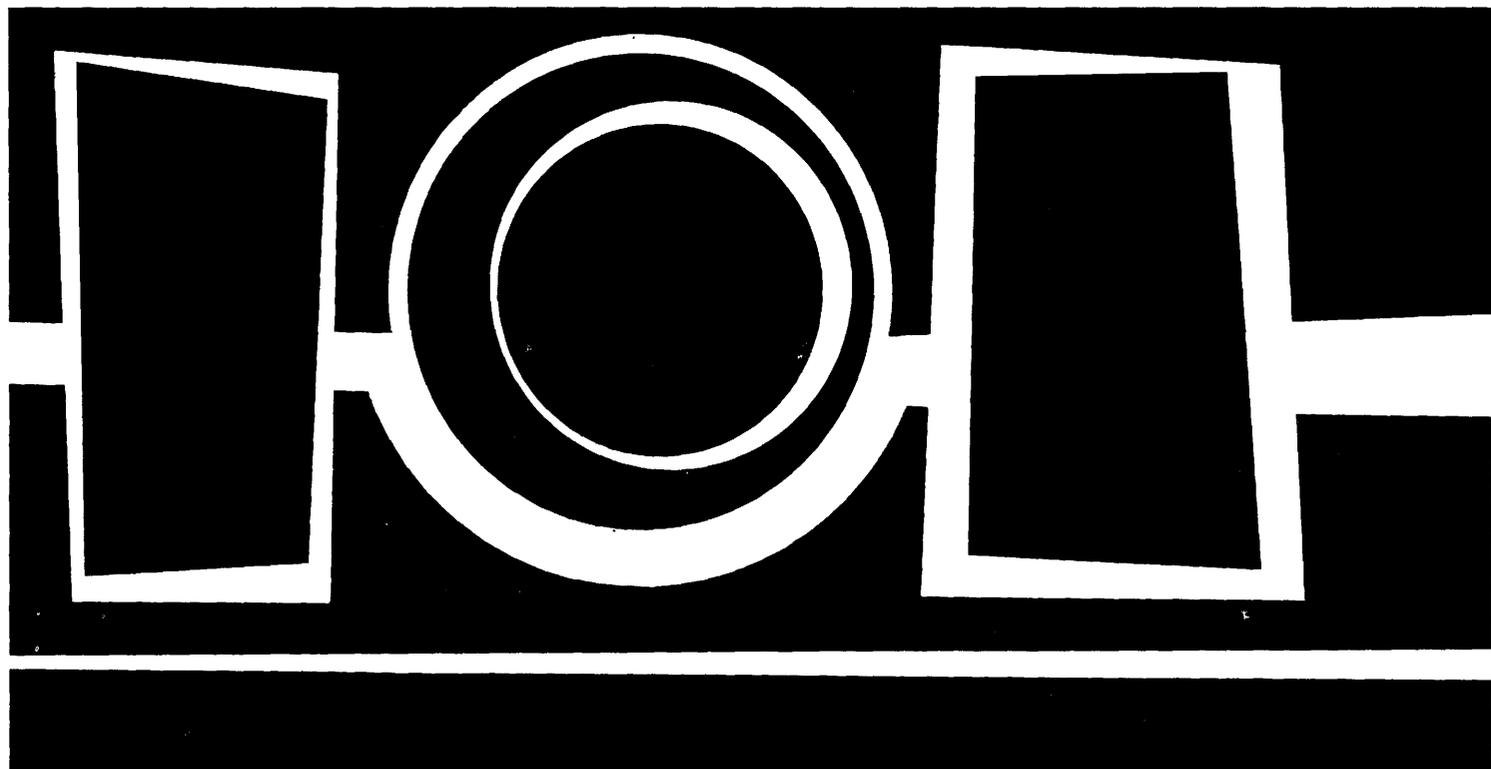


**COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES**

# **environnement et qualité de la vie**

**ÉTUDE DE DIFFÉRENTES POLLUTIONS CONSTATÉES  
DANS LE BASSIN RHÉNAN**



JUILLET 1974

EUR 5133 f

COMMISSION  
DES  
COMMUNAUTES EUROPEENNES

Service de l'environnement et  
de la protection des consommateurs

---

ETUDE DE DIFFERENTES POLLUTIONS  
CONSTATEES DANS LE BASSIN RHENAN

par P. A N N E  
Directeur de laboratoire de recherche



Table des matières

	<u>Nos des pages</u>
Introduction	
Chapitre I : Pollutions dues à l'emploi des engrais chimiques	I-1 à I-14
Chapitre II : Pollutions dues à des pesticides agricoles	II-1 à II-21
Chapitre III : Pollutions dues à des matières organiques	III-1 à III-25
Chapitre IV : Pollutions dues à des hydrocarbures	IV-1 à IV-14
Chapitre V : Pollutions dues à des substances sapides ou odorantes	V-1 à V-10
Chapitre VI : Pollutions occasionnées par la navigation	VI-1 à VI-14
Chapitre VII : Pollutions dues à des corps non organiques	VII-1 à VII-26
Conclusions générales	

N.B. Les références bibliographiques signalées dans le texte ont été placées à la fin des chapitres correspondants ; il en a été de même pour la plupart des grands tableaux et pour les annexes.

---



## INTRODUCTION

Le présent travail constitue la suite de notre étude préliminaire sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan, effectuée en 1972, qui comportait les points suivants : examen général des principaux polluants et de leurs effets sur le milieu, indication des mesures appliquées actuellement en vue de remédier aux inconvénients constatés, présentation de nos propositions relatives aux mesures qu'il convient d'adopter afin d'aboutir à une situation satisfaisante. (L'urgence de ces mesures avait été soulignée).

Cette deuxième étude est consacrée spécialement aux pollutions qui sont dues :

- à des engrais chimiques (Chapitre I) ;
- à des pesticides agricoles (Chapitre II) ;
- à des matières organiques (hydrocarbures exclus) (Chapitre III) ;
- à des hydrocarbures (Chapitre IV) ;
- à la navigation (Chapitre V) ;
- à des substances sapides ou odorantes (Chapitre VI) ;
- à des corps non-organiques (Chapitre VII) .

Les informations que nous fournissons sur ces différentes pollutions on trait, essentiellement, à leurs origines, à leur étendue et à leurs conséquences à l'égard du milieu et de l'utilisation de ce dernier. Mais l'examen quelque peu détaillé des nombreux problèmes techniques à prendre en considération dans ces divers domaines aurait exigé des développements qui n'auraient pu entrer dans le cadre choisi pour la présente étude ; nous nous sommes donc limité aux données les plus importantes permettant d'appréhender convenablement les questions soulevées. Précisons également que les pollutions étudiées ici ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche et que nous n'avons pu mentionner qu'un nombre restreint d'entre eux ; les indications fournies sur ces derniers sont destinées à préciser, grâce à des exemples, la nature des phénomènes et des mécanismes exposés.

---



## Chapitre I.

### Pollutions dues à l'emploi des engrais chimiques.

Après quelques considérations préliminaires nous examinerons les phénomènes d'eutrophisation dans le bassin rhénan et les origines des composés azotés et phosphorés, puis nous présenterons quelques observations sur les risques d'eutrophisation dans les eaux du Rhin et nous terminerons par différentes indications sur les mesures à prendre.

#### 1. Considérations préliminaires.

Avant d'aborder l'examen de ce problème il est utile de rappeler la définition de "l'eutrophisation" : ce terme désigne le phénomène qui aboutit à la prolifération d'algues et de diverses plantes aquatiques à la suite de l'enrichissement de l'eau en substances aptes à assurer leur nutrition. Le développement intense de ces végétaux entraîne des modifications dans l'équilibre du milieu aquatique : les algues et les plantes aquatiques sont soumises, après leur mort, à une décomposition qui a pour conséquence une diminution de la teneur en oxygène de l'eau, susceptible de provoquer elle-même des modifications de la faune aquatique et une diminution de la qualité de l'eau (formation de substances présentant des saveurs et des odeurs désagréables).

L'état opposé à celui qui vient d'être décrit succinctement est l'état "oligotrophe", qui correspond à des eaux à faibles teneurs en substances nutritives et à un développement très faible des végétaux aquatiques.

L'état intermédiaire entre les deux états extrêmes qui viennent d'être indiqués est qualifié de "mésotrophe" et correspond à un début d'enrichissement de l'eau en substances nutritives.

L'eutrophisation s'observe essentiellement dans des eaux stagnantes ou dans des eaux soumises seulement à un faible courant.

Il convient de souligner que l'eutrophisation peut se produire en l'absence de pollution due à l'homme ; il s'agit alors d'un phénomène naturel d'enrichissement des eaux en substances indispensables

à la vie végétale, le développement de cette dernière favorisant d'ailleurs la vie animale. Mais la pollution urbaine et les pollutions dues à l'activité de l'homme sont à l'origine d'apports complémentaires importants de substances nutritives, qui sont susceptibles de provoquer un accroissement notable de l'eutrophisation (selon différents auteurs on pourrait parler dans ce cas d'une "hypertrophisation").

Nous allons maintenant indiquer les données que l'on peut retenir en vue de l'estimation de la part que l'on peut attribuer aux engrais chimiques azotés et phosphatés dans ces apports en ce qui concerne le bassin rhénan.

## 2. Les phénomènes d'eutrophisation dans le bassin rhénan.

### 21. Données générales.

La Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau (IAWR) estime (1) (selon la Commission rhénane des services néerlandais de distribution d'eau ou RIWA) que l'augmentation la plus importante de la pollution de 1964 à 1971 a été constatée en ce qui concerne les substances eutrophisantes et plus particulièrement les nitrates et les phosphates. L'accroissement de la concentration de ces substances aggrave le danger d'un développement rapide des algues dans les bassins de stockage et dans les lacs qui contiennent de l'eau du Rhin (il s'agit, en particulier, des bassins utilisés pour la filtration de l'eau, de canaux, du lac d'Ijssel, dont l'eau est utilisée pour la préparation d'eau potable et des lacs situés dans les deltas). Le développement des algues peut avoir pour conséquence la production de substances toxiques et de substances susceptibles de communiquer à l'eau des saveurs et des odeurs désagréables et il peut provoquer le colmatage des bassins utilisés pour la filtration de l'eau.

Par ailleurs, la Commission rhénane des services néerlandais de distribution d'eau (RIWA) (2) rappelle que si, d'une part, l'établissement de barrages dans le delta rhénan a une influence favorable sur la qualité de l'eau destinée à la préparation d'eau potable, en raison de l'augmentation de l'intensité de l'auto-épuration\*, il faut reconnaître, d'autre part, que ces barrages peuvent

---

\* Ce phénomène est dû à une diminution du débit ; on pourra consulter à ce sujet le chapitre du présent rapport consacré à la pollution organique du Rhin.

avoir une influence défavorable sur cette qualité, étant donné qu'ils favorisent le développement des algues.

## 22. Charges et teneurs du Rhin en nitrates et en phosphates.

Nous avons indiqué dans une précédente étude (3) l'évolution de ces données au cours de la période 1959 - 1970. On trouvera dans des tableaux ci-joints les valeurs relatives à la période 1967 - 1971 (tableau n° 1 : nitrates et tableau n° 2 : phosphates).

En ce qui concerne tout d'abord les nitrates soulignons les valeurs moyennes suivantes des charges (exprimées en azote N) à Emmerich-Lobith \* : 1959 : 2,98 kg/s ; 1970 : 8,47 kg/s ; 1971 : 3,82 kg/s, les variations constatées à Braubach étant assez comparables à celles qui viennent d'être indiquées ~~\*\*\*~~. On constate, d'autre part, que les concentrations ont relativement peu varié à Braubach et à Emmerich-Lobith de 1967 à 1971, mais la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau fait remarquer (1) qu'elles ont approximativement doublé aux Pays-Bas de 1964 à 1971 (les débits observés au cours de ces deux années ayant, d'ailleurs, été comparables).

Au sujet des valeurs moyennes des charges en phosphates on constate un accroissement très notable au cours des années ; on relève par exemple les valeurs suivantes (exprimées en phosphore P) à Emmerich-Lobith : 1959 : 0,12 kg/s ; 1970 : 0,52 kg/s ; 1971 : 0,42 kg/s. Les valeurs relevées à Braubach sont assez comparables à celles qui viennent d'être indiquées. En ce qui concerne les concentrations on note une augmentation assez marquée avec le temps ; la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau indique (1) qu'elles ont approximativement quadruplé aux Pays-Bas de 1964 à 1971.

## 23. Données sur les teneurs-limites des eaux en composés azotés et phosphatés à prendre en considération en ce qui concerne l'eutrophisation.

Différents chercheurs se sont efforcés de déterminer les valeurs limites des teneurs en nitrates et en phosphates au-dessus

---

\* Cette station a été remplacée, en 1971, par celle de Birmen-Lobith.

~~\*\*\*~~ Le fait que la charge en nitrates a été beaucoup plus faible en 1971 (année très sèche) qu'en 1970 (année très humide) peut être dû non seulement à une diminution éventuelle des rejets mais aussi à la possibilité d'une utilisation accrue des nitrates, en 1971, par les microorganismes qui effectuent la dégradation des matières organiques. Rappelons à ce sujet que les charges en matières organiques ont été notablement plus faibles en 1971 qu'en 1970 (on pourra consulter à cet égard le chapitre consacré à la pollution par les matières organiques).

desquelles l'eutrophisation peut se produire.

Citons tout d'abord les indications fournies à cet égard par R.A. Vollenweider dans un rapport de l'OCDE (4) :

On peut s'attendre au développement des algues en été :

- lorsque la teneur en azote nitrique (exprimée en azote N) est supérieure à 0,2 mg/l à 0,3 mg/l et, ou, lorsque la disponibilité annuelle dépasse 5 g à 10 g/m<sup>2</sup>

- lorsque la teneur en composés phosphorés assimilables (exprimée en phosphore P) au printemps est supérieure à 0,01 mg/l et, ou, lorsque la disponibilité annuelle dépasse 0,2 g à 0,5 g/m<sup>2</sup>.

Pendant J.W. Woldendorp (5) estime que les valeurs-limites indiquées par R.A. Vollenweider sont sujettes à être discutées et considère que :

- pour l'azote les valeurs fournies par R.A. Vollenweider sont trop basses : les algues bleu-vertes et les algues vertes ont besoin d'une concentration supérieure à 1 mg/l (mais les diatomées sont, par ailleurs, moins exigeantes en azote).

- pour le phosphore une concentration de 0,01 mg/l ne permet probablement pas une croissance optimale : des concentrations de 0,05 mg/l à 0,08 mg/l (selon les espèces d'algues considérées) sont nécessaires.

En fait il semble assez difficile, pour le phosphore notamment, de fixer une valeur-limite avec une probabilité suffisante ; ainsi, par exemple, aux Etats-Unis la teneur de 0,01 mg/l, proposée par C.N. Sawyer (6), est généralement admise, mais d'autres valeurs-limites ont été proposées, telles que 0,1 mg/l (selon T.E. Maloney (7) ) ou 1 mg/l (selon K.C. Lawrence (8) ).

#### 24. Interprétation des teneurs en nitrates et en phosphates des eaux du Rhin.

Teneurs en nitrates (exprimées en azote N) :

Si l'on prend en considération, pour la période 1967 - 1971, la valeur-limite proposée pour différentes algues par J.W. Woldendorp on voit que les valeurs moyennes annuelles sont notablement supérieures à ce seuil à Braubach et davantage encore à Bimmen-Lobith (même certaines valeurs minimales relevées à Braubach sont plus élevées). Sous réserve de l'hypothèse choisie on peut conclure, en ce qui concerne les nitrates que les eaux du Rhin sont favorables à l'eutrophisation aux stations considérées et aux Pays-Bas où les teneurs en nitrates sont assez voisines de celles de la frontière germano-néerlandaise.

Teneurs en phosphates (exprimées en phosphore P) : Il convient de tenir compte du fait que les teneurs-limites ont été indiquées en phosphore "assimilable" par les végétaux aquatiques et que les teneurs en phosphore sous forme de phosphates sont généralement inférieures à celles qui correspondent au phosphore assimilable. Dans ces conditions, si l'on prend en considération, pour la période 1967 - 1971, les valeurs-limites de 0,05 mg/l à 0,08 mg/l, proposées par J.W. Woldendorp, on voit que les valeurs moyennes annuelles sont notablement supérieures à ces seuils à Braubach et à Bimmen-Lobith ; de plus les valeurs minimales relevées dans ces deux stations sont, à deux exceptions près, supérieures à 0,08 mg/l. Sous réserve de l'hypothèse choisie on peut conclure, en ce qui concerne les phosphates, que les eaux du Rhin sont favorables à l'eutrophisation aux stations considérées et aux Pays-Bas, où les teneurs en phosphates sont assez voisines de celles de la frontière germano-néerlandaise.

### 3. Origines des composés azotés et phosphorés contenus dans les eaux de surface.

Ces origines sont variées ; nous examinerons d'abord les apports provenant du sol, puis ceux qui ont une origine domestique et enfin d'autres apports susceptibles de se produire.

#### 31. Azote et phosphore provenant du sol

Les composés azotés et phosphorés ayant cette origine peuvent être transportés par drainage, érosion ou ruissellement ; seul le cas du drainage sera considéré ici.

##### 311. Cas de l'azote :

En ce qui concerne l'azote, le drainage constitue la source la plus importante.

Rappelons très succinctement l'évolution des composés azotés dans le sol : au cours des différentes saisons on peut observer la transformation des composés organiques en composés minéraux (cette "minéralisation" se traduit par la formation de composés ammoniacaux se transformant par la suite en nitrates) ou la transformation inverse (réorganisation) ; généralement la "minéralisation" se produit pendant les périodes suffisamment chaudes et la "réorganisation" pendant les autres périodes. En outre il peut se produire, dans le sol, par suite de l'activité de différents micro-organismes,

une fixation d'azote atmosphérique ou une destruction des nitrates avec perte d'azote gazeux. Notons aussi qu'une fixation d'azote gazeux peut être effectuée par des bactéries vivant en symbiose sur le système racinaire de certaines plantes (légumineuses) ce qui entraîne la formation de composés organiques azotés. Il est le plus souvent très difficile d'établir le bilan de l'évolution de l'azote du sol, qu'il soit cultivé ou non.

Il est bon de souligner également que les composés azotés apportés au sol à titre d'engrais, sous forme organique, ammoniacale ou nitrique, sont l'objet des mêmes phénomènes que les composés azotés propres au sol.

En ce qui concerne la mobilité éventuelle des composés azotés contenus dans le sol on remarque que les formes organique et ammoniacale ne permettent que des entraînements très faibles, alors que les nitrates, qui sont très solubles dans l'eau et ne sont pas fixés par le sol suivent les mouvements de l'eau du sol : entraînement vers le bas avec passage dans les eaux de drainage lorsque les précipitations sont suffisamment abondantes, ou parfois remontée, dans certaines conditions.

Des déterminations des pertes d'azote par drainage ont été effectuées par G.J. Kolenbrander (9) aux Pays-Bas grâce à des dispositifs spécialement aménagés à cet effet (lysimètres) ; cet auteur distingue deux provenances relativement aux pertes constatées : la matière organique du sol (à la suite de la minéralisation partielle) et les engrais apportés. Dans les deux cas les pertes dépendent étroitement de la nature physique des sols ; compte-tenu de la répartition des sols dans l'Europe de l'Ouest en fonction de ce critère l'auteur considère que la moyenne pondérée des pertes annuelles constatées en sol labouré peut être estimée ainsi dans le cas d'un drainage de 250 m/m par an :

- pertes dues à la matière organique : 20 kg par ha environ
- pertes dues à l'engrais, pour un apport de 60 kg d'azote minéral : 2 kg par ha environ, soit 3,3 % de la quantité apportée.

Le même auteur a observé (10), en ce qui concerne les sols labourés aux Pays-Bas, où l'on trouve 50 % environ de sols sableux, une perte de 8 % environ, de l'azote apporté dans le cas d'une fumure de 100 kg d'azote minéral par ha.

On voit qu'il existe une disproportion marquée entre les pertes dues à la matière organique du sol et celles qui sont dues à l'engrais azoté ; mais il convient de souligner que la fraction azotée de la matière organique, qui est indispensable à la fertilité du sol, ne peut être conservée sans apport d'engrais azoté.

Dans le cas des prairies les pertes d'azote sont, pour différentes raisons, beaucoup moins élevées. Pour des précipitations annuelles s'élevant à 700 m/m G.J. Kolenbrander estime (9) que celles qui sont dues à la matière organique sont de l'ordre de 5 kg par ha et par an et que celles qui proviennent d'un engrais appliqué à la dose de 250 kg d'azote minéral par ha sont de l'ordre de 2 kg par ha et par an.

### 312. Cas du phosphore :

Les composés du phosphore contenus dans le sol sont beaucoup moins mobiles que les nitrates : les phosphates sont fixés assez fortement à certaines substances contenues dans le sol et les phosphates solubles dans l'eau contenus dans différents engrais sont assez rapidement insolubilisés.

G.J. Kolenbrander (9) estime, d'après différents travaux, que la perte totale, en sols cultivés (exprimée en phosphore P), est de l'ordre de 0,22 kg par ha et par an, pour un drainage se montant à 250 m/m ; la perte en sols de prairies est peu différente. En outre, les pertes trouvées ne dépendent pas de la dose d'engrais phosphaté utilisé.

### 32. Azote et phosphore d'origine domestique : comparaison avec les apports provenant du sol.

Il est possible d'estimer, avec une certaine approximation, les éliminations dues à l'activité vitale de l'homme et à la tenue de son foyer. G.J. Kolenbrander (11) s'est livré à une telle approche pour les Pays-Bas en se basant sur les quantités moyennes par habitant correspondant aux excréments et aux effluents domestiques, y compris les détergents. Voici quelques données extraites des résultats obtenus par cet auteur, comportant une comparaison avec l'azote et le phosphore provenant du sol :

<u>Provenance</u>	<u>N</u> kg par ha de sol cultivé.	<u>P</u>
Sol	32,0	0,3
Excrétions et effluents domestiques (zones urbaines et zones rurales)	22,1	7,1
Totaux	54,1	7,4

On voit que les apports d'origine domestique sont très notables, mais l'azote provenant du sol représente une fraction importante du total ; par contre les quantités de phosphore provenant du sol sont, en valeur absolue et en valeur relative, très faibles.

### 33. Autres apports d'azote et de phosphore.

#### 331. Apports d'origine industrielle.

Il ne semble pas que les travaux publiés en ce qui concerne le bassin rhénan permettant d'en effectuer l'estimation ; mais en raison de l'activité industrielle de cette région il est permis de supposer que les rejets en azote et en phosphore dus à cette origine sont notables.

#### 332. Apports, par voie aérienne.

Les quantités d'azote et de phosphore correspondant à cette provenance sont variables et difficiles à estimer. Selon G.J. Kolender (11) la moyenne pour l'azote apporté par la pluie peut être comprise généralement entre 1 kg et 30 kg par ha et par an, mais les valeurs observées peuvent croître jusqu'à 100 kg par ha et par an dans les zones industrielles (signalons à ce sujet que les apports dus aux gaz d'échappement des véhicules automobiles ne sont pas négligeables).

Selon le même auteur on peut retenir pour le phosphore, aux Pays-Bas, un montant de 2 kg environ par ha et par an.

### 4. Autres observations sur les risques d'eutrophisation dans les eaux du Rhin.

Après avoir examiné la situation dans le bassin rhénan, compte-tenu des données actuellement disponibles, en ce qui concerne l'azote et le phosphore il convient de prendre en considération certaines observations d'ordre général sur les phénomènes propres à l'eutrophisation.

E.W. Russel (12) rappelle à juste titre que les conditions dans lesquelles l'eutrophisation est susceptible de se produire ne sont pas parfaitement connues et que le simple examen des teneurs des eaux en azote et en phosphore ne permet pas de conclure d'une manière certaine à cet égard. Ainsi, d'une part, on peut constater des phénomènes d'eutrophisation dans des eaux de teneur très basse en phosphore et, d'autre part, différents auteurs indiquent que l'eutrophisation ne se produit pas nécessairement dans des eaux dont les teneurs en phosphore dépassent très notablement les limites généralement admises : dans divers cas l'addition d'azote et de phosphore à certaines eaux n'a pas accéléré la croissance des algues.

Il est utile, en outre, de tenir compte du fait que les végétaux aquatiques, de même que les végétaux terrestres, ont besoin également, pour leur développement, d'un certain nombre de corps parmi lesquels on peut citer le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre et différents "micro-éléments". De plus le phénomène de l'assimilation chlorophyllienne, qui est à la base de la formation de leur propre substance est nécessairement sous la dépendance de la concentration en dioxyde de carbone ( $CO^2$ ) dans l'eau. J.W. Woldendorp (5) souligne à ce sujet la possibilité que le carbone puisse être un élément limitant en ce qui concerne la croissance et cet auteur évoque l'hypothèse d'une symbiose susceptible de s'établir entre des bactéries et des algues, les premières fournissant aux secondes du dioxyde de carbone provenant de la décomposition de matières organiques et profitant, en contre-partie, de substances synthétisées par les algues. Par ailleurs certains auteurs estiment que diverses algues peuvent se développer selon un mode "hétérotrophe" partiel, donc en utilisant non seulement les produits de l'assimilation chlorophyllienne mais aussi des matières organiques contenues dans les effluents ; dans ce cas la pollution organique du Rhin favoriserait donc l'eutrophisation.

On peut enfin émettre l'hypothèse, dans les cas où certaines substances toxiques sont présentes dans les eaux du Rhin, d'un effet dépressif sur le développement des algues (et éventuellement sur celui des bactéries symbiotiques) dans les zones où l'eutrophisation serait susceptible de se produire.

### 5. Mesures à prendre contre l'eutrophisation.

Il apparaît qu'il serait très utile de développer les recherches sur les conditions exactes dans lesquelles l'eutrophisation est susceptible de se produire dans certaines zones du bassin rhénan. Mais on peut estimer qu'il est recommandable, dès maintenant, que l'on s'efforce de réduire les apports de substances azotées et phosphorées de différentes provenances.

Au sujet de celles de ces substances qui proviennent du sol on peut présenter les remarques suivantes :

Il ne semble pas possible d'envisager une réduction systématique des quantités d'engrais utilisés, car une telle mesure aurait nécessairement pour conséquences non seulement une diminution des rendements en agriculture mais aussi une baisse de la qualité des produits obtenus, ainsi qu'une augmentation des prix à la production, due au fait que l'utilisation des engrais dans des conditions techniques optimales constitue une opération rentable.

Il convient donc de mener auprès des agriculteurs des actions tendant à une utilisation aussi rationnelle que possible des engrais et à une prise en considération de la nécessité de limiter, dans toute la mesure du possible, les pertes d'azote et de phosphore (ce qui est d'ailleurs conforme à leur intérêt financier).

Les mesures suivantes sont particulièrement recommandables en vue de limiter ces pertes :

- Modalités des apports d'engrais : éviter tout dépassement des doses indispensables, surtout en sols sableux, fractionner, si nécessaire, les apports annuels ; choisir les époques d'application les plus convenables .

- Cas des cultures irriguées : Régler les apports d'eau de manière à éviter un drainage notable.

- Occupation du sol : Eviter que le sol reste sans culture en automne et en hiver dans les cas où des pertes sensibles se produisent en sol nu au cours de ces saisons .

- Lutte contre l'érosion : Différentes mesures sont recommandables, et, notamment, l'utilisation de "mulch" <sup>\*</sup>, de compost ou d'engrais vert ; éviter, en outre, le surpâturage .

---

\* Le "mulch" est une couverture du sol (constituée souvent de paille ou de déchets organiques) dont l'emploi est indiqué dans certains cas en agriculture.

- Mesures diverses : éviter, là où elles seraient pratiquées, les applications d'engrais sur sol gelé ; enterrer les engrais dans les cas où leur application en surface pourrait être la cause de leur entraînement par ruissellement.

Les indications que nous venons de fournir au sujet des mesures à recommander sont valables surtout en ce qui concerne les engrais azotés, étant donné que l'entraînement des phosphates est, le plus souvent, très faible.

Confirmons enfin la nécessité de prendre des mesures propres à réduire les teneurs des eaux du Rhin en nitrates et en phosphates provenant des effluents domestiques et industriels.

Tableau n° 1		RHIN			
		Nitrates (exprimés en azote N)			
		Périodes 1967 - 1971			
Moy. = Moyennes annuelles					
Min. = Minimums annuels					
Max. = Maximums annuels					
		Braubach		Emmerich-Lobith	
		mg/l	kg/s	mg/l	kg/s
1967	Moy.	1,58	2,78	2,42	6,19
	Min.	0,86	1,65	1,99	3,23
	Max.	2,53	5,06	3,52	14,75
1968	Moy.	2,06	4,11	2,60	7,68
	Min.	1,22	1,76	1,58	4,47
	Max.	3,12	8,02	3,43	19,97
1969	Moy.	1,90	3,34	2,55	6,08
	Min.	0,77	0,59	1,99	2,01
	Max.	3,12	9,85	3,21	14,73
1970	Moy.	1,88	4,32	2,64	8,47
	Min.	1,15	1,88	1,85	3,32
	Max.	3,16	11,75	3,48	21,92
1971	Moy.	1,60	1,72	2,46	3,82
	Min.	0,09	0,07	1,47	1,20
	Max.	3,10	4,59	3,19	11,09

N. B. : Les teneurs et charges indiquées dans ce tableau ont été calculées d'après les "tableaux numériques" publiés par la Commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution.

Tableau n° 2		RHIN			
		Phosphates (exprimés en phosphore P) Période 1967 - 1971			
Moy. = Moyennes annuelles					
Max. = Maximums annuels					
Min. = Minimums annuels					
		Braubach		Emmerich-Lobith	
		mg/l	kg/s	mg/l	kg/s
1967	Moy.	0,21	0,56	0,17	0,42
	Min.	0,13	0,29	0,10	0,23
	Max.	0,34	0,43	0,25	0,69
1968	Moy.	0,21	0,40	0,15	0,47
	Min.	0,12	0,20	0,10	0,21
	Max.	0,33	0,55	0,24	0,87
1969	Moy.	0,26	0,40	0,22	0,48
	Min.	0,15	0,28	0,12	0,25
	Max.	0,45	0,54	0,37	0,87
1970	Moy.	0,23	0,45	0,18	0,52
	Min.	0,06	0,14	0,08	0,24
	Max.	0,43	0,90	0,36	1,02
1971	Moy.	0,44	0,42	0,31	0,42
	Min.	0,19	0,22	0,15	0,21
	Max.	0,76	0,60	0,52	0,77

N. B. : Les teneurs et charges indiquées dans ce tableau ont été calculées d'après les "tableaux numériques" publiés par la Commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution.

