Proserpol, d'autres spécialistes du traitement des effluents industriels comme FBI Biome, Exonia, Corelec, Ovive, Serep, TIA, Hytec Industrie ou Afig'eo sélectionnent et assemblent pour cela des matériels (digesteurs, etc.) de méthanisation fabriqués par des spécialistes, afin de les intégrer à leurs solutions globales de traitement des effluents. « Nous avons par exemple installé un digesteur chez Danone, dans leur usine russe de Tchekhov, près de Moscou.

La méthanisation de leur boue physico-chimique produit du biogaz pour la chaudière d'eau chaude de la station d'épuration: cela réduit le coût du traitement des déchets », explique Antoine Lemaire. CMI Proserpol a appliqué le même principe dans une distillerie de canne à sucre, où la méthanisation de la vinasse permet d'alimenter la chaudière vapeur de l'usine elle-même. Aux abattoirs Gad, désormais fermés, le méthaniseur installé par CMI acceptait tous les déchets: boues aérobies comme refus de tamisage.

Waterleau, qui développe des technologies circulaires permettant de réutiliser les eaux traitées et l'énergie produite dans les processus industriels, accompagne ses clients industriels de l'agroalimentaire dans la valorisation à la fois des déchets et des effluents. « Dans certains secteurs comme celui de la pomme de terre, nous mettons en œuvre les deux applications sur un même site, explique Grégoire Decamps, responsable commercial France. Par exemple, en Belgique, chez un industriel de la frite, nous avons fourni, notre digesteur Biotim® Voie Humide pour les sous-produits solides (pelures, écarts de triage, boues) et un méthaniseur Biotim® UASB pour les effluents. Ainsi, l'ensemble des pertes de matière organique est valorisé en biogaz, ensuite brûlé dans des moteurs pour les besoins frigorifiques du site industriel ». Pour les eaux usées industrielles fortement chargées en matière organique, la méthanisation a la



Exonia

Exonia a développé un procédé de fabrication de nitrate d'ammonium ou de sulfate d'ammonium par voie liquide en récupérant de l'ammoniaque contenu dans des effluents lixiviels ou des effluents de méthanisation. Cette ammoniaque est raffiné puis mélangé avec un acide fort pour former un sel d'ammoniaque directement valorisable.

Struvite™ de Veolia ou Phosphogreen™ de Suez permettent de récupérer le phosphore des eaux usées sous forme d'engrais agricole biologique. Jusqu'à 40 % du phosphore entrant sur une station d'épuration peut être récupéré sous forme de struvite, un engrais valorisable en agriculture.



double fonction d'épuration, avec un prétraitement efficace et peu gourmand en énergie de la DCO, et de production d'énergie directement valorisable chez l'industriel. « Nous avons par exemple construit 5 méthaniseurs en France chez des industriels du secteur sucrier, où le biogaz est valorisé en chaudière dans l'usine », souligne Grégoire Decamps.

Veolia intervient également sur ce marché, via sa filiale dédiée Biothane Anaerobic Technologies.

Outre des industriels de l'agroalimentaire, en particulier des sucreries et laiteries, la société traite des effluents d'usines de pâte

à papier, très chargés en fibres. « Nous avons construit une unité de méthanisation à Kenitra, au Maroc, pour International Papers », cite par exemple Sylvain Hermon.

Sede exploite à Graincourt-les-Havrincourt (62) une unité de méthanisation conçue par Veolia qui fonctionne en cogénération. Le biogaz produit est transformé en chaleur et réutilisé dans le process, et l'électricité est revendue à EDF.

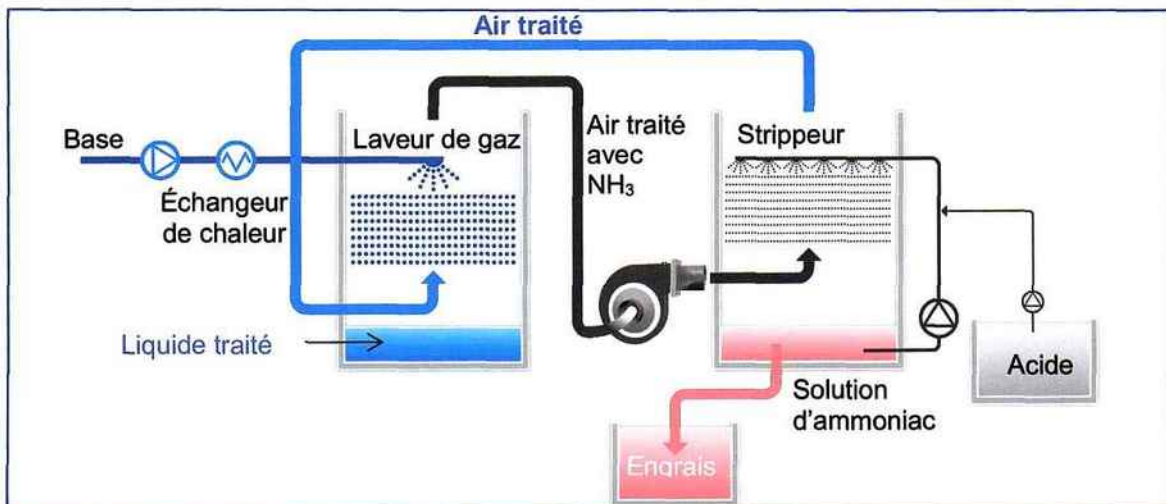
Suez n'est pas en reste: via Degrémont, le groupe a par exemple intégré une étape de méthanisation dans sa chaîne de traitement des effluents de la cartonnerie de

