



HAL
open science

Systèmes d'informations appliqués aux technologies propres : l'outil recyclé

Valérie Laforest, Pascal Formisyn

► To cite this version:

Valérie Laforest, Pascal Formisyn. Systèmes d'informations appliqués aux technologies propres : l'outil recyclé. Environnement, Ingénierie & Développement, 2001, N°23 - 3ème Trimestre 2001, pp.9-15. 10.4267/dechets-sciences-techniques.1365 . hal-03180602

HAL Id: hal-03180602

<https://hal.science/hal-03180602>

Submitted on 25 Mar 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

SYSTÈMES D'INFORMATIONS APPLIQUÉS AUX TECHNOLOGIES PROPRES : L'OUTIL RECYCLE

Valérie Laforest*, Pascal Formisyn*
ENSM.SE

Les technologies propres deviennent aujourd'hui des procédés incontournables de traitement ou valorisation des effluents industriels. La plus grande lacune qu'il reste encore à combler est l'accessibilité à l'information par les industriels pour le choix de ces procédés. Dans le cadre du projet européen de transfert de technologies Recycle, nous proposons un outil informatique de capitalisation de l'information et d'aide au choix des procédés propres de traitement des effluents issus des industries de la mécanique et du traitement de surface.

Currently, clean technologies are essential for the depuration or the valorisation of industrial effluents. The accessibility to the information by the industrialists for the choice of the best suitable technologies is the biggest gap to fill. As part of the European project for inter-regional transfer of recycling techniques and clean technologies Recycle, we proposed a computer tool. This software capitalises the information and constitutes a decision support system for the clean technologies for the effluents coming from the mechanical and surface treatment industries.

Ces dernières années, le concept de technologie propre a beaucoup été utilisé mais son application reste peu répandue. Cette défaillance est essentiellement due à un manque d'information facilement accessible ainsi qu'à un manque de communication des intérêts de ces techniques. Notre article commencera donc par repositionner le concept de technologies propres en identifiant, d'une part, le contexte actuel d'application, et d'autre part, les intérêts et les freins à la mise en place de ces technologies. Puis nous nous attarderons sur les informations nécessaires à la prise de décision avant de décrire le système d'information informatisé (Recycle) que nous avons développé. Ce logiciel de capitalisation de l'information et de choix de procédé propre a été mis au point dans le cadre du projet de transfert de technologie européen Recycle.

CONTEXTE ACTUEL D'APPLICATION DES TECHNOLOGIES PROPRES

Contexte réglementaire

La réglementation française incite fortement les industriels à mettre en place des techniques de réduction de la pollution tant en terme quantitatif que qualitatif. Dans un contexte général, l'arrêté du 2 février 1998 dit dans son article 2 que « Les installations sont conçues de manière à limiter les émissions polluantes dans l'environnement, notamment par la mise en place de technologies propres... ». Dans une approche plus spécifique et si l'on se place au sein de l'activité du traitement de surface, l'arrêté du 26 septembre 1985 dit précisément que « Les techniques de recyclage, de récupération et de régénération doivent être mise en œuvre autant de fois que cela est possible... »

Plus en avant, nous pouvons citer la circulaire du 28 décembre 1990 qui introduit les études déchets. Elle incite les industriels à limiter leur production de déchets et la toxicité des rejets produits, à encourager la valorisation et le traitement des déchets et n'envoyer en décharge que les déchets ultimes.

De plus, les technologies propres s'inscrivent dans la politique d'harmonisation européenne en terme de prise en compte de l'environnement et de la réglementation au travers de la Directive IPPC (96/61/EC). Cette directive s'axe plus particulièrement sur l'emploi des meilleures technologies disponibles que l'on peut, dans certaines conditions d'utilisation, associer aux technologies propres.

Tous ces textes ont un objectif commun : la réduction de la pollution par la mise en place de technologies de production plus propres. Par contre, ils ne précisent pas la nature des procédés à utiliser pour atteindre cet objectif.