Références bibliographiques du chapitre relatif aux  
pollutions dues à l'emploi des engrais chimiques.

1. Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet. (IAWR)  
Jahresbericht 1971.
2. Rijncommissie waterleidingbedrijven (IAWR)  
Jahresbericht 1972.
3. Anne P.  
Etude préliminaire sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan.  
Commission des Communautés Européennes - Environnement et qualité de la vie.  
Septembre 1973 ; n° 3 ; EUR 5014.
4. O C D E  
Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et eaux courantes sous l'aspect particulier du phosphore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation. (Rapport préparé par Vollenweider R.A.)  
Rapport n° 81. 744 du 30 septembre 1970.
5. Woldendorp J.W.  
Nutrients limiting algal growth  
Stikstof ; 1972 - 15 - p. 16 - 27.
6. Sawyer C.N.J.  
New engl. water ass. ; 1947 ; 61.
7. Maloney T.E.  
Jal Water pollution control fed. 1966 - 38 - 1.
8. Lawrence K.C.  
Chem. eng. progr. symp. ser. 1967 - 63 (78)
9. Kolenbrander G.J.  
Eutrophication from agriculture with special reference to fertilizers and animal waste.  
Swedish international development authority and Food and agriculture organization of the united nations : Effects of intensive fertilizer use on the human environment, Rome 1972.
10. Kolenbrander G.J.  
Contribution of agriculture to eutrophication of surface waters with nitrogen and phosphorus in the Netherlands.  
Report.n° 10 Inst. Soil fertility Haren (Gr) ; 1971
11. Kolenbrander G.J.  
The eutrophication of surface water by agriculture and the urban population.  
Stikstof ; 1972 ; 15 ; p. 56 - 67.
12. Russel E.W.  
Summary of technical discussions  
Swedish international development authority and Food and agriculture organization of the united nations : Effects of intensive fertilizer use on the human environment, Rome 1972.

## CHAPITRE II.

### POLLUTIONS DUES A DES PESTICIDES AGRICOLES

Après différentes indications d'ordre général nous exposerons la situation dans le bassin rhénan à l'égard de ces pollutions puis<sup>nous</sup>, présenterons des observations sur l'évolution des pesticides dans le milieu naturel, sur leur élimination en vue de la préparation d'eau potable et sur les mesures à recommander en vue de lutter contre les pollutions en question.

#### 1. Considérations générales.

Les pesticides agricoles sont des substances utilisées dans la lutte contre les ennemis des cultures de toutes sortes (cryptogames, bactéries, virus, insectes, acariens, nématodes, rongeurs et mauvaises herbes) ainsi que pour la protection des animaux d'élevage contre divers parasites (à l'exclusion des médicaments).

Cette catégorie de substances comprend des familles chimiques très variées ; les produits minéraux sont moins utilisés qu'autrefois et nous ne les prendrons pas en considération ici<sup>\*</sup>. Les produits organiques de synthèse sont extrêmement nombreux et il apparaît fréquemment de nouvelles substances de traitement ; nous allons indiquer, en vue de donner une vue d'ensemble, les grands groupes que l'on peut distinguer (selon M.A. Gamrasni (1) ).

- Dérivés chlorés
- Esters phosphoriques et composés dérivés contenant également de l'azote et, ou, du soufre.
- Composés de l'azote sous des formes chimiques variées.
- Dérivés organo-métalliques.

Les pesticides dont la présence a été constatée dans les eaux superficielles du bassin rhénan peuvent être classés de la manière suivante :

- Composés organo-chlorés, comprenant :
  - l'hexachlorocyclohexane et l'hexachlorure de benzène ;
  - des composés alicycliques ;
  - le D.D.T. et ses dérivés.

---

\* Dans la mesure où ils sont susceptibles de polluer les eaux du bassin rhénan, les produits minéraux seront examinés dans le chapitre relatif aux pollutions dues à des corps non-organiques (chapitre VII.).

- Inhibiteurs de cholinestérase <sup>\*</sup>, comprenant :
  - des esters phosphoriques ;
  - un carbamate.

## 2. Etude des pollutions dues à des pesticides agricoles.

### 21. Voies par lesquelles se fait la pollution de l'eau.

Dans le cas de pollutions se produisant à la suite d'une utilisation normale des pesticides il existe plusieurs voies par lesquelles ces derniers peuvent finalement se trouver transportés au sein d'une eau superficielle. Les phénomènes suivants sont (selon P.A. Greve (2) notamment) susceptibles de se produire :

- transport par l'air, soit par le vent, soit par volatilisation,
- transport par l'intermédiaire du sol, soit par drainage de l'eau plus ou moins contaminée contenue dans le sol, soit par entraînement vers l'eau de particules de sols sur lesquelles des pesticides sont absorbés (ce dernier cas correspond à l'érosion du sol par la pluie ou l'eau de ruissellement).

Il est à remarquer que la pluie intervient à divers égards dans ces différents processus.

L'emploi des pesticides peut éventuellement comporter d'autres pollutions, dues à un manque de précautions (par exemple : dépôts de pesticides insuffisamment protégés, lavage d'appareils de traitement).

Dans le cas de rejets industriels il peut s'agir soit de pollutions occasionnées par des opérations couramment pratiquées (évacuation de résidus de fabrication, nettoyage de matériel), soit de pollutions accidentelles (ruptures de bacs, de canalisation, de vannes, etc..).

Rappelons également que les accidents de transport peuvent être à l'origine de diverses pollutions (transports par voie d'eau en particulier).

---

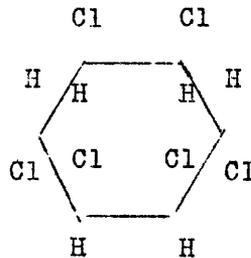
\* Cette expression sera définie dans la rubrique affectée à ces corps.

2. Pesticides dont la présence a été constatée dans les eaux du Rhin.

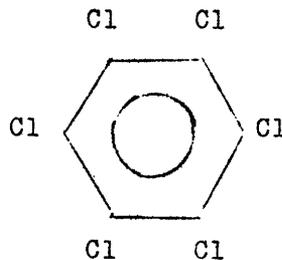
221. Composés organo-chlorés

2211. Hexachlorocyclohexane et hexachlorobenzène.

L'hexachlorocyclohexane, qui est un insecticide, est un produit d'addition du benzène et du chlore ; il en existe plusieurs isomères dont les principaux sont les isomères  $\alpha$  et  $\gamma$ . La formule de ce dernier (ou lindane) est la suivante :



L'hexachlorobenzène (fongicide) est un produit de substitution qui peut être obtenu également à partir de benzène et de chlore et qui a pour formule :



Parmi les déterminations relatives aux eaux du Rhin, on note plus particulièrement celles de P.A. Greve (3), qui ont porté sur des échantillons prélevés aux Pays-Bas, à une faible distance de la frontière germano-néerlandaise, de septembre 1969 à mars 1972, au rythme de trois prélèvements par semaine, les déterminations étant faites sur l'eau non filtrée.

On peut résumer ainsi les résultats obtenus :

	Teneurs moyennes	Teneurs minimales	Teneurs maximales
		µg/l	
	(limite de détection : 0,01)		
Hexachlorocyclohexane (HCH) $\alpha$	0,15	< 0,01	0,48
Hexachlorocyclohexane (HCH) $\gamma$	0,10	< 0,01	0,34
Hexachlorobenzène (HCB)	0,13	< 0,01	0,52

L'auteur constate que les eaux du Rhin sont beaucoup plus polluées, en ce qui concerne les substances en question, que les autres eaux néerlandaises (la Meuse en particulier).

Il est particulièrement remarquable que les teneurs en HCH $\alpha$ , qui est un résidu de fabrication soient sensiblement plus élevées que celles de l'HCH $\gamma$ , qui est la substance insecticide utilisée en agriculture. P.A. Greve considère que la présence d'HCH en quantités notables dans l'eau du Rhin peut s'expliquer soit par l'utilisation de produits bruts qui en contiennent, soit par une pollution d'origine industrielle. Il semble que l'utilisation de tels produits bruts soit très réduite actuellement et que la deuxième hypothèse soit la plus vraisemblable. Cet auteur estime (4) que la charge mensuelle approximative en HCH $\gamma$  dans le Waal\* au voisinage de Nijmegen\*\* varie entre 150 kg et 800 kg. Il est à noter également qu'une partie des isomères  $\alpha$  et  $\gamma$  se trouve fixée sur les matières en suspension.

Les résultats analytiques suivants peuvent être également mentionnés :

Travaux de la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau (5) :

Les teneurs de l'eau du Rhin à retenir pour l'HCH $\gamma$  en 1972 à Ochten (située sur le Waal) sont les suivantes :

Teneurs moyennes		Teneurs minimales		Teneurs maximales	
Eau filtrée		Eau non filtrée		Eau filtrée	
Eau non filtrée		Eau filtrée		Eau non filtrée	
0,17	0,22	0,03	0,10	0,35	0,49

\* Le Waal est le cours d'eau le plus important provenant du Rhin aux Pays-Bas.

\*\* ou Nimègue, selon la dénomination française.

Travaux du Land Nordrhein-Westfalen (7) : outre des résultats assez rapprochés des déterminations effectuées par d'autres auteurs on peut citer pour le lindane à Bimmen\* les teneurs suivantes, qui sont particulièrement élevées :

le 2.7. 1972 : 2,4 µg/l

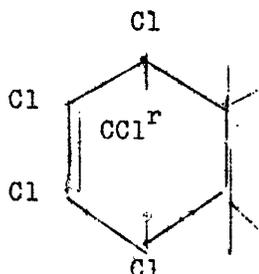
le 9.7. 1972 : 3,6 µg/l

Travaux du "Bundesanstalt für Gewässerkunde" (8) : au cours de la période comprise entre le 23.7.1971 et le 23.8.1971 la teneur en HCH  $\chi$  à Koblenz a été comprise entre 0,04 µg/l et 0,11 µg/l.

Travaux de F. Herzel (9) : au cours de la période d'avril 1970 à mars 1971 la teneur en HCH  $\chi$  à Düsseldorf de 11 échantillons a été comprise entre 0,100 µg/l et 0,245 µg/l ; à Karlsruhe, au cours de la période d'avril 1970 à mai 1971 la teneur en HCH  $\chi$  de 15 échantillons a été comprise entre 0,50 µg/l et 0,535 µg/l.

2212 Composés alicycliques

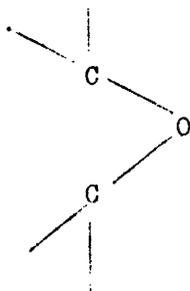
Les composés considérés ici contiennent plusieurs noyaux alicycliques chlorés et ils ont en commun le groupe suivant :



Les produits qui nous intéressent ici, et qui sont des insecticides, sont les suivants : Heptachlore (et son époxyde  $\chi$ <sup>\*\*</sup>).

\* Cette localité est située en Allemagne, au voisinage de la frontière germano-néerlandaise.

\*\* L'époxyde est un dérivé produit par oxydation et comportant le groupe suivant :



l'aldrine, la dieldrine (époxyde de l'aldrine), l'endrine et l'endosulfan ; ce dernier corps comporte deux isomères :  $\alpha$  et  $\beta$  .

Pour ce groupe les déterminations effectuées par P.A. Greve (3) ont donné, entre autres, les résultats suivants :

	Teneurs moyennes	Teneurs minimales	Teneurs maximales
	$\mu\text{g/l}$		
Heptachlore	< 0,01	< 0,01	0,04
Heptachlore-époxyde	< 0,01	< 0,01	0,06
Aldrine	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Dieldrine	< 0,01	< 0,01	0,08
Endrine	< 0,01	< 0,01	0,07
Endosulfan (isomères $\alpha$ + $\beta$ )	0,10	< 0,01	0,88

On voit que les concentrations trouvées sont moins élevées que pour l'HCH et l'HCB (à l'exception de la teneur maximale en endosulfan). En raison d'une certaine variation saisonnière l'auteur estime que la dieldrine pourrait éventuellement avoir une origine agricole, mais la teneur moyenne observée dans le Rhin n'est pas supérieure à celle observée dans les autres eaux superficielles des Pays-Bas soumises également à d'éventuelles pollutions agricoles. Il semble, par ailleurs, qu'il ait existé au cours des années 1970, 1971 et 1972 une tendance à la diminution des charges (P.A. Greve (2)).

Pour cette catégorie de produits on peut citer également les résultats analytiques suivants :

Travaux du "Bundesanstalt für Gewässerkunde" (8) au cours de la période comprise entre le 23.7.1971 et le 23.8.1971 la teneur en endosulfan à Koblenz a été comprise entre une valeur très faible (analytiquement non significative) et 0,10  $\mu\text{g/l}$ .

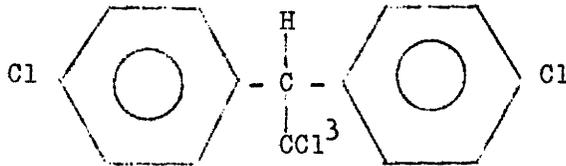
Travaux du Land Nordrhein-Westfalen (7) : outre des résultats assez rapprochés des déterminations effectuées par d'autres auteurs on peut citer, pour l'aldrine à Bimmen, les teneurs suivantes, qui sont particulièrement élevées :

le 2.7.1972	1,0	$\mu\text{g/l}$
le 9.7.1972	1,1	$\mu\text{g/l}$

Indiquons que le cas de l'endosulfan est assez spécial et mérite quelque développement ; nous l'examinerons dans la suite du chapitre.

2213. DDT et produits dérivés.

La formule du DDT (p.p'. D D T) est la suivante :



Parmi ses produits de transformation on peut citer le DDD et le DDE.

Les résultats des déterminations effectuées par P.A.Greve (3) peuvent se résumer ainsi :

	Teneurs moyennes	Teneurs minimales µg/l	Teneurs maximales
p, p' - DDT	< 0,02	< 0,02	0,17
o, p' - DDT	< 0,02	< 0,02	0,07
p, p' - DDD	< 0,01	< 0,02	0,03
p, p' - DDE	< 0,01	< 0,01	0,12

On voit que les teneurs trouvées, bien qu'un peu plus élevées que celles du groupe précédent, ne sont pas cependant considérables.

### 222. Inhibiteurs de cholinestérase<sup>2</sup>

Cette catégorie, caractérisée par l'aptitude des substances qui la composent à provoquer un phénomène s'opposant à la vie animale, comprend des corps de natures chimiques variées ; parmi ceux qui nous intéressent plus spécialement ici, on peut citer les insecticides suivants :

- des esters phosphoriques ;
  - le malathion, comportant du soufre
  - le diazinon, le diméthoate et le parathion comportant du soufre et de l'azote (ce dernier sous différentes formes)
  - un carbamate : le carbaryl, comprenant un groupe naph-  
tyle.

La première étude relative à la présence de ces substances dans les eaux néerlandaises a été effectuée par P.A. Greve, J. Freudenthal et S.L. Wit (10). Les résultats obtenus montrent que les concentrations en inhibiteurs de cholinestérase les plus élevées s'observent dans les différents bras du Rhin. Le tableau suivant en reproduit une partie, en ce qui concerne le Waal à deux époques différentes :

- 
- L'acétylcholine, qui joue un rôle important dans la conduction de l'influx nerveux, est détruite, immédiatement après son intervention, par une cholinestérase, corps appartenant à la catégorie des enzymes. L'inhibition de la cholinestérase est une cause de troubles graves dans l'organisme animal.

Cette inhibition peut être produite par des corps très divers ; l'action insecticide de différents pesticides est due à ce phénomène.

L'activité des inhibiteurs de cholinestérase peut être exprimée en équivalents d'un ester phosphorique, le paraoxon, qui est un dérivé du parathion (on pourra consulter à ce sujet la rubrique relative à l'évolution des pesticides dans le milieu aquatique).

	<u>Novembre 1971</u>	<u>Janvier 1972</u>
	$\mu\text{g}/\text{l}$	
Esters phosphoriques : Diméthoate	0,07	0,08
Malathion	0,01	0,01
Diazinon	0,02	0,05
Parathion	0,03	0,07
Carbamate : Carbaryl	0,40	0,20

L'origine de ces corps n'a pas encore été établie ; elle peut être agricole ou industrielle, ou être due à ces deux origines.

De septembre 1969 à décembre 1971 la moyenne mensuelle de la concentration de l'ensemble des inhibiteurs de choline-térase dans le Waal, exprimée en équivalent de paraoxon, a varié entre 0,14  $\mu\text{g}/\text{l}$  et 5,83  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Mais il <sup>est</sup> à noter selon P.A. Greve (2) que les valeurs maximales observées au cours des années 1970, 1971 et 1972, ont été très notablement inférieures à celles qui ont été constatées de septembre à décembre 1969. On remarque également qu'il existe une influence saisonnière sur les valeurs trouvées : il se produit une augmentation des teneurs en automne et une diminution au printemps ; on peut estimer que l'intensité de la dégradation des corps en question décroît en hiver.

Dans les autres régions des Pays-Bas la moyenne des concentrations observées au cours de la période qui vient d'être indiquée ne dépasse pas, en général, 0,1  $\mu\text{g}/\text{l}$ .

### 23 . Le problème de l'endosulfan

En Juin 1969 les services officiels néerlandais \* ont constaté que les eaux du Rhin à Lobith présentaient des teneurs

---

\* Il s'agissait du laboratoire de toxicologie de l'Institut national de la santé publique d'Utrecht.

importantes en endosulfan ; par ailleurs la mort de nombreux poissons avait été observée en Allemagne, près de Geisenheim, à 30 km environ à l'Ouest de Mainz. Les services néerlandais de distribution d'eau du Rhin indiquent, dans la relation des événements qu'ils ont donné dans leur rapport annuel (11), qu'il n'était pas absolument sûr qu'il existe une relation entre ces deux faits bien que la vague d'eau polluée ait précédé la mort des poissons de 40 km, ce qui aurait pu être un indice de cause à effet. Ils estiment que cette mortalité a pu être due à deux phénomènes simultanés : la présence d'endosulfan à des teneurs assez élevées et la faiblesse des teneurs en oxygène, occasionnée par la pollution organique.

Il n'a pas été possible d'établir d'une manière certaine l'origine de l'endosulfan ; il semble peu probable qu'il se soit agi d'un accident de navigation ; de plus la recherche dans le lit du Rhin, au moyen de plongeurs, de récipients ayant contenu de l'endosulfan n'a pas donné de résultats. Deux hypothèses ont pu être formulées : celle d'un rejet provenant d'une usine ou celle d'une pollution provoquée par l'entraînement, par suite de pluies orageuses, d'endosulfan appliqué à des cultures dans les zones agricoles voisines.

Signalons également les hypothèses émises par H. Hellman (6) quant à la cause de la mort des poissons :

- présence de substances toxiques (autres que l'endosulfan), qui n'auraient pas été mises en évidence ;
- manque d'oxygène ou concentration élevée en chlorures, qui auraient eu pour conséquence un accroissement de la toxicité de certaines substances \* ;
- entraînement dans le fleuve, à la suite de pluies orageuses, de substances solides susceptibles de provoquer la mort des poissons.

Par mesure de précaution tout prélèvement d'eau du Rhin en vue de la préparation d'eau potable a été suspendu pendant un certain temps.

---

\* Remarquons dans cet ordre d'idées que des travaux effectués par H.V. Herbst ont montré qu'une solution d'endosulfan dans l'eau du Rhin est plus toxique qu'une solution dans l'eau pure.

Les déterminations, effectuées aux Pays-Bas par P.A. Greve et S.L. Wit (13), ont permis de mettre en évidence, dans le Waal, au début des recherches, une teneur en endosulfan de 0,70  $\mu\text{g}/\text{l}$  qui constituait le maximum observé, mais il n'est pas exclu que des teneurs plus élevées aient pu se produire auparavant.

Par la suite les teneurs ont décru peu à peu jusqu'à des valeurs très faibles, inférieures au seuil de détection.

Au cours de l'automne 1969, une série de teneurs élevées a été à nouveau observée, le maximum mesuré atteignant 1,08  $\mu\text{g}/\text{l}$  ; P.A. Greve (2) estime qu'il s'agissait d'une décharge récente\*. De plus une autre vague s'est produite en février-mars 1970, mais elle a été attribuée par le même auteur à la remise en suspension de dépôts sur lesquels de l'endosulfan avait été fixé antérieurement. (maximum observé : 0,70  $\mu\text{g}/\text{l}$  environ). Depuis cette époque les teneurs sont restées très basses.

Il convient de signaler que le producteur de l'endosulfan\*\* soutient que sa responsabilité n'a pas été engagée dans les faits qui viennent d'être relatés ; il reconnaît que de l'endosulfan a été rejeté dans le Main par l'intermédiaire des égouts de l'usine mais seulement en faibles quantités. (Cette substance provenait de poussières produites lors des manipulations et à l'occasion du nettoyage des vêtements et des chaussures des ouvriers, ainsi que du nettoyage des locaux). Il estime que la perte journalière ne dépassait pas 5 à 10 kg et qu'une telle quantité ne pouvait provoquer la mort des poissons qui avait été constatée. De plus des plantes aquatiques avaient subi des dommages à la même époque, et l'on sait que l'endosulfan n'est pas phyto-toxique.

En ce qui concerne les charges du Waal en endosulfan les valeurs maximales suivantes peuvent être relevées sur les courbes de variation en fonction du temps publiées par P.A. Greve et S.L. Wit (13) : 165 kg/jour environ en juin 1969, 145 kg/jour environ en novembre 1969 et 90 kg/jour environ en février 1970.

\* Les décharges récentes et anciennes peuvent être différenciées grâce à la détermination du rapport des isomères  $\alpha$  et  $\beta$ , qui évolue avec le temps.

\*\* Il s'agit de la Société Hoechst, à Griesheim (République Fédérale allemande).

Il semble, en tout état de cause, que les mesures prises par le fabricant afin d'éliminer la majeure partie des rejets provenant de son usine soient à l'origine de l'abaissement de la teneur des eaux du Rhin en endosulfan depuis la dernière vague.

Il est à noter, selon P.A. Greve (14) que l'endosulfan peut être soumis dans l'eau à des phénomènes de dégradation chimiques et biochimiques. De plus cette substance est susceptible d'être absorbée par différentes matières, et notamment par les limons contenus dans l'eau, ainsi que par des produits tels que l'hydroxyde ferrique et la charbon actif. Il est assez facile, lors de la préparation de l'eau potable, d'éliminer la quasi-totalité de l'endosulfan.

#### 24. Interprétation des observations effectuées.

Il est intéressant de comparer les données disponibles en ce qui concerne le Rhin à celles qui sont relatives à d'autres eaux. Pour les Pays-Bas on peut faire état des valeurs moyennes suivantes, calculées par P.A. Greve (3) (4) :

<u>Composés</u>	<u>Rhin</u>	<u>Meuse</u>	<u>Autres eaux superficielles</u>
		µg/l	
Hexachlorocyclohexane (HCH) $\alpha$	0,15	0,01	0,01
Hexachlorocyclohexane (HCH) $\gamma$	0,10	0,02	0,01
Hexachlorobenzène (HCB)	0,13	0,01	< 0,01
Dieldrine	< 0,01	0,01	0,01
Endosulfan	0,14	0,01	0,01
Inhibiteurs de cholinestérase (en paraoxon)	1,14	0,13	0,10

A l'exception de la dieldrine les teneurs des composés mentionnés sont beaucoup plus élevées dans le Rhin que dans les autres eaux superficielles des Pays-Bas. Cette comparaison fait donc ressortir la pollution particulière de ce fleuve à l'égard de plusieurs pesticides.

Il est utile également, à défaut de normes internationales relatives aux teneurs maximales admissibles dans les eaux de surface, de considérer, à titre d'exemple, les normes adoptées par l'Administration fédérale américaine (15). Les valeurs que nous allons indiquer s'appliquent, pour les U.S.A., aux eaux de surface utilisées pour l'alimentation publique en eau potable, après un traitement comportant une coagulation, une sédimentation, une filtration rapide sur sable et une addition de chlore.

	<u>Niveau tolérable</u>	<u>U.S.A.</u> mg/l	<u>Niveau souhaitable</u>
HCH $\gamma$ (lindane)	0,056		Absence
Heptachlore	0,018		"
Heptachlore-époxyde	0,018		"
Aldrine	0,017		"
Dieldrine	0,017		"
Endrine	0,001		"
DDT	0,042		"
Inhibiteurs de cholinestérase (exprimés en parathion)	0,10		"

On voit que les concentrations dans les eaux du Rhin des pesticides figurant dans ce tableau sont très inférieures aux niveaux que l'on peut considérer comme tolérables, selon les autorités américaines, dans des eaux ayant subi un traitement d'épuration (dont il est précisé, d'ailleurs, que l'effet sur les carbamates est faible). Mais il faut également tenir compte du fait que les niveaux souhaitables correspondent à l'absence totale.

En outre, dans le domaine des toxicités, on ne peut rationnellement considérer isolément chacune des substances toxiques : il est fréquent, ainsi que le rappelle K.E. Quentin (16), que l'on observe des effets de synergie ; il est utile de considérer la valeur de l'expression suivante (dans laquelle  $C_1, C_2$  etc... représentent les concentrations existantes et  $L_1, L_2$  etc... les concentrations - limites tolérables des différentes substances toxiques) :

$$Q = \frac{C_1}{L_1} + \frac{C_2}{L_2} + \dots + \frac{C_u}{L_u}$$

Il convient que l'on ait :  $Q < 1$ .

Il est à remarquer également que la toxicité d'une substance donnée à l'égard des poissons peut dépendre d'autres facteurs du milieu (par exemple une teneur en oxygène trop basse peut accroître l'effet toxique), ainsi que d'une accumulation par l'intermédiaire d'une chaîne alimentaire.

### 3. Evolution des pesticides dans les conditions naturelles.

D'une manière générale il convient de souligner le fait que les pesticides sont couramment soumis, dans les conditions naturelles, à des phénomènes de transformation, de dégradation partielle et de destruction ; en voici quelques exemples :

- l'HCH  $\gamma$  (lindane) est dégradé assez facilement par les micro-organismes en milieu anaérobie et l'on constate également qu'il est dégradé plus rapidement dans les sols humides que dans les sols plus secs. En outre, la vitesse de dégradation de l'isomère  $\alpha$  est moins grande que l'isomère  $\gamma$ . De plus il n'est pas exclu que la transformation d'un isomère en un autre isomère puisse se produire.

- par un processus analogue à celui de la transformation de l'heptachlore en son époxyde l'aldrine peut se transformer en dieldrine (qui est également un insecticide) par un phénomène d'oxydation (la dieldrine est l'époxyde de l'aldrine).

- dans le cas de l'endosulfan les deux isomères  $\alpha$  et  $\beta$  qui constituent cette substance se dégradent à des vitesses différentes dans l'eau, ce qui permet, selon P.A. Greve (3) de distinguer les rejets récents des rejets anciens.

- la dégradation partielle du DDT dans les sols tend, selon Helling C.S., Kearney P.C. et Alexander M.(17), vers la formation de DDD en milieu anaérobie ou de DDE en milieu aérobie. Par ailleurs W.F. Barthel, D.A. Parsons, L.L. Ma Dowell et E.H. Grissinger (18) indiquent que le DDT est décomposé très rapidement en milieu aquatique ; peut-être le DDD (ou TDE), qui provient de sa transformation est-il responsable de la mort de certains poissons constatée par exemple aux Etats-Unis.

- parmi les inhibiteurs de cholinestérase on peut citer le cas du parathion, qui est susceptible d'être transformé dans les conditions

naturelles, en une substance plus toxique, le paraoxon, qui est également un inhibiteur de cholinestérase (ce phénomène se produit sous l'effet d'une hydrolyse et d'une oxydation). Le malathion est sujet à être dégradé par hydrolyse et, de ce fait, n'est pas un insecticide persistant.

Les conditions de milieu jouent un rôle prééminent dans l'évolution des pesticides dans le sol et dans le milieu aquatique. De plus la durée des phénomènes de transformation ou de dégradation est importante à considérer et l'influence de ce facteur varie nécessairement selon qu'il s'agit d'eau en mouvement (et selon la vitesse de ces eaux) ou d'eaux calmes (canaux ou réservoirs de stockage).

La fixation des pesticides par les matières en suspension, ainsi que par les boues et sédiments déposés dans le lit du fleuve joue un rôle notable, dans leur transport et leur évolution. K.E. Quentin (16) souligne à ce sujet qu'une diminution des quantités de pesticides présents dans l'eau ne saurait être interprétée sans tenir compte de ce phénomène ; de plus l'immobilisation des pesticides - ou de leurs métabolites - dans les dépôts peut être suivie, après un certain temps, de leur libération, entraînant leur passage en solution ou en suspension dans l'eau.

Au sujet de l'influence des sédiments sur l'évolution des pesticides on peut citer, dans le cas d'un autre grand fleuve, les observations de W.F. Barthel, D.A. Parsons, L.L. Mc Dowell et E.H. Grissinger (18) qui, au cours de l'étude d'une pollution d'origine agricole dans le bassin du Mississipi, ont pu mettre en évidence, dans les dépôts du lit du fleuve, l'époxyde de l'heptachlore (formé par oxydation du corps en question), alors que l'heptachlore lui-même n'avait pu être détecté.

Ajoutons enfin que les pesticides sont susceptibles d'être l'objet de phénomènes de concentration dans les "chaînes" existant dans le Rhin, comme dans d'autres milieux ; on peut observer par exemple la succession suivante : eau - flore - faune, ainsi que la fixation temporaire éventuelle sur des matières solides. On sait que le rapport d'augmentation de concentration du début à la fin des chaînes peut atteindre des valeurs très élevées.

#### 4. Elimination des pesticides en vue de la préparation d'eau potable

Les traitements utilisés comprennent des opérations telles que les suivantes : filtration, floculation, passage sur du charbon actif, traitement au chlore et traitement à l'ozone. Voici à ce sujet des observations présentées par K.E. Quentin (16) :

La floculation habituellement pratiquée au moyen de sulfate d'aluminium, suivie d'une filtration rapide sur sable ne donne pas toujours de bons résultats, mais d'autres produits essayés ne se sont pas montrés plus efficaces ; d'une manière générale le taux de substances éliminées par ce procédé est d'autant moins élevé que la concentration est plus faible. En ce qui concerne l'utilisation du charbon actif on constate qu'il est nécessaire, pour obtenir de bons résultats, d'observer des temps de contact d'autant plus longs que les concentrations sont moins élevées. Le traitement à l'ozone ne permet guère d'éliminer que l'aldrine et l'heptachlore, mais ces corps peuvent être partiellement transformés en leurs époxydes, également toxiques.

