

La micropollution organique dans les eaux naturelles

SON ORIGINE ET SON ELIMINATION DANS LES FILIERES DE TRAITEMENT DES EAUX DE CONSOMMATION (*)

par M. DORÉ,

Professeur

à l'Institut des Sciences et Techniques
de l'Université de Poitiers.

INTRODUCTION

Le territoire français, avec une superficie de 551 000 km², reçoit en moyenne chaque année 460 milliards de m³ d'eau de pluie. Une fraction de cette ressource en eau se retrouve à la surface du sol et constitue les eaux superficielles (fleuves, rivières, lacs et retenues) dont une partie est recirculée par évaporation. Une autre fraction s'infiltré dans le sous-sol et vient alimenter les nappes qui constituent nos ressources en eaux souterraines.

Les besoins français en eau sont de l'ordre de 23 milliards de m³ par année répartis de la façon suivante :

- Production d'eau potable : 4 milliards de m³ soit 17 %
- Agriculture : 5 milliards de m³ soit 22 %
- Industrie : 4,5 milliards de m³ soit 20 %
- Refroidissement : 9,5 milliards de m³ soit 41 %.

Les eaux de pluie sont à l'origine très pures puisqu'elles proviennent de la condensation des nuages formés par évaporation lente et continue de l'eau terrestre. Cependant, comme l'eau chimiquement pure est un excellent solvant, elle va dissoudre une grande variété de composés, d'une part, pendant son trajet dans l'air et, d'autre part, pendant son ruissellement et son infiltration dans le sol. Par ailleurs, elle va se charger, surtout l'eau de refroidissement, de matériaux divers en suspension qu'elle va arracher au sol par érosion.

Globalement, les eaux superficielles seront donc caractérisées par la présence de matières en suspension et de matières en solu-

(*) *N.D.L.R.* : Cet article reprend le texte d'une conférence prononcée aux Journées de l'U.d.P. à Poitiers en octobre 1985.

tion, tandis que les eaux souterraines sont généralement caractérisées par la seule présence de matières en solution.

En complément des éléments naturels qui se retrouvent forcément dans les eaux superficielles et souterraines, l'activité de l'homme, à l'échelle domestique et à l'échelle industrielle et agricole, peut largement contribuer à une détérioration de la qualité des eaux naturelles.

L'inventaire des principales sources de pollution va donc constituer la première partie de cet exposé.

Outre l'impact des sources polluantes diverses sur l'écosystème aquatique et sur son équilibre, la pollution des eaux peut être considérée sous l'aspect de sa dégradation en tant que matière première. Les moyens de protection de cette matière première d'une part et les traitements nécessaires à son utilisation pour la consommation humaine d'autre part constitueront la deuxième partie de cet exposé.

1. ORIGINE DE LA POLLUTION DES EAUX.

Parmi les différentes sources de pollutions aqueuses nous distinguerons la pollution dite « urbaine » des pollutions dites « industrielles », chacune de ces sources constituant généralement des sources ponctuelles de pollution à opposer aux sources diffuses constituées en particulier par les épandages d'engrais ou de pesticides sur de grandes superficies de terrain.

1.1. La pollution urbaine - les eaux résiduaires urbaines.

Pour un niveau de vie donné, donc pour une population donnée, chaque individu utilise dans une journée, pour son activité domestique, un certain volume d'eau et rejette dans cette eau une certaine quantité de matières. L'évaluation qualitative et quantitative de ce rejet constitue la pollution équivalente à un habitant, que l'on appelle habitant-équivalent. Elle s'exprime en gramme par habitant et par jour avec une classification interne entre matières en suspension et matières en solution. Les valeurs les plus significatives de l'habitant-équivalent pour l'Europe occidentale sont rassemblées dans le tableau I.

- Les matières volatiles en suspension (MVS) représentent environ 70 % des matières en suspension (MES).
- L'azote représente 13 à 15 grammes par habitant et par jour (azote total Kjeldhal : NTK) et le phosphore 5 à 6 g exprimé en P_2O_5 .

Ces valeurs maximales, pour de petites agglomérations, doivent être majorées pour des agglomérations plus importantes (> 5 000 hab.); la valeur de la demande biochimique en oxy-

gène (DBO_5) étant alors de l'ordre de 60 à 70 g d'oxygène par habitant et par jour.