Contexte normatif

Le contexte normatif est illustré par le système européen éco-audit et le système international de management environnemental ISO 14000. Dans les deux cas, il s'agit d'une approche par l'organisation de l'entreprise fondée sur 2

principes de management :

- engagement d'une politique environnementale et mise en place d'un système d'amélioration continue.
- intégration dans la stratégie de l'entreprise d'une dimension environnementale.

Ils encouragent l'adoption des meilleurs procédés de fabrication et l'implantation de technologies propres

Contexte économique

Les agences de l'eau, établissements publics de l'État, sont chargées d'aider financièrement et techniquement la lutte contre la pollution de l'eau entre autre. Leur champ d'action en terme de secteur d'activité est assez large.

Elles aident les industriels, par l'intermédiaires de subventions ou de prêts, à mettre en place leurs procédures de réduction des rejets polluants

Dans le cas du traitement de surface, les aides ou subventions peuvent être données pour :

- les études préalables,
- la mise en place des technologies propres,
- la modification d'une chaîne de production,
- la récupération et valorisation des matières premières ou déchets,
- la création ou l'amélioration des stations d'épuration,
- les dispositifs de prévention de pollutions accidentelles,
- l'équipement des points de rejets,
- la réhabilitation des sols contaminés

Critiques de l'approche « end of pipe »

L'approche « end of pipe » s'est beaucoup développée avec les différentes réglementations dans les années 70 avec notamment les stations d'épuration. En effet, ces dernières permettent de réduire la pollution des rejets issus des entreprises en se conformant aux seuils de rejets donnés par les textes réglementaires. Elles ont pourtant un certain nombre d'inconvénients qui font que leur utilisation devient de plus en plus réduite et limitée.

• Transfert de pollution

Les espèces chimiques polluantes et/ou toxiques de la phase aqueuse se retrouvent, par l'intermédiaire d'un certain nombre de réactions chimiques (précipitation notamment), dans la phase solide. De plus, l'utilisation de réactifs nécessaire pour les différentes phases de détoxification (décyanuration, déchromatation, précipitation, floculation,...) engendrent un coût de traitement assez important.

• Production de boues

La phase solide formée par le traitement physico-chimique en station d'épuration forme les boues qui doivent être envoyées en décharge. Cette production de boues entraîne des coûts de transport et de mise en décharge.

• Elle coûte de plus en plus cher [Erkman 97]

L'amélioration graduelle des techniques end of pipe présente des avantages mais a pour effet de renforcer le système technique existant au détriment d'une véritable inno-

vation. L'impact de cette amélioration est la diminution de la proportion de plus en plus faible de polluant au fur et à mesure que la réglementation devient de plus en plus sévère, coûte de plus en plus chère.

• Elle constitue un oreiller de paresse technologique [Erkman 97]

Les techniques du « end of pipe » étant très bien connues, maîtrisées et peu chères, les industriels s'en contentent tant qu'elles permettent de réduire la pollution des rejets jusqu'à ce qu'ils soient conformes aux normes de rejets. Cette attitude ne permet pas une innovation technologique et n'incite pas les entreprises à investir dans la recherche afin de développer de nouvelles technologies de production moins polluantes.

D'autres raisons font que l'approche « end of pipe » est très critiquée cependant elle reste néanmoins une approche actuellement indispensable à la gestion des rejets industriels qu'ils soient liquides, solides ou gazeux. La mise en place de technologies modernes de réduction à la source ne résout généralement pas complètement le problème de la pollution mais permet souvent de réduire la quantité de polluants dans les rejets et donc de réduire la dimension de l'outil de traitement de fin de chaîne.

Conclusion

Les différents contextes développés ci-dessus (réglementaire, normatif, économique) montrent l'incitation importante des gouvernants à mettre en place des procédés de production plus propres mais cette implantation est freinée par un grand nombre d'idées préconçues et par la bonne maîtrise des techniques end of pipe. Nous avons donc essayé de dégager, dans un premier temps, les intérêts de la mise en place des technologies de production plus propres et, dans un deuxième temps, les différents freins à cette implantation.

INTÉRÊTS DE LA MISE EN PLACE DES TECHNOLOGIES PROPRES

L'introduction des technologies propres a trois objectifs distincts mais complémentaires [Lefevre 87] :

- consommer moins de matières premières,
- consommer moins d'énergie,
- générer le minimum de déchets et d'effluents.