Par ailleurs G.G. Robeck, K.A. Dostal, J.M. Cohen et J.F. Kreissl (19) ont montré que le DDT peut être facilement éliminé grâce à une coagulation suivie d'une filtration : par contre le lindane et la parathion (qui sont plus solubles que le DDT) ne sont pas aisément séparés. De plus l'élimination d'endrine, de dieldrine et d'autres corps à faible concentration rend nécessaire l'utilisation de quantités importantes de charbon actif.

En ce qui concerne les inhibiteurs de cholinestérase les recherches de P.A. Greve, J. Freudenthal et S.L. Wit (10) ont montré que la filtration lente sur sable n'est pas très satisfaisante (élimination moyenne de 30 %) et que les meilleurs résultats sont obtenus au moyen d'une infiltration dans le sol (élimination moyenne de 45 %) ou mieux encore d'une floculation au moyen d'hydroxyde ferrique (élimination moyenne de 60 %). Au sujet de l'endosulfan P.A. Greve estime (14) que la plus grande partie peut être éliminée par filtration ou centrifugation ; en outre, ainsi que nous l'avons indiqué précédemment, la quasi-totalité de cette substance peut être absorbée au moyen d'hydroxyde ferrique ou de charbon actif.

5. Lutte contre la pollution des eaux par les pesticides dans le bassin rhénan.

Les mesures les plus importantes à recommander sont relatives à la diminution des décharges dans le milieu.

En matière industrielle il convient - dans la mesure où toutes les précautions utiles à cet égard n'auraient pas déjà été mises en application - de prendre toutes les dispositions nécessaires en vue d'éviter les rejets effectués à l'occasion du fonctionnement normal des entreprises (rejets contenus dans les eaux usées provenant des fabrications ou des nettoyages ou rejets par voie aérienne) ; de plus toutes les précautions nécessaires devraient être prises en vue d'empêcher tout rejet dû à des accidents de quelque nature que ce soit dans les établissements industriels. Il est à souligner également que des traitements destinés à l'élimination des pesticides contenus dans les eaux usées avant leur déversement dans les cours d'eau s'imposent dans les cas où la dilution dans ces derniers aboutirait à des teneurs trop élevées.

En matière agricole, il est indispensable d'augmenter les efforts d'information à l'intention des praticiens afin que soit prises dans tous les cas les précautions permettant de supprimer, dans toute la mesure du possible, les pollutions dues à l'emploi des pesticides. Il convient que les traitements soient pratiqués dans les conditions optimales : il est nécessaire d'observer notamment celles qui se rapportent aux doses à utiliser, au mode d'application des produits et aux époques les plus favorables, compte-tenu des circonstances climatiques (A cet égard il est bon de souligner l'importance du rôle des services "d'avertissement agricole" chargés de fournir aux agriculteurs toutes les informations utiles). Il faut également que les agriculteurs s'abstiennent de tout rejet inconsidéré des reliquats de produits non utilisés.

Il est à remarquer enfin que l'évolution de la lutte contre les ennemis des cultures que l'on peut envisager devrait permettre de supprimer une partie notable de la pollution due à ces substances \*.

---

\* On trouvera en annexe quelques observations à cet égard.

Références bibliographiques du chapitre relatif aux pollutions  
dues à des pesticides agricoles.

1. Gamrasni M.A.  
Les pesticides et l'eau  
Publication de l'Association française pour l'étude des eaux.
2. Greve P.A.  
Pesticides et environnement  
Conférence à Strasbourg ; décembre 1972
3. Greve P.A.  
Potentially hazardous substances in surface waters.  
I. Pesticides in the river Rhine  
The science of total environment ; 1972 ; 1 ; p. 173-180
4. Greve P.A.  
Pestizide im Rheinwasser  
Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im  
Rheineinzugsgebiet. Arbeitstagung Rotterdam 1971.
5. Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im  
Rheineinzugsgebiet (IAWR)  
Jahresbericht 1972.
6. Hellman H.  
Pestizide in Gewässern - ein Überblick an Hand ausgewählter Literatur.  
Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen ; 1973 ; 2 ; p. 47 - 52
7. Travaux cités par Hellman H. (référence n° 6) ;  
Schriftenreihe der Landesanstalt für Gewässerkunde und  
Gewässerschutz des Landes Nordrhein-Westfalen ; 1971 ; 31.
8. Travaux cités par Hellman H. (référence n° 6) ;  
Travaux der Bundesanstalt für Gewässerkunde (Koblenz) ; 1971
9. Herzel F.  
Organochlorine insecticides in surface waters in Germany - 1970 and 1971  
Pesticides monitoring journal 1972 ; 3 ; p. 179 - 187.

10. Greve P.A., Freudenthal J. and Wit S.L.  
Potentially hazardous substances in surface waters.  
II. Cholinesterase inhibitors in dutch surface waters.  
The science of <sup>the</sup>total environment ; 1972 ; 1 ; p. 253 - 265
11. Rijncommissie waterleidingbedrijven (RIWA)  
Jahresbericht 1969.
12. Herbst H.V.  
Untersuchungen zur Toxizität von Endosulfan auf Fische  
und wirbellose Tiere.  
Schriftreihe des Vereins für Wasser-, Boden-, und Luft-  
hygiene ; 1971 ; 34 ; p. 69 - 75.
13. Greve P.A. and WIT S.L.  
Endosulfan in Rijnwater  
Chemisch weekblad ; 1971 ; p. 7 - 9
14. Greve P.A.  
Endosulfan in the Rhine river.  
Journal water pollution control federation ; 1971 ; 12 ;  
p. 2338 - 2348.
15. Water quality criteria  
Federal water pollution control administration (U.S.A.) ; 1968
16. Quentin K.E.  
Pestizide im Wasser - Bestimmung, Entfernung, Grenzwerte.  
Chemie-Ing-Techn. 1972 ; 20 ; p. 1172 - 1176.
17. Helling C.S. , Kearney P.C. et Alexander M.  
Behavior of pesticides in soils  
Advances in agronomy ; 1971 ; 23
18. Barthel W.F. , Parsons D.A. , Mc Dowell L.L. et Grissinger E.H.  
Surface hydrology and pesticides  
Pesticides and their effects on soils and waters, published by the  
Soil science society of America ; 1966
19. Robeck G.G. , Dostal K.A., Cohen J.M., and Kreissl J.F.  
Effectiveness of water treatment processes in pesticides removal.  
Jal. American water works association ; 1965 ; 57 ; 181.

Pollutions dues à des pesticides agricoles

Note annexe

Observations sur la lutte contre les ennemis des cultures.

Nous avons signalé précédemment les principales mesures à recommander sur un plan général, dans les domaines industriel et agricole, afin de réduire dans toute la mesure du possible, la pollution due aux pesticides. Nous allons fournir maintenant quelques indications d'ordre général également, sur l'évolution des méthodes de lutte contre les ennemis des cultures que l'on peut supputer.

Il convient de souligner préalablement que la lutte contre les ennemis des cultures, pratiquée dans des conditions techniques rationnelles, est absolument indispensable à l'obtention de rendements élevés et à la production de matières végétales de bonne qualité ; la suppression totale ou partielle de cette lutte entraînerait donc un grave déséquilibre de l'économie agricole de la plupart des pays du monde. De ce fait, dans de nombreux pays, la situation alimentaire se trouverait, selon les cas, compromise ou aggravée.

L'évolution de la lutte contre les ennemis des cultures, doit tendre vers l'utilisation de techniques aussi peu polluantes que possible. L'indication des thèmes suivants, qui ont déjà fait l'objet de travaux assez nombreux, permet de préciser l'orientation des recherches à poursuivre ou à mettre en train à cette fin :

- Sélection de variétés résistantes ou peu sensibles aux ennemis des cultures.
- Mise au point de techniques de lutte permettant de réduire les quantités de pesticides actuellement utilisés grâce à une meilleure connaissance des conditions écologiques.
- Mise au point de pesticides chimiques aussi peu toxiques que possible à l'égard de l'homme et des animaux et rapidement dégradables dans le sol et dans le milieu aquatique.

- Mise au point de nouvelles techniques de lutte :
- Adoption de dispositions de différentes natures propres à favoriser le développement des ennemis naturels (existant dans le milieu considéré) des parasites à éliminer.
- Implantation dans le milieu considéré d'organismes antagonistes des insectes, cryptogames ou virus contre lesquels on veut lutter (au moyen d'insectes, de cryptogames, de microbes ou de virus ; exemples : insecticides bactériens ou utilisation d'insectes prédateurs.)
- Utilisation de souches de cryptogames ou de virus peu virulents, capables de limiter le développement des organismes parasites des plantes cultivées ou de les éliminer.
- Utilisation de moyens destinés à perturber la prolifération des insectes (par exemple : lâcher de mâles stériles, actions de caractère génétique, mesures perturbant l'évolution physiologique des insectes).

Différents auteurs, parmi lesquels en premier lieu R.F. Smith et R. van den Bosch recommandent d'utiliser contre les ennemis des cultures la "lutte intégrée" \*. Cette méthode consiste, très brièvement, à maintenir les populations de ravageurs à des niveaux où ils ne causent pas de dommages économiques, grâce à l'emploi de toutes les techniques compatibles entre elles dont on peut disposer ; elle tient compte de tous les éléments de l'écosystème et comporte à la fois l'utilisation de moyens chimiques et de moyens biologiques. Il est à souligner qu'il est particulièrement indiqué de développer ces derniers dans toute la mesure du possible.

---

\* La lutte intégrée a été définie par les experts de la FAO à un symposium en 1965, puis à une session en 1968.

Titre de la publication de Smith R.F. et van den Bosch R. :

"Integrated control", indication fournie par :  
Kilgore et Douth : Pest control. Biological, physical and selected chemical methods.

Academic press, p. 295 - 340.



### CHAPITRE III.

#### Pollutions dues à des matières organiques.

Le présent chapitre est consacré à l'étude des pollutions dues aux principales matières organiques qui se trouvent couramment dans les eaux du Rhin, mais à l'exception de celles qui sont examinées dans d'autres chapitres du présent rapport et, notamment, des pollutions causées par des hydrocarbures d'origine pétrolière.

Les travaux relatifs aux pollutions prises en considération ici sont nombreux et variés ; nous indiquerons les résultats des principaux d'entre eux, et nous nous efforcerons de mettre en lumière les mécanismes qui interviennent dans les phénomènes constatés et les effets de ces derniers sur l'utilisation de l'eau. Nous examinerons successivement les points suivants :

1. Données relatives aux matières organiques présentes dans les eaux du Rhin.
2. Evolution des matières organiques au sein de l'eau.
3. Conséquences de la pollution organique.

1. Données relatives aux matières organiques présentes dans les eaux du Rhin.

11. Indications préalables sur certains critères retenus en vue de l'étude de la pollution par des substances organiques.

Voici les indications essentielles sur les principales déterminations effectuées :

111. Carbone organique : La détermination de ce carbone fournit un élément d'appréciation relatif à la totalité des matières organiques présentes ; mais elle ne permet pas de

connaître avec précision les quantités mêmes de ces matières, étant donné que la teneur en carbone des différentes substances rencontrées varie dans des limites assez larges. Ce critère est cependant très intéressant par son caractère global et chimiquement interprétable.

Le dosage peut être effectué sur l'eau filtrée ou non.

L'élément ainsi déterminé est souvent désigné au moyen de l'abréviation : "TOC" \*.

Dans le cas d'un corps donné la teneur en carbone organique peut être exprimée en fonction de la formule de ce corps. La formule étant par exemple :  $C_a H_b O_c$ , on a (selon la Communauté de travail des services de distribution d'eau du Rhin (1)), pour une masse  $M$  contenue dans un litre d'eau :

$$TOC = \frac{12a}{12a + b + 16c} \cdot M$$

112. Oxydabilité chimique : Les matières organiques sont soumises à une attaque par un réactif oxydant dans des conditions bien définies et l'on mesure la quantité d'oxygène utilisée au cours de la réaction.

Le permanganate de potassium est le réactif le plus anciennement employé, soit en milieu alcalin, soit en milieu acide ; actuellement ce dernier milieu semble le plus fréquemment utilisé. L'expérience de l'utilisation de ce réactif dans le cas des matières organiques contenues dans les eaux du Rhin montre que l'oxydabilité de ces dernières est assez limitée et les résultats assez difficiles à interpréter.

L'emploi du dichromate de potassium, qui tend à se répandre permet d'aboutir à une oxydation beaucoup plus poussée

---

\* Cette abréviation a pour origine la désignation anglaise :  
"Total organic carbon"

qui, généralement, n'est pas inférieure à 90 % des matières organiques présentes. Selon F.W.J. van Haaren et J.J. Rook (2) l'oxydation au dichromate de potassium peut fournir des valeurs comprises entre le double et le quadruple de celles obtenues au moyen de permanganate de potassium; d'ailleurs un choix judicieux des quantités de réactif utilisées permet d'obtenir l'oxydation maximale.

Cette détermination est fréquemment désignée par l'abréviation : "COD" \*.

Il est intéressant, en vue de l'interprétation des résultats, d'exprimer l'oxydabilité par unité de carbone présent : on calcule alors le rapport :  $\frac{\text{COD}}{\text{TOC}}$ , que l'on peut dénommer : "oxydabilité spécifique".

Dans le cas d'une oxydation totale ce rapport dépend uniquement de la formule des corps soumis à l'oxydation. Si l'on considère, par exemple, (selon la Communauté de travail des services de distribution d'eau du Rhin (1) ou "ARW") un corps de formule :

$\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c$ , dont un poids M se trouve contenu dans un litre d'eau, on a

$$\text{COD} = 8 \frac{(4a + b - 3c)}{12a + b + 16c} \cdot M$$

et le rapport ci-dessus peut être exprimé ainsi :

$$\frac{\text{COD}}{\text{TOC}} = \frac{2(4a + b - 3c)}{3a}$$

113. Absorption de l'ultra-violet : Certaines substances, contenues habituellement dans les eaux du Rhin absorbent le rayonnement ultra-violet ; il s'agit en particulier (selon l'ARW(1) ) décomposés aromatiques aliphatiques non saturés et de corps possédant des groupes carbonyles.

Cette détermination à l'avantage de pouvoir être exécutée rapidement ; elle est intéressante, notamment, pour suivre les variations de composition du eau du Rhin et pour les contrôles à

---

\* Cette abréviation a pour origine la désignation anglaise : "Chemical oxygen demand".

effectuer lors de la préparation de l'eau potable (On peut la désigner d'une manière abrégée par les lettres : UV).

On utilise généralement pour ce dosage une longueur d'onde de 240 nm \* et il est indispensable que l'eau soit parfaitement filtrée au préalable.

Dans le cas de ce paramètre également il est intéressant d'exprimer les résultats en les rapportant à l'unité de carbone présent et le rapport :  $\frac{UV}{TOC}$  peut être dénommé : "absorption spécifique de l'ultra-violet".

Signalons également que la considération du rapport un peu plus complexe :  $\frac{TOC}{COD \times UV}$  peut être intéressante dans certains cas, par exemple dans celui de la préparation de l'eau potable.

114. Demande biochimique en oxygène (DBO) : cette détermination consiste à mesurer l'oxygène consommé à 20°, pendant un temps donné, par la dégradation des matières organiques contenues dans l'eau (amenée préalablement à une dilution convenable) ; la durée de l'essai est généralement de 5 jours et la dénomination utilisée dans ce cas est : DBO5.

Parmi les causes d'imprécision susceptibles d'entraîner des difficultés d'interprétation on peut citer l'oxydabilité de certains composés minéraux éventuellement contenus dans l'eau, ainsi que les variations dans la nature et le développement des germes présents.

On peut admettre cependant que la détermination de la demande biochimique en oxygène permet d'obtenir des informations intéressantes sur l'évolution des matières organiques.

---

\* Cette abréviation désigne le nanomètre (la longueur d'onde indiquée est donc égale à  $240 \cdot 10^{-9}$  m).

12. Charges et teneurs en substances polluantes  
observées au cours des dernières années.

A l'occasion de notre première étude sur la pollution du Rhin (3) nous avons examiné les aspects généraux de la pollution organique dans le bassin rhénant ; nous allons tout d'abord rappeler succinctement les conclusions que l'on peut tirer des résultats analytiques, provenant de la Commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution, dont nous avons fait état pour la période 1959 - 1970, auxquels nous joindrons ceux de 1971, maintenant disponibles ; puis nous fournirons différentes données émanant de la Communauté de travail des services rhénans de distribution d'eau (ARW).

121. Détermination effectuées par la Commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution (4).

1211. Demande biochimique en oxygène en cinq jours : on trouvera dans le tableau n°1 les données relatives à la période 1967 - 1971) :

Lieux de prélèvement considérés : de Stein am Rhein à Emmerich-Lobith\* (26 prélèvements par an)

- Variations de l'amont vers l'aval :

Charges : Augmentation très notable de Stein am Rhein à Emmerich-Lobith (certaines irrégularités dans la variation entre ces deux stations étant dues à des phénomènes d'auto-épuration).  
DBO5 exprimées en poids/volume : observations analogues.

- Variations au cours des années :

Charges : Variations peu significatives à Stein am Rhein, tendance à la diminution à Seltz sauf de 1970 à 1971 et tendance à l'augmentation à Kembs, Braubach et Emmerich-Lobith jusqu'en 1970, puis diminution à ces trois dernières stations de 1970 à 1971.

DBO5 exprimées en poids/volume : on constate à Braubach et à Emmerich-Lobith des variations assez irrégulières et relativement faibles jusqu'en 1970, mais une augmentation/<sup>assez</sup>notable de 1970 à 1971.

---

\* La station actuelle, située également au voisinage de la frontière germano-néerlandaise, est celle de Bimmen-Lobith.

On sait que les débits au cours de l'année 1971 ont été particulièrement faibles, ce qui explique des variations de 1970 à 1971 ayant un sens différent de la tendance générale constatée depuis plus de dix ans\*.

1212. Matières oxydables par le permanganate de potassium (MNO<sub>4</sub>K) exprimées en oxygène (On trouvera dans le tableau n° 2 les données relatives à la période 1967 - 1971) :

Lieux de prélèvement considérés : Braubach et Emmerich-Lobith (26 prélèvements par an).

- Variations de l'amont vers l'aval :

Charges : Augmentation nette de la première station à la deuxième.

Valeurs exprimées en poids/volume : faibles variations.

- Variations au cours des années :

Charges : En dépit d'irrégularités dans la variation on constate une tendance à l'augmentation jusqu'en 1970 puis une diminution de 1970 à 1971.

Valeurs exprimées en poids/volume : variations dans des limites assez étroites jusqu'en 1970, puis augmentation nette de 1970 à 1971.

La remarque que nous avons présentée précédemment au sujet de l'influence du débit de l'année 1971 s'applique également dans ce cas.

122. Déterminations effectuées par la Communauté de travail des services rhénans de distribution d'eau (5) (6).

Le carbone organique total (sous forme de composés solubles), l'oxydabilité par le dichromate de potassium et l'absorption de l'ultra-violet ont été déterminés, notamment au cours des années 1970 et 1971, de Schaffhausen à la frontière germano-néerlandaise.

On trouvera dans le tableau n°3 les moyennes annuelles des débits et des charges relatives au TOC et à la COD<sup>\*\*</sup> et dans le tableau n°4 les moyennes annuelles relatives au TOC et à la COD exprimés en

---

\* Nous étudierons l'influence du débit sur l'évolution des matières organiques dans la suite du chapitre.

\*\* Les moyennes annuelles des charges indiquées pour 1970 pour le TOC et la DOC sont celles qui ont été fournies par l'ARW ; elles ont été calculées sur la base des moyennes mensuelles, déterminées elles-mêmes à partir de prélèvements quotidiens de volume uniforme ; de ce fait les résultats obtenus ne sont pas absolument rigoureux, mais les écarts avec les valeurs réelles ne sont pas considérables. Les moyennes annuelles des charges indiquées pour 1971 ont été calculées par nous-même, approximativement, à partir des moyennes annuelles des débits et des teneurs.

poids/volume et à l'absorption de l'ultra-violet exprimée en densité optique\*. Les valeurs sont indiquées pour la plupart des stations comprises entre Basel et Wesel. En ce qui concerne les charges correspondant au carbone organique et à l'oxydabilité par le dichromate de potassium on constate une augmentation très marquée d'une extrémité à l'autre du tronçon indiqué, mais une irrégularité dans l'évolution, constituée par une diminution nette des charges de Mannheim à Mainz montre l'influence d'une auto-épuration très active dans cette partie du fleuve\*\*.

L'examen des valeurs mensuelles (non mentionnées ici) qui a été effectué en 1970 a montré que les charges maximales ont toujours correspondu aux débits les plus élevés ; ainsi, dans le haut Rhin\*\*\* elles se sont produites au cours de l'été, tandis qu'à l'aval de Karlsruhe elles ont été observées en février. Il est vraisemblable que ce phénomène est dû à la remise en suspension, lorsque le débit augmente, de matières précédemment déposées, dont une partie peut entrer en solution. On a remarqué également que les charges trouvées à partir de Mainz vers l'aval au mois d'août 1970 ont été particulièrement faibles ; on relève là l'influence de faibles débits et de l'élévation estivale de la température sur la destruction des substances organiques. Nous reviendrons sur ces phénomènes dans la suite du chapitre.

---

\* On trouvera également dans le tableau n° 4 les rapports  $\frac{\text{COD}}{\text{TOC}}$  et  $\frac{\text{IV}}{\text{TOC}}$  ; nous avons calculé nous-même les rapports  $\frac{\text{COD}}{\text{TOC}}$  et  $\frac{\text{IV}}{\text{TOC}}$  pour 1970 et 1971.

\*\* On pourra consulter à ce sujet les rubriques du présent chapitre consacrées à l'évolution des matières organiques au sein de l'eau.

\*\*\* Ou "Hochrhein" en langue allemande.

Au sujet des moyennes annuelles relatives au carbone organique et à l'oxydabilité par le dichromate de potassium exprimés en poids/volume et à l'absorption de l'ultra-violet exprimée en densité optique on observe, comme pour les charges, une augmentation très marquée de Basel à Wesel, mais on constate d'abord une augmentation très nette de Basel à Mannheim, puis une diminution prononcée de Mannheim à Mainz ; de plus, ces valeurs ne varient que dans des limites relativement restreintes de cette dernière station à Wesel.

En ce qui concerne l'année 1972 on peut noter, selon la Communauté internationale des services de distribution d'eau du Rhin (7) que, bien que, dans l'ensemble, la charge du Rhin en matières organiques n'ait pas augmenté on a observé diverses valeurs extrêmes, qui n'avaient jamais été atteintes jusqu'alors\*. Ceci a été le cas, à certaines époques, pour le carbone organique à l'état dissous et pour l'oxydabilité au dichromate de potassium. On peut signaler également que l'on a constaté dans le cours moyen et le cours inférieur du Rhin, pendant l'hiver 1971 - 1972, une augmentation particulièrement marquée de la concentration en substances organiques en solution dans l'eau obtenue par filtration à travers les rives\*\*.

### 13. Nature des substances organiques présentes dans l'eau.

Ces substances sont très variées et de nombreuses fonctions chimiques dont certaines contiennent de l'azote y sont représentées\*\*\*. Les composés organiques difficilement dégradables au sein des eaux sont particulièrement importants à considérer ; selon W. Kölle (8) l'identification des corps appartenant à cette catégorie peut être

---

\* Il est vraisemblable que ce phénomène s'est produit sous l'influence conjuguée de conditions défavorables à l'auto-épuration (notamment dans le cas d'un débit élevé succédant rapidement à un débit très faible).

\*\* Cette technique consiste à prélever, dans des zones voisines du Rhin, de l'eau de nappes souterraines, alimentées par le fleuve. L'eau ainsi obtenue se trouve notablement purifiée par suite de son passage à travers le sous-sol situé entre le fleuve et les points de prélèvement.

\*\*\* On pourra consulter à ce sujet notre "Etude préliminaire sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan" (chapitre I).

pratiquée sur des extraits obtenus au moyen du charbon actif utilisé pour le traitement des eaux et la chromatographie en phase gazeuse est employée avec avantage dans ces recherches. Les déterminations effectuées sur de l'eau prélevée par filtration à travers les rives dans le cours inférieur du Rhin ont permis d'identifier les catégories de corps suivants :

- Hydrocarbures
- Dérivés chlorés d'hydrocarbures aliphatiques
- Dérivés chlorés d'hydrocarbures aromatiques
- Dérivés nitrés et dérivés chlorés de composés aromatiques
- Ethers
- Esters
- Bases organiques
- Phénols

On note au sujet de ces corps que la présence de différents atomes ou radicaux substitués à l'hydrogène a généralement pour conséquence des modifications de la dégradabilité.

On sait que, d'une manière générale, la concentration des eaux du Rhin en substances organiques difficilement dégradables tend à augmenter au cours des années.

Des recherches décrites par W. Kille également (8), et portant sur des échantillons d'eau du Rhin spécialement prélevés à cet effet en divers points en novembre 1971, ont permis de mettre en évidence la présence de nombreux corps organiques, grâce à une filtration sur sable, suivie d'extractions, au moyen de différents solvants, effectuées sur le sable utilisé et sur l'eau après filtration à travers le sable. Les séparations ultérieures ont été pratiquées en utilisant la chromatographie sur colonne.

Il est à remarquer, d'une part, que l'on ne peut s'attendre à trouver dans l'eau toutes les substances mises en évidence dans les extraits effectués sur le charbon actif utilisé pour l'épuration de l'eau, en raison du déplacement réciproque de différentes substances au cours des processus de dégradation qui se produisent sur le charbon et que, d'autre part, cette dégradation entraîne la disparition de substances telles que les paraffines, les oléfines, les alcools et certains composés aromatiques méthylés.

On note également que les résultats obtenus sur l'eau du Rhin au cours d'une période d'une durée limitée ne permettent de saisir qu'une image momentanée des composés organiques existants.

Parmi les corps mis en évidence dans l'eau du Rhin après filtration on peut citer, selon L. Stieglitz et W. Kölle (9) : des hydrocarbures paraffiniques, des composés aromatiques (naphtalène, anthracène, phénanthrène), quelques dérivés méthylés du naphtalène, des alcools et des esters divers, ainsi que divers composés phénoliques. Ces substances proviennent de différentes matières industrielles ou alimentaires.

Il convient de signaler également parmi les travaux poursuivis, la détermination par Koppe (10) du chlore combiné sous forme organique dans des composés peu volatils (les analyses ont été effectuées sur des échantillons d'eau du Rhin non filtrée prélevés en novembre 1971). La plupart des teneurs trouvées ont été comprises entre 1 et 4  $\mu\text{g/l}$  ; cependant des teneurs telles que : 20, 90 et 110  $\mu\text{g/l}$ , qui sont très notables, ont été également mises en évidence.

Parmi les phénomènes susceptibles de se produire dans le fleuve l'humification des matières organiques joue un rôle d'une certaine importance ; on peut ainsi observer, selon H. Herrig (11), la formation d'acides fulviques, qui sont solubles dans l'eau, mais ne sont pas précipitables par les acides et d'acides humiques, précipitables, au contraire, en milieu acide, et fortement colorés en brun.

Par ailleurs, on peut signaler que la teneur des dépôts et des sédiments du Rhin en acides humiques est généralement comprise entre 1g/kg et 5g/kg, mais on peut trouver également des teneurs beaucoup plus élevées. Les teneurs observées, après dépôt, dans les matières en suspension, sont le plus souvent supérieures à celles des sédiments.

Il est à souligner que les acides humiques ont une capacité d'échange<sup>\*</sup> beaucoup plus élevée que les argiles.

---

\* Ce terme désigne dans ce cas le phénomène par lequel certaines substances peuvent fixer (adsorber) différents ions chargés positivement (métaux divers) en échange d'ions de nature analogue qui se trouvent libérés (désorbés).

## 2. Evolution des matières organiques au sein de l'eau.

### 21. Principaux facteurs dont dépend l'auto-épuration

La destruction des matières organiques dans les eaux du Rhin est sous la dépendance de différents phénomènes dont l'étude des mécanismes a fait l'objet de nombreux travaux ; voici un résumé des résultats de quelques-uns d'entre eux :

Travaux de H. Knöpp (12) : on note tout d'abord que l'influence de la température (qui est à considérer à la fois dans le cas de variations dues à des causes naturelles et dans celui des variations provoquées par le déversement d'eaux de refroidissement) a un caractère assez complexe. On remarque notamment que les plus fortes augmentations relatives du besoin en oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques \* se produisent pour des accroissements de température compris dans l'intervalle de 0° à 20°. Pour des températures plus élevées on observe deux maximums de ces augmentations relatives : l'un à 32°, l'autre situé entre 40° et 50°.

Au sujet de l'origine de l'oxygène en solution dans l'eau on peut rappeler que le phyto-plancton peut en constituer une source assez importante du printemps à l'automne : ainsi en été à Koblenz la quantité d'oxygène qu'il peut fournir peut être estimée à 200 tonnes par jour pour une longueur correspondant à un jour de trajet du fleuve. Mais, en raison de l'évolution saisonnière, le phyto-plancton ne peut plus servir de source d'oxygène pendant une période de deux à trois semaines à l'automne, durant laquelle la température serait encore favorable à une décomposition assez active des matières organiques.

Le mode de destruction des matières organiques rejetées dans le fleuve peut se concevoir ainsi : on peut admettre tout d'abord que, dans un cours d'eau peu pollué la dégradation, d'abord lente s'accélère grâce à la multiplication des germes existants ; à une certaine distance en aval on observe alors un maximum de dégradation, qui correspond d'ailleurs à une teneur minimale en oxygène (un peu plus en aval on observe une diminution de l'auto-épuration, due à l'épuisement du milieu en matières nutritives utiles aux germes présents).

Travaux de W. Kölle, H. Ruf et L. Stieglitz (13) :

---

\* Cette "augmentation relative" représente l'accroissement du besoin en oxygène par unité de température ; par exemple, pour des températures inférieures à 20°, sa valeur moyenne est de 16% par degré.

L'aptitude à la biodégradation des substances organiques peut être examinée en tenant compte de leur poids moléculaire. Ces auteurs indiquent à cet égard que la plupart des corps à bas poids moléculaires sont facilement dégradables, à l'exception, par exemple, de ceux qui sont chlorés ou nitrés et des hydrocarbures notablement ramifiés.

Parmi les corps à poids moléculaire élevé (pour la plupart difficilement dégradables) il convient de relever la présence de corps d'origine naturelle susceptibles, cependant, d'être scindés par voie enzymatiques en éléments plus simples.

