

# LA LUTTE CONTRE LA POLLUTION DES EAUX PAR LES USINES INDUSTRIELLES, EN PARTICULIER LES USINES DE PÂTE À PAPIER ET DE CELLULOSE

## UN EXEMPLE À SUIVRE

par A. WURTZ

Chef de Travaux à la *Station Centrale d'Hydrobiologie appliquée.*

Dans le vaste programme que l'Administration des Eaux et Forêts s'est tracé pour mettre en valeur les eaux douces françaises, principalement les rivières et les fleuves, la lutte contre la pollution des eaux par les déversements industriels nocifs est certainement le chapitre le plus important.

Nombreuses sont en effet les usines qui évacuent leurs eaux résiduaires dans les rivières qu'elles bordent et occasionnent par les produits souvent extrêmement toxiques que renferment ces eaux, de véritables hécatombes de Poissons, sur un parcours plus ou moins grand de la rivière.

Si l'évacuation des eaux résiduaires n'est pas faite rationnellement, si l'épuration n'est pas réalisée d'après des procédés bien définis, on peut dire que toutes les usines sont ainsi capables de polluer, d'empoisonner les rivières et les fleuves et de causer un grave préjudice à la vie dans les eaux courantes, c'est-à-dire à la production piscicole.

Il est difficile de citer, sans en oublier, toutes les industries que l'on peut incriminer dans la pollution des eaux ; signalons parmi les plus importantes et les plus dangereuses : toutes les usines de produits chimiques et de matières colorantes, les usines de métallurgie, les usines de l'industrie textile, les usines de pâte à papier et de cellulose, les abattoirs et, d'une manière générale, toutes les usines établies dans les régions minières fabriquant et transformant les sous-produits de la Houille.

Le but de cet article n'est pas de décrire les innombrables procédés d'épuration des eaux résiduaires d'usines, trop nombreux et souvent imparfaitement appliqués, ni de parler des réformes profondes que doit subir la réglementation de la lutte contre les pollutions pour aboutir à la conciliation des intérêts de ces éternels antagonistes que sont les pêcheurs, représentés par les Sociétés de Pêche et les Fédérations départementales

d'un côté, et les industriels de l'autre. Il est trop tôt pour parler de résultats certains ou de projets réalisables à brève échéance au moment où l'on est obligé de reconnaître la réglementation de la lutte contre les pollutions est imparfaite et surtout que les bases scientifiques sur lesquelles cette réglementation devrait s'appuyer sont encore trop peu solides. Le problème est trop grave et trop compliqué pour pouvoir être exposé dans les quelques pages de cet article.

Il est utile cependant, à l'aide d'un exemple choisi parmi les travaux entrepris aux Etats-Unis, de montrer comment devrait être comprise la lutte contre les pollutions en France et comment on arriverait à des résultats intéressants. Pour simplifier le problème je me limiterai aux seules pollutions produites par l'industrie du papier.

Grâce à l'obligeance de M. RUSSEL L. WINGET, Secrétaire du *National Council for Stream Improvement* (Conseil national pour l'amélioration des cours d'eau) (1), que je remercie bien vivement, j'ai pu avoir en communication d'importants documents sur les travaux effectués aux Etats-Unis dans le domaine de la lutte contre les pollutions des cours d'eau par les industries du papier et de la cellulose.

Ce *Conseil National* fondé en 1943 par 18 chefs de l'industrie du papier, comprend maintenant 172 compagnies industrielles, groupant 302 usines, ce qui représente approximativement 85 % de la production de pâte, de papier et de carton des Etats-Unis. L'intérêt et l'originalité de cette organisation résident dans le fait que ce sont les industriels eux-mêmes qui versent les fonds nécessaires au fonctionnement du *Conseil* et qui financent les nombreuses et importantes recherches entreprises. Dix Universités et Instituts de Recherches (dont *Rutgers University, The Mellon Institute of Industrial Research, Manhattan College, Oregon State College*), comprenant plus de 50 collaborateurs : chimistes, biochimistes, ingénieurs, biologistes, microbiologistes, bactériologistes travaillent pour le *Conseil* et entreprennent un vaste programme de lutte contre les pollutions industrielles.