L'intérêt des technologies propres est donc d'allier les intérêts écologique et économique en épargnant sur l'apport en matières premières et en consommation d'eau, en améliorant le rendement et la qualité du produit fini. L'intérêt pour l'environnement est qu'il n'y a pas ou peu de production de déchets, il y a moins de risque de pollution, les problèmes de pollution sont donc résolus de la façon la plus sûre et la plus définitive. Pour l'industrie, l'intérêt des technologies propres est majeur, les bénéfices se font ressentir par les gains de production mais aussi par des économies sur le paiement des redevances pollution. Une enquête du ministère de l'industrie de 1990 montre que

les technologies propres sont présentes au sein de plusieurs activités industrielles. Les secteurs les plus représentés sont les industries de l'agro-alimentaire, de la métallurgie et du traitement de surface ainsi que de la chimie (Figure 1) [Maes 92]

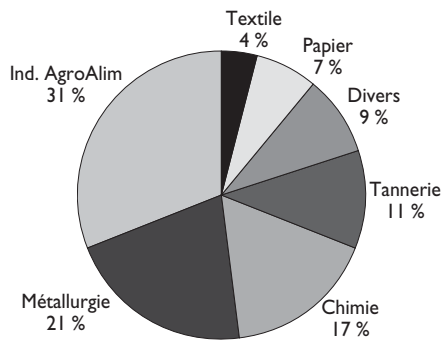


Figure 1 : Répartition des technologies propres par secteur industriel

Une technologie propre est donc une méthode de fabrication permettant l'utilisation la plus rationnelle possible des matières premières et de l'énergie, la réduction de la quantité d'effluents polluant l'environnement et ce à un coût économiquement acceptable. En intégrant les technologies propres au sein du processus industriel, l'entreprise peut alors réintroduire ses "déchets" dans le circuit de ses activités industrielles [Maes 96].

Les technologies propres englobent toutes les interventions effectuées sur la chaîne de production avant le traitement final en station de traitement physico-chimique, c'est une opération d'intégration anti-pollution au sein d'un processus industriel. Elles sont constituées d'un ensemble d'étapes appliquées selon la nature des problèmes identifiés et la complexité des interventions requises.

Une technologie propre peut être atteinte par trois méthodes différentes et complémentaires [Laforest 99]:

- Optimisation du procédé existant,
- Substitution de technologies par d'autres moins polluantes,
- Modification du procédé par la mise en place de procédés de valorisation.

Il est donc indéniable que les technologies propres ont un impact favorable sur les processus de production. De toute évidence, l'introduction des technologies propres ne doit pas avoir d'incidences néfastes sur les cadences de production ou la qualité des pièces traitées. Elles doivent donc répondre aux critères suivants [Guillais 94] [Sutter 95] :

- faisabilité industrielle,
- faisabilité technique (longévité),
- fiabilité économique (retour sur investissement et coûts d'exploitation faible),
- adaptabilité aux différents cas de figure présentés (bains

- de grande capacité ou ateliers multi-traitement),
- ne pas gêner la production,
- ne pas affecter la qualité des pièces produites,
- etc.

Nous nous intéresserons dans cet article à la modification du procédé de production par la mise en place des procédés de valorisation.

Les avantages de la valorisation des effluents liquides aqueux pour les industriels du traitement de surface sont multiples [Crittenden 95][EPA 93] [Morier 90][Surface 93]:

- respect des contraintes réglementaires,
- résolution des problèmes d'élimination des déchets,
- réduction des coûts d'élimination,
- réduction de la quantité de réactifs nécessaires à l'élimination des métaux,
- réduction des coûts d'énergie et de matières premières,
- meilleure qualité du traitement de surface (maintien des débits d'eau des rinçages à une valeur et une qualité constantes),
- meilleur contrôle de la qualité des effluents en sortie d'atelier surtout dans le cas où les substances sont de haute toxicité,
- réduction des coûts de production et augmentation de l'efficacité des traitements,
- protection des employés, du public et de l'environnement,
- réduction des risques de débordement, d'accidents,
- réduction des procès et amélioration de l'image de marque,
- génération de revenus de la vente des déchets récupérés (sous certaines conditions économiques),
- réduction des redevances pollution (pénalités et amendes),
- réduction des risques de pollutions accidentelles ou chroniques.