Tableau I :

	Matières (g/hab/J)			DBO_5 (g O_2 /hab/J)
	minérales	organiques	totales	
Matières en suspension				
. séparables par décantation	20	40	60	19
. non séparables par décantation	10	20	30	12
				} 35
Matières dissoutes	50	50	100	23
TOTAL	80	110	190	54

Habitant-Equivalent selon K. IMHOFF.

En ce qui concerne les volumes rejetés et toujours pour l'Europe occidentale, les limites semblent se situer entre :

- 150 l/hab/J pour une petite agglomération de quelques milliers d'habitants dans une région d'économie rurale, ce qui correspond à une DBO_5 de l'ordre de 400 mg l^{-1} .
- 400 l/hab/J pour une grosse agglomération, de l'ordre du million d'habitants, ce qui correspond alors à une DBO_5 de l'ordre de 150 à 180 mg l^{-1} .

Des valeurs plus élevées, de l'ordre de 450 l/hab/J, se rencontrent dans certains pays, en particulier la Suisse, le Canada et les Etats-Unis.

Remarque.

La notion d'habitant-équivalent telle qu'elle vient d'être définie correspond à un effluent urbain type, c'est-à-dire aux eaux résiduaires d'origine domestique auxquelles il convient d'ajouter plus ou moins les eaux de ruissellement suivant que le réseau est unitaire, séparatif ou pseudo-séparatif. En fait, dans un certain nombre de cas, des rejets en provenance de petites entreprises ne disposant pas de station d'épuration ou des effluents provenant de stations de traitements spécifiques d'entreprises plus importantes sont souvent connectés au réseau d'assainissement urbain. Ces rejets modifient donc la composition de l'effluent purement urbain et peuvent induire quelques difficultés au niveau du traitement biologique.

En effet, ces rejets sont susceptibles d'apporter :

- des produits non ou faiblement biodégradables,
- des produits à réaction acide ou basique,
- des toxiques ou des inhibiteurs de croissance de la microflore active.

1.2. Les pollutions industrielles - les effluents industriels.

Les besoins en eau dans l'industrie sont très importants. A titre d'exemples, il faut :

- 25 litres d'eau pour fabriquer 1 litre de bière,
- 100 litres d'eau pour fabriquer 1 kg de sucre,
- 0,5 à 2 tonnes d'eau pour traiter 1 tonne de lait,
- 200 tonnes d'eau pour fabriquer 1 tonne de papier et
- 3 à 400 tonnes d'eau pour fabriquer 1 tonne d'engrais azotés.

La composition des effluents industriels est extrêmement variable et est fonction de l'activité industrielle considérée.

On peut, en première approximation, considérer 3 grandes classes d'effluents industriels :

I.2.1. LES EAUX RÉSIDUAIRES A CARACTÈRE MINÉRAL DOMINANT.

Les plus représentatives sont :

- Les eaux de lavage des gravières et des activités d'extraction des minéraux,
- Les eaux des industries sidérurgiques,
- Les eaux de l'industrie chimique minérale,
- Les eaux de traitement de surface des métaux.

Ces eaux sont caractérisées par :

- une charge importante en matières en suspension et/ou en sels dissous,
- une très faible valeur de la DBO₅,
- une demande chimique en oxygène variable en fonction de la nature des composés minéraux en solution.

Les traitements les mieux appropriés à ce type d'effluents sont :

- les traitements physiques de clarification : floculation, décantation et filtration,
- les traitements chimiques d'élimination des toxiques et/ou de neutralisation du pH.

Remarque.

Les traitements biologiques sont évidemment inutilisables.

I.2.2. LES EAUX RÉSIDUAIRES A CARACTÈRE ORGANIQUE DOMINANT.

Ce sont surtout les effluents des industries agro-alimentaires :

- abattoirs,
- conserveries,
- laiteries et fromageries,
- sucreries et distilleries,
- brasseries, malteries, féculeries, etc.

Leur composition, bien que très variable, associe presque toujours :

- des matières minérales et des débris végétaux en suspension,
- des graisses, des protéines et des glucides,
- des sels divers.

Elles sont caractérisées par une biodégradation importante et, de ce fait, se prêtent généralement bien aux traitements biologiques.

Leur DBO₅ peut être très importante comme en témoignent les valeurs du tableau II obtenues sur des effluents de conserveries de légumes.