On voit l'importance d'une pareille organisation. On ne peut qu'être stupéfait devant l'ampleur des moyens mis en œuvre et déplorer qu'en France rien de tel ne puisse être mis sur pied. Dans le rapport annuel des travaux effectués en 1946, le rédacteur dit d'ailleurs bien : « Il est probable que jusqu'à présent, il n'a jamais été employé dans l'histoire de l'industrie une telle puissance de moyens techniques et expérimentaux dans le seul but de trouver une solution à un problème industriel ».

---

(1) Le titre exact de cet important organisme est : *National Council for Stream Improvement (of the pulp, paper and paperboard Industries)*, c'est-à-dire *Conseil National pour l'amélioration des cours d'eau* (des industries de pâte à papier, du papier et du carton).

*Toxicité et danger des eaux résiduaires de l'industrie du papier.*

Les eaux et les lessives résiduaires de l'industrie du papier comptent à la fois par leur quantité et leur composition parmi les plus dangereuses de toutes les eaux résiduaires industrielles. On comprend pourquoi, avec leur *Conseil National*, les Etats-Unis se sont d'abord attaqués à ce problème.

La fabrication des pâtes à papier se fait à l'heure actuelle presque uniquement par des procédés chimiques que l'on peut classer en deux catégories : 1°) le procédé alcalin à la soude ou au sulfate ; 2°) le procédé acide au bisulfite. La description de ces procédés serait trop longue et inutile ici. Rappelons seulement que le procédé alcalin à la soude est le plus ancien et a été remplacé par l'extraction alcaline de la cellulose au sulfate de sodium et l'extraction acide au bisulfite de calcium, ce dernier procédé étant le plus répandu. Le principe de tous ces procédés est assez simple : les lessives chimiques employées, soude, sulfate de sodium ou bisulfite de calcium dissolvent les composés ligneux du bois, « désincrustent » le bois, et conservent, sans l'altérer, la cellulose qui servira à faire le papier.

Quel que soit le procédé employé, les lessives résiduaires renferment donc une quantité énorme de matières organiques : substances ligneuses, fibres de bois, résines, beaucoup de sucres (provenant de la lignite) et des substances chimiques très toxiques, alcalines comme la soude ou acides comme le bisulfite de calcium. Ces résidus forment une épaisse lessive noire qui, si elle est déversée dans les cours d'eau, produit les effets les plus désastreux ; en raison de la grande quantité de matières organiques fermentescibles et surtout des sucres présents, il se produit une intense putréfaction et de nombreuses fermentations qui absorbent tout l'oxygène de l'eau.

L'aspect d'un cours d'eau pollué par ces lessives est caractéristique : sur une longueur plus ou moins grande (quelques centaines de mètres à quelques kilomètres), l'eau est brune opaque, presque comme de la mélasse. Plus loin on observe le plus souvent une abondante formation d'écume, ce qui indique d'intenses fermentations : les composés bisulfitiques résiduaires se décomposent en donnant des sulfures également très toxiques, il se forme de l'hydrogène sulfuré et du méthane, une vase putride se dépose et encombre le lit du cours d'eau ; l'oxygène disparaît presque complètement ; des Champignons tels que *Leptomitus lacteus*, des Bactéries filamenteuses telles que *Sphaerotilus natans*, des Bactéries Sulfuraires telles que *Beggiatoa* s'installent. La vie des Poissons est impossible dans un milieu aussi pollué et le peuplement piscicole du cours d'eau disparaît le plus souvent sur une longueur de plusieurs kilomètres. D'ailleurs, on sait bien que le problème n'est pas seulement piscicole, il est aussi d'ordre hygiénique : les rivières polluées sentent mauvais et sont

dangereuses lorsqu'elles traversent des villes et des villages ; il est encore agricole car le bétail ne peut pas boire de l'eau de ces cours d'eau.

*Comment lutter contre la pollution par les eaux résiduaires de l'industrie du papier.*

Les procédés pour diminuer la pollution par les lessives résiduaires de l'industrie du papier sont extrêmement nombreux, mais ils sont le plus souvent mal ou même pas du tout appliqués. En analysant les travaux effectués et les résultats obtenus aux Etats-Unis par le *Conseil National* pour l'amélioration des cours d'eau, nous passerons en revue quelques uns des procédés les plus importants, en insistant sur le plus curieux d'entre eux, la culture de levures dans les lessives résiduaires.

