

TRAITEMENT DES EAUX USÉES ET RESSUAGE

Article rédigé par Pierre Chemin et Patrick Dubosc en juin 2011

1- INTRODUCTION

Les eaux de rinçage/lavage provenant des installations de ressuage renferment des hydrocarbures, des esters organiques, des agents de surface (agents tensioactifs), des colorants et bien d'autres constituants organiques.

La réglementation française, et probablement celle dans d'autres pays, stipule, entre autres exigences, que les effluents rejetés dans les égouts ou les rivières doivent être clairs, limpides et exempts de coloration.

Il y a bien entendu bien d'autres exigences telles que :

- Teneurs maximales tolérées en métaux (chrome, fer, nickel, aluminium, etc.) ;
- Teneurs en matières en suspension totales (MEST) ;
- pH qui doit être compris entre 5,5 et 8,5 ;
- Température égale ou inférieure à 30 °C ;
- Valeurs limites en hydrocarbures totaux ;
- DBO5 (demande biologique en oxygène à 5 jours) et DCO (demande chimique en oxygène) selon les flux quotidiens ; la biodégradation des agents de surface, entre autres, nécessite beaucoup d'oxygène ;
- Etc.

2- RAPPEL HISTORIQUE

Le traitement des eaux de rinçage provenant des installations de ressuage est devenu une préoccupation au début des années 70.

L'adsorption sur charbon actif fut la première méthode utilisée pour traiter les eaux usées des chaînes automatiques de ressuage.

À cette époque, l'un d'entre nous avait écrit dans un article^(*) : *“À cet effet, nous avons mis au point un procédé efficace basé sur le principe d'adsorption sur charbons actifs et il n'existe pas de procédé plus efficace.”*

Plus de 30 ans après, c'est toujours vrai.

3- TRAITEMENT PAR CHARBON ACTIF

Il est préférable de traiter, séparément des autres effluents liquides, les eaux de rinçage/lavage provenant des installations de ressuage et de les recycler, sous réserve qu'elles soient correctement "épurées". En effet, si cette eau recyclée renfermait encore, même en faibles quantités, des agents de surface (agents tensioactifs) et si elle était réutilisée pour des opérations de rinçage/lavage, il y aurait un risque important d'émulsification excessive du pénétrant qui affecterait sérieusement la sensibilité de la gamme. Bien souvent, l'installation de traitement et de recyclage des eaux de rinçage et de lavage est intégrée à la chaîne de ressuage pour former un ensemble homogène. Par ailleurs, mélanger des eaux contenant des effluents organiques, comme les effluents de ressuage, avec des effluents de traitements de surface (décapage, dépôts métalliques, phosphatation, etc.) qui contiennent de nombreux produits minéraux (acides, bases, ions) rend le traitement extrêmement difficile. C'est pour cela qu'il est indispensable de bien séparer les circuits de récupération et de traitement.

Il faut généralement entre 500 et 4 000 litres d'eau pour éliminer un litre de pénétrant.

Les filtres à charbons actifs constituent un bon moyen de traiter l'eau. En fait, même lorsque d'autres méthodes de traitement sont utilisées, la dernière étape est la filtration sur charbons actifs. Il existe maintenant de nombreux filtres interchangeables qui facilitent les opérations de maintenance.

Des filtres à coalescence peuvent être utilisés sur des chaînes de ressuage à post-émulsion pour séparer l'eau et les pénétrants non émulsionnés provenant du poste de rinçage, avant application de l'émulsifiant hydrophile. À noter que dans les années 70, la séparation du pénétrant à post-émulsion de l'eau de rinçage (c'est-à-dire avant émulsification) a été effectuée soit par décantation, soit par centrifugation. L'eau ainsi débarrassée de la majeure partie du pénétrant à post-émulsion était ensuite traitée sur charbons actifs. Ce procédé permettait de réduire sensiblement la consommation en charbons actifs, sachant qu'au poste de rinçage de 65 % à 90 % du pénétrant entraîné par les pièces est éliminé. L'eau du rinçage peut être recyclée et n'a pas besoin d'être extrêmement propre, car elle est utilisée pour éliminer "mécaniquement" le pénétrant à post-émulsion non émulsionné.