Vernon (Saint Marcel, Eure) appartenant à Smurfit Kappa.

Depuis un arrêté de 2011, une autre possibilité de valorisation s'est ouverte: injecter le biométhane dans le réseau de gaz de ville. Cela suppose évidemment une épuration (pour éliminer l'H<sub>2</sub>S et autres impuretés) et une séparation du méthane et du dioxyde de carbone, valorisés séparément.

« Lorsque le réseau gazier est suffisamment proche, et pour des débits en biogaz supérieurs à 200 m<sup>3</sup>/h, nos clients préfèrent de plus en plus l'injection de biométhane dans le réseau du fait du tarif de rachat incitatif, plutôt que la combustion du biogaz en chaudière sur site, explique Grégoire Decamps chez Waterleau. Aussi, le CO<sub>2</sub> séparé peut intéresser les industriels pour des applications alimentaires, notamment si la matière organique entrante est d'origine végétale. Nous avons par exemple fourni notre processus de méthanisation Biotim® Voie Humide au groupe Cooperl à Lamballe, pour la valorisation des coproduits de son industrie des viandes et ses éleveurs adhérents. Le biométhane sera injecté dans le réseau de gaz naturel et le digestat sera hygiénisé puis utilisé en tant qu'engrais naturel ».

Ce type de valorisation est donc le fait de sites spécialisés... qui importent des effluents ou des boues de traitement de l'industrie agro-alimentaire, entre autres.



Le stripping consiste à trier les contaminants chimiques des eaux usées pour permettre leur recyclage ou pour faciliter leur élimination. Les deux étapes de cette solution consistent à extraire le polluant du liquide qui est ensuite concentré dans une solution, dans un but économique.



L'évaporation à basse température développée par Vivlo permet de traiter les effluents sans dénaturer la matière organique qu'ils contiennent.



Vivlo

« La filière de la méthanisation se développe et a besoin d'intrants. Résultat: les sous-produits du traitement des effluents de l'industrie agroalimentaire deviennent recherchés », explique Jean-François Gautreau chez Atlantique Industrie. « Beaucoup d'industriels de l'agroalimentaire s'associent à de gros sites de méthanisation, de manière à se débarrasser à moindre coût de leurs déchets », confirme Jean-Christophe Orain. Pour l'instant, les industriels donnent en effet leurs déchets, trouvant là un moyen de gérer le problème sans bourse délier. Certains observateurs soulignent néanmoins une tendance nouvelle: faire payer ces déchets, ce que seuls les gros sites de méthanisation peuvent supporter. Quant aux sites de compostage, dont le produit a une valeur moindre, ils se trouveraient, de ce fait, exclus du jeu.

Le compostage reste néanmoins un débouché important. « La filière compostage reste malgré tout intéressante dans bon nombre de situations, par exemple lorsqu'il n'y a pas d'unité de méthanisation à proximité ou lorsqu'il faut traiter des déchets faiblement méthanogènes », souligne ainsi Christophe Dedieu, directeur commercial chez Biovitis, société spécialisée dans la production de microorganismes spécifiques (bactéries, champignons filamenteux, levures) destinés à bioaugmenter les milieux à traiter pour les rendre valorisables. Biovitis utilise cette technologie pour le compostage accéléré de la matière organique (fumier notam-

ment) dans les pays du contour méditerranéen où la demande en matière humique est importante.

La valorisation du compost en biofertilisant est également un sujet d'actualité.

### L'ammoniac sous toutes ses formes

La méthanisation elle-même produit des digestats, ce qui permet d'envisager une étape supplémentaire de valorisation. Ils peuvent être simplement épandus, comme c'est le cas autour de l'unité Sede de Graincourt. Un bonus est cependant possible:

si le site méthaniseur reçoit des produits entrants de qualité constante, il peut faire homologuer – et commercialiser – les boues séchées en tant qu'engrais en bonne et due forme.

