

La pollution de la Moselle française : contribution à une méthode de représentation cartographique de l'évolution spatio-temporelle des différents types de pollution sur une période décennales : 1965-1974 bilan synthétique de la pollution et comparaison des périodes 1965-1974 et 1965-1978

Alexandre Bardelli

▶ **To cite this version:**

Alexandre Bardelli. La pollution de la Moselle française : contribution à une méthode de représentation cartographique de l'évolution spatio-temporelle des différents types de pollution sur une période décennales : 1965-1974 bilan synthétique de la pollution et comparaison des périodes 1965-1974 et 1965-1978. Ecologie, Environnement. Université Paul Verlaine - Metz, 1981. Français. NNT : 1981METZ009S . tel-01775633

HAL Id: tel-01775633
https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01775633

Submitted on 24 Apr 2018

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

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

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

UNIVERSITE DE METZ

Faculté des Sciences Laboratoire d' Ecologie

ANNEE 1981 N.° 029

THESE

pour le

DOCTORAT de SPECIALITE

en ECOLOGIE

Mention Hydrobiologie

BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE - METZ
N° inv. 1981018S
Cote S/Mz 81/9
Loc Magasin

par

Alexandre BARDELLI

Maître ès Lettres (option Géographie)

«LA POLLUTION de la MOSELLE FRANÇAISE»

CONTRIBUTION A UNE METHODE DE REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE DE L'EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES DIFFERENTS TYPES DE POLLUTIONS SUR UNE PERIODE DECENNALE : 1965-1974

BILAN SYNTHETIQUE DE LA POLLUTION ET COMPARAISON DES PERIODES 1965-1974 ET 1965-1978

Soutenue le 10 juillet 1981 devant le jury suivant:

Monsieur PIHAN, Professeur à l'Université de METZ — Président

Monsieur SARY, Assistant à l'Université de METZ

Monsieur LANGENFELD, Ingénieur à l'Agence de B.in "RHIN-MEUSE"

Monsieur NOURISSON, Professeur à l'Université de METZ

— Examinateurs

UNIVERSITE DE METZ
Ile du Saulcy - 57000 Metz - B.P. 794 - 57012 Metz-cedex - Tél. (8) 730.26.63

Metz, le

UNIVERSITE DE METZ BIBLIOTHEQUE

Le Président de l'UNIVERSITE de METZ

VU l'arrêté du 16 avril 1974 relatif au Doctorat de 3ème cycle ;

VU la proposition de Mr J.C. PIHAN, Professeur au Laboratoire d'Ecologie de l'UER Sciences en date du 24 juin 1981 ; Directeur de thèse

A R R E T E

ARTICLE 1 : La composition du jury en vue de la soutenance de thèse de Doctorat de 3ème cycle de Monsieur BARDELLI Alex intitulée :

"LA POLLUTION DE LA MOSELLE FRANCAISE"

Contribution à une méthode de réprésentation cartographique de l'évolution spatio-temporelle des différents types de pollution sur une période décénnale (1965-1974).

Bilan synthétique de la pollution et comparaison des périodes 1965-1974 et 1965-1978.

est fixée comme suit :

Président : M. PIHAN, Professeur à l'Université de Metz

Membres : M. SARY, Assistant à l'Université de Metz, Docteur de 3è cycle

M. LANGENFELD, Ingénieur à l'Agence de Bassin RHIN-MEUSE

M. NOURISSON, Professeur à l'Université de Metz

ARTICLE 2 : La soutenance aura lieu le VENDREDI 10 JUILLET 1981 à 15H, à l'Amphithéâtre Pascal de la Faculté des Sciences de Metz.