Travaux de W. Kölle (14) :

Cet auteur rappelle qu'il est certain que les processus biologiques qui entrent en jeu dans les phénomènes d'auto-épuration ne peuvent aboutir à une destruction complète des matières organiques rejetées ; il s'ensuit que les eaux du fleuve tendent à s'enrichir en composés organiques difficilement dégradables, parmi lesquels on peut citer les substances humiques.

Il est à remarquer que l'on peut trouver également dans le Rhin des substances difficilement dégradables d'origine pétrolière, non encore transformées.

Travaux de H. Sontheimer (6) :

La comparaison des années 1970 (année à débit élevé) et 1971 (année à faible débit)\* a permis à cet auteur d'aboutir aux constatations suivantes :

Charges : Comparaison des valeurs trouvées à Mannheim et à Mainz : En raison de l'auto-épuration il existe des différences marquées entre les valeurs observées pour le carbone organique et l'oxydabilité au dichromate de potassium (s'agissant de matières organiques à l'état dissous) dans ces deux stations, les plus fortes charges se produisant à Mannheim. De plus, pour le carbone organique, les charges de l'année 1970 ont été plus élevées que celles de 1971 à Mannheim et à Mainz, alors que, dans le cas de l'oxydabilité chimique, le même fait n'a été constaté qu'à Mannheim, les charges à Mainz en 1970 et 1971 étant pratiquement identiques.

Les taux de destruction observés entre Mannheim et Mainz diffèrent selon les paramètres considérés ; l'ordre décroissant est le suivant : oxydabilité au dichromate-carbone organique total-absorption de l'ultra-violet.

---

\* Des indications ont déjà été fournies dans la rubrique n°1 de ce chapitre.

Le même auteur a montré également, à la suite de mesures effectuées de Schaffhausen à Wesel, que la diminution de la charge totale en matières organiques à l'état dissous constatée en 1971 (par comparaison à 1970) a été due presque exclusivement à une diminution de la charge en matières facilement dégradables : en effet, la charge en matières difficilement dégradables n'a pas varié dans une large mesure d'une année à l'autre aux différents points de prélèvement situés dans le tronçon indiqué.

Teneurs (teneurs en carbone organique à l'état de combinaisons solubles, oxydabilité au dichromate, exprimée en poids/volume et absorption de l'ultra-violet exprimée en densité optique) : on remarque que ces différentes valeurs ont été notablement plus élevées en 1971 qu'en 1970. Les différences les plus marquées entre ces deux années s'observent en premier lieu pour l'oxydabilité chimique et en deuxième lieu pour l'absorption de l'ultra-violet.

On note également des variations, de 1970 à 1971, de l'oxydabilité spécifique ( $\frac{\text{COD}}{\text{TOC}}$ ) et de l'absorption spécifique de l'ultra-violet ( $\frac{\text{UV}}{\text{TOC}}$ ) ; ces changements de valeur sont en relation avec des modifications de composition des matières organiques présentes.

## 22. L'auto-épuration dans les différentes parties du fleuve.

L'examen des variations des paramètres relatifs aux matières organiques de l'amont vers l'aval montre l'importance des rejets effectués et celle de l'auto-épuration. Selon la Communauté de travail des services rhénans de distribution d'eau (1) cette dernière est particulièrement active dans le tronçon Basel - Breisach, où elle est d'ailleurs favorisée par le canal latéral situé sur la rive gauche.

Nous avons vu que l'on observe à Mannheim une augmentation particulièrement marquée de la charge en matières organiques et que l'on constate, dans le tronçon Mannheim-Mainz, une diminution très nette de ces dernières.

De Mainz à Wesel les charges augmentent à nouveau.

On observe également des variations de l'oxydabilité spécifique et de l'absorption spécifique de l'ultra-violet de l'amont vers l'aval.

23. Quantités de matières détruites par auto-épuration.

On peut considérer selon W. Kölle, H. Ruf et L. Stieglitz(13) que les quantités totales de matières organiques transportées par le Rhin à l'état dissous s'élèvent à 2 500 tonnes environ par jour à Mannheim et que, dans le tronçon Mannheim - Mainz, la proportion de matières détruites ou insolubilisées\* peut être comprise entre 30 % et 40 % en hiver, mais peut s'élever jusqu'à 80 % en été.

Par ailleurs H. Sontheimer (6), se basant sur une augmentation de la charge en matières organiques en suspension dans le trajet allemand se montant à 30 kg/s environ évalue ainsi les quantités de matières organiques dissoutes correspondantes : en admettant qu'une telle augmentation de charge corresponde à 7 tonnes de matières organiques par kilomètre et par jour et que la charge en matières organiques dissoutes, qui constitue l'origine principale des matières en suspension considérées, est 2 à 3 fois plus élevée, on peut conclure que la quantité de matières organiques détruites est de 10 tonnes environ par kilomètre et par jour. Ce montant de 10 tonnes correspond bien, d'ailleurs, à d'autres estimations.

24. Influence du débit sur les charges et les concentrations en matières organiques \*\*

Nous examinerons successivement le cas des matières organiques dissoutes et celui des matières en suspension.

---

\* Cette insolubilisation est due essentiellement à une action microbienne.

\*\* Rappelons que différentes indications à cet égard ont déjà été fournies dans des rubriques précédentes, à l'occasion de l'examen d'autres problèmes.

241. Cas des matières organiques dissoutes.

2411. Observations d'ordre général.

Ainsi que le fait remarquer H. Sontheimer (6) les travaux portant sur le Rhin montrent que, même dans le cas d'une charge en matières organiques sensiblement constante, une diminution du débit de 50 % ne correspond pas à une concentration deux fois plus élevée : la concentration réelle observée est notablement inférieure à celle qui découlerait de l'application de la formule :  $\text{concentration} = \frac{\text{charge}}{\text{débit}}$ . Cette remarque s'applique

particulièrement au cas des matières organiques solubles calculées à partir du carbone total.

On sait que les variations du débit n'ont pas simplement pour effet des phénomènes de dilution, mais qu'elles entraînent également des variations de la charge.

Une augmentation de la charge en matières dissoutes peut se produire sous l'effet d'une augmentation du débit en raison des phénomènes suivants :

- mise en solution de substances provenant des couches superficielles du sol (cette augmentation est sensible surtout dans les cas où la charge due aux eaux résiduaires est faible).

- influence des eaux pluviales dans les cas où elles sont admises dans les réseaux d'égouts.

- diminution de l'auto-épuration par suite de l'augmentation de la vitesse de déplacement de l'eau.

2412. Représentation graphique des charges et des teneurs en matières organiques dissoutes en fonction du débit.

H. Sontheimer (6) a recherché une formule mathématique permettant d'effectuer ce calcul et d'en représenter les résultats au moyen d'une courbe. Se basant sur des déterminations effectuées en 1970 cet auteur a constaté que diverses courbes peuvent être utilisées pour la représentation du phénomène étudié, mais que la parabole semble s'y prêter particulièrement bien.

Par ailleurs, la représentation graphique des concentrations en matières organiques, exprimées en fonction du débit (effectuée par la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau (7) ) montre que les concentrations en carbone organique sous forme de composés solubles, déterminées au cours des années 1970, 1971 et 1972, augmentent à mesure que le débit diminue ; la forme des courbes obtenues dépend, entre autres facteurs, du degré d'intensité de l'auto-épuration.

D'une manière générale les phénomènes suivants peuvent intervenir au cours d'une période de faibles débits (comme cela a été le cas notamment en 1971) :

- accroissement des concentrations des différentes substances présentes dans l'eau du Rhin, en raison d'une dilution moindre et de la diminution de l'intensité de l'auto-épuration dans le cas fréquent d'un abaissement des teneurs en oxygène ;

- diminution des concentrations dans les cas où, au contraire, les conditions de l'auto-épuration sont améliorées du fait d'une dilution moindre et de la diminution de la vitesse de l'eau.

Les courbes tracées, à partir des données relevées en 1970 à Basel et à Düsseldorf par H. Sontheimer (6) montrent que la concentration en matières facilement dégradables augmente avec le débit en un point donné selon une loi linéaire ; elle augmente également de l'amont vers l'aval en raison de l'augmentation du débit dans ce sens. Par contre la concentration en matières difficilement dégradables augmente dans chacune des stations considérées lorsque le débit diminue, selon une loi assez complexe ; ces matières très gênantes pour la préparation de l'eau potable, correspondent, dans le cas de faibles débits, à une fraction considérable de la teneur totale en matières organiques.

#### 242. Cas des matières organiques en suspension\*

On sait que le débit joue un rôle important dans la présence des matières en suspension dans l'eau du Rhin, mais il est assez difficile d'établir une relation précise à cet égard.

---

\* Rappelons que les matières en suspension comprennent des matières minérales et des matières organiques ; ces dernières sont déterminées grâce à la "perte au feu", qui s'effectue par calcination à 650°.

La Communauté de travail des services rhénans de distribution d'eau (ARW) (5) rappelle à ce sujet que les charges en matières organiques en suspension les plus élevées correspondent aux débits les plus grands et elle indique l'existence, entre les différentes formes sous lesquelles peuvent se trouver les matières organiques à l'état solide (en suspension ou sous forme de dépôts ou de sédiments), d'un équilibre sur lequel l'influence du débit est faible.

H. Sontheimer (6) confirme que la concentration en matières totales en suspension augmente avec le débit ; cependant il peut se produire un minimum de concentration pour des débits assez faibles (par exemple : pour 1000 m<sup>3</sup>/s environ à Mannheim en 1970 et 1971). En outre on constate que la charge en matières organiques en suspension dépend moins étroitement du débit que la charge totale.

Il est à noter également que la fraction organique des matières en suspension est soumise aux phénomènes de dégradation ; de ce fait l'influence du débit sur les charges et sur les teneurs en matières en suspension se trouve être rendue plus complexe encore.

### 3. Conséquences de la pollution organique.

La présence de matières organiques dans les eaux du Rhin entraîne des conséquences néfastes en ce qui concerne l'utilisation de l'eau et celle du milieu aquatique. Nous avons décrit dans une étude antérieure\* les inconvénients dus à la pollution des eaux dans le bassin rhénan, mais il est utile de fournir ici différentes indications complémentaires se rapportant plus spécialement aux matières organiques.

---

\* On pourra consulter à ce sujet notre précédent rapport : "Etude préliminaire sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan". (3)

### 31. Conséquences de la dégradation des matières organiques.

On sait que la destruction des matières organiques s'effectue grâce à l'intervention de l'oxygène présent à l'état dissous dans l'eau et que l'abaissement de la teneur en oxygène que provoque cette destruction dépend, entre autres facteurs, des quantités de matières organiques se trouvant dans l'eau et des conditions de renouvellement de l'oxygène dissous. Dans les cas où la concentration en oxygène est insuffisante la transformation des matières organiques s'effectue dans un milieu partiellement anaérobie ce qui présente différents inconvénients et en particulier ceux qui tiennent au dégagement d'odeurs nauséabondes ; de plus, on sait que le manque d'oxygène provoque la mort des poissons.

Au sujet de la destruction des matières organiques au sein du fleuve, dont nous avons souligné l'importance, H. Knöpp (12) rappelle la gravité de la présence de matières toxiques, qui réduisent notablement l'activité des micro-organismes grâce auxquels se produit l'auto-épuration. Il est à noter que la toxicité de l'eau provoque également une réduction de la production d'oxygène par le phyto-plancton. Ces phénomènes ont pour conséquence une augmentation de la teneur de l'eau en matières organiques, qui entraîne des difficultés supplémentaires dans la préparation de l'eau potable (notamment en ce qui concerne les saveurs désagréables). Pour le cours inférieur du Rhin la diminution de l'auto-épuration due à la toxicité peut être estimée à 30 % au minimum.

Il est à souligner que la compensation, grâce à l'installation de stations d'épuration, de la diminution de l'auto-épuration due à la toxicité de l'eau exigerait des dépenses très importantes : leur ordre de grandeur peut être estimé à 1,5 milliard DM au minimum pour le cours inférieur du Rhin.

### 32. Conséquences relatives à l'obtention d'eau potable.

Au cours du présent chapitre nous avons fourni différentes indications en ce qui concerne, d'une manière générale, le problème de la préparation de l'eau potable à partir d'eau du Rhin ; rappelons, en outre, les faits suivants :

Selon la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau (7) l'augmentation de la concentration en carbone organique sous forme de matières dissoutes s'accompagne d'un accroissement de la concentration en substances difficilement dégradables et la charge en de telles substances a augmenté légèrement au cours des années 1971 et 1972. Ces substances, dont certaines sont dangereuses du point de vue de l'hygiène peuvent représenter jusqu'à 80 % des substances organiques en solution.

On sait que la préparation de l'eau potable exige des procédés d'autant plus complexes que la pollution est plus marquée ; les techniques d'épuration appliquées aux eaux usées avant leur rejet dans le fleuve devraient être choisies de manière telle que les techniques de préparation de l'eau potable à partir de l'eau du Rhin soient aussi simples et économiques que possible.

Au sujet de l'influence des matières organiques sur la préparation de l'eau potable, on peut citer, entre autres, les observations effectuées par D. Maier (15) relativement à la comparaison, en 1971 de la composition de l'eau du Rhin, de l'eau prélevée par filtration à travers les rives et de l'eau obtenue après traitement, dans les zones de Wuppertal, Düsseldorf et Duisbourg. La diminution relative de la concentration en matières organiques due à la filtration à travers les rives a été beaucoup plus marquée que la diminution ultérieure obtenue grâce aux traitements effectués en vue de la préparation d'eau potable. Cet effet relativement limité des traitements tient aux difficultés techniques que comportent ces opérations, dans le cas d'une pollution organique notable.

L'influence de la filtration à travers les rives se manifeste notamment (selon la Communauté de travail des services rhénans de distribution d'eau (1)) par un abaissement notable du carbone organique sous forme de composés solubles, de l'oxydabilité par le dichromate de potassium, de l'absorption de l'ultra-violet, du rapport  $\frac{\text{COD}}{\text{TOC}}$ , ainsi que par une augmentation très sensible du rapport :  $\frac{\text{TOC}}{\text{COD xUV}}$

Ces variations correspondent à l'élimination d'une fraction très importante des matières organiques.

Il convient de rappeler que l'interprétation de l'influence de la filtration à travers les rives doit être effectuée en tenant compte du fait que l'eau ainsi prélevée est constituée d'un mélange d'eau filtrée directement et d'eau souterraine, et que la proportion de ces deux constituants varie selon les saisons et les volumes prélevés. C'est ainsi qu'en hiver, période où les besoins sont les moins élevés, l'amélioration de la qualité des eaux obtenues par ce moyen peut être beaucoup plus importante qu'en été.

### 33. Autres observations.

Certaines substances peuvent s'accumuler chez les poissons; selon les données fournies par W. Kölle (8) à cet égard on note qu'il a été possible grâce à l'utilisation de la chromatographie sur colonnes et de la chromatographie en phase gazeuse de constater, de l'amont vers l'aval, l'augmentation de la proportion, parmi les hydrocarbures aliphatiques, de certains hydrocarbures saturés difficilement dégradables; divers composés proviennent <sup>de</sup> /pollutions dues à des huiles minérales. Parmi les composés aromatiques on trouve des alkylbenzènes et des hydrocarbures chlorés et en particulier des diphényles polychlorés, qui sont très difficilement dégradables et dont la quantité augmente de l'amont vers l'aval.

Au sujet des effets de la pollution organique on peut rappeler également, à titre d'exemple, l'incident survenu au cours de l'été 1971 : des matières organiques qui s'étaient déposées en quantités importantes dans le Neckar en période de basses eaux ont été entraînées dans le Rhin par suite d'une augmentation subite du débit, due à de fortes précipitations (alors qu'elles étaient en cours de fermentation) ; ce phénomène a provoqué une diminution rapide de la teneur en oxygène dans le Rhin et la mort de nombreux poissons.

---

Tableau n° 1

RHIN

Moy. = Moyennes annuelles  
Min. = Minimums annuels  
Max. = Maximums annuels

Demande biochimique en oxygène (5 jours) Période 1967 - 1971

	Stein am Rhein		Kembs		Seltz		Braubach		Emmerich-Lobith *	
	mg/l	kg/s	mg/l	kg/s	mg/l	kg/s	mg/l	kg/s	mg/l	kg/s
1967	Moy.	1,0	3,3	3,7	1,2	1,7	6,3	11,5	6,9	17,3
	Min.	+ 0,1	1,8	1,2	0,4	0,6	3,6	5,5	3,8	10,5
	Max.	2,4	5,2	8,9	2,3	4,0	10,6	23,4	10,4	48,8
1968	Moy.	2,1	4,0	4,8	1,2	2,1	6,9	13,5	6,9	19,4
	Min.	1,0	2,4	1,7	0,2	0,2	3,2	5,2	3,0	9,4
	Max.	+ 6,0	6,8	10,1	2,6	9,4	11,3	25,7	11,0	44,2
1969	Moy.	2,1	4,8	4,6	1,1	1,2	7,8	13,1	8,4	18,4
	Min.	+ 1,0	2,8	1,6	0,1	0,2	3,8	4,1	5,6	9,5
	Max.	3,4	7,8	8,7	4,0	2,7	11,9	35,7	11,8	43,1
1970	Moy.	2,6	6,3	9,1	0,7	1,1	6,6	14,9	7,0	20,4
	Min.	0,5	3,7	3,4	0,1	0,1	3,8	4,9	3,9	11,6
	Max.	5,2	10,6	22,0	1,2	2,3	11,6	44,0	11,4	45,7
1971	Moy.	1,8	5,5	4,3	1,5	1,5	8,5	8,8	10,4	15,6
	Min.	0,0	+ 0,2	+ 0,2	0,6	+ 0,4	5,6	4,0	6,2	5,8
	Max.	5,7	+ 8,2	+ 10,0	+ 3,8	6,4	11,8	+ 18,7	15,4	34,5

\* Cette station a été remplacée depuis 1971 par celle de Bimmen-Lobith.

N.B. - : Ce tableau a été établi d'après les "tableaux numériques" publiés par la Commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution.

<u>Tableau n° 2</u>		<u>RHIN</u>			
		<u>Oxydabilité au permanganate de potassium</u> (exprimée en oxygène)			
		Période 1967 - 1971			
Moy. = Moyennes annuelles					
Min. = Minimums annuels					
Max. = Maximums annuels					
		Draubach		Emmerich-Lobith <sup>¶</sup>	
		mg/l	kg/s	mg/l	kg/s
1967	Moy.	11	18	13	24
	Min.	6	14	3	18
	Max.	17	25	14	47
1968	Moy.	11	22	10	29
	Min.	8	12	7	19
	Max.	16	34	15	85
1969	Moy.	13	21	11	26
	Min.	9	12	8	13
	Max.	17	50	15	71
1970	Moy.	10	22	10	33
	Min.	7	11	7	16
	Max.	15	42	16	85
1971	Moy.	14	15	14	20
	Min.	10	9	9	12
	Max.	20	23	19	42

¶ Cette station a été remplacé depuis 1971 par celle de Simmen-Lobith

N. B. Ce tableau a été établi d'après les "tableaux numériques" publiés par la Commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution.

Tableau n° 3

RHIN

Matières organiques

Stations	Débit			Carbone organique TOC (C)		Oxydabilité au dichromate COD (O <sup>2</sup> )	
	m <sup>3</sup> /s			Charges kg/s			
	1970	1971	Differ. %	1970	1971	1970	1971
Basel	1368	723	48	4,0	2,5	11,1	8,3
Karlsruhe	1694	841	51	5,6	3,7	16,4	14,9
Mannheim	1958	913	54	20,2	13,7	64,3	55,5
Mainz	2261	1076	53	12,3	7,7	33,1	31,1
Koblenz	2798	1107	52	16,0	8,3	43,8	31,9
Köln	2996	1367	55	16,2	9,6	42,4	37,6
Wesel	3123	1458	54	17,0	10,2	47,7	41,2

N. B. : Ce tableau a été établi d'après les données publiées par l'Arbeitsgemeinschaft Rheinwasserwerke E. V. (ARW).

Tableau n° 4

RIII'

Matières organiques

	Carbone organique TOC mg/l C		Oxydabilité au dichromate COD mg/l O <sub>2</sub>		Rapport COD TOC		Absorption de l'ultra-violet UV densité optique à 240 nm/cm		Rapport UV x 1000 TOC	
	1970	1971	1970	1971	1970	1971	1970	1971	1970	1971
Basel	2,99	3,41	8,51	11,70	2,85	3,43	0,096	0,122	32,1	35,8
Karlsruhe	3,52	4,37	10,24	17,75	2,91	4,06	0,126	0,175	35,8	40,0
Mannheim	10,78	14,96	33,80	60,78	3,14	4,06	0,337	0,506	31,3	33,8
Mainz	5,67	7,16	13,59	28,87	2,40	4,03	0,193	0,303	34,0	42,3
Koblenz	5,65	7,49	15,90	28,84	2,81	3,85	0,205	0,320	36,3	42,7
Köln	5,44	7,00	14,76	27,54	2,71	3,93	0,205	0,286	37,7	40,9
Wesel	5,43	6,98	15,58	28,25	2,87	4,05	0,241	0,355	44,4	50,9

N.B. Ce tableau a été établi d'après les données publiées par l'Arbeitsgemeinschaft Rheinwasserwerke E.V. (ARW).

Références bibliographiques  
du chapitre relatif  
aux pollutions dues à des matières organiques.

1. Arbeitsgemeinschaft Rheinwasserwerke EV (ARW)  
Jahresbericht 1969
2. Van Haaren F.W.J. und Rook J.J.  
Die Qualität des Rheinwassers im Zeitraum Januar 1970 bis Juli 1971.  
Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugs-  
gebiet.  
Arbeitstagung Rotterdam 1971.
3. Anne P.  
Etude préliminaire sur la lutte contre la pollution dans le bassin  
rhénan.  
Commission des Communautés Européennes - Environnement et qualité  
de la vie. Septembre 1973 ; n°3 ; EUR 5014
4. Commission internationale pour la protection du Rhin contre la  
pollution.  
Tableaux numériques des analyses physico-chimiques des eaux du Rhin.  
(publication annuelle).
5. Arbeitsgemeinschaft Rheinwasserwerke EV (ARW)  
Jahresbericht 1970
6. Sontheimer H.  
Arbeitsgemeinschaft Rheinwasserwerke EV (ARW)  
Jahresbericht 1971 (IAWR)
7. Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugs-  
gebiet.  
Jahresbericht 1972
8. Kölle W.  
Arbeitsgemeinschaft Rheinwasserwerke EV (ARW)  
Jahresbericht 1971
9. Stieglitz L. und Kölle W.  
Die Belastung des Rheins mit organischen Schadstoffen.  
KFK - Nachrichten ; 1972 ; 4 ; 3 ; p. 19 - 23.
10. Koppe  
Travaux cités par Kölle W. (référence n° 8)
11. Herrig H.  
Untersuchung an Flusswasser - Inhaltsstoffen -  
Wasser, Abwasser ; 1969 ; 50 ; p. 1385 - 1391.
12. Knöpp H.  
Neuere Studien zur Biologie und Biochemie des Rheins.  
Wasser, Abwasser ; 1970 ; 3 ; p. 67 - 82.
13. Kölle W., Ruf H. et Stieglitz L.  
Die Belastung des Rhein mit organischen Schadstoffen.  
Naturwissenschaften 1972;59 ; p. 299 - 305.
14. Kölle W.  
Ergebnisse von Sonderuntersuchungen an organischen Substanzen.  
Internationale Arbeitsgemeinschaft des Wasserwerke Bodensee - Rhein.  
Arbeitstatung Zürich und Sipplingen 1970. p. 81 - 91.
15. Maier D.  
Arbeitsgemeinschaft Rheinwasserwerke EV (ARW)  
Jahresbericht 1971.



## CHAPITRE IV.

### Pollutions dues à des hydrocarbures \*

En raison de la consommation très importante de produits pétroliers à des fins variées les risques de pollutions des eaux occasionnées par les diverses opérations portant sur ces matières sont très notables.

Mais la détermination de l'étendue exacte de ces pollutions dans les cours d'eau est difficile dans de nombreux cas en raison de la variété des produits en cause, de la formation d'hydrocarbures au sein de l'eau et de la complexité des phénomènes qui interviennent au cours de l'évolution de ces substances dans le milieu aquatique. Nous examinerons, au cours du présent chapitre, les possibilités d'appréciation actuellement existantes en ce qui concerne le Rhin, puis nous exposerons les effets des hydrocarbures sur le milieu aquatique et nous fournirons quelques indications sur les mesures à recommander en vue de remédier à la situation actuelle.

#### 1. Teneurs et charges en hydrocarbures observées dans le Rhin.

##### 11. Teneurs.

111. Travaux de H. Hellmann et F.J. Bruns.

1111. Hydrocarbures à l'état dissous.

Ces deux auteurs ont effectué, en 1968 et 1969 (1) des observations qui ont porté sur les différentes parties du Rhin en Allemagne.

1968

A Koblenz, d'avril/à janvier 1969, les teneurs en substances dissoutes trouvées ont été comprises entre 0,1 mg/l et 5,9 mg/l ; il est à remarquer qu'au cours d'une période plus courte, à partir de fin octobre 1968, les teneurs ont été comprises entre des limites plus étroites, les valeurs extrêmes étant respectivement : 0,1 mg/l et 0,4 mg/l, et la moyenne : 0,3 mg/l. De plus l'influence du débit sur les concentrations a été négligeable lorsque ce dernier a été compris entre 1300 m<sup>3</sup>/s et 2500 m<sup>3</sup>/s mais, dans le cas de débits inférieurs à 1300 m<sup>3</sup>/s, les concentrations se sont accrues notablement lorsque le débit a diminué.

---

\* On trouvera en annexe quelques indications générales d'ordre chimique sur les hydrocarbures.

Précisons que les dérivés des hydrocarbures ne seront pas pris en considération dans le présent chapitre (et, notamment, les dérivés chlorés).

En outre une augmentation très marquée de la concentration en substances dissoutes a été observée du 21 au 30 octobre 1968 : ce phénomène pourrait être dû à une libération d'hydrocarbures provoquée par la mort du phytoplancton à l'automne.

Dans le tronçon Rheinfelden-Mainz les teneurs trouvées, en juillet et en avril 1968, pour des débits comparables dans les diverses stations (100 à 130 % de l'étiage), ont été comprises entre 0,1 mg/l et 0,4 mg/l, et on a constaté une tendance à l'augmentation de l'amont vers l'aval.

A Düsseldorf-Kaiserswerth les teneurs trouvées ont été très dispersées ; elles ont été comprises entre 0,1 mg/l et 4,4 mg/l (prélèvements effectués en mai et en août 1969) ; la moyenne statistique a été comprise entre 0,4 mg/l et 0,5 mg/l.

En moyenne on peut admettre que les teneurs du Rhin en hydrocarbures à l'état dissous sont comprises entre 0,1 mg/l et 1 mg/l ; elles augmentent avec les rejets par les égouts et avec l'intensité du trafic fluvial.

Il est intéressant de remarquer que, dans le cours inférieur du Rhin, les concentrations les plus élevées s'observent, non pas à la surface de l'eau, mais au voisinage du fond. De plus, au sujet des variations diurnes, on peut signaler que l'on observe fréquemment un maximum de concentration vers 11 h et un minimum entre 13 h et 14 h.

#### 1112. Hydrocarbures contenus dans les matières en suspension.

H. Hellmann (2) a montré, en ce qui concerne les hydrocarbures paraffiniques, que ceux qui sont fixés sur les matières en suspension dans l'eau du Rhin correspondent à Koblenz à une fraction de la teneur totale de l'eau en ces hydrocarbures qui est indépendante du débit et s'élève à 0,07 mg/l.

On sait que ces matières en suspension sont constituées de matières organiques et de matières minérales ; on peut admettre selon le même auteur (en collaboration avec J.F. Bruns (3) ) que la majeure partie des hydrocarbures contenus dans ces matières se trouvent dans la fraction organique elles-ci. La teneur en hydrocarbures des matières organiques considérées ici s'élève généralement à 0,6 % (cette teneur étant exprimée en fonction de la matière sèche) ;

des teneurs sensiblement plus élevées constituent l'indication de pollutions par des produits dérivés du pétrole.

### 1113. Hydrocarbures totaux.

Des déterminations d'hydrocarbures paraffiniques totaux (comprenant les formes en solution et les formes liées aux matières en suspension) ont été effectuées par H. Hellmann (2) à Koblenz et interprétées, notamment en fonction du débit et du temps, au cours de la période 1968 - 1971.

- Influence du débit ; les débits considérés ont varié de 600 m<sup>3</sup>/s à 4 000 m<sup>3</sup>/s ; les variations sont généralement plus rapides lorsqu'elles sont dues à des pluies que lorsqu'elles sont provoquées par la fonte des neiges. Dans la plupart des cas les teneurs trouvées ont été comprises entre 0,1 mg/l et 2,5 mg/l, mais occasionnellement se sont élevées jusqu'à 8 mg/l ; dans le cas des débits les plus forts elles ont été comprises entre 0,2 mg/l et 0,4 mg/l. Lorsque le débit augmente rapidement on observe une augmentation rapide des teneurs suivie d'une diminution également rapide.

L'auteur estime que des rejets d'hydrocarbures peuvent se manifester par des variations importantes de la concentration pour un débit constant, des concentrations élevées lors d'une augmentation rapide du débit et par l'apparition de valeurs maximales occasionnelles. Ces pollutions ont en effet pour conséquence l'addition, par à-coups, d'une charge nouvelle à la charge préexistante qui est, généralement, relativement peu variable. Mais dans le cas de débits supérieurs à 3 000 m<sup>3</sup>/s environ l'influence des rejets occasionnels sur les teneurs est, le plus souvent, assez faible.

- Variations en cours d'année : les observations effectuées indiquent que les teneurs en hydrocarbures diminuent de janvier à avril ; l'auteur estime que ce phénomène est dû à un accroissement de la dégradation des hydrocarbures au sein des eaux au cours de cette période. (Il est à noter qu'une constatation analogue a été faite au sujet des eaux souterraines).

### 112. Travaux de A.P. Meijers.

Des déterminations portant sur la teneur en hydrocarbures des eaux du Rhin à Rotterdam et sur la nature de ces derniers ont été effectuées par cet auteur (4) de juillet 1969 à septembre 1970 ; au cours de cette période les teneurs en huiles de graissage légères ont été assez faibles, la valeur maximale trouvée étant de 0,07 mg/l, alors que les teneurs en huiles pour moteurs et en hydrocarbures pour chauffage ont été beaucoup plus élevées, la teneur maximale

observée s'élevant à 0,65 mg/l \*.