Il existe de nombreuses sortes de charbons actifs : par conséquent, il est très utile de sélectionner soigneusement lequel (lesquels) est (sont) approprié(s) pour une application spécifique. Des charbons actifs presque similaires d'après leurs fiches techniques respectives peuvent avoir des caractéristiques d'adsorption des pénétrants/émulsifiants qui varient dans un rapport de 1 à 4. De plus, un charbon actif qui convient pour un pénétrant lavable à l'eau de Niveau 2 de la marque "A" peut être un très mauvais choix pour un pénétrant à post-émulsion de Niveau 3 de la même marque. Deux pénétrants lavables à l'eau de Niveau 2 des fabricants "A" et "B", tous les deux homologués conformément à la spécification SAE-AMS 2644, peuvent être adsorbés très différemment sur le même charbon actif. C'est déroutant pour les concepteurs d'installations de traitement des eaux, lorsque sur la même chaîne de ressuage, trois cuves contiennent, par exemple, respectivement un pénétrant lavable à l'eau de Niveau 2, un pénétrant lavable à l'eau Niveau 3, un pénétrant à post-émulsion Niveau 2 ou 3 et un pénétrant à post-émulsion Niveau 4, l'effluent étant envoyé dans la même installation de traitement. Au cours de la journée, au cours de la semaine, la teneur respective de chaque pénétrant peut varier dans une grande proportion. Pas facile de concevoir l'installation la plus efficace !

Certains fabricants/fournisseurs de produits de ressuage ont effectué cette sélection pour les produits qu'ils commercialisent. Autant leur faire confiance.

Au début des années 70, un fabricant/fournisseur de produits de ressuage commercialisait 3 charbons actifs : un pour les pénétrants lavables à l'eau, un pour les pénétrants à post-émulsion et un pour les émulsifiants hydrophiles.

Au milieu des années 80, il commercialisa un autre charbon actif qui combinait les trois charbons actifs.

Cependant, il est un fait que de nombreux fabricants/fournisseurs de produits de ressuage ne commercialisent qu'un seul charbon actif. Cela signifie qu'ils les ont "rationalisés" en effectuant un compromis. Le but est probablement d'éviter toute confusion par l'utilisateur et la nécessité de gérer les stocks de plusieurs charbons actifs.

À titre PUREMENT INDICATIF, 1 kg de charbon actif adsorbe 0,40 litre de pénétrant et entre 0,35 et 0,6 litre d'émulsifiant. Cependant, ce N'est PAS la somme des deux : si le filtre a adsorbé 0,3 litre de pénétrant, il pourrait adsorber en plus 0,1 litre environ d'émulsifiant. Vient s'ajouter à la confusion – ou à la complexité, le fait qu'il peut arriver que certaines molécules retenues par le charbon actif soient "chassées" par des molécules ayant une plus grande affinité pour le charbon actif que les molécules en place et s'en aillent du filtre !

Pour obtenir les meilleurs résultats, l'eau doit passer en continu sur les charbons actifs de haut en bas, même si certains préfèrent de bas en haut, un moyen plus efficace mais plus énergivore. Le but est de s'assurer que l'eau a une durée de contact optimale (12 à 20 minutes généralement) avec le charbon actif et que de brusques accroissements du degré de pollution, par exemple au début de l'opération de lavage à l'eau (cas d'un pénétrant lavable à l'eau) ou de rinçage à l'eau (cas d'un pénétrant à post-émulsion), puissent être rapidement maîtrisés. C'est pourquoi il est INDISPENSABLE de prévoir une cuve « d'eau sale », qui sert de « tampon » en moyennant la teneur en polluants.