De plus, l'étude réalisée par Grimal [Grimal 00] montre bien que les technologies de production plus propres permettent d'améliorer la compétitivité de l'entreprise à travers une amélioration de la qualité environnementale de leurs équipements. Les technologies propres augmentent donc le niveau de production contrairement aux techniques « end of pipe ».

Les avantages perçus par les industriels sont assez importants mais le problème majeur auquel ils sont confrontés est l'accès aux informations nécessaires pour l'orientation du choix des procédés propres de valorisation.

FREIN À L'INTRODUCTION DES TECHNOLOGIES PROPRES

Comme nous venons de le dire, le frein principal à l'introduction des technologies propres est la difficulté de l'accès à l'information. Les procédés de valorisation sont en quantité importante et ne sont ni spécifiques à un effluent ni liés

à une famille de polluants. Le choix de l'un ou de l'autre (effluent ou polluant) est donc difficile et nécessite la connaissance de tous les critères d'utilisation des procédés, de tous les paramètres de l'effluent, de la structure de la chaîne ainsi que des objectifs de valorisation. Il se fait donc généralement au cas par cas. De plus, le choix nécessite souvent la réalisation d'essais pilotes pour confirmer la sélection théorique.

Un autre frein très important est la présence de techniques dites « end of pipe » qui n'incitent pas forcément les industriels à la mise en place de techniques dites modernes (voir § Critiques de l'approche « end of pipe » ci avant). Les différents aspects donnés ci-dessus montrent la difficulté de choisir le procédé applicable. Plusieurs articles [SITS 98] [Muiras 95] [EDF 96] [Ganier 95] ont essayé de capitaliser les informations dans des ouvrages sur support papier afin de faciliter les recherches d'informations mais ces dernières restent fastidieuses. Nous voyons dès maintenant l'intérêt de mettre au point une méthode qui permet d'orienter le choix des procédés de valorisation par l'élaboration d'un outil informatique d'aide à la décision.

INFORMATIONS NÉCESSAIRES AU CHOIX DES TECHNIQUES DE RÉDUCTION DU FLUX DE POLLUTION

L'étude des différents moyens et des différentes étapes pour le choix du ou des procédés de valorisation a mis en évidence un certain nombre de contraintes industrielles et techniques. Elles constituent l'ensemble des critères à prendre en compte lors de la sélection d'un procédé de valorisation. Certains de ces critères présentés sur la figure 2 permettront d'orienter le choix de procédés de valorisation applicables à l'effluent étudié [Laforest 99]. De là, ainsi que des études réalisées [Laforest 99], nous pouvons établir une liste d'informations nécessaires à l'orientation du choix :

- Les objectifs des procédés qui permettent de vérifier si le résultat potentiel correspond aux attentes,

- le principe d'utilisation afin de se rendre compte des opérations à effectuer,
- l'insertion dans un atelier afin de visualiser la place du procédé au sein d'une chaîne de production,
- les limites d'utilisation pour se rendre compte de la compatibilité eaux usées/procédé,
- les coûts d'investissement et d'exploitation pour évaluer les coûts liés à la mise en place et au fonctionnement de la technique,
- le retour sur investissement, la durée de vie des installations, etc.

C'est l'accès à toutes ces informations en même temps dans une même structure qu'il est actuellement difficile de trouver rapidement pour des industriels novices dans ce domaine. Suite à ces constatations et dans le cadre du projet européen Recycle (projet de transfert de technologies entre la Région Rhône Alpes, la région de Porto au Portugal et la région de Valence en Espagne, Projet RTT (DGI6) ERDF N°97.00.29.029 AAB), nous avons mis au point un outil informatique qui permet d'orienter le choix des procédés de valorisation des effluents industriels issus de l'industrie de la mécanique et des ateliers de traitement de surface.