L'auteur a interprété les résultats obtenus en tenant compte des avis de pollutions/par des hydrocarbures transmis à la station de Jutphaas<sup>\*\*\*</sup> ; il a constaté que, lorsqu'il s'agit de produits à bas point d'ébullition, ces pollutions ne correspondent qu'à des teneurs assez basses à Rotterdam : dans ce cas la plus grande partie des hydrocarbures disparaît par évaporation. Par contre des teneurs élevées ont été constatées à Rotterdam à la suite de pollutions par des hydrocarbures destinés au chauffage, qui se sont manifestées pendant plusieurs semaines. A.P. Meijers cite également, entre autres, le cas d'une pollution par une huile pour moteurs rejetée dans le fleuve à Rotterdam, qui a provoqué une élévation de teneurs en hydrocarbures notable, mais de faible durée.

D'autre part, des augmentations persistantes de teneurs, dues également à des huiles pour moteurs ont pu être observées, bien qu'elles n'aient pas correspondu à des avis de pollution transmis à Jutphaas. A l'inverse de ce dernier cas on a pu constater aussi que des pollutions provenant notamment de Ludwigshafen et du Bingerloch et annoncées à Jutphaas n'ont pas correspondu à des élévations de teneurs à Rotterdam.

### 113. Travaux de la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau.

Voici certains résultats de déterminations de teneurs en hydrocarbures effectuées aux Pays-Bas (5) (6) :

- au cours du 2ème semestre de l'année 1971: à Bergambacht<sup>\*\*\*</sup> : les teneurs ont été comprises entre 0,03 mg/l et 0,51 mg/l.
- au cours de l'année 1972, à Ochten<sup>\*\*\*\*</sup> les teneurs ont été comprises entre 0,225 mg/l et 1,33 mg/l, la teneur moyenne étant de 0,59 mg/l.

- 
- \* L'auteur signale qu'en raison de pertes possibles au cours des opérations analytiques les valeurs réelles sont un peu plus élevées.
  - \*\* Il s'agit d'une station de pompage d'eau du fleuve située dans la région d'Utrecht.
  - \*\*\* Bergambacht se trouve sur le Lek à 20 km environ à l'Est de Rotterdam.
  - \*\*\*\* Ochten se trouve sur le Waal à 70 km environ à l'Est de Rotterdam.

12. Charges

Les estimations de la charge du Rhin en hydrocarbures ne paraissent pas très nombreuses ; voici quelques chiffres à cet égard :

Selon H. Hellmann et F.J. Bruns (1) le calcul des charges en fonction des teneurs en substances dissoutes correspondant aux débits moyens a donné les résultats suivants pour la période 1968-1969 :

	<u>Teneurs</u>	<u>Charges</u>	
	mg/l	Tonnes/jour	Tonnes/an
Cours supérieur †	0,1	8,6	3 140
Cours moyen †	0,3	34	12 400
Cours inférieur †	0,5	86	31 400

Les charges en hydrocarbures contenus dans les matières en suspension peuvent être estimées à 50 % environ des valeurs indiquées pour les matières dissoutes.

Selon la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau (6) la charge en hydrocarbures à l'entrée des Pays-Bas s'est élevée à 25 000 tonnes environ en 1972 ; cette valeur est notablement moins élevée que celle qui découle des données ci-dessus, mais la période considérée est différente et, de plus, difficile.

Rappelons enfin que les variations saisonnières de la charge peuvent être très importantes en raison de l'influence de la température sur les phénomènes de dégradation.

† D'après la terminologie utilisée en Allemagne le Rhin est ainsi divisé :

le cours supérieur ou "Oberrhein" va de Basel à Mainz

le cours moyen ou "Mittelrhein" va de Mainz à Köln

le cours inférieur ou "Niederrhein" commence à Köln

(le tronçon situé en amont de Basel est désigné sous le nom de Haut Rhin ou "Hochrhein").

## 2. Origines des hydrocarbures.

Les origines des hydrocarbures dont on constate la présence dans les eaux du Rhin sont multiples ; on peut les classer en deux catégories :

### 21. Hydrocarbures provenant de rejets :

Les rejets de ces produits sont eux-mêmes de natures très variées.

Une fraction importante des eaux d'égouts urbaines et industrielles, non soumises à une épuration, est susceptible d'en apporter des quantités non négligeables.

Le cas particulier des pollutions dues aux eaux résiduaires des raffineries d'hydrocarbures est évoqué notamment par A.P. Meijers (4) ; la teneur en hydrocarbures de ces eaux est généralement de 0,2 mg/l et cet auteur ne considère pas cette source comme très importante.

La navigation est responsable de rejets de deux sortes ; tout d'abord on a constaté que la réglementation concernant l'interdiction de rejet des huiles de cale et leur collecte\* n'est pas entièrement observée par les conducteurs de bateaux : des rejets clandestins sont effectués, en dépit de la surveillance active des polices fluviales. Par ailleurs, les accidents de navigation provoquent des pollutions qui, assez fréquemment, sont importantes\*\*.

D'autres accidents de transport, de natures variées, sont susceptibles d'avoir des conséquences parfois graves : accidents de transport terrestres, accidents survenant à des oléoducs, etc.

Le stockage des hydrocarbures peut également être à l'origine de pollutions de gravités variées, qu'il s'agisse d'installations industrielles ou d'installations de caractère domestique.

Il est à noter que, dans le cas d'accidents ou d'incidents survenus à terre une partie ou parfois la totalité des hydrocarbures peuvent être immobilisés temporairement dans le sol et provoquer des pollutions des cours d'eau à terme plus ou moins long.

---

\* On pourra consulter, au sujet de cette réglementation, notre "Etude préliminaire sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan (Chapitre II, rubrique n° 43) (9) et, au sujet des quantités rejetées, la rubrique n° 4 du présent chapitre.

\*\* On pourra consulter à ce sujet le chapitre du présent rapport consacré aux pollutions occasionnées par la navigation.

## 22. Hydrocarbures formés par voie naturelle.

Il a été établi, ainsi que le rappellent H. Hellmann et F. J. Bruns (1) (2) (3) que des hydrocarbures de structures diverses peuvent être formés en milieu aquatique par le plancton et par des bactéries.

Il est à remarquer, d'une manière plus générale, que les hydrocarbures sont assez répandus, sous des formes chimiques variées dans de nombreuses matières provenant d'être vivants, leur présence pouvant être due soit à une synthèse dans ces organismes soit à des phénomènes de destruction de substances plus complexes. H. Hellmann rappelle à ce sujet que les gisements d'hydrocarbures existant dans le sol se sont formés essentiellement à partir de matières d'origines animale et végétale et qu'il est probable que ce processus s'effectue encore actuellement.

H. Hellmann et F. J. Bruns (3) indiquent également que les hydrocarbures formés en dehors du milieu aquatique sont susceptibles de migrer notamment vers les cours d'eau par suite de phénomènes naturels et que ces hydrocarbures n'offrent que peu de différences avec les produits dérivés du pétrole.

## 3. Evolution des hydrocarbures au sein de l'eau.

Les hydrocarbures d'origines diverses sont soumis à l'influence de différents phénomènes qui entraînent leur transformation et leur destruction.

Il convient de citer à cet égard les travaux de H. Hellmann et H. Zehle (7) qui ont étudié au laboratoire l'évolution d'hydrocarbures bruts de différentes origines au contact de l'eau ; différents facteurs sont susceptibles d'intervenir.

On constate tout d'abord le rôle important joué par l'évaporation, surtout lorsqu'il s'agit de produits "légers", la perte de matière qui lui est due est très grande dans les premières heures avant le rejet ; elle peut s'élever par exemple jusqu'à 20 % du poids initial en quelques jours. La disparition de la fraction la plus légère du produit brut entraîne des modifications des caractéristiques de ce dernier.

Les chutes de pluie et l'agitation de l'eau provoquent également des modifications des produits bruts qui se trouvent à la surface de l'eau, en raison de la formation d'émulsions d'eau dans l'huile.

On observe en outre des phénomènes qui exigent une période de temps assez longue :

Il se produit progressivement sous l'influence de la lumière et de la chaleur un "vieillissement" des hydrocarbures, qui entraîne des modifications de leurs propriétés physico-chimiques; on constate, au cours de ce phénomène la condensation de molécules d'un poids donné en molécules plus grosses ; finalement les hydrocarbures altérés sont susceptibles de se diviser, et peuvent se trouver en suspension dans l'eau ou tomber au fond de celle-ci.

En outre la biodégradation des hydrocarbures constitue un phénomène important parmi l'ensemble de ceux qui concourent à leur transformation ou à leur disparition. H. Hellmann et H. Zehle (7) rappellent que cette dégradation, dont le processus dépend notablement du type d'hydrocarbure brut considéré , s'effectue sous l'action de différents microorganismes, parmi lesquels se trouvent principalement des champignons. Comme dans le cas du "vieillissement" il s'agit d'un phénomène de longue durée.

Dans le cas des hydrocarbures existant dans le Rhin des phénomènes analogues à ceux qui viennent d'être décrits se produisent, mais il est à remarquer que divers facteurs supplémentaires influent sur l'évolution et, notamment : la composition de l'eau (polluants compris), le débit, la saison et le développement des microorganismes. Rappelons également que les hydrocarbures peuvent se trouver en solution dans l'eau, ou former une phase distincte à la surface de celle-ci, ou encore être liés aux matières en suspension et aux sédiments ; en outre on sait que la teneur peut varier avec la profondeur.

On constate en fin de compte, que la charge en hydrocarbures ne dépend pas uniquement des rejets mais également de phénomènes dont les effets sont contraires : synthèse d'une part, dégradation d'autre part. Le bilan final dépend donc du phénomène qui, à une époque donnée et dans des conditions données, prédomine.

#### 4. Données relatives au diagnostic des pollutions dues aux hydrocarbures.

Les indications que nous avons fournies en ce qui concerne plus particulièrement les origines des hydrocarbures et leurs modes d'évolution dans le milieu aquatique mènent à considérer que

la part de la charge due aux rejets de différentes natures est très difficile à déterminer.

H. Hellmann (2) insiste sur l'importance de la notion de "background" (ce terme anglais désignant dans ce cas les quantités d'hydrocarbures présentes dans le milieu qui ne proviennent pas de rejets,) mais cet auteur remarque que l'évaluation de ce background, qui est difficile dans les eaux souterraines, l'est davantage encore dans les cours d'eau, en raison de nombreux facteurs susceptibles de le faire varier. Il ne semble donc pas possible, en général, d'estimer les quantités rejetées en se basant sur la différence :

Hydrocarbures totaux - background.

Cependant H. Hellmann indique ainsi que nous l'avons signalé antérieurement\* que la constatation de certaines variations de concentration (et, notamment, l'apparition de teneurs élevées se manifestant temporairement) permet de conclure à des rejets d'hydrocarbures. Dans le même ordre d'idées nous avons mentionné précédemment\* les travaux de A.P. Meijers se rapportant, notamment, au diagnostic des pollutions et les conclusions qui s'en dégagent au sujet de la mise en évidence des pollutions accidentelles.

Par ailleurs on constate que la comparaison de la composition des hydrocarbures formés au sein de l'eau et de ceux qui proviennent de rejets ne permet pas, en général, de les distinguer nettement.

En ce qui concerne plus particulièrement les huiles de cale des bateaux la collecte effectuée par la "Bilgenentwässerungsverband"~~\*\*\*~~ a porté sur 5 380 tonnes en 1972, selon la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau (6), mais la quantité totale d'hydrocarbures de cette provenance est estimée par la Communauté de travail des Etats allemands pour la salubrité du Rhin(8) à environ 10 000 tonnes par an. Des efforts importants devraient donc être effectués dans ce domaine.

---

\* Il s'agit de la rubrique relative aux teneurs et aux charges du Rhin en hydrocarbures.

~~\*\*\*~~ On pourra consulter à ce sujet notre précédente étude sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan (9).

### 5. Effets des hydrocarbures sur le milieu aquatique rhénan.

La production de saveurs et d'odeurs désagréables constitue sans doute l'effet le plus grave des hydrocarbures sur l'eau ; les techniques habituelles d'épuration de l'eau du Rhin en vue de la préparation d'eau potable ne permettent pas de supprimer complètement cet inconvénient.

A.P. Meijers (4) indique que les hydrocarbures qui flottent à la surface de l'eau peuvent être éliminés (jusqu'à une certaine limite) par un traitement mécanique et que ceux qui sont fixés par les matières en suspension peuvent être éliminés assez facilement par les traitements courants (filtration et floculation). Le point le plus délicat de l'opération est l'élimination des hydrocarbures dissous ; H. Sontheimer (10) recommande l'utilisation combinée de l'ozone (1,5 mg/l) et de charbon actif (5 mg/l à 15 mg/l). Il est à noter que les doses de charbon actif employées peuvent atteindre des valeurs particulièrement élevées, par exemple 50 mg/l à Rotterdam. Ces traitements spéciaux augmentent notablement le prix de la préparation de l'eau potable. A.P. Meijers (4) considère que la technique choisie doit permettre d'éliminer au moins 0,2 mg/l d'hydrocarbures à l'état dissous.

Les hydrocarbures présents dans l'eau du Rhin sont la cause d'autres difficultés, dans le cas du prélèvement d'eau par filtration à travers les rives en vue de la préparation d'eau potable \*. A ce sujet H. Hellmann et F.J. Bruns (1) indiquent, selon P. Koppe (11), que les saveurs et odeurs désagréables que l'on constate ne peuvent être attribuées avec certitude à la dégradation de substances provenant de dérivés du pétrole, mais que des hydrocarbures (terpènes) formés au sein de l'eau par le plancton pouvaient en être responsables, au moins partiellement.

En ce qui concerne les effets des hydrocarbures sur l'eau du Rhin on peut rappeler que H. Hellmann et P.J. Bruns (1) signalent la présence, dans le cours inférieur de ce fleuve, d'une "couche" particulièrement riche en substances de cette nature au voisinage du fond ; ce fait a été également mentionné par la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau (5) (Observations de H. Peters aux Pays-Bas) et la Communauté de travail des Etats allemands pour la salubrité du Rhin.

---

\* On pourra consulter à ce sujet le chapitre consacré aux pollutions par des substances sapides ou odorantes.

Parmi les autres inconvénients des hydrocarbures présents dans l'eau on peut citer leur influence néfaste sur les poissons : on constate en effet leur accumulation chez ces animaux, et plus particulièrement dans leurs tissus adipeux. W. Kölle (12) a fourni à cet égard des données précises résultant de l'identification et du dosage de différents composés aliphatiques et aromatiques.

Par ailleurs, en ce qui concerne l'aspect des eaux considéré du point de vue de l'environnement, il est certain que la présence de tâches d'hydrocarbures à la surface de l'eau constitue un inconvénient assez grave.

#### 6. Mesures à recommander en vue de lutter contre les pollutions dues aux hydrocarbures dans les eaux du Rhin.

Il convient de renforcer les mesures déjà prises sur le plan national et sur le plan international au sujet de la suppression des rejets d'hydrocarbures de diverses origines et du traitement des eaux résiduaires de toutes sortes et d'étudier les mesures nouvelles qui permettraient de remédier à la situation actuelle. Il est certain que tous les rejets qui n'ont pas une origine accidentelle devraient être ramenés à des quantités négligeables et que des précautions accrues devraient permettre de diminuer notablement les rejets dus à des accidents.

En ce qui concerne les mesures à adopter rappelons, à titre de références, les études effectuées par la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE) (13) (14), mais soulignons que, dans le cas du Rhin, les mesures nationales et les mesures internationales devraient compléter mutuellement leurs effets. Nous estimons qu'une des mesures les plus efficaces consisterait à rendre obligatoire la déclaration, par le pollueur, de tout rejet d'hydrocarbures\*.

Enfin il est indispensable de développer les recherches en vue de la détermination, dans le milieu aquatique, des hydrocarbures de différentes origines et de la mise en évidence, aussi précise que possible, des rejets.

---

\* Rappelons que nous avons préconisé une mesure de cette nature, sur un plan général, dans notre précédente étude (9).

Références bibliographiques du chapitre relatif aux  
pollutions dues à des hydrocarbures.

1. Hellmann H. et Bruns F.J.  
Untersuchungen zur Kohlenwasserstofffracht des Rheins 1968/1969 und Überlegungen zu deren Herkunft.  
Deutsche gewässerkundl. Mitteilung. 1970 ; 14 ; 1 ; S. 14 - 18.
2. Hellmann H.  
Bestimmung von Paraffinen in Gewässern - Ergebnisse der IR - Spectroskopie und Gaschromatographie.  
Deutsche gewässerkundl. Mitteilung. 1971 ; 15 ; 5 S. 139 - 143.
3. Hellmann H. et Bruns F.J.  
Ein Beitrag zum Auftreten von Kohlenwasserstoffen natürlicher Herkunft in Gewässern.  
Deutsch gewässerkundl. Mitteilung. 1969 ; 13 ; 2 ; S. 54 - 60.
4. Meijers A.P.  
Das Vorkommen von Öl im Rhein bei Rotterdam.  
Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke Bodensee - Rhein.  
Arbeitstagung 1970. p. 93 - 107.
5. Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (IAWR)  
Jahresbericht 1971.
6. Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (IAWR)  
Jahresbericht 1972.
7. Hellmann H et Zehle H.  
Langfristige Untersuchungen zum Verhalten von Rohölen auf Gewässern.  
Deutsche gewässerkundl. Mitteilung. 1972 ; 16 ; 2 ; S. 46 - 52.
8. Die Verunreinigung des Rheins und seiner wichtigsten Nebenflüsse in der Bundesrepublik Deutschland  
Zwischenbericht der Arbeitsgemeinschaft der Länder zur Reinhaltung des Rheins über den Stand 1971.  
Septembre 1972.
9. Anne P.  
Etude préliminaire sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan.  
Commission des Communautés Européennes - Environnement et qualité de la vie. Septembre 1973 ; n° 3 ; EUR 5014.
10. Sontheimer H.  
Rohöl und Trinkwasser.  
Veröffentlichungen der Abteilung des Lehrstuhls für Wasserchemie.  
T.H. Karlsruhe. 1967.  
(Travaux cités par Meijers A.P., référence n° 4)
11. Koppe P.  
Identifizierung der Hauptgeruchsstoffe im Uferfiltrat des Mittel - und Niederrheins.  
Vom Wasser XXXII ; 1965 ; S. 62.
12. Kölle W.  
Ergebnisse von Sonderuntersuchungen am Rhein und Bodensee durch das Kernforschungszentrum. Karlsruhe.  
Arbeitsgemeinschaft Rheinwasserwerke E.V.  
Jahresbericht 1971.

13. Nations Unies ; Commission économique pour l'Europe.  
Rapport sur les travaux du cycle d'études sur la protection des eaux  
de surface et des eaux souterraines contre la pollution par le  
pétrole brut et les produits pétroliers.  
1970 ; 2 volumes.
14. Même origine que celle de la référence 13 : Annexe I ; 1970.

A n n e x e

On entend par hydrocarbures, sur le plan chimique, des corps constitués uniquement de carbone et d'hydrogène. On distingue :

- des carbures aliphatiques, comprenant des corps, saturés (dénommés également carbures paraffiniques) ou non saturés, dont les atomes de carbone sont disposés en chaîne, ramifiée ou non.
- des carbures alicycliques, comprenant les cyclanes, (dont les naphthènes), cyclènes et terpènes.
- des carbures aromatiques, comprenant les hydrocarbures à un ou plusieurs noyaux benzéniques.

Les pétroles bruts, que l'on extrait du sol en vue de différentes utilisations sont composés d'hydrocarbures, qui en forment la partie principale, et de diverses autres substances (contenant en particulier de l'azote, du soufre ou de l'oxygène). Ces hydrocarbures sont de natures variées : ils comprennent des composés appartenant, notamment, aux catégories suivantes : carbures aliphatiques saturés, naphthènes et carbures aromatiques.

En raison de la complexité de la composition des pétroles les caractéristiques de ces produits sont souvent fournies en indiquant les limites inférieure. et supérieure. du point d'ébullition des différentes fractions que l'on peut considérer. On sait également que la composition de certaines fractions peut être profondément modifiée par la technique du craquage.

## Chapitre V.

### Pollutions dues à des substances sapides ou odorantes.

#### 1. Considérations générales.

Les substances susceptibles de communiquer à l'eau un goût ou une odeur sont de natures chimiques et d'origines très variées. Certaines d'entre-elles existent dans les matières rejetées dans l'eau ; d'autres, au contraire, prennent naissance au cours de transformations qui s'effectuent dans les eaux du fleuve. Beaucoup d'entre elles peuvent, en raison de différents phénomènes, subir ensuite des modifications de compositions ou être détruites. Il convient de noter également que toutes les substances sapides ou odorantes susceptibles de se trouver dans les cours d'eau ne sont pas parfaitement connues.

On constate dans certains cas que la présence simultanée dans une eau de deux substances sapides ou odorantes provoque le développement d'un goût ou d'une odeur d'une intensité supérieure à la somme des intensités correspondant à chacune des substances.

Toutes les eaux naturelles contiennent, à des concentrations très variables, des substances minérales qui leur communiquent une saveur plus ou moins prononcée (sels minéraux et éventuellement dioxyde de carbone). En outre, même en l'absence de pollutions dues à l'homme, d'une manière directe ou indirecte, ces eaux peuvent présenter des saveurs variées, dues à différents phénomènes.

Une eau potable doit être dépourvue d'odeur ; lorsqu'une eau destinée à la consommation humaine présente une odeur il convient, si l'on ne peut agir sur les causes de celle-ci, d'effectuer, au cours de la préparation de l'eau potable, les traitements propres à l'éliminer dans toute la mesure du possible.

Les substances responsables des saveurs et des odeurs sont de stabilités très variées, mais en général on a affaire, lors de la préparation d'eau potable, à des saveurs et odeurs persistantes dont l'élimination exige des opérations complexes et coûteuses.

## 2. Principe de la mesure de l'intensité des saveurs et des odeurs.

### 21. Saveurs :

La détermination est effectuée en préparant une série de mélanges de l'eau à examiner et d'eau dépourvue de saveur, dans laquelle la proportion d'eau à examiner varie en diminuant, de sorte que l'on se trouve en présence, à partir d'une certaine dilution, de mélanges ne présentant plus de saveur. Le mélange sans saveur le moins dilué étant pris comme référence, le résultat de la mesure est représenté par le rapport du volume total de ce mélange au volume d'eau examinée qu'il contient. Le résultat trouvé sera donc d'autant plus élevé que la dilution nécessaire à l'obtention d'un mélange sans saveur détectable sera elle-même plus grande.

Il est assez difficile d'obtenir, au moyen d'une eau sapide, l'eau sans saveur destinée aux dilutions ; une bonne solution consiste à utiliser une eau qui soit naturellement dépourvue de saveur.

La détermination doit être effectuée à une température donnée, mais il peut être utile de faire des mesures à des températures différentes.

Il est nécessaire d'utiliser une technique de dégustation permettant d'obtenir des résultats aussi précis que possible ; cette prescription s'applique en particulier au mode et au temps de séjour de l'eau dans la bouche de l'opérateur, à l'observation éventuelle de saveurs qui ne seraient pas perçues dès le début de la dégustation, au choix des opérateurs dont la sensibilité ne doit pas être émoussée par certaines habitudes (alcool ou tabac par exemple). En outre tout le matériel employé doit être nettoyé de manière telle qu'il ne puisse apporter aucune saveur supplémentaire et le nombre de déterminations effectuées par un opérateur dans un temps donné doit être limité.

La méthode indiquée fournit des résultats quantitatifs, mais il serait très difficile, en général, de caractériser qualitativement les saveurs mesurés qui, le plus souvent, sont dues à diverses substances. Cependant certaines saveurs assez intenses et suffisamment caractéristiques sont susceptibles d'être identifiées (par exemple : produits pétroliers, chlorure de sodium). En outre il est possible, dans certains cas, de doser tel ou tel corps sapide bien défini, lorsque la concentration<sup>n'en</sup> n'est pas trop faible, par des méthodes physiques ou chimiques.

## 22. Odeurs :

Le principe de la méthode de détermination est analogue à celui de la méthode utilisée dans le cas de la saveur et le résultat de la mesure est représenté par le rapport du volume total du mélange de référence dépourvu d'odeur au volume d'eau examinée qu'il contient.

L'eau dépourvue d'odeur, utilisée pour les dilutions, peut être préparée par traitement d'une eau potable au moyen de charbon actif.

Les déterminations sont à effectuer, dans le cas de l'odeur également, à une température donnée et la technique opératoire doit comporter diverses précautions indispensables et, notamment, l'utilisation d'une pièce protégée des odeurs extérieures et le nettoyage très soigné du matériel. Comme dans le cas de la saveur le nombre de déterminations effectuées par un opérateur dans un temps donné est à limiter.

La remarque présentée précédemment au sujet de la caractérisation qualitative de certaines origines et de la détermination de certains corps définis s'applique également au cas de l'odeur.

## 3. Origines des saveurs et des odeurs des eaux du Rhin.

Citons tout d'abord les travaux de W. Kölle, H. Ruf et L. Stieglitz (1) sur les matières organiques contenues dans les eaux du Rhin, à l'occasion desquels ces auteurs indiquent un classement d'ordre général des matières odorantes (dont la plupart sont susceptibles également de communiquer à l'eau des saveurs désagréables), en fonction de leur aptitude à la dégradation.

Parmi les substances dont la dégradation est assez facile on trouve notamment des dérivés du pétrole, des phénols, des mercaptans\*, ainsi que des substances produites par certaines algues et certains champignons (actinomycètes) et des substances (amines et acides entre autres) provenant de la décomposition de différentes matières organiques. Dans le groupe des matières difficilement dégradables se trouvent, pour la plupart, des substances odorantes, à l'exception des carbures aliphatiques saturés (ou "paraffines") ramifiés. Selon les auteurs cités on peut considérer cependant que la dégradation des substances odorantes constitue un phénomène important, mais que, par

---

\* Les mercaptans sont des corps analogues aux alcools, mais dans lesquels l'oxygène de la fonction alcool est remplacé par du soufre ; leur odeur est fétide et extrêmement forte.

ailleurs, d'autres substances odorantes sont susceptibles de se synthétiser au sein de l'eau par voie biologique ; le bilan final dépend donc des vitesses respectives de ces deux phénomènes.

Selon des travaux effectués au laboratoire du service de distribution des eaux de Rotterdam (travaux cités par la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau (2) ) il est permis de penser que des substances volatiles contenues dans l'atmosphère au-dessus du Rhin peuvent être à l'origine d'odeurs désagréables des eaux de ce fleuve. Les déterminations effectuées sur des échantillons d'eau prélevés en novembre 1971 en différents points du Lek aux Pays-Bas\* ont révélé la présence de 56 corps différents, dont les suivants étaient ceux dont les concentrations étaient les plus élevées ; benzène, dichloréthylène, dichloropropane, toluène, xylène, chlorobenzène et chlorotoluène. Il est frappant de constater que, parmi les corps mis en évidence se trouvent de nombreux composés chlorés, ce qui indique, selon les auteurs, l'origine industrielle des composés mis en évidence. On note également que la concentration de ces corps volatils diminue vers l'aval, mais le fait que l'époque de prélèvement des échantillons correspondait à une période de basses eaux du Lek a influé certainement sur la répartition dans le sens longitudinal du fleuve.

Par ailleurs la Commission rhénane des services de distribution d'eau aux Pays-Bas a souligné (3) le rôle joué par de nombreux composés aromatiques\*\* dans la production de saveurs et d'odeurs dans l'eau du Rhin. Les dérivés des carbures aromatiques dont les teneurs sont les plus importantes sont le dichlorobenzène et le nitrotoluène ; à titre d'exemple leurs concentrations respectives à Brakel\*\*\* le 9 novembre 1972 étaient de 7 µg/l et de 19 µg/l ; des teneurs élevées en ces composés avaient été également observées en février et mars 1972. En outre 30 bases aromatiques ont été déterminées, les teneurs de chacune d'elles étant comprises entre 0,1 µg/l et 5 µg/l.

Parmi les recherches destinées à la mise en évidence des substances sapides ou odorantes on peut rappeler également, malgré

- 
- \* Ces points situés entre la frontière germano-néerlandaise et Rotterdam étaient les suivants : Huissen, Driel, Ophusden et Schoonhoven.
  - \*\* Ce terme désigne les composés organiques contenant un ou plusieurs noyaux benzéniques.
  - \*\*\* Cette localité est située sur le Waal, à 40 km environ à l'Est de Rotterdam.

leur ancienneté (1956), celles de Holluta et Talsky (4), qui ont effectué l'extraction de telles substances en faisant agir différents solvants sur des matières séparées au moyen de charbon actif. Des volumes très importants d'eau du Rhin ont été utilisés ; les extraits obtenus présentaient des couleurs allant de teintes plus ou moins claires à une couleur noire et dégageaient des odeurs variées et désagréables. Ces auteurs ont estimé que les substances responsables des saveurs et odeurs de l'eau du Rhin proviennent principalement des effluents urbains, des effluents industriels et de pollutions occasionnées par la navigation.

#### 4. Données sur certaines substances sapides ou odorantes.

##### 41. Hydrocarbures\*

Les quantités d'hydrocarbures rejetées dans le Rhin sont élevées ; la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution de l'eau estime à 25 000 tonnes la charge mesurée à Lobith en 1972 (5). On sait que <sup>les</sup>origines de ces matières sont diverses (une partie d'entre elles se forme d'ailleurs par voie naturelle au sein des eaux) ; elles concourent, pour une part importante, à la production de saveurs et d'odeurs désagréables dans l'eau du Rhin.

Les hydrocarbures sont susceptibles d'être dégradés par des microorganismes existant dans l'eau. Au sujet des transformations dont il sont l'objet on peut signaler, selon la Communauté des Länder pour la salubrité du Rhin (6) un type d'évolution qui a une influence particulièrement néfaste dans le cas du prélèvement d'eau par filtration à travers les rives en vue de la préparation d'eau potable<sup>\*\*</sup> : le lit du Rhin est recouvert, dans différentes zones, d'une couche de limon huileux qui, en certains endroits, n'est pas éliminé par les crues ; lors du prélèvement d'eau selon le procédé qui vient d'être mentionné ce limon huileux pénètre dans le sol à travers lequel l'eau filtre et cette pénétration est graduellement de plus en plus profonde. Ce phénomène a pour effet de diminuer le rendement de l'instal-

\* On pourra consulter à ce sujet le chapitre du présent rapport consacré aux pollutions par les hydrocarbures.

\*\* On pourra consulter, au sujet du prélèvement d'eau du Rhin en vue de la préparation d'eau potable notre "Etude préliminaire sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan".(7)

lation et de provoquer une augmentation des saveurs et des odeurs désagréables, qui se trouvent d'ailleurs aggravées du fait de la dégradation microbienne à laquelle les hydrocarbures sont soumis.