Lors de la conception d'une installation de traitement de l'eau usée, l'utilisateur des produits de ressuage doit communiquer à son fabricant un certain nombre d'informations : pénétrants/émulsifiants utilisés, une certaine idée de la consommation en pénétrants et eau de rinçage/lavage, par exemple. Des pénétrants équivalents, bien qu'homologués conformément à la spécification SAE-AMS 2644 peuvent avoir d'INCROYABLES différences de "besoins" en eau : nous avons à l'esprit un pénétrant lavable à l'eau Niveau 2 qui nécessitait entre 400 et 800 litres d'eau par litre de pénétrant, alors que celui de son concurrent exigeait entre 2000 et 4000 litres ! De nombreux paramètres de l'installation traitement de l'eau usée doivent être adaptés à des besoins aussi différents.

Une eau traitée est devenue chère. Si les eaux de rinçage/lavage sont correctement traitées, elles peuvent naturellement être recyclées.

Lorsque la consommation en eau est élevée et que la surface au sol disponible occupée par l'installation de traitement des eaux est limitée, il est possible d'utiliser soit plusieurs filtres à

charbon actif montés en série, soit une cuve tampon de stockage à double compartiment. Dans ce dernier cas, les eaux à traiter sont envoyées dans le premier compartiment puis passent dans le (ou les) filtre(s) à charbon actif et sont envoyées dans le deuxième compartiment. Ce dernier comporte un dispositif de trop-plein de sorte que l'eau du deuxième compartiment, plus propre que celle du premier compartiment, est renvoyée dans le premier compartiment. En effet, ce système doit fonctionner en recyclage continu car un seul passage ne suffit pas pour obtenir une eau réutilisable dans la chaîne de ressuage. On admet qu'à chaque passage à travers le charbon actif, l'eau est débarrassée de 90 % de la pollution qu'elle renferme et que 7 passages sont nécessaires pour obtenir une eau propre à 99,99999 %. Autrement dit, pour une consommation d'eau de 1000 L/heure, il faut un débit de 7000 L/heure pour obtenir un tel résultat.

L'inconvénient majeur de ce système est que lorsque l'utilisateur consomme de l'eau, en quelques secondes, il apporte de l'eau sale dans le premier compartiment ; l'eau sale ira bientôt, en quelques secondes seulement, dans le second compartiment... duquel l'utilisateur prélève "l'eau propre" pour rincer/laver les pièces. Plus l'utilisateur tire de "l'eau propre", plus il introduit d'eau sale dans le premier compartiment, plus "l'eau propre" est polluée, car le temps total de traitement a été trop court pour obtenir le bon résultat.

Une autre technique consiste à utiliser un bain fluidisé de charbon actif. Cependant cette méthode n'assure pas de disposer d'une eau très propre au moment où on en a besoin, si l'eau est recyclée.

Les produits de ressuage peuvent être appliqués dans une cabine de peinture ayant à l'arrière une paroi verticale sur laquelle un rideau d'eau s'écoule pour recueillir les produits pulvérisés et, parmi ceux-ci, les pigments du révélateur. Il est recommandé de placer un filtre à sable en amont du filtre à charbon actif pour piéger les pigments. Autrement, ils colmatent rapidement le charbon actif et, par conséquent, réduiraient sa durée de vie.

Dans les années 70-80, l'utilisateur remplissait lui-même le filtre avec des charbons actifs livrés en sacs papiers de 20 à 25 kg. C'était une opération salissante et qui demandait du temps. Il fallait "mettre en eau" les charbons actifs pour remplir correctement les filtres afin d'éviter tout chemin préférentiel où l'eau passerait toujours au même endroit sans y être correctement traitée. Sans compter les odeurs désagréables (en étant gentil !) dégagées par le charbon qui avait retenu une grande quantité de matières organiques, odeurs dues à une dégradation partielle dans un milieu très mal oxygéné.