Autre manière de valoriser ces digestats, de même d'ailleurs que les lixivats de décharge ou tout effluent d'industrie chimique contenant des produits ammoniacés: la récupération de l'ion ammonium (forme chimique l'ammoniac dissout dans l'eau). Cela se fait par "stripping", c'est-à-dire extraction par un gaz, en général l'air pour ce genre d'applications, de l'ammoniac dissout dans l'effluent. L'ammonium est ensuite récupéré, sous forme de sulfate, par ajout d'acide sulfurique dans l'air chargé. On obtient ainsi une solution riche en sulfate d'ammonium, que des formulateurs d'engrais peuvent réutiliser. Degremont, pour Suez, propose ce type de solution, de même que des sociétés spécialisées comme Exonia qui s'en est fait une spécialité ou encore France Evaporation (Noyelles-les-Seclins, Nord). CMI Europe Environnement vient pour sa part d'emporter un important marché pour réaliser pour une installation de stripping sur un site de compostage/biométhanisation à Montréal (Canada). Exonia, société basée à Avelin (Nord), exploite une technologie d'évaporation des effluents. La firme a récemment mis au point un procédé de récupération de l'ammoniac contenu dans des lixivats ou

### Valorisation des effluents industriels : Alfa Laval mise sur la séparation

« Lorsque l'on s'intéresse à la valorisation des effluents industriels, il faut pouvoir analyser de manière proactive le continuum unité de production-station d'épuration en prenant du recul et progressivement localiser les sources de pollution, les économies possibles etc... Cette démarche n'est efficace qu'en analysant le procédé global depuis la réception des matières premières, des utilités jusqu'au point de rejet en sortie d'usine, explique Christophe Guillaumin, Chargé d'Affaires Séparation chez Alfa Laval. En effet, bien des effluents sont valorisables lorsqu'ils sont captés avant d'être mélangés et envoyés vers la station d'épuration. Nous sommes donc encore dans le procédé de fabrication, mais dans une zone grise, souvent peu considérée par l'industriel ».

La valorisation d'un effluent, c'est-à-dire l'action qui consiste à lui donner de la valeur ou plus de valeur, peut recouvrir principalement deux formes: une valeur monétaire par réduction de coûts. Il s'agit souvent de récupération de chaleur ou recyclage d'eau de process, au sein même du process industriel ou une valeur monétaire par valorisation externe. « Il s'agit ici de trouver des débouchés à

des sous-produits considérés comme déchets mais pouvant devenir une matière première pour d'autres filières après divers degrés de transformation », explique Christophe Guillaumin.

Dans les deux cas, des technologies avancées de séparation (séparation centrifuge, filtration membranaire, évapo concentration) sont très souvent nécessaires pour extraire les sous-produits présents dans l'effluent et parfois re générer de l'eau dépolluée réutilisable comme eau technique. Alfa Laval propose ainsi différentes solutions de valorisation dans des domaines très différents tels que la récupération d'huile de maïs dans la production de bioéthanol à des fins de valorisation animale, de production d'huile de tall (tall oil) dans les papeteries Kraft qui rentre dans la composition de multiples produits (adhésifs, lubrifiants, pneumatique, cosmétique). C'est également le cas en valorisation des graisses et protéines contenues dans les effluents d'industries de transformation de viande, en extraction et purification d'hydrocarbures dans les déchets aqueux huileux, ou encore en récupération de chaleur dans les effluents industriels chauds.

Le procédé Valecarb, développé par Alcion Environnement, consiste à récupérer le CO<sub>2</sub> issu des procédés de fermentation, de digestion ou Industriels sous forme de bicarbonate de sodium pour des usages Industriels ou de minéralisation. La valorisation de composés chimiques plutôt que leur destruction nécessite cependant d'identifier et de développer des marchés finaux pour ces produits.



Alcion Environnement

des effluents de méthanisation. L'ammoniac est raffiné puis mélangé avec un acide fort pour former un sel - nitrate d'ammonium ou sulfate d'ammonium - directement valorisable. Ce procédé, réalisé en collaboration avec une société du nord de l'Europe, permet de proposer un produit fini directement utilisable à une concentration de 50 à 53 %.

Il est également possible de récupérer l'ammonium sous forme de struvite, un précipité minéral qui se forme spontanément lorsque de l'ammoniac, des phosphates et du magnésium sont présents (en quantités comparables) dans le même liquide. Or les deux premiers sont très fréquents dans les effluents de digestion anaérobie. OTV (Veolia) met en œuvre un tel procédé via sa technologie Struvia. « La struvite est valorisable en tant que fertilisant. Nous

avons installé des procédés Struvia, en particulier au Danemark, souvent avec un apport d'oxyde de magnésium ou de chlorure de magnésium pour équilibrer la composition », précise Sylvain Hermon. La société canadienne Ostara (Vancouver) propose également son procédé Pearl® à base de struvite.

Exocell, basée à Lallaing (59), a développé le LifCell, un équipement qui met en œuvre un procédé permettant de précipiter la struvite sur un lit fluidisé hybride. Celui-ci a l'avantage de ne pas produire de boues mais un matériau granulaire valorisable. La struvite est obtenue avec des effluents concentrés en phosphore. Le LifCell est aussi installé pour la précipitation du calcaire dans le cas de réutilisation d'eau, notamment dans l'industrie de pâte à papier, vers les utilités ou le process indus-



Hytec Industrie

Après 6 ans d'exploitation du premier équipement, Hytec Industrie a installé un deuxième méthaniseur chez Materne. Outre la valorisation du biogaz, ces équipements offrent un gain de place évident et une production de boue beaucoup plus faible qu'avec un procédé aérobie conventionnel.