Il est à noter également que des hydrocarbures formés au sein de l'eau par le plancton (toxépènes) peuvent être responsables des mêmes inconvénients.

#### 42. Composés phénoliques :

Ces composés se trouvent en permanence dans l'eau du Rhin ; leur concentration est déterminée à intervalles réguliers par la Commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution des différentes stations à partir de Braubach vers l'aval. Les résultats obtenus à Braubach et à Emmerich-Lobith\* au cours de la période 1959 - 1970 ont été indiqués et interprétés dans notre "Etude préliminaire sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan" (7) ; on trouvera dans le tableau n° 1 ci-joint les données relatives à la période 1967 - 1971.

Les principales conclusions qui se dégagent de ces résultats sont les suivantes : Dans tous les cas les charges moyennes annuelles ont été beaucoup plus élevées à Emmerich-Lobith qu'à Braubach et l'on a constaté, au cours des années, une augmentation des charges jusqu'en 1968 à Braubach et jusqu'en 1970 à Emmerich-Lobith, suivie d'une diminution dans chacune de ces stations.

En vue de l'interprétation des teneurs trouvées dans le Rhin rappelons que la concentration maximale admissible dans les eaux de surface destinées à l'approvisionnement en eau potable peut être fixée à 1 µg/l (l'absence totale étant d'ailleurs désirable). Notons également que la chloration des eaux contenant des phénols provoque la formation de chlorophénols, dont le goût est beaucoup plus intense que celui des phénols.

Les variations de la charge dépendent non seulement de l'importance des rejets, mais aussi des différents facteurs qui interviennent dans la dégradation des phénols par auto-épuration, notamment le débit et la température<sup>\*\*\*</sup>. Au sujet du débit on note que la moyenne

---

\* Cette station a été remplacée depuis 1971 par celle de Bimmen-Lobith.

\*\*\* On pourra consulter à ce sujet le chapitre du présent rapport consacré à la pollution par les matières organiques.

annuelle a été, par comparaison à la moyenne calculée sur un nombre d'années assez grand, peu différente en 1967, 1968 et 1969, très élevée en 1970 et très faible en 1971. En ce qui concerne le deuxième facteur qui vient d'être mentionné il a été montré que les teneurs en phénols s'abaissent lorsque la température de l'eau augmente (8) (9) (10).

Notons également que la formation de phénols peut avoir lieu dans les conditions naturelles par suite de la dégradation de matières végétales dans le sol ou dans les eaux (9) (11) ; mais il est probable que les quantités ainsi synthétisées sont assez faibles, comparées aux quantités rejetées par l'industrie.

#### 43. Chlorures :

Nous avons indiqué dans une précédente étude<sup>\*</sup>, d'après les données publiées par la Commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution (12), l'évolution des charges et des teneurs en chlorures de 1955 à 1970. La concentration minimale, exprimée en ions chlore, à partir de laquelle le goût du chlorure de sodium est perceptible est de 300 mg/l environ. Le plus souvent les teneurs observées dans le Rhin sont inférieures à cette limite, mais certaines valeurs maximales en ont été voisines en 1969 et 1970 à Emmerich-Lobith et en 1969 à Gorinchem. Les valeurs maximales indiquées par la Commission internationale pour l'année 1971, qui fut particulièrement sèche, ont été de 336 mg/l à Bimmen-Lobith et de 311 mg/l à Gorinchem.

#### 5. Evolution de l'intensité des saveurs et des odeurs au cours des années.

La Commission rhénane des services de distribution d'eau néerlandais a indiqué en 1969 (13) l'évolution de l'intensité des saveurs de 1956 à 1969 à Bergambacht<sup>\*\*</sup> : après un minimum constaté en 1958 on observe une augmentation jusqu'en 1963, puis une certaine diminution jusqu'en 1969, mais l'intensité des saveurs a doublé de 1956 à 1969. Aux Pays-Bas la valeur moyenne annuelle correspondant à l'année 1971 a été de 50 environ alors qu'on avait noté une valeur de 120 environ, en 1963 (2). La Commission néerlandaise rappelle que les valeurs moyennes pour la Meuse sont de 4 à 6

---

\* Il s'agit de notre "Etude préliminaire sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan" (7).

\*\* Cette ville est située sur le Lek, à 20 km environ à l'Est de Rotterdam.

et elle estime que les valeurs trouvées pour le Rhin ne permettent pas une fourniture normale en eau potable.

Notons également que certaines substances sapides, comme les phénols et les hydrocarbures sont susceptibles d'être fixées par les poissons.

6. Mesures à recommander en vue de lutter contre ces pollutions.

Les principales mesures à recommander sont d'ordre général : limitation progressive des rejets de toutes sortes et développement de l'épuration des eaux usées industrielles.

Dans les cas où l'eau du Rhin est utilisée pour la préparation d'eau potable il est nécessaire d'améliorer, dans toute la mesure du possible, les traitements permettant d'éliminer les substances gênantes par leur saveur ou leur odeur. A cet égard l'emploi de charbons actifs perfectionnés et l'ozonisation comptent parmi les techniques les plus efficaces.

---

		RHIN			
		Composés phénoliques (exprimés en phénol)			
		Période 1967 - 1971			
		Braubach		Emmerich-Lobith	
		µg/l	g/s	µg/l	g/s
1967	Moy.	31	54	30	78
	Min.	18	27	14	30
	Max.	56	95	100	337
1968	Moy.	34	65	31	79
	Min.	7	16	11	29
	Max.	90	171	160	213
1969	Moy.	34	53	42	88
	Min.	6	17	20	30
	Max.	65	110	190	258
1970	Moy.	23	47	32	91
	Min.	10	15	14	38
	Max.	54	82	108	298
1971	Moy.	37	35	48	67
	Min.	20	19	21	22
	Max.	79	64	172	218

N.B. Ce tableau a été établi d'après les données numériques publiées par la Commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution.

Références bibliographiques  
du chapitre relatif aux pollutions  
dues à des substances sapides ou odorantes

1. Kölle W., Ruf H. et Stieglitz L.  
Die Belastung des Rheins mit organischen Schadstoffen.  
Naturwissenschaften ; 1972 ; 59 ; 7 ; p. 299 - 305.
2. Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (IAWR)  
Jahresbericht 1971
3. Rijncommissie waterleidingbedrijven (RIWA)  
Jahresbericht 1972.
4. Holluta et Talsky  
Travaux cités par Le Strat (référence n° 11)
5. Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (IAWR)  
Jahresbericht 1972.
6. Die Verunreinigung des Rheins und seiner wichtigsten Nebenflüsse in der Bundesrepublik Deutschland.  
Denkschrift der Arbeitsgemeinschaft der Länder zur Reinhaltung des Rheins. (Stand 1965)
7. Anne P.  
Etude préliminaire sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan.  
Commission des Communautés Européennes - Environnement qualité de la vie.  
Septembre 1973 ; n° 3 ; EUR 5014
8. Bucksteeg W. et Dietz F.  
Travaux cités par Borneff J. (Référence n° 9)  
Vom Wasser ; 1957 ; 24.
9. Borneff J.  
Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (IAWR)  
Arbeitstatung Rotterdam 1971 ; p.65 - 80.
10. Commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution.  
Rapport sur les analyses physico-chimiques de l'eau du Rhin ; V ; 1961 - 1965.
11. Le Strat A.  
Les micropolluants des eaux de surface et de consommation.  
La pollution des eaux ; quelques problèmes d'actualité ; ANRT ; 1966 (ouvrage).
12. Commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution.  
Tableaux numériques des analyses physico-chimiques des eaux du Rhin ainsi que de la Moselle (Rapports annuels).
13. Rijncommissie waterleidingbedrijven (RIWA)  
Jahresbericht 1969.

Chapitre VI.

Pollutions occasionnées par la navigation.

Nous fournirons préalablement quelques indications sur le trafic rhénan puis nous examinerons successivement les points suivants :

- Pollutions constatées.
- Mesures appliquées actuellement.
- Mesures à recommander en vue d'intensifier la lutte contre ces pollutions.

1. Données générales sur le trafic rhénan.

Voici quelques données succinctes, extraites des statistiques détaillées publiées par la Commission centrale pour la navigation du Rhin dans son rapport annuel pour l'année 1971\*.

	<u>1969</u>	<u>1970</u>	<u>1971</u>
	milliers de tonnes		
Trafics rhénans nationaux	122926	126599	127099
Trafics rhénans internationaux	143027	147825	141149
Totaux	265953	274424	268248

Le trafic rhénan tend, dans l'ensemble, à augmenter au cours du temps bien que l'on constate dans certains cas une diminution d'une année à l'autre (signalons à ce sujet que la diminution constatée en 1971 a été due à la persistance de niveaux d'eaux défavorables à la navigation).

2. Pollutions constatées.

Les causes de ces pollutions sont diverses ; on peut les classer de la manière suivante :

\* A l'époque où le présent rapport a été rédigé les statistiques relatives à l'année 1972 n'étaient pas encore disponibles.

- Incidents et accidents de navigation.
- Rejets d'origine humaine.
- Rejets divers.

Nous examinerons successivement ces trois catégories, dans lesquelles on trouve des pollutions d'importances très variées.

21. Incidents et accidents de navigation.

Un seul ou plusieurs bâtiments peuvent être impliqué dans ces incidents ou accidents, qui sont susceptibles d'avoir des conséquences diverses pour les bateaux, et d'être à l'origine de rejets de substances très variées, en quantités parfois très importantes.

Voici quelques données sur les accidents de navigation, extraites du rapport de la Commission centrale pour la navigation du Rhin pour l'année 1971 :

Total des accidents (de Rheinfelden(Suisse)à Rotterdam)	1450
Accidents n'ayant pas eu de conséquences*	421
Accidents ayant eu des conséquences	1029

Sur le nombre total d'accidents survenus les plus fréquents ont consisté :

- en talonnement, échouage sur le fond, sur la rive, échouage sur épi :	678
- en collision avec des bâtiments :	575

Parmi les causes de ces accidents les défaillances humaines comptent pour les 2/3 environ.

Au sujet des conséquences on relève notamment :

Bâtiments coulés	24
Bâtiments légèrement endommagés	856
Bâtiments gravement endommagés	372

Quelles sont la fréquence et l'importance des pollutions ayant pour origines des accidents de navigation sur le Rhin ? Il est possible d'avoir des données à cet égard grâce aux informations recueillies par la station de pompage d'eau située à Jutphaas\*\* qui est

\* On entend ici par conséquences : des dégâts matériels (aux bateaux et aux installations) ou des dommages aux personnes ou le fait que la navigation soit entravée.

\*\* Cette station de pompage située sur le Lek, dans la région d'Utrecht, sert à prélever de l'eau destinée à être transportée par pipe-lines dans les dunes de la côte Ouest des Pays-Bas aux fins de purification.

avisée des pollutions soudaines susceptibles de présenter un danger lors de la préparation d'eau potable. On trouvera dans les tableaux n°s 1, 2, 3 et 4 les indications essentielles au sujet des avertissements parvenus à cette station au cours des années 1969, 1970, 1971 et 1972, en ce qui concerne les pollutions accidentelles dues à la navigation (y compris dans certains cas des accidents de chargement ou de déchargement) et les déversements accidentels de cause inconnue, mais pouvant éventuellement avoir la même origine. (Les données fournies ont été extraites de celles qui ont été publiées par la Commission rhénane des services néerlandais de distribution d'eau en 1969 et 1970 (2) (3) et par la Communauté internationale de travail des services de distribution d'eau du bassin rhénan en 1971 et 1972 (4) (5) ).

Il est à noter que les pollutions signalées à la station de Jutphaas ne représentent pas la totalité des pollutions dues à des incidents ou accidents, ainsi que le fait remarquer la Communauté internationale de travail des services de distribution d'eau du bassin rhénan (4) ; pour 1971 par exemple cet organisme a signalé, outre les pollutions mentionnées ci-dessus, les cas suivants, dont la presse avait fait mention :

- le 15 mars, en République fédérale allemande : tache d'hydrocarbures de 4 km de longueur.

- le 27 mai, à Bonn : rejets de 30 tonnes d'hydrocarbures pour chauffage, à la suite d'une collision de bateaux.

Le temps de passage dans l'eau des matières polluantes primitivement contenues dans le bateau, ou en cours de transfert, peut varier dans de très larges limites, en fonction de différents facteurs et notamment de la gravité des avaries, de l'état, solide, liquide ou gazeux des matières, de leur degré de solubilité dans l'eau, surtout lorsqu'il s'agit de matières solides, de leur conditionnement et de l'aménagement du navire.

Dans l'ensemble des pollutions ayant pour origine des incidents ou accidents la part de celles qui sont dues à la navigation est importante. Les substances polluantes<sup>sont</sup>, comme nous l'avons dit précédemment de natures variées, mais on remarque que de nombreuses pollutions sont dues à des hydrocarbures liquides divers<sup>\*</sup> ; dans certains cas les quantités d'hydrocarbures rejetées sont très grandes

---

\* On pourra consulter à ce sujet le chapitre du présent rapport relatif aux pollutions dues à des hydrocarbures.

ainsi que cela ressort des données que nous venons de fournir ; on sait que les produits appartenant à cette catégorie communiquent à l'eau une saveur et une odeur désagréables \*.

#### 22. Pollutions d'origine humaine

Ces pollutions sont dues au séjour à bord des membres des équipages et des passagers.

La Communauté de travail des Länder pour la salubrité du Rhin a fait remarquer en 1972 (6) que jusqu'à présent les eaux contenant des matières d'origine humaine et les eaux usées des cuisines ont été simplement rejetées dans les cours d'eau du bassin rhénan, souvent en quantités importantes. Il convient, pour l'avenir, de recueillir ces matières résiduelles dans des réservoirs destinés à être vidés par pompage, pendant le stationnement des bateaux au voisinage de la terre, dans des canalisations d'égouts aménagées à cet effet.

#### 23. Pollutions dues à des rejets divers.

Le problème des hydrocarbures rejetés par les bateaux est très important<sup>\*\*</sup>. Il s'agit d'huiles usées provenant des machines et d'hydrocarbures variés provenant des opérations de nettoyage des citernes. Un effort très sensible a été fait en vue de leur collecte (utilisation de navires et d'installations à terre spécialisés dans leur ramassage) mais il reste encore des progrès notables à réaliser : sur une quantité totale à éliminer estimée à 10.000 tonnes par la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau (5) 5380 tonnes seulement ont pu être collectées en 1972.

Il convient de mentionner également dans cette catégorie de pollutions celles qui sont dues aux rejets de déchets et de détritiques variés effectués, en dépit des interdictions, par les personnes présentes à bord. La Communauté de travail des Länder pour la salubrité du Rhin estime (6) qu'il faudrait organiser à bord la collecte de ces matières dans des sacs conçus pour cet usage, qui seraient déposés à terre ultérieurement en vue de leur élimination par des voies rationnelles.

---

\* On pourra consulter à ce sujet le chapitre du présent rapport relatif aux pollutions dues à des substances sapides ou odorantes.

\*\* On pourra consulter à ce sujet le chapitre du présent rapport consacré aux pollutions dues à des hydrocarbures.

3. Mesures appliquées actuellement.

31. Règlement relatif au transport de matières dangereuses sur le Rhin.

Les conditions dans lesquelles les matières dangereuses peuvent être transportées sur le Rhin ont été fixées par le règlement "ADNR" (7), qui a été élaboré sous l'égide de la Commission Centrale pour la navigation du Rhin\*. Ce règlement, qui a été mis en application au 1er janvier 1972 (en remplacement de divers autres règlements) est inspiré du Projet d'accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voie de navigation intérieure (ADN).

Les matières dangereuses ont été rangées en classes limitatives, dans lesquelles seuls certains objets et certaines matières sont admises au transport, et sous certaines conditions, et en classes non limitatives dans lesquelles seuls certains produits et certaines matières sont soumis à certaines conditions en vue de leur admission au transport. Les classes constituées par le règlement ADNR sont les suivantes :

Classe Ia	Matières et objets explosibles	Classe limitative
Classe Ib	Objets chargés en matières explosives	Classe limitative
Classe Ic	Inflammateurs, pièces d'artifices et marchandises similaires	Classe limitative
Classe Id	Gaz comprimés, liquéfiés ou dissous sous pression	Classe limitative
Classe Ie	Matières qui, au contact de l'eau, dégagent des gaz inflammables	Classe limitative
Classe II	Matières sujettes à l'inflammation spontanée	Classe limitative
Classe IIIa	Matières liquides inflammables	Classe non limitative
Classe IIIb	Matières solides inflammables	Classe non limitative
Classe IIIc	Matières comburantes	Classe non limitative
Classe IVa	Matières toxiques	Classe non limitative
Classe IVb	Matières radioactives	Classe limitative
Classe V	Matières corrosives	Classe non limitative
Classe VI	Matières répugnantes ou susceptibles de produire une infection.	Classe limitative
Classe VII	Peroxydes organiques	Classe limitative

---

\* On pourra consulter, au sujet de l'origine et des attributions de cette Commission notre "Etude préliminaire sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan". (1)

En ce qui concerne le transport proprement dit les prescriptions portent notamment sur le poids maximum des différents produits, objets ou matières dont le transport est autorisé, sur les modalités du conditionnement (et en particulier sur les cas suivants : transport en vrac, utilisation de conteneurs ou de citernes) ainsi que sur la construction du bateau (nature des matériaux utilisés, en particulier) et sur son équipement et son aménagement\*. Dans certains cas les bateaux doivent être munis d'un certificat d'agrément portant sur leur construction et sur leur équipement.

Sont également réglementés le chargement et le déchargement des marchandises, ainsi que leur manutention et leur arrimage. Il est à remarquer qu'après le déchargement de matières dangereuses le bateau doit être débarrassé de tout résidu de ces matières (sauf dans le cas de nouveau chargement identique ou de bateaux spécialisés). Il serait souhaitable qu'il soit précisé que cette élimination doit être effectuée en observant les précautions nécessaires afin d'éviter toute pollution.

Dans le cas de différentes matières dangereuses la circulation, la marche et le stationnement des bateaux sont également réglementés.

### 32. Règlement de police pour la navigation du Rhin.

Certaines dispositions de ce règlement, établi par la Commission Centrale pour la navigation du Rhin (8), comportent un aspect intéressant la lutte contre la pollution des eaux du Rhin ; dans cet ordre d'idées on relève plus spécialement les obligations suivantes imposées aux responsables des bateaux :

- Déchets pétroliers : "Il est interdit de jeter, de verser ou de faire écouler dans la voie navigable des déchets pétroliers sous n'importe quelle forme ou des mélanges de ces déchets avec de l'eau. Les conducteurs des bâtiments autres que les menues embarcations doivent déposer, contre reçu, dans des installations agréées par les autorités compétentes, les déchets pétroliers ou leurs mélanges avec de l'eau, à des intervalles réguliers, déterminés par l'état et l'exploitation du bâtiment. La tenue d'un carnet de contrôle des huiles usées est obligatoire et ce carnet doit être présenté à toute réquisition des autorités compétentes\*\*.

---

\* Dans le cas du transport de matières liquides inflammables par exemple la coque du bateau doit être métallique et les citernes et tuyauteries à utiliser doivent répondre à différentes conditions.

\*\* Cependant la collecte ne porte que sur la moitié environ de la quantité d'huile de cale à éliminer, ainsi que nous l'avons indiqué précédemment (rubrique n° 23).

- Interdiction d'enduire d'huile l'extérieur des bâtiments.
- Interdiction générale de déversement dans la voie d'eau. Cette disposition est limitée cependant aux "objets ou substances de nature à faire naître une entrave ou un danger pour la navigation ou pour les autres usagers de la voie d'eau". Bien que le cas du déversement de matières polluantes ne semble pas avoir été envisagé en l'occurrence cette règle comporte des applications dans ce domaine, en raison du caractère souvent dangereux de telles matières. Mais il serait souhaitable que le règlement de police interdise expressément toute pollution pouvant provenir de la navigation.
- Fixation de quantités minimales en vue de l'application de dispositions relatives à la signalisation spéciale des bateaux lorsqu'ils transportent différentes matières dangereuses : il s'agit de matières inflammables, de matières explosives et de produits chimiques, dont l'ammoniac. Ces dispositions ont des conséquences sur les risques de pollution par celles des matières visées qui sont susceptibles d'en provoquer.

Il convient de faire mention également de différentes mesures de sécurité qui sont susceptibles d'avoir des effets favorables dans la lutte contre la pollution :

- Obligation pour les conducteurs de bâtiments échoués ou coulés d'en aviser les autorités compétentes dans le plus bref délai possible.
- Fixation de distances minimales en ce qui concerne l'approche de bâtiments transportant certaines matières dangereuses (matières explosives ou ammoniac) et la stationnement au voisinage de bâtiments dont le chargement comprend de telles matières.
- Fixation de règles relatives à la signalisation de jour et de nuit de bâtiments faisant route, chargés de matières inflammables, de matières explosibles ou d'ammoniac.
- Fixation de règles relatives au maintien de l'éloignement à l'égard des bateaux transportant certaines matières dangereuses (notamment l'ammoniac ou d'autres matières assimilées) et ayant subi un incident ou un accident.

Il serait souhaitable que les quatre dernières mesures que nous venons d'indiquer soient aménagées de manière qu'elles s'appliquent non seulement au maintien de la sécurité, mais aussi à la lutte contre la pollution.

Enfin il existe dans le règlement de police une disposition relative à l'obligation de déclarer sans délai aux autorités compétentes les plus proches la perte d'objets susceptibles de constituer une entrave ou un danger pour la navigation ; il serait souhaitable que cette obligation

soit étendue aux matières ou substances susceptibles d'entraîner une pollution\*.

Il est à remarquer, cependant, que l'ADNR en soi constitue une interdiction de transporter des marchandises toxiques lorsque les conditions prévues ne sont pas remplies, mais il est difficile de prendre une interdiction générale.

#### 4. Mesures à recommander en vue d'intensifier la lutte contre ces pollutions.

En ce qui concerne la réglementation relative au transport de matières dangereuses sur le Rhin, la Communauté internationale de travail des services de distribution d'eau du bassin rhénan a déclaré en 1971 (4) que le transport sur le Rhin des plus toxiques d'entre elles devrait être interdit. La même opinion avait été exprimée auparavant par la Commission rhénane des services de distribution d'eau néerlandais (3), qui avait fait remarquer que le risque d'accident ne pouvait, en aucun cas, être complètement écarté.

Cette Commission néerlandaise souhaite également l'extension à tout le bassin rhénan du système d'avertissement qui comprend, en fonction de la gravité de l'accident, une "préalarme" à l'annonce de laquelle les services intéressés doivent redoubler de vigilance et une "alarme principale" à l'annonce de laquelle ils ont à prendre les mesures nécessaires à parer au danger et, en particulier, à suspendre le prélèvement de l'eau du Rhin en vue de la préparation d'eau potable.

Il serait souhaitable que la lutte contre les pollutions dues à la navigation du Rhin fasse l'objet de prescriptions de caractère spécifique dans le cadre de la réglementation du transport de matières dangereuses ; parmi les mesures à recommander on peut citer notamment le classement de

---

CES 2

\* Sur un plan général rappelons que nous avons souligné dans notre "Etude préliminaire sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan" (1) (Chapitre III, rubrique n° 23) la nécessité de règles imposant la déclaration des pollutions par ceux qui en sont les auteurs, cette déclaration devant être effectuée sans délai dans les cas où des mesures d'urgence sont nécessaires.

Il est à noter que la Commission centrale pour la navigation du Rhin a déjà pris une mesure dans ce sens en adoptant un amendement à l'ADNR visant à rendre obligatoire l'équipement en radiotéléphone de tous les bateaux-citernes, ainsi que des bateaux transportant des matières susceptibles de provoquer une pollution de l'eau (ADNR, Annexe B, marginal 10261 ; entrée en vigueur : 1.1.1 973).

ces matières en fonction du danger de pollution qu'elles présentent. Rappelons également les différentes remarques que nous avons présentées au cours du présent chapitre, lors de l'étude du règlement pour le transport de matières dangereuses sur le Rhin et du règlement de police. D'une manière générale, il serait très recommandable que la lutte contre les pollutions de toutes sortes occasionnées par la navigation soit amplifiée dans toute la mesure du possible.

---

Tableau n° 1

Pollutions dues à des accidents de navigation  
et pollutions susceptibles d'avoir la même origine.

Année 1969

Date de l'avertissement	Lieu de l'incident	Nature de l'incident	Nature de la pollution	Observations
16 - 2	Rhin à Lobith	Bateau coulé	Carbonate de sodium - 480 tonnes	"
8 - 8	Port de Duisburg	Déversement	Engrais chimique (sel d'ammonium) - 10 à 15 tonnes	"
13 - 9	Km 436	Collision	Huile minérale - 300 tonnes	Prélèvement d'eau interrompu pendant un jour
22 - 9	Rhin à Leverkusen	Chute dans le Rhin au cours du transbordement	Fûts de parathion fermés, au nombre de 7	Fûts récupérés le 23 - 9
4 - 12	Rhin à Emmerich-Lobith	Barque non écartée par suite d'un choc	Phénol	Barque déchargée les 5 et 6 - 12
19 - 12	Rhin à Duisburg	Collision	Gas-oil - 4 000 litres	"

N. B. Ce tableau a été établi d'après les données publiées par la "Rijncommissie waterleidingbedrijven" (RIWA, Pays-Bas, Rapport 1969).

Tableau n° 2

Pollutions dues à des accidents de navigation  
et pollutions susceptibles d'avoir la même origine.

Année 1970

Date de l'avertissement	Lieu de l'incident.	Nature de l'incident.	Nature de la pollution
16 - 1	Rhin à Wezel	Fuite d'un tanker	Carburant Diesel - 140 tonnes
17 - 1	Rhin à Lobith	Inconnue	Essence - 600 litres
24 - 1	Ruhr	Collision	Hydrocarbure brut - 2 000 litres
7 - 2	Rhin à Ludwigshafen	Collision	Huile minérale et benzène 400 tonnes
17 - 2	Rhin à Köln (km 692)	Inconnue	Essence - 80 tonnes
6 - 3	Rhin entre Köln et Bonn	Matière provenant d'un bateau	Hydrocarbure pour chauffage 20 tonnes
27 - 3	Rhin au Bingerloch	Collision	Mazout - 240 tonnes
15 - 4	Rhin près de Mainz (km 436)	Collision	Mazout - 300 tonnes
26 - 4	Rhin à Köln (km 696)	Tanker coulé	Essence - 6,5 tonnes
31 - 5	Rhin près de Duisbourg (km 782)	Inconnue	Tache d'hydrocarbure de 4 km de longueur environ
31 - 5	Rhin entre Koblenz et Mainz (km 561)	Bateau coulé	Gas-oil - 40 tonnes
22-70	Rhin à Lobith	Inconnue	Tache d'hydrocarbure
15 - 8	Rhin à Duisbourg (km 780)	Inconnue	Essence - 60 à 70 tonnes
18 - 9	Lek à Ammerstol	Collision	Engrais chimique - 350 tonnes
12 - 11	Waal à Tiel	Matière provenant d'un bateau	Gas-oil - 200 tonnes
7 - 12	Rhin à Wezel (km 812)	Collision	Hydrocarbure - 12.000 litres
8 - 12	Rhin à Bonn (km 655)	Collision par brouillard	Mazout - 10 tonnes
29 - 12	Rhin à Bonn (km 655)	Matière provenant d'un bateau	Gas-oil - 14 tonnes

N.B.- Ce tableau a été établi d'après les données publiées par la "Rijncommissie waterleidingbedrijven (RIWA, Pays-Bas; Rapport 1970).

Tableau n° 3

Pollutions dues à des accidents de navigation  
et pollutions susceptibles d'avoir la même origine.

Année 1971

Date de l'avertissement	Lieu de l'incident	Nature de l'incident	Nature de la pollution
9 - 2	Au Nord de Köln	Inconnu	Très grande tache d'hydrocarbure
16 - 2	Düsseldorf	Collision	Huile minérale - 200 litres
14 - 5	Düsseldorf	Accident concernant un bateau chargé de produits chimiques	Acides et nitrite
15 - 5	Nijmegen	Inconnue	Mort de poissons
10 - 8	Leverkusen	Fuite d'un tanker	OrthoXylène
12 - 12	Lobith	Inconnue	Gas-oil - 15 tonnes

N. B. Ce tableau a été établi d'après les données publiées par la "Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet" (IAWR, Rapport 1971).

Tableau n° 4

Pollutions dues à des accidents de navigation  
et pollutions susceptibles d'avoir la même origine.

Année 1972

Date de l'avertissement	Lieu de l'incident	Nature de l'incident	Nature de la pollution
14 - 4	Rhin à Dinslaken (km 798)	Collision	Essence - 80 tonnes
1 - 5	Rhin à Bruckhausen (km 789)	Fuite d'un tanker à la suite d'un échouage	Hydrocarbure pour chauffage - 40 tonnes
25 - 5	Rhin à Haffen (km 830)	Collision	Hydrocarbure pour chauffage - 40 tonnes
5 - 7	Rhin à Xanten (km 823)	Fuite d'un bateau	Huile pour machines - 19 tonnes
19 - 7	Waal à Nijmegen	Inconnue	Tache d'essence
25 - 7	Lek (km 935)	Rejet d'une installation de désablage	Tache d'hydrocarbure

N. B. Ce tableau a été établi d'après les données publiées par la "Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (IAWR, Rapport 1972).

Références bibliographiques  
du chapitre consacré  
aux pollutions occasionnées par la navigation.

1. ANNE P.  
Etude préliminaire sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan.  
Commission des Communautés Européennes - Environnement et qualité de la vie.  
Septembre 1973 ; EUR 5014
2. Rijncommissie waterleidingbedrijven (RIWA)  
Jaarverslag 1969.
3. Rijncommissie waterleidingbedrijven (RIWA)  
Jaarverslag 1970.
4. Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugs-  
gebiet (IAWR)  
Jahresbericht 1971
5. Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugs-  
gebiet (IAWR)  
Jahresbericht 1972
6. Die Verunreinigung des Rheins und seiner wichtigsten  
Nebenflüsse in der Bundesrepublik Deutschland.  
Zwischenbericht der Arbeitsgemeinschaft der Länder zur  
Reinhaltung des Rheins über der Stand 1971.  
Septembre 1972.
7. Commission centrale pour la navigation du Rhin.  
Règlement pour le transport de matières dangereuses du Rhin. (ADNR)  
(y compris les fascicules 1 et 2 et les annexes A et B).
8. Commission centrale pour la navigation sur le Rhin.  
Règlement de police pour la navigation du Rhin (y compris les prescriptions  
concernant les rades du Rhin).