OUTILS DÉVELOPPÉ

Nous venons de présenter les différentes caractéristiques nécessaires à l'orientation du choix des procédés de valorisation des effluents industriels. La partie que nous abordons maintenant consiste en la description de l'outil que nous avons mis au point.

Le logiciel Recycle permet d'orienter le choix de l'utilisateur par deux voies distinctes. En effet, un industriel peut être confronté à deux situations :

- La première est la connaissance d'un certain nombre de procédés de valorisation (recyclage, régénération et récupération) des effluents sans connaître véritablement leur paramètres de fonctionnement et de dimensionnement : choix par la description des procédés

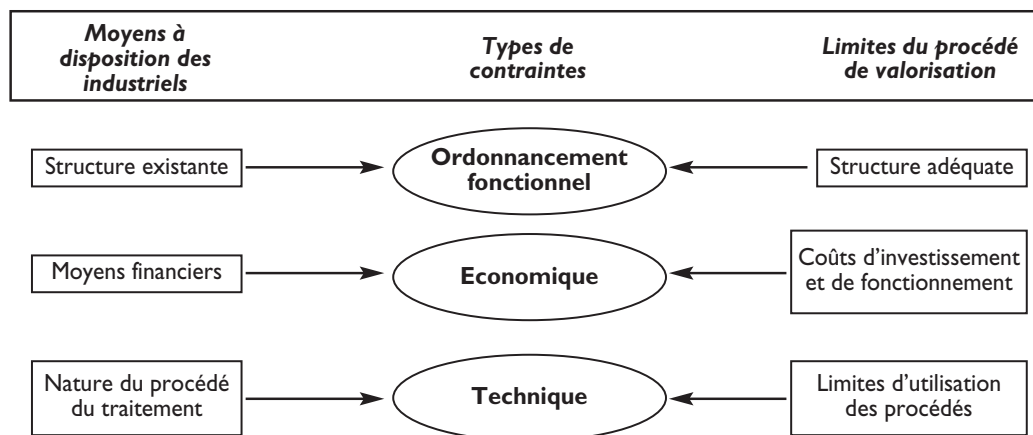


Figure 2 : Visualisation des contraintes industriels / procédés de valorisation

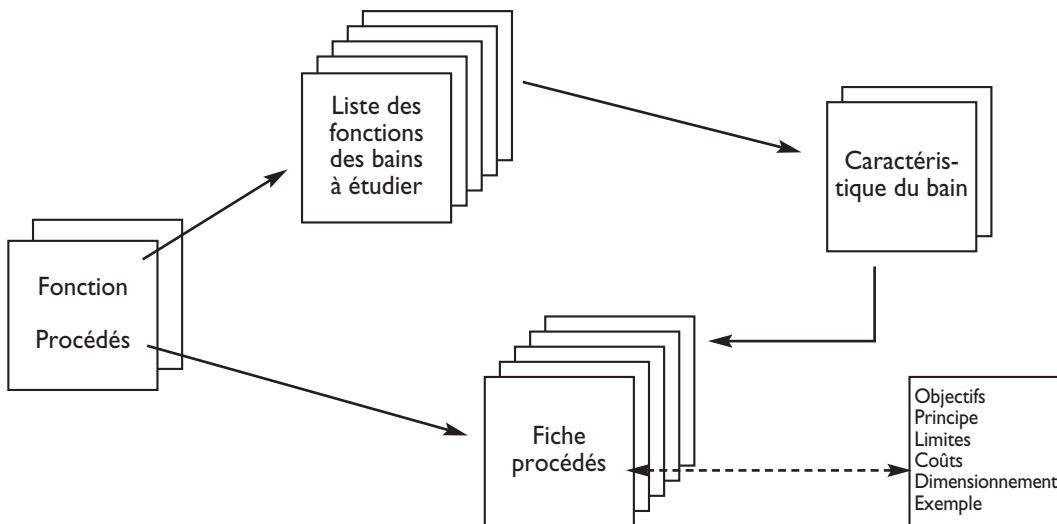


Figure 3 : Schématisation du fonctionnement de l'outil Recycle©

• La deuxième est l'absence de connaissance des procédés mais la volonté d'agir sur un rejet provenant d'une source précise : choix par la fonction du bain