## Quand l'eau devient une molécule d'intérêt...

Dans certains cas, il est compliqué techniquement et économiquement de récupérer des particules dites d'intérêts notamment pour les lixiviats de décharge. Partant de ce constat, le Syndicat public SYTRAVAIL et la société SERPOL ont conçu un procédé de traitement des lixiviats, non pas pour isoler des composés à valeur ajoutée mais obtenir une qualité d'eau en sortie de process permettant une réutilisation sécurisée sur le site.



Serpoll

Un procédé comprenant un filtre planté de roseaux, une osmose inverse, une phase de reminéralisation et un traitement UV de finition a été réalisé sur l'ancienne décharge de Saint Etienne sur Chalaronne (01). Au final, 80 % des 3.000 m<sup>3</sup>/an de lixiviats produits par la décharge seront réemployés pour les activités connexes du site (lavage engins, brumisation de poussière unité de broyage, etc...). Cette opération permet d'économiser environ 2.000 m<sup>3</sup> d'eau potable avec une amélioration du bilan carbone, le nombre de transports initialement nécessaires pour traiter les eaux polluées en centre extérieur ayant été divisé par 5.

riel. Exocell propose de coupler le LifCell à une technique membranaire telle que l'osmose quand le process n'accepte pas une dureté et une alcalinité de l'eau élevées qui limiteraient la revalorisation des effluents. Cette solution permet non seulement d'obtenir du calcaire en grains valorisables mais aussi de protéger les membranes de l'osmoseur en aval. En agroalimentaire, cette technique est également mise en place pour éliminer les sulfates en concentration importante dans les eaux traitées. Le LifCell permet alors de produire du sulfate de calcium en grains pour sa valorisation en matériaux de construction. « Nous proposons des essais en laboratoire pour s'adapter aux différents effluents de nos clients », souligne Maelle Willot, Ingénieur chez Exocell.

« Pour les effluents très chargés en phosphore, le procédé struvite permet des économies conséquentes en termes de coûts d'exploitation, assure de son côté Grégoire Decamps chez Waterleau. Notamment par rapport à un procédé classique avec ajout de chlorure ferrique par exemple, avec des économies en réactifs chimiques, mais également en coûts d'épandage des boues, remplacés par le revenu de la vente de la



Vue d'une installation de valorisation du nickel. Réalisation CMI Proserpol.

CMI Proserpol

struvite en tant que matière première à des industriels de l'engrais! La struvite, considérée à ce jour comme un déchet, ne peut en effet être commercialisée en tant que produit fini sans une autorisation de mise sur le marché délivrée par l'ANSES. Nous attendons une nouvelle réglementation au niveau européen qui devrait favoriser la valorisation de la struvite et sa revente à un niveau intra-communautaire ». Pour que le procédé Struvite soit efficace dans l'abattement du phosphore, ce dernier doit être minéralisé sous forme d'orthophosphate. « Un pré-traitement par méthanisation peut par exemple le permettre, indique Grégoire Decamps. Avant de fournir le processus industriel, nous proposons en général des tests pilotes en laboratoire, cruciaux pour déterminer finement les concentrations en orthophosphates, déterminer les bons dosages en azote et en magnésium, et anticiper les rendements de production de struvite associés ».

Vivlo, une PME de traitement des eaux industrielles basée à Saint Savin (Isère), utilise une toute autre technologie pour traiter les effluents: l'évaporation à basse température (moins de 40 °C) sous vide relatif (- 950 mbars). De cette manière, la matière organique n'est pas "cuite", ce qui évite toute dénaturation. Le procédé peut s'appliquer à la récupération d'ammonium. « L'exploitant d'un centre de compostage à Mondragon, dans le Vaucluse, utilise un laveur de gaz récupérant l'ammonium dégazé par le compostage. Pour extraire ce qui reste dans ses eaux de pied de lavage, nous les évaporons sous vide, jusqu'à atteindre une concentration de sulfate d'ammonium suffisante pour utiliser la solution comme engrais. Les agriculteurs autour du site viennent le chercher, alors

qu'avant c'était un déchet qui partait en destruction », explique Julien Brochier, directeur commercial de Vivlo.

Veolia récupère également du sulfate d'ammonium par stripping classique. « Le sulfate d'ammonium est certes valorisable, mais moins intéressant que l'eau ammoniacale, qui est une base faible très utilisée dans diverses branches industrielles », tient cependant à préciser Sylvain Hermon. C'est d'ailleurs sous cette forme qu'était exploité l'ammonium contenu dans les lixiviats de la décharge de Candles, en Angleterre, aujourd'hui fermée. « L'installation, réalisée par nos collègues anglais, utilisait la chaleur de la décharge elle-même comme source d'énergie », ajoute-t-il.