Tableau II :

Nature du produit	MES mg l ⁻¹	DBO ₅ mg O ₂ l ⁻¹	DBO ₅ kg O ₂ /T
Betteraves rouges	1 250	4 000	16,7
Carottes	1 830	1 100	7,3
Champignons de Paris	172	348	11,2
Epinards	-	730	18,7

Valeurs des MES et de la DBO₅ de quelques effluents des conserveries de légumes (extrait de H. ROQUES)

I.2.3. LES EAUX RÉSIDUAIRES A CARACTÈRE MIXTE.

Ce sont des effluents qui contiennent généralement des constituants bio-dégradables mais qui ne peuvent pas être traités directement en épuration biologique sans correction préalable.

Dans ce groupe, nous pouvons citer les effluents :

- des industries textiles,
- des papeteries et des industries du bois,

- des raffineries et des usines pétrochimiques,
- des industries pharmaceutiques,
- des industries chimiques organiques.

Dans ces effluents, les composés rencontrés sont :

- des hydrocarbures dissous, émulsionnés ou en film superficiel,
- des émulsions d'huiles stabilisées par tensio-actifs (huiles solubles),
- des tensio-actifs,
- des colorants,
- des phénols,
- des matières en suspension diverses (sable, fibres de cellulose, etc.).

Ce type d'effluent peut être traité en épuration biologique à condition de prendre un certain nombre de précautions, par exemple en éliminant les constituants toxiques ou en apportant les éléments de croissance nécessaires à l'activité de la biomasse bactérienne et, en particulier, les apports d'azote et de phosphore sont impératifs pour les effluents qui en sont carencés.

1.3. Les sources de pollution diffuse.

La source de pollution diffuse la plus importante est incontestablement d'origine agricole.

Elle concerne essentiellement deux grands familles de composés :

- les pesticides,
- les engrais.

Cette pollution est véhiculée soit par les eaux de ruissellement, soit par les eaux d'infiltration et peut donc concerner les eaux superficielles et les eaux souterraines.

Les pesticides constituent une famille de composés essentiellement organiques de synthèse, excessivement riche et parmi :

- les herbicides totaux et sélectifs,
- les fongicides,
- les insecticides,
- les rodenticides,
- et les nématicides,

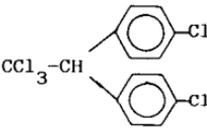
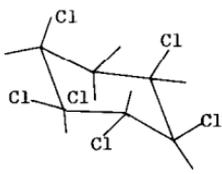
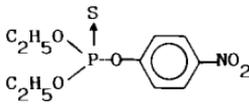
on trouve une très grande variété de composés chimiques à fonctions simples ou complexes.

Sauf cas de déversements accidentels, le danger de ces produits vient essentiellement de leur grande dispersion dans la nature et de leur accumulation lente dans les organismes vivants qui, à travers les chaînes trophiques, finissent par concerner l'homme.

La conciliation des impératifs économiques de production agricole avec la sauvegarde de l'environnement et la protection de nos ressources en eau passe probablement par l'utilisation de produits efficaces mais à durée de vie limitée.

Les temps de demi-vie des trois composés rassemblés dans le tableau III expliquent tout à fait les risques inhérents à l'utilisation du DDT et justifient son retrait.

Tableau III :

<u>Produit</u>	<u>Formule</u>	<u>Temps de demi-vie</u>
DDT		10 à 20 ans
Lindane		2 ans
Parathion		108 jours

Temps de demi-vie de quelques pesticides

L'accroissement de l'utilisation des engrais au cours des deux dernières décennies a eu pour conséquence une augmentation nette des teneurs en nitrates et en phosphates dans les eaux superficielles et dans les eaux souterraines.

Cette augmentation a deux conséquences :

- une contribution aux phénomènes d'eutrophisation qui cause des déséquilibres graves sur la faune et la flore des eaux superficielles,

- une limite de concentration en nitrates dépassée en terme de potabilité dans un certain nombre de nappes. La concentration maximale admissible fixée par la CEE est de 50 mg l^{-1} et on observe actuellement des concentrations supérieures à cette CMA, en particulier dans les nappes mal protégées situées dans les zones d'agriculture intensive.

II. LE TRAITEMENT DES EAUX RESIDUAIRES ET LES NORMES DE REJET.

II.1. La pollution des eaux superficielles et les objectifs de qualité.

La loi sur l'eau de 1964 a donné une méthodologie de lutte contre la pollution des eaux entraînée par les rejets domestiques et industriels. Cette méthodologie est basée sur le cheminement suivant :

- Faire un inventaire de l'état de pollution des eaux superficielles.
- Connaissant l'état de pollution, fixer des objectifs de qualité.
- Ces objectifs de qualité impliquent la maîtrise des rejets et conditionnent le niveau de traitement des eaux résiduaires.