Il est décomposé comme suit (Figure 3) :

- Choix de l'orientation pour la décision (par la fonction du bain ou par la description des procédés)

Si par fonction du bain :

- Choix de la fonction du bain et de ses caractéristiques
- Sélection d'un des procédés potentiels proposés
- Visualisation de la fiche de la technique de valorisation choisie

Figure 4 : Page écran d'orientation au choix de la filière de décision

PROCEDES PROPRES

Procédés de valorisation

Procédés de valorisation

CHOIX par rapport à VOTRE FONCTION DE TRAITEMENT

Procédés de valorisation	Procédés de dépollution
Centrifugation	Déchromatation
Evaporation	Décyanuration
Résines échangeuses d'ions	Dénitrification
Electrolyse	Coagulation - floculation
Electrodialyse	Neutralisation - insolubilisation
Electrolyse compartimentée	Electrofloculation/coagulation
Electro-électrodialyse	Deshydratation des boues
Filtration membranaire	Traitement biologique
Extraction liquide/liquide	Floculation électrostatique
Deshuilage - séparation	Deshuilage
Filtration (autres types)	Cassage acide

Si par le procédé lui même

- Visualisation de la fiche de la technique de valorisation choisie

L'orientation vers le ou les procédés de valorisation potentiellement applicables

La figure 4 présente la page écran qui permet de choisir par quelle voie l'utilisateur souhaite être aidé dans sa décision.

- Par la liste des procédés

La figure 4 ci contre présente une liste non exhaustive de procédés de valorisation et de traitement des eaux usées industrielles. Nous avons choisi, dans le cadre du projet, de nous concentrer sur les cinq procédés les plus utilisés et les plus performants dans les domaines d'activités choisis. Les procédés sont les suivants :

- la centrifugation,
- l'évaporation,
- les résines échangeuses d'ions,
- les techniques électrolytiques et plus particulièrement l'électrolyse simple et l'électrolyse compartimentée,
- les techniques de filtration membranaires.

- Par le type de rejet aqueux à "traiter"

L'orientation se fait plus particulièrement par rapport à l'origine du bain. Nous avons choisi de n'introduire dans l'outil que 6 types de bains différents :

- bain de dégraissage,
- bain de décapage,
- bain de tribofinition,
- bain de peinture,
- bain de traitement et,
- les effluents en mélange

Le choix de l'origine d'un effluent à traiter amène à une liste de procédés de valorisation applicables (Figure 5 ci après). La liste des procédés proposés par effluent à trai-

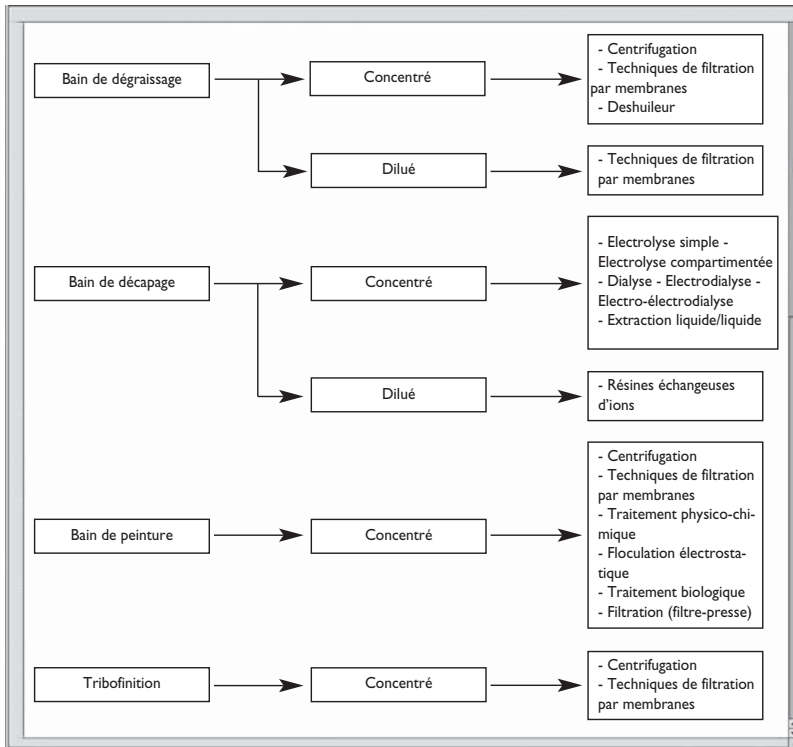


Figure 5 : Arbres d'orientation au choix des procédés potentiellement applicables

ter n'est pas forcément exhaustive mais tient compte de la liste des procédés compris dans le tableau de la figure 1.