Un premier groupe de recherches a porté sur les moyens de clarification des boues résiduaires. En utilisant diverses substances collantes ainsi que des charbons activés, on a cherché à éliminer les matières organiques solides en suspension dans les boues, à supprimer la coloration noire des lessives bisulfiteuses et surtout à réduire ce que dans les travaux anglais on appelle le B.O.D. (*Biological Oxygen Demand*) c'est-à-dire la consommation totale en oxygène, qui indique d'une manière assez nette le degré de pollution d'une eau. Plus une eau est polluée, plus le B.O.D. est élevé ; on doit donc par tous les moyens chercher à diminuer le B.O.D., c'est-à-dire à réapprovisionner en oxygène les eaux où la vie des Poissons est devenue impossible par manque d'oxygène.

On cherche également à provoquer la sédimentation et la coagulation des substances organiques par des matières chimiques coagulantes. Dans certains cas les résultats ont été décevants parce que les coagulants formaient une masse d'oxydes volumineux et gélatineux, encore gorgés d'eau, dont il était difficile de se débarrasser. Mais en employant d'autres coagulants, en complétant leur action par filtration chimique et par l'emploi de filtres à Diatomées, on a obtenu des boues presque solides, moins gélatineuses, faciles à éliminer, et on pense pouvoir clarifier ainsi l'eau d'une manière presque parfaite.

Des techniques étonnantes ont été mises en œuvre : après traitement chimique des eaux résiduaires par coagulation, on est arrivé à une solidification très poussée des boues sur filtres à vide, et on a même essayé toujours dans le même but, d'appliquer aux boues, des ondes supersoniques, avec des résultats encourageants.

Les procédés d'élimination de l'eau et de solidification des boues par chauffage et vaporisation ne semblent pas avoir été retenus, parce que trop onéreux. Par contre, par des recherches chimiques conduites avec beaucoup de soin, les laboratoires de l'*Institut de Chimie du Papier*, ont cherché la toxicité relative de tous les composés des eaux résiduaires ; ils ont mis au point des méthodes rapides permettant de doser les composés

spécifiques toxiques et travaillent en ce moment à la réalisation d'instruments de contrôle, qui donneraient dans les usines des signaux automatiques d'alerte lorsque pour une raison ou pour une autre on s'approcherait du degré de toxicité-limite.

De nombreux travaux ont été entrepris pour diluer les eaux résiduaires avant de les déverser, puis d'attaquer les matières organiques oxydables qu'elles renferment par des Bactéries aérobies ou anaérobies. Les résultats sont souvent surprenants car les Bactéries peuvent attaquer tous les composés organiques indésirables avec une grande rapidité et purifier ainsi l'eau. D'ailleurs il faut bien reconnaître que dans certains cours d'eau peu pollués, les Bactéries remplissent ce rôle toutes seules et normalement ; c'est ce que l'on nomme l'*auto-épuration* des cours d'eau. Mais on comprend que dans un cours d'eau très pollué, on a tout intérêt à favoriser le développement des Bactéries oxydantes, utiles et épuratrices, en les ensemençant artificiellement. En combinant ces ensemencements avec une aération intense et en utilisant des filtres à écoulement lent (*trickling filters*), permettant d'établir des « lits bactériens » en profondeur, dans la masse filtrante, on doit arriver à des résultats intéressants.

Comme nous disions que la pollution se manifestait surtout par une perte presque totale de l'oxygène dissous dans l'eau, le moyen le plus logique consistait à essayer de remplacer l'oxygène manquant en en diffusant une grande quantité sous pression dans les rivières. C'est ce qui a été essayé, notamment dans le Wisconsin, sur la rivière Flambeau. Six rangées de diffuseurs sont immergés à une profondeur de 3 mètres et envoient de l'air comprimé dans l'eau de la rivière en aval de l'usine ; alimentés par minute par 33 mètres-cube d'air comprimé à environ 100 grammes par centimètre cube, cela leur permet de réaliser un volume de diffusion de 150 litres d'air pour une surface de diffuseur de 9 centimètres carré. L'aération est considérable et les résultats sont d'autant plus encourageants que ce procédé d'insufflation d'oxygène peut être appliqué à toutes les rivières polluées ou non, où l'oxygène fait défaut.