## Chapitre VII.

### Pollutions dues à des corps non organiques.

Nous examinerons successivement les origines des pollutions, les teneurs et les charges du Rhin et les conséquences de ces pollutions, puis nous présenterons quelques observations sur la situation actuelle.

#### 1. Origines des pollutions.

Les rejets qui sont essentiellement à l'origine des métaux présents dans les eaux du Rhin sont très nombreux et très variés ; cela tient à la fois à la diversité des métaux utilisés et au fait qu'un même métal est susceptible de faire l'objet de travaux et d'utilisations de différentes natures.

Parmi les activités auxquelles sont dues les pollutions par les métaux on peut citer : les industries métallurgiques, les industries chimiques, les industries de traitement de surface des métaux, les activités agricoles, les activités de caractère sanitaire, les opérations comportant des combustions, la circulation de véhicules automobiles, etc.

Les rejets en question peuvent aboutir directement au fleuve ou y parvenir par l'intermédiaire du sol ou de l'atmosphère ; les précipitations, le ruissellement, le régime de l'eau du sol jouent un rôle important dans le deuxième cas.

Certaines de ces pollutions correspondent à un débit non négligeable, permanent ou non, de métaux polluants ; d'autres rejets par contre, ne contiennent que des quantités de métaux très faibles en chaque point mais sont à la fois multiples et permanents, au moins à certaines époques, (cas de l'utilisation pour l'industrie et le chauffage de combustibles dont la teneur en métaux est très faible), ce qui peut donner lieu à des effets d'accumulation.

Voici à titre d'exemple, selon L. Schepers, J. Beck, D.J. Kuenen, H. van Genderen, L. Revallier et H. Hoog (1) la répartition, en fonction des différentes origines, du mercure utilisé aux Pays-Bas en 1970.

	<u>Hg</u> Tonnes/an	
<b>Industrie :</b>		
chlore et soude caustique	20	
papier	0,2	
peintures	23,6	
laboratoires	2,5	<u>46</u>
 <b>Agriculture et horticulture :</b>		
pommes de terre de semence	0,5	
semences	1,5	
bulbes à fleurs	0,75	
fruits	1,25	<u>4</u>
 <b>Divers :</b>		
hôpitaux	1,5	
médicaments	0,2	
odontologie	0,2	
combustion du charbon*	2	
fumée du tabac*	0,05	
incinération de résidus*	1	<u>5</u>
 Non spécifiés**		 15
<b>Total général</b>		 <u>70</u>

---

\* Libéré en totalité ou en partie dans l'air et lavé par les eaux de pluie.

\*\* Dont en particulier le mercure utilisé pour la fabrication d'instruments (thermomètres par exemple), d'appareils (thermostats par exemple) et de lampes pour éclairage.

Il faut ajouter aux quantités de métaux provenant de rejets celles qui ont pour origine des phénomènes naturels tendant à la libération des métaux contenus dans les roches et les minéraux. Les mêmes auteurs que ci-dessus (1) indiquent par exemple que la teneur naturelle en mercure des eaux de mer, des eaux souterraines et des eaux de pluie est de  $5 \cdot 10^{-5}$  mg/l environ.

## 2. Teneurs et charges du Rhin en métaux.

### 21. Teneurs \*

Nous fournirons d'abord quelques données sur les teneurs relevées en différents lieux, puis nous effectuerons l'examen de différents travaux en nous efforçant de mettre en lumière les mécanismes relatifs à l'évolution des métaux dans le milieu aquatique.

#### 211. Relevés de teneurs relatives à l'eau du Rhin

De nombreux résultats analytiques ont été publiés au sujet de la teneur du Rhin en différents métaux, en divers lieux et à des époques variées. La plupart de ces données sont incluses dans l'étude effectuée par J. Bouquiaux (2), relative aux teneurs en micro-polluants non-organiques relevées dans l'environnement en ce qui concerne les pays appartenant à la Communauté économique européenne. Nous fournissons dans le tableau n°1 (ci-après un extrait de ces données, qui, bien que très succinct, donne une vue d'ensemble de la situation actuelle, au sujet de la composition de l'eau du Rhin, pour la plupart des métaux à prendre en considération dans l'étude des pollutions. Précisons que les valeurs indiquées sont des moyennes dont on trouvera les caractéristiques dans la publication indiquée ci-dessus.

---

\* Les teneurs en différents éléments seront exprimées ainsi :  
- éléments contenus dans l'eau : en mg/l ou en  $\mu\text{g/l}$   
- éléments contenus dans des matières solides : en "pour mille" (‰)  
ou en parties par million (p.p.m.).

Tableau n° 1

	<u>Elément</u> <u>total</u>	<u>Elément.</u> <u>dissous</u>	<u>Origines des données</u> (La correspondance entre les nombres ci- dessus et des labo- ratoires est indiquée en bas de page).
<u>Cadmium</u> - 1971 et 1973			
à Braubach	4	3	
à Emmerich	8	5	1
<u>Chrome</u> - 1971 - 1972			
à Braubach	51	20	1
à Emmerich	148	31	1
<u>Cobalt</u> - 1971 - 1972			
à Braubach	6	3	1
à Emmerich	11	5	1
<u>Cuivre</u> - 1971 - 1972 (sauf : Emmerich, élément dissous : 1969 - 1972)			
à Braubach	25	12	1
à Emmerich	53	13	1
<u>Plomb</u> - 1971 - 1972			
à Braubach 1971 - 1972		11	1
à Emmerich		15	1
<u>Mercure</u> - 1972 - 1973			
à Braubach	0, 0,81	0,35	1
à Koblenz	0,44	0,18	1
à Emmerich	2,0	0,84	1
<u>Molybdène</u> - 1971 - 1973			
à Wiesbaden 1971 - 1972	0,9		3
à Bimmen	2,5		2
<u>Nickel</u> - 1971 - 1972			
à Braubach	25	16	1
à Emmerich	37		1
1969 - 1972			
à Emmerich	18		1
<u>Vanadium</u> - 1971 - 1973			
à Wiesbaden 1971 - 1972	3,1		3
à Bimmen	7,2		2
<u>Zinc</u> + 1971 - 1972 (sauf : Emmerich, élément dissous : 1969 - 1972)			
à Braubach	174	96	1
à Emmerich	340	170	1

Origine des données :

1. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
2. Institut für Wasser - Boden - und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamt Berlin - Dahlem.
3. Hygiene Institut der Joh. Gutenberg Universität, Mainz.

212. Examen de différents travaux

2121. Principaux résultats obtenus<sup>\*</sup>.

- Travaux de H. Herrig (4)

L'auteur a déterminé les teneurs moyennes, indiquées ci-dessous, pour le Rhin et ses affluents, en ce qui concerne les matières en suspension, les dépôts et les sédiments voisins des rives, pour des prélèvements effectués de 1964 à 1966.:

Plomb	Zinc	Cuivre	Nickel	Manganèse
		p.p.m.		
500	1 240	240	30	1 130

H. Herrig fait remarquer que la teneur de l'eau en métaux à l'état dissous (tels que ceux indiqués ci-dessus) est limitée du fait des phénomènes d'absorption et d'échanges d'ions avec des matières solides, et notamment de matières organiques telles que des résidus d'hydrocarbures et des acides humiques.

- Travaux de H. Hellmann et A. Griffatong (5)

Les auteurs ont effectué des déterminations des teneurs en zirconium, en zinc et en cuivre des matières en suspension dans les eaux du Rhin à certaines époques de l'année 1967. Les auteurs rappellent à ce sujet que les matières en suspension peuvent être l'objet de deux phénomènes différents : une absorption de métaux ou au contraire une libération de ces éléments (qui passent alors dans l'eau), ce dernier cas se produisant notamment lorsque ces matières en contiennent naturellement.

Le zirconium a été introduit dans ce travail essentiellement à titre de témoin, étant donné que les pollutions par des rejets contenant ce métal sont pratiquement négligeables.

Au sujet du zinc et du cuivre les auteurs distinguent, par contre, une charge primaire, d'origine naturelle (ou back-ground) et une charge secondaire due à des rejets.

Les prélèvements ont été effectués à Breisach, Mainz, Koblenz Wesel et à la frontière germano-néerlandaise. Dans différents cas les teneurs observées dans une section transversale du fleuve, varient, selon le point considéré, sous l'effet d'effluents ou de déversements.

Les résultats obtenus peuvent être résumés succinctement de la manière suivante :

a) à Breibach : voici un extrait des teneurs trouvées en ce qui concerne les teneurs en zirconium et en zinc des matières en suspension et les teneurs correspondantes de l'eau qui contient ces matières :

Teneurs de l'eau en matières en suspension	Zr		Zn	
	Résultats calculés sur les mati- ères en sus- pension (sur matière sèche)	Résultats calculés sur le vo- lume d'eau correspon- dant	Résultats calculés sur les mati- ères en sus- pension (sur matière sèche)	Résultats calculés sur le vo- lume d'eau correspon- dant
g/m3	p.mille	mg/l	p.mille	mg/l
11,8 (teneur minimale)	0,23	0,003	0,63	0,007
81,8 (teneur maximale)	0,28	0,023	0,46	0,037

On voit que les teneurs en zirconium ont été particulièrement faibles.

Les teneurs en cuivre ont été trop basses pour être déterminées.

Les teneurs en zinc, par contre, n'ont pas été négligeables.

Les données suivantes, réitérées à Mainz, Koblenz, Wesel et à la frontière germano-néerlandaise portent uniquement sur les teneurs en métaux des matières en suspension :

b) à Mainz :

Les teneurs en Zirconium n'ont guère été différentes de celles de Breibach.

Les teneurs en zinc relevées en août 1967 ont été particulièrement élevées : on a trouvé sur le côté gauche du fleuve et au milieu, des valeurs comprises entre 0,6 ‰ et 0,7 ‰ et sur le côté droit des teneurs de 2 ‰ à 3 ‰; ces valeurs maximales sont révélatrices de ces de pollutions.

Les teneurs en cuivre ont été très variables : 0,1 ‰ à 0,3 ‰ au milieu du fleuve, le double <sup>approximativement</sup> sur le côté droit et, sur le côté gauche, dans un cas : 1,57 ‰.

c) à Koblenz :

Les teneurs en zirconium sont restées basses.

Les teneurs en zinc se sont élevées à 0,8 ‰ et 0,9 ‰ dans la plupart des cas, mais un maximum de 2,4 ‰ a été constaté.

Les teneurs en cuivre se sont élevées selon les cas au voisinage de 0,2 ‰, 0,3 ‰ et 0,4 ‰.

Il semble que les valeurs les plus élevées constatées pour le zinc et le cuivre correspondent à des rejets.

d) à Wesel :

Les teneurs en zinc se sont élevées à 1,9 ‰.

Les teneurs en cuivre ont été comprises entre 0,5 ‰ et 1,4 ‰.

Pour ces deux métaux les teneurs de l'eau correspondant respectivement aux éléments dissous et aux éléments fixés sur les matières en suspension ont été voisines.

e) A la frontière germano-néerlandaise : les résultats obtenus ont confirmé en général ceux qui correspondent à Wesel.

Dans l'ensemble les teneurs en zinc et en cuivre ont augmenté de l'amont vers l'aval et d'une manière générale, les rapports :  $\frac{Zn}{Zr}$  et  $\frac{Cu}{Zr}$  croissent avec la pollution.

Les teneurs correspondant au "back-ground" sont de l'ordre de : 0,3 ‰ à 0,6 ‰ pour le zinc et de < 0,1 ‰ à 0,1 ‰ pour le cuivre ; des teneurs supérieures à ces valeurs révèlent des pollutions.

- Travaux de H. Hellmann (6)

Dans ces recherches différents métaux contenus dans les matières en suspension et en solution dans l'eau ont été pris en considération.

Voici un résumé des résultats obtenus en 1969 (les teneurs relatives aux matières en suspension étant exprimées en fonction de la substance sèche) :

Zinc : à Koblenz : Pour des débits égaux ou supérieurs à la moyenne des matières en suspension, les teneurs/ont été comprises entre 0,5 ‰ et 0,8 ‰ ; pour des débits plus faibles les concentrations ont été plus élevées et ont dépassé 1 ‰. De plus on a observé pour des débits croissants que :

- les teneurs de l'eau correspondant à la totalité du zinc lié aux matières en suspension augmentent ;

- les teneurs de l'eau correspondant au "back-ground" également ;
- les teneurs de l'eau correspondant à la fraction du zinc lié aux matières en suspension, qui provient des rejets, diminue : la valeur maximale de ces teneurs est : 10 µg/l.

Par ailleurs la teneur de l'eau en zinc dissous a été comprise généralement entre 70 µg/l et 100 µg/l et il a été établi que cette teneur diminue lorsque le débit augmente. Dans le cours inférieur du Rhin des variations analogues des teneurs correspondant au "back-ground" ont été constatées.

Cuivre: à Koblenz : Les teneurs de l'eau en cuivre lié aux matières en suspension et en cuivre dissous ont été beaucoup plus faibles que dans le cas du zinc ce qui rend la détermination du "back-ground" difficile ; la teneur des matières en suspension correspondant à ce back-ground peut être estimée à 0,01 ‰. La teneur de l'eau en cuivre lié aux matières en suspension a été de l'ordre de 10 µg/l et la teneur en cuivre dissous de l'ordre de 1,5 µg/l au maximum.

Dans le cours inférieur du Rhin, les teneurs de l'eau correspondant au cuivre lié aux matières en suspension ont été comprises entre 2,8 µg/l et 21 µg/l, l'ordre de grandeur de la moyenne étant de 10 µg/l. Les teneurs en cuivre dissous ont été comprises entre 5 µg/l et 10 µg/l : par comparaison avec Koblenz cela représente une augmentation très notable.

Plomb : Pour des débits élevés on a noté à Breisach (cours supérieur du Rhin) des teneurs en plomb des matières en suspension de 0,2 ‰ à 0,3 ‰ et, dans le cours inférieur du Rhin, de l'ordre de 0,5 ‰. Les teneurs correspondant au "back-ground" pour les cours supérieur, moyen et inférieur peuvent être estimées respectivement à 0,3 ‰, 0,4 ‰ et 0,5 ‰.

A Koblenz les teneurs de l'eau correspondant au plomb lié aux matières en suspension ont été comprises entre 1 µg/l et 20 µg/l et les teneurs en plomb dissous ont été en moyenne inférieures à 4 µg/l. Entre Koblenz et Emmerich la différence de teneurs entre ces deux formes du plomb tend à s'accroître (par exemple on peut trouver respectivement: 100 µg/l et 10 µg/l).

Autres métaux examinés : (chrome, nickel, étain, zirconium, strontium et rubidium) : On a trouvé du <sup>chrome</sup> occasionnellement des les sédiments, mais jamais dans les matières en suspension. Le nickel n'a été rencontré

que rarement dans ces matières (selon W. Kölle (7) les teneurs de nickel à l'état dissous dans le cours inférieur du Rhin sont comprises entre 1 µg/l et 10 µg/l.)

Les concentrations du zirconium, du strontium et du rubidium dans les matières en suspension ne varient guère ; dans le cours inférieur du Rhin les valeurs trouvées sont de l'ordre de 45 µg/l.

Les observations effectuées par H. Hellmann (6) montrent qu'on peut distinguer deux groupes de métaux :

- les métaux dont la teneur dans les matières en suspension ne varie que faiblement, quels que soient le débit et le lieu de prélèvement ; le zirconium, le strontium et le rubidium en sont des exemples,
- les métaux dont cette teneur dépend de différents paramètres (débit, temps, lieu de prélèvement) ; on peut citer dans ce groupe : le zinc, le cuivre, le plomb, le nickel, l'étain et le chrome.

Au sujet de cette deuxième catégorie il convient de souligner que l'intensité de l'absorption par les matières en suspension varie selon les métaux considérés ; dans l'ordre d'intensité croissante on peut citer la suite : zinc, cuivre, plomb. En outre on peut considérer, sur le plan pratique, que cette absorption par les matières en suspension a pour effet une "décontamination" des eaux polluées par ces métaux, mais il faut noter qu'il s'agit là que d'une amélioration partielle et, généralement très limitée (par exemple la diminution de teneur en métaux solubles qui est la conséquence de cette absorption est couramment de l'ordre de 1 % à 10%). On ne peut donc compter en général sur ce phénomène pour améliorer sensiblement la qualité de l'eau du Rhin, notamment dans le cas de la présence de métaux toxiques ou radioactifs.

Au sujet de la "décontamination" il convient d'ajouter, par ailleurs, que la filtration de l'eau du Rhin à travers les rives (couramment pratiquée en vue de l'obtention d'eau destinée à la préparation d'eau potable) ne permet pas d'éliminer notablement les métaux présents dans le fleuve, ainsi que l'on montré différents travaux.

- autres travaux de H. Hellmann (8)

Le dosage de différents métaux dans des sédiments prélevés dans le Rhin et certains de ses affluents a été effectué au cours de la période 1964 - 1970. Les points de prélèvement étaient répartis du lac de Constance\* à la frontière germano-néerlandaise. Parmi les

---

\* Ce lac est désigné en langue allemande sous le nom de "Bodensee"

résultats fournis par l'auteur au sujet de prélèvements effectués en décembre 1969 dans la région de Ginsheim - Mainz on remarque particulièrement ceux qui permettent de conclure à l'influence des cours d'eau les uns sur les autres en ce qui concerne le déôt des substances en suspension ; voici quelques données à cet égard :

	<u>Analyse de sédiments</u>		
	<u>Zn</u>	<u>Pb</u>	<u>Cu</u>
	Teneurs p. 1000 de matière calcinée		
Schwarzbach (cours d'eau), en amont du confluent	0,16	0,27	non dosé
Mühlkanal (canal) en amont du confluent	0,49	0,30	0,12
Altrhein (cours d'eau) en amont du confluent	3,22	0,61	0,67
Confluent des trois cours d'eau ci-dessus	5,02	0,90	1,05

Sur un plan plus général, en vue de l'interprétation des teneurs des sédiments rhénans, l'auteur a calculé les teneurs que l'on trouverait en l'absence d'apports polluants (ou "back-ground"); on peut retenir à cet égard les valeurs suivantes pour les métaux examinés ici :

	Teneurs p. 1000 de matière calcinée
Zn	0,2 à 0,4
Pb	< 0,1 à 0,1
Cu	< 0,1 à 0,1

- Travaux de K. Banat, V. Förstner et G. Müller (9).

Ces auteurs ont mis à profit la période de très basses eaux qui s'est produite en octobre 1971 pour prélever des échantillons de dépôts limoneux existant dans des zones recouvertes d'eau en période normale, de Basel à Biesboch (début du delta) ; voici un extrait des résultats obtenus :

Granulométrie de la fraction argileuse considérée		Pb	Hg	Cr	Ni	Cu	Zn
Tronçon de Basel à la région de Mainz	< 2 $\mu$	155	10	121	152	86	520
Tronçon de la région de Mainz à la fron- tière germano-néer- mandaise	< 2 $\mu$	369	18	493	175	286	1 239
Station de Biesbach	< 16 $\mu$	850	18	760	"	470	3 900

On constate une augmentation nette des teneurs des dépôts fluviaux de l'amont vers l'aval\*.

Les auteurs estiment, en raison du fait que la capacité d'absorption des matières en suspension à l'égard des métaux lourds est limitée, qu'une augmentation de la charge du Rhin compromettrait davantage l'approvisionnement en eau potable dans les zones où cette dernière<sup>est</sup> préparée à partir d'eau obtenue par filtration à travers les rives.

- Travaux de A.J. de Groot (10)

L'auteur souligne le fait que les métaux lourds se trouvent, pour leur plus grande part, dans la partie fine des sédiments et plus spécialement dans celle qui est formée d'éléments granulométriques de dimensions inférieures à 16  $\mu$  (le calcaire étant exclu). De plus il indique qu'il existe, dans une même zone, un rapport linéaire entre la teneur en éléments-traces des sédiments et la teneur de ces derniers en éléments < 16  $\mu$ . Compte-tenu de ce fait il est possible de caractériser par une seule valeur la teneur en un métal donné de sédiments prélevés dans une zone donnée en calculant, par extrapolation, la teneur qu'aurait le sédiment si celui-ci n'était

\* Il est à noter que, pour un sédiment donné, les teneurs trouvées sont d'autant moins élevées que la fraction granulométrique considérée est moins fine ; la conclusion exprimée est donc bien valable également dans le cas de la comparaison tronçon aval allemand - zone du delta.

composé (à l'exclusion du calcaire) que d'éléments < 16  $\mu$ .

Voici une partie des résultats analytiques obtenus sur des échantillons/ <sup>de sédiments</sup> prélevés en différents points du delta rhénan et le long de la côte, en direction du Nord-Est, en ce qui concerne le manganèse, le cobalt et le cuivre (les teneurs de ces métaux sont exprimées en fonction de la fraction granulométrique correspondant aux éléments de dimensions inférieures à 16  $\mu$ , (le calcaire étant exclu, compte-tenu de l'extrapolation qui vient d'être indiquée) :

	Mn i/m	Co p. p. m.	Cu
Biesboch (partie Est du delta)	2601	24	470
Haringvliet (partie Ouest du delta)	2572	18	183
Brielse Gat (début de la zone marine)	2583	18	146
Partie Nord de la Frise	2632	10	53

On constate que la teneur en manganèse reste pratiquement constante jusque dans le Nord des Pays-Bas. (ce phénomène s'explique par un transport dans des conditions aérobies qui ne permettent pas de modifications des oxydes de manganèse insolubles). Par contre, les teneurs en cobalt et surtout en cuivre diminuent par suite d'une destruction intense de la matière organique au cours du transport des sédiments ; cette destruction a lieu dans le delta et dans le milieu marin et s'effectue également dans les dépôts formés sur les rives du fleuve à partir de sédiments transportés.

Lorsqu'un abaissement notable de la teneur en cuivre de ces dépôts se produit, il peut en résulter des conséquences défavorables dans le cas de leur utilisation comme sols agricoles.

L'auteur attire l'attention sur l'importance de la fixation, plus ou moins marquée, de différents métaux par l'intermédiaire de certains corps organiques (chélates) dans les sédiments.

Il convient également de souligner l'intérêt des observations effectuées sur le manganèse, dont la détermination de la teneur permet de reconnaître l'origine des différents sédiments et de recueillir des informations sur la direction de leur déplacement dans les deltas. Les travaux poursuivis montrent aussi l'import-

tance des éléments traces dans les dépôts fluviaux, plus spécialement lorsque l'installation de polders est envisagée.

- Travaux de A.J. de Groot, J.J.M. de Goeij et C. Zegers (11)

Ces travaux ont porté sur différents métaux, dont le mercure, présents en particulier dans les sédiments du Rhin aux Pays-Bas.

Voici tout d'abord quelques données sur les teneurs de ces sédiments, à Biesboch, au cours de la période 1958 - 1960. Les teneurs sont exprimées en fonction de la fraction granulométrique correspondant aux éléments de dimensions inférieures à 16  $\mu$ . (le calcaire étant exclu) compte-tenu de l'extrapolation précédemment indiquée :

		p.p.m.
	Hg	18
Mn:	Mn	2 600
	Zn	3 900
	Cr	760
	Pb	850
	Cu	470
	As	310
	Co	43

Ces données se rapportent à des débits qui ne sont pas notablement supérieurs à la moyenne ; lorsque le débit augmente des matières préalablement déposées sont remises en suspension et l'on constate que les nouveaux dépôts qu'elles forment en aval ont généralement des teneurs en métaux moins élevées que celles des sédiments initiaux. Cependant les teneurs des dépôts prélevés dans les zones inondées peuvent être relativement élevées ; ainsi en 1970 la teneur en mercure, pour l'ensemble de ces zones a été de l'ordre de 8 p.p.m.

Les auteurs ont observé que, dans le cas de l'Ems, cours d'eau peu pollué les teneurs de la plupart des métaux sont notablement moins élevées que dans celui du Rhin aux Pays-Bas ;

Les auteurs ont étudié également la variation des teneurs en mercure des sédiments fluviaux et des sédiments marins de Biesboch jusqu'au Nord des Pays-Bas ; à Biesboch la teneur en mercure des sédiments (calculée après la même extrapolation que précédemment)

est passée de 18,1 ppm pour la période 1958 - 1960 à 23,3 ppm pour la période 1969 - 70 ; de plus le taux de mobilisation du mercure accru notablement, pour ces deux périodes, de Biesboch aux Pays-Bas.

Il est à remarquer que ce taux de mobilisation peut varier notablement selon les métaux considérés ; compte-tenu des stabilités relatives des complexes/solubles formés on peut classer ainsi les métaux suivants dans l'ordre de stabilité décroissante : mercure, cuivre, plomb, zinc, cobalt, manganèse. L'ordre relatif à la mobilisation de ces métaux constaté effectivement par les auteurs, du delta du Rhin à la mer de Wadden, est très sensiblement le même.

Les complexes organo-métalliques solubles se forment grâce à la décomposition des matières organiques. Les auteurs font remarquer à ce sujet que la teneur en azote des sédiments a augmenté très fortement au cours des années, par suite de l'écroissement de la pollution, ce qui a entraîné une diminution de la vitesse de décomposition des matières organiques qui, de ce fait sont plus abondantes dans les sédiments ; il s'ensuit une accumulation plus grande des métaux dans les dépôts fluviatiles.

Au sujet du mercure, il convient de rappeler, en outre, le rôle joué par l'azote et le soufre dans la formation de complexes organiques particulièrement stables, ainsi que l'aptitude de ce métal à former également des composés minéraux stables au contact des ions chlore présents dans l'eau, tels que :  $\text{Cl}_2\text{Hg}$  et  $(\text{Cl}_4\text{Hg})^{--}$  ; ces composés sont susceptibles d'entrer en compétition avec divers complexes organiques du mercure.

Les auteurs soulignent aussi le fait suivant : la fermeture par une digue d'une partie de l'estuaire du Rhin (Haringvliet) a réduit très sensiblement l'action des marées sur les dépôts, ce qui aura probablement pour conséquence de diminuer la mobilité des métaux contenus dans les sédiments.

Il convient de remarquer enfin que 10 pour cent environ de l'eau du Rhin se rend au lac d'Ijssel en passant par le cours d'eau du même nom, sans que l'influence d'une marée intervienne, de sorte qu'il ne se produit pas de mobilisation notable des métaux lors du dépôt, dans la partie Sud du lac d'Ijssel, des matières en suspension transportées par ce cours d'eau.

- Travaux de A.W. Fonds (12)

A l'occasion d'une étude sur l'effet des pesticides sur la composition de l'eau et, en particulier, de ceux qui contiennent du mercure sous forme organique ou minérale, l'auteur a effectué une enquête sur la teneur de ce métal dans les eaux de surface aux Pays-Bas. Voici un résumé des résultats obtenus en ce qui concerne le Waal en amont de Nijmegen, de septembre 1969 à décembre 1970 (3 échantillons ont été prélevés par semaine jusqu'en juillet, puis un seul par semaine de juillet à décembre ; les déterminations ont porté sur la somme : mercure soluble + mercure insoluble).

<u>Débit à Lobith</u>	<u>Nombre d'échantillons</u>	<u>Teneurs moyennes en mercure total</u>
m <sup>3</sup> /s		µg/l
1 500	34	2,0
1 500 à 2 500	33	0,9
2 500 à 3 500	26	0,8
3 500	39	0,7

On voit que, pour des débits supérieurs à 1 500 m<sup>3</sup>/s l'influence du débit est relativement faible. En outre l'analyse a montré que 75 % en moyenne du mercure total se trouve fixé par absorption sur les matières en suspension ; la teneur moyenne de ces dernières (sur 25 échantillons), exprimée en fonction de la matière sèche, a été comprise entre 8 p.p.m. et 48 p.p.m. (moyenne 19 p.p.m.).

L'examen de la concentration en mercure des eaux provenant de différentes aires de captage à été également effectué ; l'eau prélevée dans le Rhin avait des teneurs comprises entre < 0,1 µg/l et 1,5 µg/l, la teneur moyenne en mercure <sup>étant</sup> de 0,3 µg/l.

Les déterminations effectuées dans des zones agricoles et horticoles ont révélé des teneurs en mercure dont la moyenne a été, sur 101 échantillons, de 0,5 µg/l. Dans des eaux industrielles on a observé des teneurs comprises entre 160 µg/l et 500 µg/l ; dans un canal de déversement d'eaux appartenant à cette catégorie la teneur moyenne était de 4 µg/l avec un maximum de 21 µg/l.

L'auteur a observé également que les teneurs de l'eau prélevée dans l'Ijsselmer en 1970 (11 échantillons en différents

points) ont été comprises entre 0,1  $\mu\text{g}/\text{l}$  et 0,7  $\mu\text{g}/\text{l}$  et que, dans la mer de Wadden (4 échantillons en 1970) la teneur maximale trouvée a été de 0,2  $\mu\text{g}/\text{l}$ .

2122. Phénomènes et mécanismes mis en évidence dans les travaux examinés.

Il ne peut entrer dans le cadre de la présente étude de discuter en détail (en dépit de l'intérêt qu'ils présentent) les résultats des travaux qui viennent d'être examinés ; nous nous bornerons à rappeler, en raison de leur importance dans le domaine des pollutions, les phénomènes ou mécanismes suivants, dont la mise en évidence découle des recherches exposées :

- Echanges réciproques de métaux entre l'eau d'une part (éléments en solution) et les matières en suspension ou les sédiments d'autre part (éléments fixés sur ces matières)
  - Existence d'une relation linéaire entre la teneur des sédiments en métaux d'une part et leur teneur en sédiments fins d'autre part.
  - Phénomènes de mobilisation plus ou moins intense, selon les éléments considérés, des métaux fixés sur des matières solides déposées ; phénomènes de mobilisation lors de la remise en suspension de matières solides préalablement déposées.
  - Possibilité de phénomènes de "décontamination", mais d'intensité limitée, par fixation sur des matières solides.
  - Notion de "back-ground" appliquée aux métaux en solution et aux métaux fixés sur des matières solides.
- Possibilité d'utilisation de "métaux-témoins" pour le diagnostic des pollutions (zirconium par exemple) ou pour l'étude des mouvements des sédiments (manganèse).
- Phénomènes de variation des teneurs des sédiments de l'amont vers l'aval.
- Influence du débit sur la teneur en métaux des matières en suspension.
- Phénomènes de précipitation, aux confluent, de matières solides contenant des métaux.

Il est à remarquer que l'ensemble des phénomènes auxquels participent les métaux dans le milieu aquatique rhénan est très complexe et qu'il est difficile d'utiliser les données existantes en vue de la prévision de leurs mouvements.