La fiche descriptive des procédés

Chaque procédé est ensuite décrit suivant les différents paramètres énumérés dans le paragraphe 4 (objectifs, principe, mise en place, limites d'utilisation, coûts et rentabilité) (Figure 6). A chaque procédé est aussi associé une liste

Les résines échangeuses d'ions

Principes	Limites d'utilisation
Schéma de fonctionnement	Coût et gains
Objectifs et applications	Résines absorbantes : scavenger
Insertion dans une chaîne	

Figure 6 : Page principale de la fiche descriptive des résines échangeuses d'ions

Tableau 1 : Limites physiques des techniques de filtration membranaire

	Microfiltration	Ultrafiltration	Nanofiltration	Osmose inverse
Taille des pores (µm)	0,1 à 1	0,001 à 0,1	0,001	< 0,0005
Pression appliquée (bar)	0,2 à 2	2 à 10	10 à 40	30 à 80
Débits spécifiques (l/h/m2)	150-1500	50-500	30-100	10-60
Vitesse de circulation (m/s)	2 à 5	2 à 5	2 à 5	2 à 5

d'exemples d'utilisation et des outils de dimensionnement.

Les informations données dans chaque partie de l'outil proviennent d'experts dans le domaine, notamment les partenaires du projet européen Recycle, ou des industriels du secteur ou encore sont tirées de la littérature spécialisée.

Exemple d'application

Le bain que nous proposons d'étudier est un bain de prétraitement dont la fonction est le dégraissage. Ce bain est concentré, il a pour objectif principal de dégraisser les pièces avant toute autre modification de surface.

Les caractéristiques du bain sont les suivantes :

- [Na+] = 35 g/l
- [CO₃²⁻] = 14 g/l
- [PO₄³⁻] = 3,6 g/l
- [MES] = 0,03 g/l
- [graisse] = 20 g/l
- pH = 12
- température = 90°C
- bain dispersant (émulsion)
- débit = 450 l/h

• La première phase de sélection permet de définir une liste des procédés de valorisation potentiellement applicables : Les procédés donnés par l'outil sont les techniques de filtration membranaires et la centrifugation.

• La comparaison des paramètres physico-chimiques avec les limites d'utilisation des procédés précédemment sélectionnés permet d'affiner la sélection :

La centrifugation n'étant applicable que pour des bains de dégraissage relargants (c'est à dire non émulsionnés), ne peut être donc appliquée dans notre cas. Nous pouvons conclure, dans un premier temps, que les techniques de filtration peuvent être adaptées au traitement de notre effluent. De plus, les limites physiques et chimiques (tableaux 1 et 2) données dans l'outil permettent déjà de définir le type de filtration et de membrane qui pourraient

Tableau 2 : Limites chimiques d'utilisation des membranes

Type de membrane	Composition	Structure	Limites
Organique	Acétate de cellulose, polyamide, acryliques, polysulfone, matériaux, fluorés	Tubulaire, plane, spiralée, fibre creuse	t < 65°C 4 < pH < 14 MES < 250 mg/l
Minérale	Alumine, fibre de carbone, verre poreux, support carbone-oxyde de zirconium	Tubulaire	t < 100°C 0,5 < pH < 14 MES < 50 mg/l

être utilisées : *l'ultrafiltration ou la microfiltration à membrane minérale peuvent être utilisées sous réserve d'essais préalables.*

L'accès à l'outil informatique

Recycle peut être visualisé à l'aide d'un navigateur internet qui est fourni avec le logiciel, son fonctionnement reste donc relativement simple par l'intermédiaire de liens. Cet outil a été développé dans un objectif d'évolution, il est donc facilement modifiable et adaptable à d'autres procédés de valorisation et d'autres types de rejets liquides. L'accès à l'outil est actuellement réservé aux partenaires du projet européen de transfert de technologies et plus particulièrement aux centres techniques qui ont la charge de le mettre à disposition des industriels ayant participé au projet. Cette mise à disposition pour d'autres industriels est actuellement en cours d'étude.