De nos jours, les charbons actifs sont fournis en cartouches interchangeables, d'où gain de temps et facilité de manutention. Certains fournisseurs assurent l'échange standard et la reprise des cartouches saturées... un souci de moins pour l'utilisateur !

Les charbons actifs usagés sont incinérés ou recyclés par réactivation dans des installations appropriées par cuisson afin de dégrader et d'éliminer les polluants qu'ils avaient retenus. D'autres techniques peuvent être employées.

4- LES AUTRES MÉTHODES

Voici quelques-unes des autres méthodes que certains fabricants ont affirmées comme étant “LA BONNE RÉPONSE” au traitement des eaux sur les chaînes de ressuage.

4.1- OSMOSE INVERSE (OI)

C'est par osmose inverse qu'on peut dessaler l'eau de mer. Quand on connaît le coût de telles installations, rapporté à un mètre cube d'eau propre par jour, on peut imaginer que c'est une « méthode de luxe » pour traiter des effluents de ressuage ! L'eau traitée sur une installation de ressuage n'a pas à être potable après traitement.

L'osmose inverse, tout comme l'ultrafiltration et la nanofiltration, utilise des membranes qui sont supposées laisser passer l'eau propre tout en arrêtant toute la pollution. Vous pouvez déjà vous imaginer que cela n'est pas facile !

L'osmose est une pression exercée par, disons, l'eau pure lorsqu'elle est au contact de l'eau contenant des substances chimiques solubles. L'eau propre veut aller du côté de “l'eau sale” de manière à équilibrer la concentration des substances chimiques dissoutes. C'est ce qu'il se produit lorsqu'on est dans son bain, dans une piscine. Si on reste longtemps, lorsqu'on sort, on peut voir que la peau a enflé. En fait l'eau pure de la piscine a été attirée par le sang (qui est essentiellement à base d'eau et de 8 g/L de sel) : l'eau pure “veut” diluer le sang. C'est la pression osmotique.

De manière à purifier l'eau, pour obtenir de l'eau propre, ce que nous voulons faire est séparer l'eau de “l'eau sale” à travers une membrane qui, idéalement, retiendrait tout sauf l'eau. Pour obtenir cela, il est nécessaire de “pousser” l'eau sale à travers la membrane pour contrebalancer la pression osmotique. C'est la raison pour laquelle ce procédé s'appelle “l'osmose inverse”.

Tout procédé basé sur les membranes posera les mêmes problèmes : investissement énorme, petits volumes d'eau propre disponibles par jour, colmatage et/ou réaction chimique des membranes. Ayez présent à l'esprit que les membranes sont au contact avec l'eau usée qui contient du pénétrant, même à faibles concentrations, 24 heures sur 24, 7 jours/7 !

4.2- ULTRAFILTRATION (UF) ET NANOFILTRATION (NF)

Ces deux méthodes sont très similaires à l'osmose inverse, excepté le fait qu'elles laissent passer certains “polluants” à travers les membranes. Par conséquent, un filtre à charbon actif est nécessaire comme opération finale du traitement.

Les membranes organiques ne sont pas sujettes au colmatage – pas trop, à vrai dire. D'un autre côté, ces membranes, ou les espaceurs, ou les deux réagissent chimiquement et/ou mécaniquement avec les pénétrants. Données pour une durée de vie de 5 ans, les membranes doivent généralement être remplacées tous les ans (cette maintenance n'est pas facile lorsque les constituants des pénétrants ont fait gonfler les espaceurs).

Les membranes minérales sont chimiquement résistantes mais elles se colmatent facilement. Le débit d'eau propre diminue sérieusement. En aucun cas, le "procédé de régénération", comme le revendiquent les fabricants (ce qui nécessite l'utilisation de produits fortement acides ou alcalins qui ne peuvent pas être rejetés en rivière ou aux égouts) ne peut permettre de restaurer le débit nominal. Une fois encore, bien que les membranes soient chimiquement résistantes, leur durée de vie est inférieure à un an.