A côté de la réglementation qu'elle aménage, cette loi institue une véritable incitation financière mise en œuvre au niveau des agences de bassin et se traduisant par des subventions et des prêts bonifiés aux collectivités locales et à l'industrie.

Cette politique d'incitation financière a porté ses fruits puisque entre 1970 et 1978 la capacité de traitement des eaux usées des collectivités (industries raccordées) est passée de 12 à 44 millions d'habitants-équivalent.

A partir de l'état des eaux superficielles, on peut donc fixer des objectifs de qualité qui peuvent être variés ; ces objectifs de qualité n'étant pas les mêmes pour les eaux de baignade, la pisciculture, la production d'eau potable, etc. On a ainsi défini une grille de qualité pour chacun des usages d'où la notion de grille multi-usages. Cette grille fixe 5 classes de qualité selon les usages que doivent satisfaire les rivières. Chaque classe regroupe les valeurs de plusieurs paramètres :

Classe 1A : Elle caractérise les eaux considérées comme exemptes de pollution, aptes à satisfaire les usages les plus exigeants en qualité.

Classe 1B : D'une qualité légèrement moindre, ces eaux peuvent néanmoins satisfaire tous les usages.

Classe 2 : Qualité « passable » : suffisante pour l'irrigation, les usages industriels, la production d'eau potable après un traitement poussé. L'abreuvement des animaux est généralement toléré. Le poisson y vit normalement mais sa reproduction peut y être aléatoire. Les loisirs liés à l'eau y sont possibles lorsqu'ils ne nécessitent que des contacts exceptionnels avec elle.

Classe 3 : Qualité « médiocre » : juste apte à l'irrigation, au refroidissement et à la navigation. La vie piscicole peut subsister dans ces eaux, mais cela est aléatoire en période de faibles débits ou de fortes températures, par exemple.

Hors-classe : Eaux dépassant la valeur maximale tolérée en classe 3 pour un ou plusieurs paramètres. Elles sont considérées comme inaptes à la plupart des usages et peuvent constituer une menace pour la santé publique et l'environnement.

II.2. Les objectifs de qualité et les niveaux d'épuration.

L'obtention d'un objectif de qualité exige la maîtrise des rejets et a amené à reconsidérer, dans le cas des effluents urbains (circulaire du 4 novembre 1980), la définition antérieure des 6 niveaux de traitement préconisant un niveau de rejet indépendant du milieu récepteur. Actuellement, on distingue 3 grands groupes de niveaux d'épuration :

- les niveaux de rejets pour les MES et les matières oxydables (DCO et DBO_5),
- les niveaux de rejets pour les formes de substances azotées,
- les niveaux de rejets pour le phosphore,

auxquels il faut ajouter les niveaux de rejets pour les qualités microbiologiques.

Chacun de ces groupes est subdivisé en sous-groupes correspondant à des exigences de plus en plus sévères.

Il est tout à fait évident que, même pour les niveaux d'épuration les plus exigeants, il reste dans l'eau une multitude de composés.

Ces rejets sont dilués dans le milieu naturel et les concentrations en carbone organique dans les eaux superficielles sont presque toujours inférieures à 10 mg de C par litre.

II.3. Les niveaux de concentration des micropolluants dans les eaux superficielles.

Il est très difficile de faire une classification de toutes les matières organiques présentes assortie d'un niveau de concentration. Pour les composés organo-azotés, la classification appro-

chée suivante est souvent proposée pour les eaux utilisées en production d'eau potable.

- * Au niveau du mg l^{-1} , on trouve deux grandes classes de composés :
 - les acides fulviques et humiques,
 - les protéines.
- * Pour des concentrations comprises entre $1 \mu\text{g l}^{-1}$ et 1mg l^{-1} :
 - les acides aminés libres,
 - la chlorophylle,
 - des agents de surfaces (essentiellement des cationiques).
- * Pour des concentrations comprises entre 1ng l^{-1} et $1 \mu\text{g l}^{-1}$:
 - A ce niveau de concentration, toutes les familles chimiques peuvent être représentées.

La remarque la plus importante que l'on peut faire à l'examen de cette classification est que, finalement, les composés présents dans les eaux superficielles aux concentrations les plus élevées sont des composés d'origine naturelle (les substances humiques et les protéines) et que ces composés naturels peuvent poser quelques problèmes au niveau de la production des eaux potables.