Une autre solution pour la valorisation d'ammoniac est de le concentrer pour proposer une solution ammoniacale à 20 %. Alcion Environnement, filiale de Sede, pro-

pose une solution de stripping vapeur sous vide permettant de traiter des effluents issus de méthanisation, compostage ou industriels, avec son procédé Valeaz.

### Récupération des métaux (et autres ions)

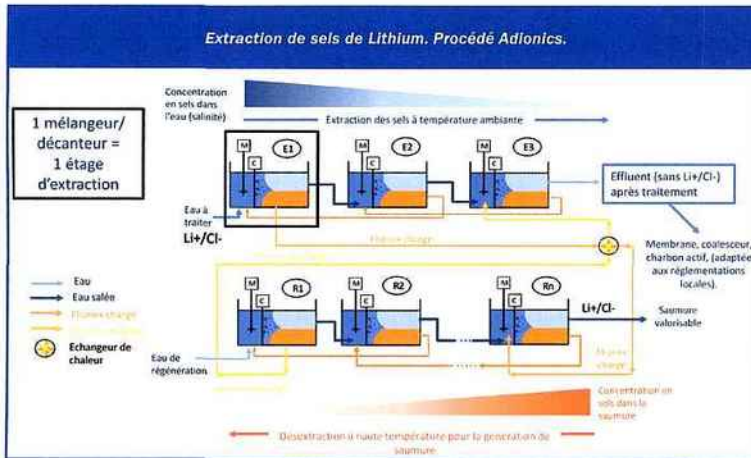
L'autre grand classique de la valorisation des effluents industriels est la récupération des métaux... tout au moins de ceux qui ont une valeur suffisante pour que l'opération soit économiquement viable. Métallurgie et traitement des surfaces sont en particulier de grands producteurs d'effluents chargés en ions métalliques.

Dans une usine de raffinage de Nickel, CMI Proserpol a réalisé une installation permettant de valoriser le nickel résiduel dans les effluents. « Il reste du nickel dans ces effluents. Nous l'insolubilisons en ajoutant de la soude, ce qui fait monter le pH jusqu'au point de précipitation du nickel. Nous ajoutons alors un flocculant et laissons décanter. Les boues en nickel, sont renvoyées en tête du process industriel » explique Antoine Lemaire. Il faut parfois ajuster le procédé à la composition des mattes: un changement récent d'origine a ainsi obligé CMI à s'adapter à un effluent "pollué" par du magnésium. « Depuis l'été 2017, nous procédons en deux étapes: d'abord une insolubilisation du nickel, mais à un pH un peu plus faible, de manière à ne pas précipiter le



Sur le technopôle agro-alimentaire Agropole d'Estillac, près d'Agen (117 entreprises), les effluents produits par plusieurs usines agroalimentaires sont traités par un flottateur EMO qui permet de produire des boues à fort pouvoir méthanogène. Un procédé similaire a été appliqué par EMO sur les sites de: Bordeaux Chesnel, Fromageries Perreault, Aqualande, Ingredia, Haaagen-Dazs.

EMO



Adlonics

magnésium en même temps. Les boues, un peu moins concentrées qu'avant mais contenant toujours du nickel, repartent dans le process. Le magnésium (et le reste du nickel) est ensuite précipité pour des raisons environnementales mais les boues sont éliminées ».

Les fabricants de films sensibles pour photographies ou radiographies déposent des sels d'argent (souvent des nitrates) sur leurs supports. Pas question évidemment de laisser ce métal précieux partir dans la nature. Vivlo utilise sa technologie d'évaporation sous vide pour ce type d'application également. « Rhône Alpes Argent, un industriel spécialisé dans le recyclage des films radio et photographiques, génère des effluents qui contiennent encore quelques mg/l d'argent. Nous les concentrons sous vide pour récupérer ensuite l'argent par électrolyse. Résultat : la totalité de l'argent initial est récupérée », souligne Julien Brochier.

De son côté, MPC, spécialiste de l'ensemble de la chaîne des bains de traitement de surface et du traitement des eaux et effluents par UV, propose des récupérateurs de métaux appelés Electrum®, notamment utilisés sur les rinçages des lignes de dépôts de métaux précieux (or et argent notamment) avec un procédé innovant

spécifique à la récupération du Palladium métal dans des solutions ioniques ou colloïdales. « Cet équipement de récupération électrolytique des métaux contenus dans des solutions concentrées ou diluées permet à nos clients de faire des économies substantielles sur la récupération de ce métal onéreux », explique Stéphane Ménard, Directeur général chez MPC.

Pour les métaux de moindre valeur, le jeu n'en vaut pas toujours la chandelle. CMI Proserpol a ainsi étudié une filière de valorisation des boues d'hydroxyde de zinc pour le compte d'un atelier de traitement de surface. « L'usine a été construite mais l'équilibre économique n'a finalement pas pu être trouvé », se souvient Antoine Lemaire.