Vous pouvez imaginer que les coûts sont bien plus élevés que ceux prévus.

Un autre aspect technique : dans ces procédés à membranes, de puissantes pompes sont utilisées ; une grande part de leur énergie mécanique chauffe l'eau dans l'installation. De sorte que l'ensemble eau + matières organiques + chaleur + peu d'oxygène génère le développement de bactéries anaérobies, qui participent au colmatage, mais par-dessus tout produisent du sulfure d'hydrogène (H_2S) et des thiols dont l'odeur est extrêmement désagréable. En outre, le sulfure d'hydrogène, très soluble dans l'eau, se retrouve dans l'eau « propre » qui sert à rincer les pièces...qui peuvent être ainsi corrodées.

Les membranes qu'elles soient pour l'ultrafiltration, la nanofiltration ou l'osmose inverse de sont pas la bonne solution du point de vue économique et technique.

Le colmatage des membranes est essentiellement dû aux agents de surface qui sont constitués de molécules assez grosses et plutôt visqueuses. Une membrane colmatée est presque irrécupérable quoi qu'en disent les fabricants de membranes – ils ne savent pas ce qu'est un pénétrant !!!

Nous nous souvenons d'un fabricant/fournisseur de produits de ressuage qui commercialisait des unités d'ultrafiltration. Les clients se plaignaient du fait que les membranes se colmataient rapidement. Sa solution étonnante : le fournisseur recommandait de chauffer l'eau usée avant qu'elle passe dans l'unité d'ultrafiltration !

4.3- COAGULATION ET FLOTTATION

La coagulation des émulsions, par utilisation de produits chimiques, tels que le chlorure d'aluminium ($AlCl_3$), est employée depuis des dizaines d'années. De tels produits chimiques fort nombreux, que l'on appelle flocculants, sont disponibles sur le marché. D'autres méthodes utilisent la flottation par l'air, ou même le courant électrique pour faciliter la coagulation des contaminants qui sont devenus solides. Les solides sont ensuite filtrés. Pour le ressuage, quoique rarement utilisé, ce procédé donne de très bons résultats sur certains pénétrants (cela dépend de la formule du pénétrant). L'eau provenant de la filtration doit subir une opération finale par passage dans un filtre à charbons actifs qui dure longtemps, car elle renferme très peu de polluant à retenir.

De récentes études neurobiologiques laissent à penser que certaines maladies du cerveau de type Alzheimer seraient au moins favorisées par l'ingestion chronique de petites doses d'aluminium. C'est pourquoi le chlorure ferrique ($FeCl_3$) est de plus en plus utilisé à la place du chlorure d'aluminium ($AlCl_3$), mais cela nécessite des investissements supplémentaires onéreux pour modifier en conséquence les installations de traitement des eaux. Rappelons néanmoins que personne ne boit l'eau traitée venant d'une installation de ressuage !

4.4- COMPRESSION MÉCANIQUE DE VAPEUR (CMV). TRAITEMENT BIOLOGIQUE

La Compression Mécanique de Vapeur (CMV) nécessite des investissements importants pour de faibles volumes quotidiens d'eau propre.

Le traitement biologique (des bactéries "dévorent" les produits organiques et produisent essentiellement de l'eau et du dioxyde de carbone) impose l'enrichissement des polluants en phosphore (sous forme d'acide phosphorique), en azote et en air comprimé (pour amener de l'oxygène à la cuve).

Ces deux méthodes doivent être utilisées selon les rythmes prévus. Or l'expérience montre que, comme les volumes d'eau propre produits par ces installations sont faibles par rapport à la taille et à la complexité de l'installation, les utilisateurs ont tendance à les « pousser » au-delà des débits maxima...avec évidemment, comme conséquence, une chute considérable de la qualité de « l'eau propre ».

Par ailleurs, une installation biologique doit fonctionner 24h/24, 7 jours/7 : pas de week-ends, pas de vacances.