CONCLUSION

Cet outil de capitalisation de l'information permet d'apporter aux industriels une aide supplémentaire dans leur quête de connaissances et de solutions à leurs problèmes de gestion des rejets liquides. Il faut préciser que ce système d'information n'est pas destiné à remplacer les études préalables à la mise en place des techniques de valorisation et ne dispense pas des essais de faisabilité. Malgré les coûts encore élevés d'investissement des procédés de valorisation dits propres, nous pouvons affirmer qu'à court terme, si les coûts de dépollution continuent à croître, les industriels s'orienteront de plus en plus vers une solution de prévention (amélioration/optimisation, modification ou changement de l'outil de production). Pour certaines installations et dans certaines conditions d'utilisation, le retour sur investissement est de l'ordre de 2 ans voire moins. Les technologies propres vont donc devenir, pour les installations futures, des outils intégrés à la chaîne de production dès sa conception.

* Valérie Laforest, Pascal Formisyn

ENSM.SE – Centre SITE – 158 cours Fauriel, 42023 Saint-Étienne cedex 2

Bibliographie

- [Crittenden 95] Crittenden B., Kolaczowski S., *Waste minimization a practical guide*, IchemE, 1995, 81p.
- [EPA 93] EPA (Environmental Protection Agency), *Waste minimization for the metal finishing industry*, US EPA/SEDESOL Pollution prevention workgroup, may 1993, EPA/742/B-93/005, 49p.
- [Ganier 95] Ganier M., Malosse R., Thomas R., *Guide des technologies propres et des filières de traitement des déchets, industries mécaniques*, Saint-Etienne, Editions CETIM, 1995, 394p.
- [Erkman 97] Erkman S., *Vers une écologie industrielle*, Ed Charles Léopold Mayer, 1997, 147p.
- [Grimal 00] Grimal L., Képhaliacos C., *Internalization of external effects vs decrease of externalities: from end-of-pipe technologies to cleaner technologies*, *Int. J. Sustainable Development*, Vol.3, N°3, 2000, pp 239 - 256.
- [Guillais 94] Guillais J.C., *Environnement et compétitivité des entreprises de traitement de surface au plan national et européen – contradiction ou complémentarité*, *Galvano-organo traitement de surface*, avril 94, n° 645, pp338-340
- [Laforest 99] Laforest V., (1999), *Technologies propres. Méthodes de minimisation des rejets et de choix des procédés de valorisation des*

effluents. Application aux ateliers de traitement de surface, Thèse de Doctorat en Sciences et Techniques du Déchet, ENSM.SE – INSA de Lyon, 280p.

[Lefevre 87] Lefevre S., *Enseignement de l'électrothermie : Procédés électriques de séparation*, Coll. Electra 1987558p.

[Maes 92] Maes M., *Options déchets*, Editions Johanet, oct. 92, 621p.

[Maes 96] Maes M., *Technologies propres et sobres - l'économie émergente*, Ed Pierre Johanet et ses fils, oct 96, 348p.

[Morier 90] Morier F., *Les techniques de récupération des métaux intégrés aux procédés de traitement des effluents*, *Surfaces*, 1990, n°212, pp7-14

[Muiras 95] Muiras J.M., Sutter B., *Traitement de surface : techniques de réduction des déchets*, CETIM, 1995, 134p.

[SITS 98] Rigaud J., Girard L-M., *Traitement de surfaces, Epuration des eaux*, Editions SITS, 1998, 287p

[Surface 93] *Optimiser la prise en compte de l'environnement dans les procédés de traitement de surface*, *Surfaces*, juin-juillet 93, n°239, pp 24-30.

[Sutter 95] Sutter, *Traitements et revêtements, CETIM-Informations*, fev. 95, n° 142, pp29-35