#### 2123. Cas du mercure

Les phénomènes de transformation du mercure dans le milieu aquatique, de formes minérales en formes organiques, présentent un intérêt particulier, bien qu'ils ne soient pas spécifiques du Rhin. Rappelons simplement que le mercure sous forme minérale peut être transformé en mercure-monométhyle ( $\text{Hg CH}_3$ )<sup>+</sup>, qui est soluble dans l'eau où il se combine à des anions (radicaux acides), ou en mercure-diméthyle  $\text{Hg (CH}_3)_2$ , qui a une tension de vapeur non négligeable et est très soluble dans les matières grasses. Cette formation de complexes organo-métalliques s'effectue sous l'influence de bactéries ; elle a pour conséquence une augmentation marquée du danger présenté par le mercure, surtout dans le cas du mercure-diméthyle.

#### 22. Charges

Les quantités totales de métaux transportées par le Rhin sont importantes et, pour certains d'entre eux considérables ; on peut mentionner pour l'année 1972, selon la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau (13), les charges suivantes observées à Lobith (ainsi que les teneurs correspondantes) :

	Charges tonnes/an	Teneurs moyennes annuelles µg/l
Chrome	3 000	60
Cuivre	2 500	50
Zinc	12 500	250
Cadmium	200	4
Mercure	100	2
Plomb	2 000	40
Antimoine	150	3

Au sujet du mercure on peut signaler, selon L. Schepers, W.J. Beck, D.J. Kueners, H. van Genderen, L. Revallier et H. Hoog (1) que la charge du Rhin aux Pays-Bas a été multipliée par un facteur 14 en 40 ans.

### 23. Observations sur l'interprétation des données disponibles

Les travaux effectués apportent de nombreuses données à divers égards et, notamment, en ce qui concerne la présence de différents métaux dans le milieu aquatique rhénan et les phénomènes dont ils sont l'objet. Mais les renseignements actuellement disponibles ne permettent pas, en général, de déterminer la provenance et l'importance des rejets ; on remarque, à ce sujet, qu'il n'est pas toujours possible de joindre à l'indication des teneurs celle des débits, que les mécanismes de fixation et de libération par les matières solides sont complexes et, en outre, que divers métaux sont susceptibles d'avoir une origine naturelle.

Il est donc très souhaitable que les mesures systématiques sur les teneurs et les charges en de nombreux points soient largement développées.

### 3. Conséquences de la pollution par les métaux.

Nous examinerons successivement les conséquences sur la préparation de l'eau potable, sur certains sols cultivés et sur les animaux.

#### 31. Préparation d'eau potable\* :

La Communauté de travail des services rhénans de distribution d'eau (ARW) estime qu'actuellement les techniques de préparation d'eau potable à partir d'eau du Rhin permettent d'abaisser les teneurs en métaux à des niveaux qui ne présentent pas de danger (14) (15). Il est cependant nécessaire que ces teneurs ne s'accroissent pas ; de plus il convient de souligner (15) que l'efficacité de la technique comportant la filtration de l'eau du Rhin à travers les rives risque d'être insuffisante dans le cas où des teneurs élevées en métaux lourds se produiraient pendant une période assez longue. Signalons également que H. Hellmann (6) estime que cette technique ne permet pas toujours une élimination satisfaisante (cas, notamment, du manganèse, du zinc et du cuivre).

En ce qui concerne le cas du mercure aux Pays-Bas on peut citer les observations suivantes de H.J.B. Boorsma (16) :

---

\* Rappelons que l'eau potable est utilisée non seulement pour la boisson mais aussi pour la préparation domestique des aliments et par diverses industries alimentaires.

Les phénomènes d'élimination de ce métal qui s'observent dans le Rhin à partir des matières en suspension et des dépôts formés dans le lit du fleuve, et qui prennent une intensité particulière au cours de périodes de débits élevés, ne peuvent se produire d'une manière comparable dans les polders et dans le lac d'Ijssel. L'auteur estime que, dans ces deux derniers cas, une partie importante du mercure (50 % à 80 %) est fixée dans les dépôts. Dans les réservoirs utilisés pour le stockage de l'eau destinée à la préparation de l'eau potable la charge en certaines substances, notamment en métaux lourds augmente progressivement.

La lutte contre l'accumulation du mercure des réservoirs d'eau peut être menée soit en éliminant les matières en suspension avant le stockage, soit en effectuant un empoissonnement périodique, suivi éventuellement d'une destruction du poisson.

Des études se poursuivent sur ce sujet, en particulier en ce qui concerne l'influence d'une circulation artificielle de l'eau sur l'accumulation et la migration du mercure.

Notons également que la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau indique (13) qu'il existe un risque que les métaux, provenant du Rhin, et accumulés dans le lac d'Ijssel, dont l'utilisation comme réserve d'eau destinée à la préparation de l'eau potable est prévue, ne se remettent en solution soudainement, dans certaines conditions.

### 32. Effets sur certains sols cultivés.

Certains sols de prairies situées au bord du Rhin, aux Pays-Bas sont périodiquement inondés. M.C. Hedinga, J.H. Koeman, J.J.M. de Goeij, C. Zegers, J.H.P. Verwey, W.A. van Driel et A.J. de Groot (17) ont examiné l'éventualité d'un enrichissement en mercure de ces sols, qui pourrait avoir comme conséquence une accumulation de ce métal chez les vaches nourries de l'herbe obtenue sur ces terrains et, de ce fait, des conséquences néfastes chez les hommes qui en consomment la viande et le lait.

L'étude a été effectuée à Millingen, sur le Waal ; les analyses ont porté sur le lait obtenu, puis sur le cerveau, le foie, la viande, et le sang des vaches. On n'a pas constaté de teneurs en mercure particulièrement élevées chez ces vaches, par comparaison avec des vaches-témoins. En outre il n'existait pas encore de mercure sous forme de mercure-méthyle dans l'herbe provenant des prés inondés.

L'ensemble des observations effectuées sur les vaches ne permet pas de conclure à un danger de toxicité pour l'homme, mais il faut noter que ces animaux recevaient en hiver des aliments d'une autre origine.

Des lapins ont été également utilisés à titre de comparaison ; la teneur en mercure de leurs organes a été faible, bien qu'un peu plus élevée que chez les vaches ; ce phénomène tient peut-être au fait que ces lapins recevaient pendant toute l'année des aliments provenant de la région étudiée.

### 33. Effets sur les animaux aquatiques.

- Travaux de J.H. Koeman, J.H. Canton, Anke Woudstra, W.H.M. Peeters, J.J.M. de Goeij, G. Zegers et J.L. van Haften(18).

Les recherches effectuées par ces auteurs ont porté sur la présence du mercure dans le milieu littoral néerlandais en 1969 et 1970. La teneur en mercure de plantes et d'animaux marins appartenant à divers espèces a été déterminée ; il s'agissait en particulier d'algues, d'invertébrés, de poissons, de phoques et, également, d'oiseaux.

Indiquons notamment que les teneurs trouvées chez les moules ont été comprises entre 0,08 p.p.m. et 0,31 p.p.m. La contamination la plus forte du milieu s'observe le long des côtes de la Hollande septentrionale et méridionale (ce qui pourrait être dû à des apports de mercure provenant du Rhin) ; / il est probable que le mercure existe principalement sous forme d'ions complexes minéraux (Cl<sub>4</sub> Hg).<sup>---</sup>

Les auteurs estiment que, dans l'ensemble, les teneurs trouvées chez différents animaux dépassent la limite naturelle, donc qu'elles sont l'indice de pollutions mercurielles. On note également que les poissons de la mer de Wadden contiennent, en général, davantage de mercure que les poissons de haute mer rappelons à ce sujet que selon H. van Genderen (19) les animaux dont les poissons constituent la nourriture exclusive sont menacés dans leur existence.

- Travaux de R. Th. Roskam (20)

Les recherches de cet auteur ont porté sur la contamination par le mercure de divers poissons dans le lac d'Ijssel (notamment : anguille, sandre, perche, goujon, brème, éperlant).

Les teneurs trouvées au sujet du mercure présent sous forme de mercure-méthyle pour des poissons appartenant à divers espèces et d'âges variés, capturés en 1968, en 1969 et en 1970, sont comprises entre 0,02 p.p.m. et 1,8 p.p.m. (ces teneurs étant exprimées en fonction de la matière fraîche).

Une autre étude a eu pour objet la détermination du mercure, également sous forme de mercure-méthyle, chez des brochets d'origines diverses capturés en 1969 ; les teneurs trouvées dans le tissu musculaire de ces poissons sont comprises entre 0,4 p.p.m. et 1,2 p.p.m.

L'auteur a effectué en outre des recherches au laboratoire pour déterminer l'influence de l'addition de mercure-méthyle à l'eau dans laquelle ont été placés des anodontes : on constate ainsi une augmentation très nette avec le temps de la teneur en mercure de ces mollusques (durée des expériences : 20 à 40 jours environ).

Au sujet de la forme du mercure chez le poisson des analyses détaillées, effectuées sur un brochet et une anguille, tendent à montrer que ce métal se trouve essentiellement sous forme de mercure-diméthyle.

En outre l'auteur attire l'attention sur le fait que les eaux néerlandaises contiennent probablement du sulfure de mercure ( $\text{SH}_2$ ), en raison de la présence de sulfure d'hydrogène ( $\text{S H}_2$ ) ; or ce sulfure, très peu soluble, ne serait pas à considérer comme toxique ; le dosage de ce corps dans les eaux ne présenterait donc qu'un intérêt très réduit\*.

- Travaux de P.A. Greve et S.L. Wit (22)

Ces auteurs ont comparé la teneur en mercure de poissons de diverses espèces capturés en 1970 dans différents eaux et, notamment dans le lac d'Ijssel.

---

\* Cependant selon H. van Genderen, J.H. Canton, P. Leuwangh et J.J.T.W.A. Strik (21), certains auteurs estiment que le mercure sous forme de sulfure est susceptible d'être mobilisé dans certaines conditions.

Les résultats des analyses effectuées montrent des variations importantes de la teneur en mercure des anguilles provenant de différentes zones de ce lac ; la teneur moyenne la plus faible a été de 0,19 p.p.m. (à Uitdam), alors que la teneur moyenne pour l'ensemble de l'Ijsselmeer a été de 0,49 p.p.m. De plus les teneurs des anguilles du lac d'Ijssel sont, en moyenne, beaucoup plus élevées que celles des autres eaux néerlandaises pour lesquelles la teneur moyenne a été de 0,14 p.p.m. (cette constatation est basée sur un calcul statistique précis). Les auteurs estiment que la teneur élevée correspondant au lac d'Ijssel pourrait être due aux apports de mercure provenant du Rhin par l'Ijssel.

Selon A.W. Fonds (12) les eaux du Rhin sont celles qui présentent les teneurs en mercure les plus élevées.

Il n'existe pas encore de données suffisantes pour fixer une limite acceptable en ce qui concerne la teneur en mercure des poissons. Les auteurs citent les niveaux suivants :

norme suédoise	1 p.p.m.
norme américaine	0,5 p.p.m.
normes préconisées au Japon et en Suède	0,2 p.p.m.

L'Institut national de la santé publique des Pays-Bas poursuit actuellement des travaux destinés à apporter les données nécessaires à la fixation suffisamment précise de ces limites.

-Travaux effectués par l'organisation T N O (Laboratoire central).

Ces travaux ont porté/principalement sur les effets du cuivre sur les organismes animaux aquatiques d'eau douce et d'eau de mer (23). La charge annuelle totale en cuivre aux Pays-Bas est de 4 500 tonnes environ, dont 2 900 tonnes sont apportées par le Rhin\*. On note que la teneur en cuivre des eaux côtières néerlandaises, qui est d'ailleurs très variable, est, en moyenne, plus élevée que la teneur des océans et que les eaux intérieures ont une teneur encore plus élevée (10 µg à 20 µg/l en général, mais on peut observer des teneurs plus fortes dans certaines zones).

---

\* Cette valeur relative à l'apport du Rhin, est du même ordre de grandeur que celle précédemment citée (2 500 tonnes).

La teneur en cuivre des organismes animaux est liée par une loi linéaire à la teneur en cuivre de l'eau environnante. Il semble que la concentration-limite valable pour de nombreux organismes est approximativement de 10 µg/l.

Actuellement il n'apparaît pas qu'un enrichissement grave des organismes animaux se soit produit; cependant il est nécessaire de contrôler l'inocuité des effluents.

Il est à remarquer que la marge entre les concentrations en cuivre utile et les concentrations toxiques est relativement peu étendue\*.

#### 4. Observations générales sur la situation actuelle

Nous avons vu que les métaux contenus dans le Rhin sont soumis à différents phénomènes, qui ont notamment pour conséquences des changements de formes physiques et chimiques; de plus la présence de ces métaux peut être due non seulement à des rejets mais aussi à la libération de ces corps à partir de minéraux, de roches et de sols sous l'effet de mécanismes naturels. Il convient de remarquer également que les organismes aquatiques sont susceptibles de comportements variés en présence des pollutions par les métaux.

L'ensemble des phénomènes à prendre en considération en vue de porter un jugement sur ces pollutions et sur leurs conséquences est donc particulièrement complexe; en outre, les connaissances que l'on possède sur la plupart d'entre eux sont encore insuffisamment étendues\*\*.

On conçoit donc, compte-tenu de ces observations, qu'il peut être difficile d'évaluer avec précision la gravité de certaines de ces pollutions. Il est à remarquer, en particulier, que le danger potentiel qu'elles présentent dépend, notamment, des accumulations de métaux dans des matières solides et des formes sous lesquelles ils s'y trouvent.

Cependant, les inconvénients de ces pollutions en ce qui concerne l'utilisation de l'eau du Rhin en vue de la préparation d'eau potable sont certains. On note à ce sujet que la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau indique (13) que les teneurs en mercure, en cadmium et en plomb observées à Lobith en 1972 sont assez voisines des niveaux retenus dans les normes applicables

---

\* Signalons dans cet ordre d'idées que P. De Wolf, W.Ch. De Kock et A. Stam (24) ont mis en évidence l'action toxique de faibles concentrations (20 µg/l de Cu) sur des moules placées dans des bassins expérimentaux.

\*\* Cependant de nombreux travaux sont poursuivis dans ce domaine; signalons à ce sujet la participation active de la Commission des Communautés européennes à leur diffusion et à leur interprétation.

à l'eau de boisson de l'Organisation mondiale de la santé.

Au sujet des animaux aquatiques on constate que les phénomènes d'enrichissement en certains métaux ne sont pas exceptionnels; mais les limites à admettre en vue d'interpréter les teneurs trouvées chez les poissons et chez les mollusques ne sont pas fixées avec exactitude. On peut estimer qu'en l'absence de certitude il serait préférable de choisir ses niveaux assez bas et, si tel était le cas, certaines des teneurs trouvées apparaîtraient comme excessives. Il est à souligner également que, du fait de l'accumulation des métaux dans les chaînes alimentaires, de très faibles concentrations d'un métal tel que le mercure peuvent avoir pour conséquences des phénomènes de toxicité très nets chez des animaux qui se nourrissent principalement de poissons.

Il est bon de rappeler également que les eaux du Rhin polluent les eaux littorales néerlandaises : on sait en effet qu'il existe un courant marin qui entraîne les matières en suspension de l'estuaire vers le Waddenzee et même jusque dans la zone du Dollard\*.

On peut conclure de l'ensemble des faits exposés qu'il convient de prendre les mesures propres à réduire dans toute la mesure du possible la charge du Rhin en métaux\*\*. La Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau estime en particulier (25) que tout rejet de mercure devrait être interdit dans le bassin rhénan.

---

\* On sait que l'estuaire de l'Ems se trouve également dans cette zone.

\*\* On pourra consulter, au sujet des mesures à recommander d'une manière générale, mais applicables dans le cas des pollutions dues à des rejets de métaux, notre "Etude préliminaire sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan". (3).

Références bibliographiques

du chapitre relatif aux pollutions dues

à des corps non organiques.

1. Schepers L., Beek W.J., Kuenen D.J., van Genderen H., Revallier L. et Hoog H. Mens en milieu, prioriteiten en keuze. Stichting toekomstbeeld der techniek 1971.
2. Bouquiaux J.  
Non-organic micro-pollutants of the environment.  
Documentation de la Commission des Communautés européennes ; novembre 1973.
3. Anne P.  
Etude préliminaire sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan.  
Commission des Communautés Européennes - Environnement et qualité de la vie. Septembre 1973 ; n° 3 ; EUR 5014.
4. Herrig H.  
Untersuchungen an Flusswasser - Inhaltsstoffen  
Wasser Abwasser ; 1969 ; 50 ; p. 1385 - 1391.
5. Hellmann H. et Griffatong.  
Die Absorption von Schwermetallen an den Schwbstoffen des Rheins - eine  
Untersuchung zur Entgiftung des Rheinwassers  
Deutsche gewässerkundliche Mitteilungen 1969 - ; 4 ; p. 108 - 114.
6. Hellmann H.  
Die Absorption von Schwermetallen an den Schwbstoffen des Rheins - eine  
Untersuchung zur Entgiftung des Rheinwassers (ein Nachtrag)  
Deutsche gewässerkundliche Mitteilungen 1970 ; 2 ; p. 42 - 47.
7. Kölle W. und Mitarbeiter  
Zum Einsatz des Röntgenfluoreszenz bei Wasseruntersuchungen.  
Vom Wasser ; 1968 ; XXXV p. 31 - 49.  
(Travaux cités par Hellmann H., référence n° 6).
8. Hellmann H., : Bestimmung von Metallen in Flussschlämmen mit Hilfe der  
Röntgenfluoreszenz. Bedeutung für die Praxis.  
Z. Anal. Chem. ; 1971 : 3 : p. 192 - 195.
9. Banat K., Förstner U. et Müller G.  
Schwermetallen in den Sedimenten des Rheins Umschau ; 1972 ; 6. p. 192-193.
10. de Groot A.J.,  
Mobility of trace elements in deltas,  
Trans. Comm. II and IV ; Intern. Soc. Soil Sc. ; Aberdeen ; 1966.
11. de Groot A.J., de Goeij J.J.M. and Zegers C.  
Contents and behaviour of mercury as compared with other heavy metals in  
sediments from the rivers rhine and Ems.  
Geologie en mijnbouw ; 1971, Vol. 50 ; 3 ; p. 393 - 398.
12. Fonds A.W.  
Kwik in de Nederlandse oppervlaktewateren  
TNO - nieuws 1971 (juli) ; p. 375 - 377.
13. Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke in Rheineinzugsgebiet (IAWR)  
Jahresbericht 1972.
14. Arbeitsgemeinschaft Rheinwasserwerke (ARW)  
Jahresbericht 1969

15. Arbeitsgemeinschaft Rheinwasserwerke (ARW)  
Jahresbericht 1970
16. Boorsma H.J.B.  
Het gevaar van kwikverontreiniging voor deboreiding van drinkwater  
TNO - nieuws 1971 (Juli) ; p. 385 - 386.
17. Heidinga M.C., Koeman J.H., de Goeij J.J.M., Zegers C., Verwey J.H.P.,  
van Driel W. de Groot A.J.  
Onderzoek naar de accumulatie van kwik in de uiterwaarden van de Rijn.  
TNO - nieuws 1971 (Juli) ; p. 382 - 384.
18. Koeman J.H., Canton J.H., Anke Woudstra, Peeters W.H.M., de Goeij J.J.M.  
Zegers C. et van Haaften J.L.  
TNO-nieuws 1971 (Juli) ; p. 402 - 409.
19. Van Genderen H.  
Conclusie  
TNO - nieuws (Juli) ; p. 419 - 421.
20. Roskam R. Th. - Vis uit de Nederlandse binnenwateren.  
TNO - nieuws 1971 (Juli) ; p. 390 - 394.
21. Van Genderen H., Canton J.H., Leeuwangh P. et Strik J.J.T.W.A.  
Report to the Commission of the european communities on a toxicological  
examination of a number of micro-pollutants of surface water ; 1973.
22. Greve P.A. et Wit S.L.,  
(Totaal) kwikgehalte von zoetwater - en zeevis.  
TNO - nieuws - ; 1971 (Juli) p. 395 - 399.
23. TNO  
Koper in het nederlandse milieu  
TNO - nieuws ; 1972 (september) ; p. 415 - 516.
24. De Wolf P., de Kock W. Ch. et Stam A.  
Veldproeven over de invloed van koper en kwik op een natuurlijke mossel-  
bank  
TNO - nieuws ; 1972 (september) ; p. 497 - 503.
25. Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet  
(IAWR)  
Jahresbericht 1971.

### Conclusions générales

L'étude des principales pollutions qui affectent le bassin rhénan et celle de leurs effets sur le milieu et sur l'utilisation de ce dernier conduisent à des constatations et observations assez nombreuses, ainsi qu'à diverses propositions ; voici, résumées, celles que l'on peut retenir plus particulièrement :

#### Evolution des pollutions :

La gravité des pollutions croît, dans l'ensemble, de l'amont vers l'aval du fleuve ( on observe cependant, dans certaines parties du Rhin, dans le cas des matières organiques, une charge inférieure à celle mesurée en amont \*). En un lieu donné on ne constate pas, généralement, de diminution des rejets de matières polluantes au cours des années ; pour certaines de ces matières on observe, au contraire, une augmentation des charges \*\*.

#### Conséquences des pollutions :

Les conséquences des pollutions prises en considération ici sont relatives à différents domaines : elle se rapportent à l'utilisation des eaux du Rhin à diverses fins (préparation d'eau potable, activités agricoles et activités industrielles), aux propriétés de ces eaux à l'égard des animaux aquatiques (milieu plus ou moins favorable à une vie normale de ces derniers), et à l'utilisation du milieu pour les loisirs et le tourisme.

Voici des exemples de conséquences importantes :

En ce qui concerne la préparation de l'eau potable les effets suivants peuvent se produire :

- augmentation de la complexité des opérations d'épuration entraînant un accroissement des frais (cas, par exemple, de la présence de matières organiques difficilement dégradables ou d'hydrocarbures) et, plus

---

\* Cette diminution se produit sous l'effet de l'auto-épuration.

\*\* Rappelons cependant l'amélioration nette, bien que partielle, constatée dans le domaine des hydrocarbures, grâce à la collecte des huiles de cale des bateaux rhénans.

particulièrement au cours de certaines périodes, abaissement de la qualité de l'eau potable.

- pollutions accidentelles graves, entraînant l'impossibilité de préparer de l'eau potable à partir de l'eau du Rhin pendant un certain temps.

Au sujet des animaux aquatiques du bassin rhénan on constate fréquemment des teneurs assez élevées en principes solides ou odorants et, dans certains cas, des teneurs en substances toxiques voisines du seuil considéré comme critique.

On sait, en outre, que les substances polluantes contenues dans le fleuve peuvent se répandre dans une grande partie du système hydrographique des Pays-Bas, ainsi que dans les réservoirs d'eau de ce pays qui sont alimentés au moyen d'eau du Rhin. Il convient de souligner également le fait que les substances polluantes en suspension dans l'eau, qui sont rejetées dans la mer par le fleuve, sont soumises à l'influence d'un courant côtier qui les transporte d'abord en direction Nord-Nord-Est vers le Waddensee, puis en direction Est vers le Friesland et le Groningen.

Difficultés relatives au diagnostic de certaines pollutions :

Différents phénomènes sont à l'origine de difficultés dans la mise en évidence et la mesure de certaines pollutions ; à cet égard on note plus spécialement ceux qui interviennent dans les mécanismes suivants :

- Passage de certaines substances de formes dissoutes à des formes correspondant à une fixation sur des matières solides (matières en suspension, dépôts et sédiments); le passage inverse vers des formes solubles est susceptible de se produire également.
- Phénomènes de précipitation dans le milieu aquatique (accompagnés généralement de changements de forme chimique).
- Destruction partielle ou complète de substances organiques dans le milieu aquatique.
- Changement de forme chimique de certaines substances, ayant une influence sur leurs mouvements dans le milieu aquatique (par exemple : passage de métaux de formes minérales à des formes organiques et inversement).
- Existence dans le milieu aquatique de certaines substances d'origine naturelle, identiques à des substances provenant de rejets (par exemple :

métaux disséminés dans le milieu sans intervention de l'homme ou formation d'hydrocarbures dans le milieu aquatique). Il en résulte, lors de l'évaluation des pollutions, qu'une partie des charges et des teneurs dues à de telles substances est à défalquer des charges et teneurs totales, mais la valeur du "fond" \* ainsi défini est souvent difficile à déterminer.

- Accumulation dans les chaînes alimentaires de différentes substances : il est à remarquer que le rapport d'accumulation observé lorsqu'une substance polluante passe d'un élément d'une chaîne à l'élément suivant varie selon les organismes considérés ; de plus les teneurs d'un organisme en une substance polluante donnée dépendent, entre autres facteurs, de son développement et de la nature des organes examinés.

#### Nécessité du développement des recherches scientifiques

Il résulte de ce qui précède qu'il est indispensable de poursuivre, en les développant aussi largement que possible, les travaux et les recherches destinés à l'obtention des données nécessaires en ce qui concerne l'étendue et la gravité des pollutions ainsi que les moyens techniques à mettre en oeuvre en vue de remédier à leurs inconvénients. Il convient, en particulier, d'accroître les connaissances sur les substances responsables des pollutions, relativement à leurs propriétés et à leurs effets sur le milieu aquatique et sur l'utilisation de ce dernier.

#### Mesures appliquées et mesures à recommander :

Les principales mesures appliquées actuellement et celles dont la mise en vigueur nous paraît souhaitable ont été exposées dans notre étude préalable sur la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan. La création d'une Agence du bassin du Rhin constitue la mesure d'ordre général la plus importante à prendre en vue de remédier à la situation actuelle ; de plus l'harmonisation des dispositions législatives et réglementaires faciliterait très notablement la réalisation des améliorations souhaitées.

---

\* Ce terme correspond dans ce cas au mot anglais "back-ground" fréquemment utilisé.

Au sujet des mesures à recommander il nous semble très utile de rappeler également, en les résumant, les principaux souhaits exprimés par la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau\* :

- Contrôle du déversement de substances nocives et toxiques et réglementation plus sévère (notamment en ce qui concerne les pesticides).

- Attention plus grande portée aux produits intermédiaires, sous-produits et déchets d'origine industrielle

- Stockage dans des bassins de retenue et contrôle, avant déversement des eaux résiduaires contenant des substances toxiques ou dangereuses pour l'alimentation en eau potable.

- Contrôle rigoureux des eaux résiduaires (notamment en ce qui concerne les substances nocives à effectuer <sup>par les</sup> responsables de leur rejet; les résultats de ce contrôle devront être communiqués aux autorités compétentes.

- Contrôle de la composition des eaux usées à effectuer par les autorités compétentes en vue de compléter le contrôle mentionné ci-dessus.

- Evaluation des rejets en tenant compte, non des concentrations, mais des charges en substances polluantes.

- Perception de taxes portant sur les substances polluantes rejetées ; mais il est à souligner que le paiement de ces taxes ne donne par le droit de rejeter dans le Rhin des substances nuisibles à l'obtention d'eau potable.

On voit que ces souhaits sont en harmonie avec nos propres propositions. Il convient d'insister particulièrement sur la nécessité de déterminer la source des pollutions et de fixer des objectifs de qualité des eaux du Rhin, au sujet desquels la Communauté internationale de travail des services rhénans de distribution d'eau a d'ailleurs présenté des propositions concrètes, portant sur les principales substances minérales.

Il ne fait pas de doute que la lutte contre la pollution dans le bassin rhénan est à considérer comme une oeuvre de longue haleine ; il convient de prendre les mesures indispensables en vue de remédier dans le plus court délai possible à la situation actuelle.

---

\* Les données en question sont tirées de la publication suivante de cet organisme : Mémoire de l'IAWR. Pollution du Rhin et alimentation en eau potable ; mai 1973.

# BUREAUX DE VENTE

Les documents publiés par la Commission des Communautés Européennes sont vendus par l'Office des Publications aux adresses et au prix indiqués ci-après. Lors de la commande, bien indiquer la référence exacte et le titre du document.

## FRANCE

*Service de vente en France des publications  
des Communautés européennes — Journal officiel*  
26, rue Desaix — 75 732 Paris - Cédex 15\*  
Tél. (1) 306 51 00 — CCP Paris 23-96

## PAYS-BAS

*Staatsdrukkerij- en uitgeverijbedrijf*  
Christoffel Plantijnstraat  
's-Gravenhage — Tél. (070) 81 45 11  
Postgiro 42 53 00

## ALLEMAGNE (RF)

*Verlag Bundesanzeiger*  
5 Köln 1 — Postfach 108 006  
Tél. (0221) 21 03 48  
Télex : Anzeiger Bonn 08 882 595  
Postscheckkonto 834 00 Köln

## ROYAUME-UNI

*H.M. Stationery Office*  
P.O. Box 569  
London S.E. 1 — Tél. 01-928 69 77, ext. 365

## BELGIQUE — BELGIË

*Moniteur belge — Belgisch Staatsblad*  
Rue de Louvain 40-42 — Leuvenseweg 40-42  
1000 Bruxelles — 1000 Brussel — Tél. 12 00 26  
CCP 50-80 — Postgiro 50-80

## ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

*European Community Information Service*  
2100 M Street, N.W.  
Suite 707  
Washington, D.C., 20 037 — Tél. 296 51 31

### *Sous-dépôt :*

Librairie européenne — Europese Boekhandel  
Rue de la Loi 244 — Wetstraat 244  
1040 Bruxelles — 1040 Brussel

## SUISSE

*Librairie Payot*  
6, rue Grenus  
1211 Genève — Tél. 31 89 50  
CCP 12-236 Genève

## DANEMARK

*J.H. Schultz — Boghandel*  
Møntergade 19  
DK 1116 København K — Tél. 14 11 95

## SUÈDE

*Librairie C.E. Fritze*  
2, Fredsgatan  
Stockholm 16  
Post Giro 193, Bank Giro 73/4015

## GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

*Office des publications officielles  
des Communautés européennes*  
Boite postale 1003 — Luxembourg  
Tél. 4 79 41 — CCP 191-90  
Compte courant bancaire : BIL 8-109/6003/200

## ESPAGNE

*Libreria Mundi-Prensa*  
Castello 37  
Madrid 1 — Tél. 275 51 31

## IRLANDE

*Stationery Office — The Controller*  
Beggars' Bush  
Dublin 4 — Tél. 6 54 01

## AUTRES PAYS

*Office des publications officielles  
des Communautés européennes*  
Boite postale 1003 — Luxembourg  
Tél. 4 79 41 — CCP 191-90  
Compte courant bancaire : BIL 8-109/6003/200

## ITALIE

*Libreria dello Stato*  
Piazza G. Verdi 10  
00198 Roma — Tél. (6) 85 08  
CCP 1/2640

PRIX : FB. 100,-