Ne pas oublier qu'il n'y a pas de « traitement miracle », avec une cuve d'eau sale, une cuve d'eau propre et une « boîte noire » au milieu, dont on ne s'occupe jamais et qui ne produit pas de déchets ! Pensez bien que, méthode biologique à part (mais elle produit quand même des boues activées, dont on ne peut pas se « débarrasser » comme ordures ménagères), une installation de traitement concentre les polluants...et qu'il faut bien, à un moment ou à un autre, éliminer ce concentré !

4.5- OZONE

Un fabricant/fournisseur de produits de ressuage commercialise un système qui utilise l'ozone. Tout le monde sait que l'ozone est un oxydant puissant et qu'il "détruit" la fluorescence des colorants. Par conséquent, ce procédé rend l'eau presque incolore. L'appareil est conçu pour traiter 1900 litres d'eau de rinçage en 24 heures ; c'est une faible quantité, et le procédé est plutôt lent. Nous pouvons imaginer qu'il est adapté à certaines chaînes de ressuage relativement petites.

Du fait que l'ozone est un bactéricide, il diminue les bactéries et le problème d'odeur.

Le point essentiel est qu'en aucune manière ce système ne détruit les hydrocarbures et les agents de surface (agents tensioactifs), ou autres molécules complexes utilisées dans les formules des pénétrants et des émulsifiants. Après traitement, l'eau ne peut pas être recyclée : le "surlavage" dû aux agents de surface qui restent dans l'eau est une préoccupation majeure. Le coût au litre d'eau est impressionnant.

L'ozone peut être produit soit à partir de l'oxygène de l'air, avec un faible rendement, soit à partir de bouteilles d'oxygène, avec un rendement amélioré...mais aussi avec un prix plus élevé ! L'ozone n'est pas très soluble dans l'eau ; il faut le produire en excès...et il est interdit de laisser l'ozone s'échapper dans l'atmosphère. Un filtre à...charbon actif doit être placé sur l'échappement du gaz.

L'eau d'un tel système est susceptible de ne pas satisfaire aux réglementations concernant la teneur en hydrocarbures, la DBO5 et la DCO si elle envoyée aux égouts.

Nous ne sommes pas certains que cela soit une réponse économiquement viable, ni respectueuse de l'environnement, au problème de "l'épuration" de l'eau.

5- AUTRES MÉTHODES...INEFFICACES

Les autres méthodes industrielles sont inefficaces et elles ont été abandonnées : perchlorure ferrique ou même peroxyde d'hydrogène (l'eau oxygénée) comme oxydants, disques et baffles en PTFE pour utiliser la faible différence de masse volumique entre l'eau et les substances chimiques non émulsionnées ; l'électrolyse a même été testée sur les eaux provenant des chaînes de ressuage...alors que les produits de ressuage ne s'ionisent pas dans l'eau !

De plus, l'utilisation de certains produits chimiques nécessite de respecter des règles très strictes de sécurité. L'un de nous a vu un bidon plastique de 60 litres contenant une solution à 35 % de peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée) stocké à proximité d'une installation de traitement d'eau usée. Ce bidon était exposé au soleil pendant plusieurs heures par jour, et se trouvait à proximité d'une piste où les chariots élévateurs roulaient à grande vitesse, leurs fourches se trouvant exactement à la bonne hauteur pour heurter le bidon : des conditions idéales pour provoquer une spectaculaire explosion !

Référence

(*) Jean-Claude HUGUES et Pierre CHEMIN, *Contrôle non destructif par méthode de ressuage (5^{ième} partie)* - Revue Pratique de Contrôle Industriel – N° 82, Decembre1976.

SAE-AMS 2644E: *Inspection Material, Penetrant*, Society of Automotive Engineers (SAE), 400 Commonwealth Drive, Warrendale, Pennsylvania 15096, États-Unis d'Amérique, 2006.