III. ELIMINATION DE LA MICROPOLLUTION DANS LES FILIERES DE TRAITEMENT DES EAUX DE CONSOMMATION.

En fonction de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, les unités de traitement vont être constituées d'une succession d'étapes plus ou moins nombreuses ; la complexité pouvant aller d'une seule étape de désinfection pour une eau souterraine de très haute qualité à une dizaine d'étapes pour une eau de surface de qualité médiocre.

En ce qui concerne les eaux de surface, donc celles qui contiennent la plus grande variété de polluants, l'usine de traitement la plus simple comprendra au moins deux étapes :

- une étape de séparation liquide-solide (clarification) comprenant les opérations de coagulation-floculation-décantation et filtration,
- une étape de désinfection finale.

La coagulation et la floculation ont respectivement pour fonction la rupture de la stabilité des états dispersés par neutralisation des charges des particules colloïdales et la formation d'agrégats, appelés floes, dont la vitesse de sédimentation est très supérieure à chacune des particules prises individuellement.

Les particules colloïdales contenues dans les eaux de surface étant généralement chargées négativement, l'annulation des forces

de Coulomb est généralement effective avec des coagulants minéraux comme des cations polyvalents (Fe^{3+} , Al^{3+}).

Les flocculants sont le plus souvent des macromolécules minérales ou organiques comme la silice activée, l'aqualgine ou l'amidon et, dans ce domaine, il faut noter la mise en œuvre récente de macromolécules organiques de synthèse dont certaines sont actuellement en cours d'agrément par le Conseil National Supérieur d'Hygiène.

Ces opérations sont toujours suivies d'une décantation qui permet la sédimentation du floc, et d'une filtration (généralement effectuée sur sable) dont le but est d'éliminer les dernières particules en suspension et d'obtenir une eau parfaitement limpide.

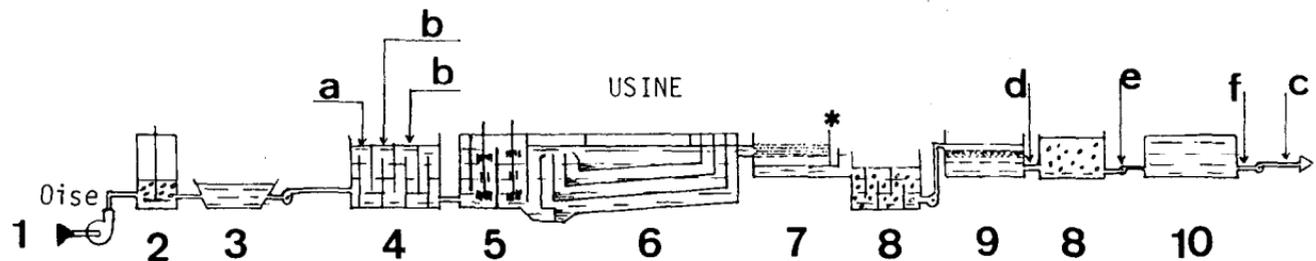
Dans ce type d'usine, la dernière étape est une désinfection qui a pour objet la destruction des bactéries et des virus, et qui doit assurer un résiduel de désinfectant dans le réseau et donc permettre la protection sanitaire de l'eau. La désinfection est assurée par un oxydant et le plus souvent on fait appel au chlore qui possède un pouvoir bactéricide et virulicide correct, un pouvoir rémanent important et qui, de plus, est relativement compétitif au plan économique.

Malgré les propriétés caractéristiques des matières en suspension libres ou agglomérés (floc) qui permettent la fixation de composés organiques et minéraux solubles par adsorption et échange d'ions (et donc leur élimination de la phase aqueuse), et malgré le pouvoir oxydant du chlore qui peut *a priori* dégrader certaines molécules, il est évident que le schéma que nous venons de voir est tout à fait insuffisant pour le traitement des eaux de surface de qualité « passable ». Ce schéma élémentaire doit être complété par des étapes supplémentaires permettant la rétention ou la dégradation des molécules les plus diverses contenues dans les eaux de surface.

Le schéma ci-après, représentant l'usine de traitement de Méry-sur-Oise, montre la complexité des unités modernes de production d'eau de consommation.

Par rapport à la description relativement simple que nous avons vu précédemment, cette unité comporte une étape de pré-oxydation par l'ozone avant la coagulation et un couplage oxydation-adsorption avant la désinfection finale.