Et pourtant, même avec du fer, il est parfois possible de trouver une solution de valorisation. Témoin une réalisation de Vivlo pour l'atelier de décapage des bobines d'acier de la Tréfilerie Périllat (Marignier, Haute-Savoie). « Nous concentrons les bains de rinçage pour obtenir par exemple du chlorure ferrique. Il atteint des concentrations proches d'un coagulant utilisé en STEP, ce qui permet de le revaloriser comme réactif d'épuration » précise Julien Brochier.

Pierre Emmanuel Goutorbe, Directeur

## L'irrigation : une alternative au rejet traditionnel

La réutilisation des eaux usées traitées en irrigation est une alternative au rejet traditionnel permettant de s'affranchir d'un point de raccordement au milieu naturel, de valoriser un effluent de bonne qualité, de s'affranchir des limitations de rejet vis-à-vis de l'étiage des cours d'eau et de limiter les prélèvements sur la ressource.

Eurotec Développement a construit une installation en ce sens en 2013, la capacité est de 12.000 m<sup>3</sup> d'eaux usées par an et le stockage réalisé permet d'en contenir 13.000 m<sup>3</sup>. Le client, une société familiale de Normandie spécialisée dans l'abattage de volailles, dispose de fait de plus

d'un an de stockage de ces eaux traitées afin de les réemployer en irrigation. La filière de traitement et de valorisation mise en place est la suivante :

- dégrillage des effluents bruts,
- poste de relèvement des effluents industriels,
- lagune aérée pour le traitement de la pollution carbonée et dissoute (un bassin d'aération peut également être construit selon les capacités nécessaires mais également le foncier disponible),
- lagune de décantation,
- lagune de stockage des eaux traitées,
- irrigation par aspersion et enrouleurs.

Simple à exploiter et à entretenir, elle permet au client de disposer d'un outil performant alliant qualité de traitement et réutilisation.

Une autre réalisation, qui concerne une station d'épuration en laiterie, a permis à Eurotec Développement de proposer à son client industriel un double exutoire des eaux traitées. En effet, en aval de la station d'épuration a été mise en œuvre une solution multi-usages : un pompage vers un cours d'eau à 1,5 km de distance et un transfert dans une bache de stockage avant irrigation. Sur ce même poste de transfert, un réseau additionnel d'eau industrielle a même été créé.

Business Membrane & Filtration chez Ore-lis Environnement (groupe Alslys), signale également une tendance nette à la récupération des huiles dans les secteurs de la métallurgie, de l'aéronautique ou encore de la mécanique. « Ultrafiltration et plus particulièrement les systèmes à base de membranes céramiques restent intéressants dès lors qu'il s'agit de séparer les phases eau/huile ou purifier l'huile. Ils permettent de séparer les tensio-actifs pour les réutiliser et d'augmenter la durée de vie des bains de rinçage. La purification et la réutilisation de certaines huiles, très techniques, permet de supprimer les coûts associés à leur destruction tout en réalisant d'importantes économies



Eurotec Développement



Waterleau

Réutilisation des eaux usées de brasserie via le procédé Boomerang® de Waterleau.



MPC propose des solutions alternatives à l'utilisation des produits chimiques polluants notamment pour la gestion du risque légionelle dans les tours aéroréfrigérantes. Une tour aéroréfrigérante consomme une importante quantité d'eau par an par l'évaporation liée à son fonctionnement et par les purges de déconcentration régulières. En cas de désinfection avec des biocides chimiques, cette eau, non réutilisable, doit être traitée en station d'épuration.



30/01

de produits chimiques ». Les développements s'étendent désormais vers des solutions membranaires à base de céramiques avancées pour les industries du pétrole et du gaz, en particulier les raffineries. Mais les industries de la cosmétique et de l'hygiène sont également concernées. Waterleau a par exemple mis au point une technologie membranaire en céramique, permettant de recycler de la matière première en tête de process. « Par exemple, sur un site de production de shampooing, le rétentat concentré issu de nos membranes est récupéré dans la production du shampooing », explique Grégoire Decamps. Pour

le compte du même industriel, Waterleau a également mis en place sa technologie circulaire Boomerang®, avec un procédé d'ultrafiltration suivi d'une osmose inverse, permettant de réutiliser plus de 90 % des effluents traités en eau de process dans la production.

Exocell propose, pour la revalorisation des eaux provenant de l'industrie du traitement de surfaces, le procédé ClariDull qui permet de séparer les boues de neutralisation des bains d'acide usagés puis de précipiter les métaux tels que le nickel, le chrome ou le molybdène pour les revaloriser.