Ce qu'il y a de remarquable dans ces recherches américaines, nous ne saurions assez insister là-dessus, c'est l'ampleur des moyens mis en œuvre. D'abord, je le répète, ce sont les industriels eux-mêmes, collaborant à un vaste projet de mise en valeur des eaux courantes, qui financent les travaux. (Tout le secret de la réussite des travaux scientifiques réside dans l'obtention des crédits). Et puis, on ne craint pas de bâtir et de faire fonctionner ce qu'on appelle aux Etats-Unis des « Usines-pilotes » (*pilot plant*) sortes d'intermédiaires entre le laboratoire et la véritable grosse usine industrielle.

En effet, on n'est pas sûr que les recherches faites sur une petite échelle, si l'on ose dire, au laboratoire, gardent la même valeur si on les applique brutalement à la très grande échelle industrielle. Pour cela

on crée les usines-pilotes, usines miniatures intermédiaires, où l'on étudie sur une échelle semi-industrielle le rendement des procédés inventés au laboratoire. Dans presque toutes les branches de l'industrie américaine, on opère ainsi. Bien que les capitaux soient souvent considérables, ils ne sont pas engagés à la légère. En expérimentant, après les travaux de laboratoire, dans une usine-pilote, on calcule le rendement des procédés nouveaux sur une échelle plus vaste et l'on sait exactement à quoi on s'engage. Tous les travaux résumés dans ces quelques lignes sont le résultat d'expériences effectuées en usines-pilotes.

Examinons maintenant, en la résumant, l'une des applications les plus intéressantes de la Biologie végétale à l'épuration des lessives résiduares, c'est-à-dire la culture de levures dans les boues bisulfuriques.

En effet, nous avons vu que les eaux résiduares bisulfuriques renfermaient une notable quantité de sucres. Or il arrive que des levures, ensemencées dans les eaux bisulfuriques, y poussent assez facilement en utilisant ces sucres comme aliments ; elles attaquent donc et détruisent les substances organiques les plus fermentescibles et réduisent considérablement le danger de pollution. En même temps ces levures constituent un sous-produit intéressant pouvant trouver des débouchés dans l'alimentation du bétail, dans l'alimentation humaine et dans une certaine mesure en médecine et en chimie thérapeutique. On voit l'intérêt d'une pareille application. Les recherches américaines ont porté sur l'obtention de ces levures avec le moins de frais possible, sur leur valeur nutritive et leurs débouchés, et sur l'importance de leur pouvoir purificateur.

Les opérations techniques qu'il convient d'envisager sont les suivantes : 1° obtention des eaux résiduares bisulfuriques sous une forme aussi concentrée que possible ; 2° traitement préliminaire pour éliminer  $\text{SO}_2$  (gaz sulfureux et autres composés toxiques du soufre) et pour ramener le pH aux environs de 5 ; 3° culture des levures en provoquant une aération intense ainsi qu'un refroidissement ; 4° séparation des levures et emballage sous forme commerciale. On calcule qu'il serait possible de produire environ 85 à 90 kilogrammes de levures par tonne d'eau résiduaire bisulfurique, ce qui pourrait donner pour les Etats-Unis une production annuelle de 75.000 à 95.000 tonnes de levures.

La valeur nutritive des levures ainsi obtenues est très grande : elles sont particulièrement riches en matières protéiques (notamment en acides aminés) et en phosphore ; elles contiennent une quantité considérable de vitamines et pourraient se mesurer avantageusement avec des farines habituellement utilisées pour nourrir le bétail, tels que les tourteaux de coton, de lin, d'arachide ou de soja. En raison de leur grande richesse en vitamines, elles pourraient être utilisées pour extraire celles-ci à des fins pharmaceutiques et médicales.