Les étapes d'oxydation ont des fonctions multiples parmi lesquelles la protection des ouvrages contre la croissance algale, l'oxydation des composés minéraux et la modification de structure des molécules organiques pouvant améliorer leur élimination par flocculation (préoxydation) ou par biodégradation (couplage oxydation-adsorption).



Filière de traitement réalisée à la station de Méry sur Oise

- | | | |
|------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| a : Polychlorure d'aluminium | 1 : Prise d'eau | 6 : Décantation |
| b : Charbon actif en poudre | 2 : Préozonation | 7 : Filtration sur sable |
| c : Dioxyde de chlore | 3 : Bassin d'eau brute | 8 : Ozonation |
| d : Hypochlorite de sodium | 4 : Traitement chimique | 9 : Filtration sur charbon actif |
| e : chlore | 5 : Floculation | 10 : Réservoir de stockage |
| f : bisulfite | | |

L'étape dite d'adsorption est généralement assurée par du charbon actif en grains qui joue en fait un double rôle : un rôle d'adsorbant et une fonction de support bactérien ; la matière organique étant éliminée par ces deux voies et la voie biologique permettant d'augmenter la durée de vie du charbon actif.

CONCLUSION

En conclusion, les sources de pollution des eaux naturelles sont très diverses. Un certain nombre de ces sources et en particulier les sources ponctuelles sont ou peuvent être résorbées. Les connaissances scientifiques et technologiques dans ce domaine sont assez bonnes pour obtenir des résultats corrects dans la majorité des cas. Les difficultés qui subsistent sont essentiellement liées :

- à la nécessité d'implanter des stations d'épuration dans les collectivités et les secteurs industriels qui en sont dépourvus, ou d'aménager les stations existantes pour une meilleure élimination de l'azote et du phosphore en particulier,
- aux difficultés d'exploitation des stations d'épuration existantes résultant soit des variations saisonnières des flux polluants comme dans les zones estivales, soit de la dérive des effluents purement urbains vers des effluents mixtes.

Les problèmes posés par les pollutions diffuses, comme les pollutions agricoles, restent plus difficiles à résoudre et, dans ce domaine, les méthodes préventives sont sans doute les seules voies permettant d'obtenir à terme une amélioration de la situation en ce qui concerne la pollution des nappes par les nitrates en particulier.

Quant à la production des eaux de consommation à partir des eaux naturelles, nous avons vu que la complexité de l'usine de traitement est largement fonction de la qualité des eaux à traiter et que les pollutions apportées par l'homme à l'échelle domestique, industrielle et agricole ne sont pas les seules sources de problèmes au niveau de la production d'eau potable de haute qualité. En effet, certains produits « naturels », générés par les grands cycles biogéochimiques comme les acides humiques et fulviques, peuvent, par interaction avec des réactifs de traitement, conduire à la formation de composés à risque pour la santé, ce qui implique une maîtrise parfaite des réactions et des technologies de traitement.

Il n'en reste pas moins que les efforts entrepris pour la résorption de la pollution et la protection de nos ressources en eau doivent être poursuivis et amplifiés dans le sens de la prévention en ce qui concerne certaines pollutions industrielles et les pollutions d'origine agricole.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

Quelques livres en langue française

- L. DIVET et P. SCHULHOF. — *Le traitement des Eaux*. Presses Universitaires de France. 1980.
 - M. RAPINAT. — *L'Eau*. Presses Universitaires de France. 1982.
 - G. GOMELLA et H. GUERRÉE. — *Le Traitement des Eaux de Distribution*. Eyrolles. 1973.
 - O.C.D.E. — *Politiques de lutte contre les polluants spécifiques des Eaux*. 1982.
 - O.C.D.E. — *Eutrophisation des Eaux*. 1982.
 - K. IMHOFF. — *Manuel de l'Assainissement Urbain*. Dunod. 1964.
 - *Fondements théoriques du traitement biologique des Eaux* (Volume I). Technique et Documentation. 1979.
 - *Point sur l'Épuration et le Traitement des Effluents (Eau - Air)*. Coordonnateur G. MARTIN. Technique et Documentation. Editions Lavoisier.
Vol. 1, 1982.
Vol. 2.1. et 2.2., 1985. *Bactériologie des milieux aquatiques*.
 - A.F.N.O.R. — *Eaux - Méthodes d'essais*. 1986.
-