### Lithium : une approche originale

Un tout nouveau marché émerge, celui de la récupération des sels de valeur, en particulier les iodures et les sels de lithium. Avec le développement des batteries et piles, la valeur du lithium en effet a fortement augmenté ces dernières années. Adionics (Paris), une start-up créée en 2012, a développé une approche totalement originale. « Nous ne concentrons pas les effluents dans leur ensemble mais en extrayons les sels d'intérêt que nous concentrons ensuite. Les effluents partent en traitement classique », explique Patrick Peters. L'avantage du procédé ? « En une

### Recycler des effluents prétraités

Le recyclage ou la réutilisation d'eau ne se limite pas aux eaux intégralement traitées. Les exigences de qualité, et les techniques de traitement, varient fonction du réemploi de l'eau partiellement traitée. Ainsi Eurotec Développement a pu concevoir et mettre en œuvre une solution à façon de réemploi pour un de ses clients du Sud-Ouest de la France spécialisé dans la valorisation des duvets et plumes de canard. L'objectif défini a été de concevoir et mettre en œuvre un prétraitement des eaux usées permettant de disposer d'un rejet d'effluents en conformité avec la convention en place, et un recyclage des eaux après prétraitement afin de réemployer les eaux traitées en pré-lavage des duvets et plumes à valoriser. Le client a ainsi pu économiser 50 % de son flux :

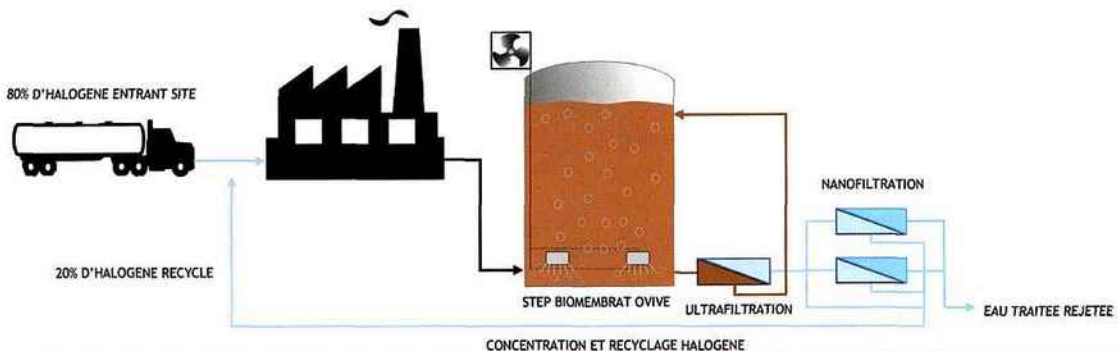


Eurotec Développement

- sur la ressource du réseau public qui le limitait,
- en termes de rejets de STEP,
- en termes de coûts d'approvisionnement.

Le système fonctionne sous conditionnement chimique et permet, via un réservoir d'eau traitée et des batteries de surpression, d'alimenter l'usine sous 2 bar régulés via un double réseau au débit de 100 m<sup>3</sup>/h en pointe. Cette réalisation permet également d'assurer un débit de pointe qui n'était pas disponible sur le réseau public.

seule opération, nous extrayons spécifiquement le sel qui nous intéresse et créons une saumure "propre", revalorisable. Cela permet une nouvelle économie circulaire, peu envisageable avec les techniques classiques qui demandent parfois deux ou trois opérations, au détriment du rapport technico-économique », souligne le PDG. L'opération repose sur un liquide organique non aqueux, appelé Fionex® composé de molécules extractantes, elles aussi originales. Chacune d'elles est spécifique d'un ion (par exemple les ions sodium



Concentration et récupération des halogénés sur une unité de nanofiltration avant recyclage en tête de l'usine. Procédé Biomembrat Plus d'Ovive.

Ovive

(Na<sup>+</sup>) et chlore (Cl<sup>-</sup>) du sel de mer). Le principe: les molécules extractantes sont ajoutées à froid à l'effluent. Elles se fixent sélectivement sur leurs ions cibles, ce qui rend ces derniers hydrophobes. Ils passent donc de l'eau de l'effluent à la phase organique (le Fionex®) où ils sont ensuite récupérés à chaud. Un échangeur de chaleur entre les deux circuits limite la consommation énergétique du procédé. Selon la combinaison de Fionex et de molécules extractantes, la firme propose les procédés AquaOmnes, SmartEx ou SelectEx, permettant respectivement de dessaler l'eau de mer (par exemple) pour la potabiliser, d'adoucir de l'eau pour un process industriel... ou d'extraire sélectivement un ion de choix. La société vise en particulier le lithium (présent sous forme de sels de lithium dans les effluents de recyclage de batteries) et l'iode. Un premier pilote a été réalisé à Masdar (Abu Dhabi) avec Suez, un prototype industriel démarrera cet été à Martigues (Bouches-du-Rhône).