Enfin, dans le domaine qui nous intéresse spécialement, c'est-à-dire dans

la lutte contre la pollution, il faut reconnaître que l'épuration par les levures n'est pas totale ; mais combinée à d'autres procédés tels que la précipitation des boues par des substances coagulantes et collantes, elle peut aboutir à un abaissement considérable, satisfaisant de la pollution. Les recherches continuent aux Etats-Unis ; des usines-pilotes sont construites, des essais d'alimentation du bétail sont effectués, l'abaissement du degré de pollution soigneusement contrôlé, pour voir si industriellement et commercialement la culture des levures dans les eaux résiduaires bisulfuriques est vraiment rentable.

Quoiqu'il en soit et quel que soit le résultat de ces travaux, voilà un exemple idéal montrant comment les recherches faites pour lutter contre la pollution des eaux doivent être comprises. Je veux arriver à montrer ceci : dans la lutte contre la pollution des eaux, les rapports entre les services compétents, administratifs ou scientifiques et les industriels doivent être en collaboration efficace et non pas une lutte sans fin, aboutissant à des procès inutiles.

L'industriel a d'ailleurs tout à y gagner : si, au lieu de déverser ses eaux résiduaires non épurées dans les cours d'eau, détruisant ainsi un capital national important, si au lieu de s'exposer à des poursuites justifiées, il consent à modifier son installation d'épuration d'après les procédés modernes mis au point au laboratoire, s'il se décide par exemple à cultiver des levures dans ses eaux résiduaires, à opérer en même temps une bonne filtration ou une concentration des boues ou encore une diffusion d'air dans l'eau, il pourra être non seulement sûr d'accomplir une œuvre utile de salubrité publique, mais il pourra encore vendre sur le marché un produit alimentaire intéressant. Si le pouvoir nutritif des levures s'avérait avantageux dans l'alimentation du bétail (toujours à titre d'exemple, car il pourrait en être de même pour d'autres sous-produits tels que des engrais, des substances chimiques diverses), la vente de ce sous-produit permettrait d'amortir les frais d'installation d'un procédé d'épuration amélioré.

Il faut montrer aux industriels où se trouve leur intérêt ; ce qui est possible aux Etats-Unis doit être possible également en France.

D'ailleurs l'existence d'autres sous-produits des eaux résiduaires bisulfuriques est connue ; en faisant fermenter les sucres des lessives bisulfuriques et en distillant le produit, on a fabriqué de l'alcool ; la Suède a fabriqué par ce procédé 1 million d'hectolitres d'alcool, l'Allemagne 370.000 hectolitres. On est arrivé à en extraire des tanins ; en concentrant les boues, on en a fait des combustibles, des liants ou agglomérants de charbons en poudre (briquettes) et on s'en sert dans l'industrie des matières plastiques artificielles, etc.

Pour finir, j'ajouterai que ces levures sur lesquelles j'ai beaucoup insisté, pourraient peut-être constituer en raison de leur grande richesse

nutritive (matières protéiques, phosphore, vitamines) une nourriture toute indiquée pour les Poissons de pisciculture. Il est évidemment impossible de se prononcer encore ; comme ces levures n'existent pas encore en France, aucun essai de nutrition de Poissons n'a pu être fait. Je suis persuadé cependant que ce serait un sujet intéressant d'études. Tout dépend du prix de revient des levures ; si elles peuvent servir à la nourriture du bétail, rien n'empêche de penser qu'elles pourront engraisser les Poissons qui voudront bien les consommer. Et cela intéresserait et amuserait certainement les pêcheurs et les curieux des choses de la nature d'apprendre que le produit obtenu en luttant contre la pollution des rivières par des eaux résiduaires d'usines est en même temps un aliment intéressant pour les Poissons.

C'est de la bonne volonté des industriels et de l'ampleur des moyens mis en œuvre que dépend la réponse à cette question. Il ne nous reste qu'à souhaiter que nous ayons bientôt en France un « *Conseil National pour l'amélioration des cours d'eau* », semblable à celui des Etats-Unis, afin que nous puissions entreprendre dans le vaste domaine de la lutte contre les pollutions industrielles, des travaux aussi intéressants que ceux qu'ont entrepris les Etats-Unis, et dont j'ai essayé de résumer en ce bref article, l'intérêt et la haute portée.

---