### Traitement de l'effluent ou process industriel ?

La frontière entre traitement des effluents et process lui-même peut devenir floue. En particulier quand l'industriel se consacre au recyclage des déchets des autres... Il est impossible,

par exemple, de passer sous silence le fait qu'il existe, dans l'industrie du cuivre et des métaux précieux, une filière bien établie de récupération par des affineurs spécialisés. Ces derniers reçoivent de l'industriel une boue (obtenue par précipitation ou extraction liquide-liquide) provenant du traitement des effluents. L'affineur est chargé de récupérer les métaux et de les renvoyer à l'industriel. « L'échange, très formalisé, fait l'objet de contrats précis entre industriel et affineur sur le poids de métaux à retourner. Ce qui implique que nous, qui sommes chargés de l'épuration chez l'industriel, donc de la production des boues, mettions en place des techniques de pesée précises », explique ainsi Sylvain Hermon. Le recyclage ultérieur impacte donc le mode de traitement... Par ailleurs, certains industriels se sont diversifiés, voire spécialisés, dans le traitement des déchets solides: batteries, piles, appareils électroniques. Après broyage

Spécialisée dans la valorisation des effluents industriels, Sapoval aborde cette problématique au cas par cas; que la solution optimale soit la réutilisation (recyclage, re-use) ou la valorisation des calories de ces effluents ou encore la valorisation « matière » (produits biosourcés) et/ou énergétique des sous-produits associés. Les applications développées de valorisation des graisses de flottation à destination des stations d'épuration et des unités de méthanisation en sont un parfait exemple (cf. unité SAPO'FIX ci-dessous sur un site agro-industriel).



et séparation des éléments peu intéressants (plastiques, métaux ordinaires), ils

### Nereus associe économie et écologie

Traiter et trier sont deux objectifs radicalement différents: le traitement s'inscrit dans une économie linéaire avec accès à une énergie peu chère, le tri s'inscrit dans une économie circulaire en récupérant des composants et de l'énergie pour préserver les ressources naturelles.

Nereus a intégré dans son ADN le tri des déchets liquides, et non pas leur traitement: le fractionnement par un procédé innovant des composés constituant les différents effluents municipaux, agricoles et industriels rend leur valorisation plus facile et efficace. Les unités industrielles construites en Occitanie par la société Nereus couplent une étape de nanofiltration céramique sur disques rotatifs et une étape d'osmose inverse basse pression afin d'une part d'extraire l'eau des effluents chargés, et d'autre part de récupérer de la chaleur et des concentrats de matières dont les destinations et usages peuvent être très variés suivant l'effluent traité. L'eau extraite, au moins 50 % du volume de l'effluent brut, est de haute qualité pour une réutilisation suivant les spécificités visées (recyclage in-situ, rejet dans le milieu naturel, ...). Après 4 ans de développement sur le terrain, avec des unités mobiles de 0,2 à 2 tonnes/heures, Nereus propose des solutions originales pour:

- le fractionnement des digestats de méthanisation: dans le cadre d'OMIX, projet R&D à échelle industrielle financé par l'ADEME, l'enjeu est de concrétiser l'économie circulaire de l'eau et des matières, irrigation avec les eaux produites et formulation de



- fertilisants organo-minéraux renouvelables à partir des concentrats des étapes membranaires. A partir de 70 t/j de digestat brut, il s'agit d'obtenir au moins 40 t/j d'eau et 30 t/j de diverses fractions de fertilisants.

- le fractionnement des eaux usées: Nereus exploite depuis cet été, une unité pour le fractionnement d'eaux grises d'un camping sur la commune de

Vias, lauréat de Ec'Eau Tourisme 2017 (Région Occitanie). L'eau extraite sert à l'irrigation d'espaces verts, les retours des analyses réalisées par un laboratoire indépendant accrédité sont bons pour les paramètres clés à suivre sur les projets de Reuse;

le projet va s'étendre à la valorisation des concentrats. La solution s'exporte: après deux ans de démonstration de terrain, elle a été retenue par la régie des eaux de la ville d'Anvers pour développer le recyclage d'eau et la réutilisation en milieu urbain, pour faire face au stress hydrique et se préparer au changement climatique.

- le fractionnement d'effluents industriels: sur une laiterie de l'ouest de la France, la solution Nereus a été prouvée sur site (eaux blanches, condensats), démontrant que l'autosuffisance en eau est accessible tout en générant 6,2 GWh/an soit plus de 20 % des besoins annuels en gaz de l'usine.

Pour accompagner l'émergence du tri des effluents, la réglementation doit évoluer d'un cadre « déchets - rejets » vers un cadre « ressources - économie circulaire ». Les projets Nereus produisent des données sur les caractéristiques des produits formés, partagées avec les autorités et les législateurs, notamment sous forme de dossier déposé à France Expérimentation.



dissolvent à l'acide les métaux de valeur et les récupèrent sélectivement. S'agit-il alors de récupération dans un effluent

ou de procédé industriel per se? Difficile à dire. Quoi qu'il en soit, plusieurs sociétés du groupe Veolia interviennent

sur ce créneau: Sarp Industries (Sarpi), Batrec (battery recycling, Suisse) ou Euro Dieuze Industries (Moselle). ■