FAIT A METZ, le 29 juin 1981

Le Président de l'UNIVERSITE de METZ

UNIVERSITE DE METZ LE PRESIDENT 57

Jean DAVID

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE 1

● Première partie : Présentation physique, humaine et économique du bassin versant de la Moselle française 5

● Section I : Caractéristiques géographiques du bassin versant de la MOSELLE française 7

A. Définition du bassin versant de la Moselle française : étendue et superficie 7

B. Précisions concernant les limites du bassin versant de la Moselle française 8

C. Topographie d'ensemble du bassin versant de la Moselle française 9

D. Aspect d'ensemble du drainage dans le bassin versant de la Moselle française 10

● Section II : Cadre géologique du bassin versant de la Moselle 12

A. Description de la constitution géologique du bassin versant de la Moselle française 13

B. Composition chimique des grands ensembles lithologiques du bassin versant de la Moselle française 19

● Section III : Approche hydrologique de la Moselle et de son bassin versant 24

A. L'abondance moyenne annuelle 24
B. Les variations saisonnières 27

C. Les variations effectives des débits 29

D. Le bilan de l'eau et ses facteurs dans le bassin de la Moselle 34

● Section IV : Activités humaines et pollution 44

A. Des pollutions très diverses dans leur nature (propositions de l'A.F.B.R.M.) 44

B. Les origines des pollutions dans le bassin de la Moselle tel qu'il a été retenu 45

Conclusion de la première partie 58

● Deuxième partie : Proposition cartographique pour la représentation de l'évolution des différents types de pollution de la Moselle sur une période décennale (1965-1974) 60

● Section I : Essai de cartographie de la pollution par une méthode de représentation particulière : croquis et tableau cartographiques 63

A. La cartographie thématique 63

B. Le choix d'un croquis cartographique plutôt que d'une véritable carte (d'après R. BRUNET, 1967) 64

C. Buts et objets d'un croquis cartographique 65

D. Les qualités du croquis en cartographie 67

E. Importance capitale de la légende 70

• Section II : Le tableau cartographique de l'évolution dans le temps et dans l'espace de la pollution de la Moselle 72

A. Les données statistiques disponibles et leurs possibilités d'exploitation 76

B. Problème du choix des valeurs statistiques à retenir pour la représentation cartogarphique des divers paramètres 103

• Section III : Présentation de la méthode cartographique adoptée 119

A. Les problèmes posés par la représentation de l'évolution d'un phénomène 119

B. Les figurés retenus 121

C. Les précisions concernant les figurés représentant les différents paramètres 125

Conclusion de la deuxième partie 129

• Troisième partie : Caractéristiques originales des eaux superficielles du bassin versant de la **Moselle** française (bilans 1965-1974 ; 1965 - 1978)

• Section I : Etude de la pollution minérale 134

I. Evolution de la pollution minérale selon les tableaux cartographiques 135

II. Bilans comparés : 1965-1974 et 1965-1978 136

III. Les rejets d'ions Cl^- dans la Moselle 138

• Section II : Etude du niveau d'eutrophisation 150

I. Evolution du niveau d'eutrophisation selon les tableaux cartographiques (1965-1974) 150

II. Bilans comparés 1965-1974 et 1965-1978 155

III. Origines probables de l'accroissement des nutrients N-P-K. Eléments de solutions 156

• Section III : Etude de la pollution organique 161

I. Evolution de la pollution organique selon les tableaux cartogarphiques : 1965-1974 162

II. Bilans comparés 1965-1974 et 1965-1978 165

III. La lutte contre la pollution organique et ses limites 166

• Section IV : Etude de la pollution toxique 175

INTRODUCTION GENERALE

La MOSELLE a déjà fait l'objet de différentes études, notamment dans le domaine de l'Hydrologie fluviale. Nous ne citerons à ce sujet que la thèse de R. FRECAUT, 1971 : "La MOSELLE et son bassin" dans laquelle l'auteur avait déjà abordé les problèmes de pollution de cette rivière mais tout particulièrement sous l'aspect des transports en suspension et en solution.

Nous abordons ici l'étude de la rivière MOSELLE, essentiellement sous l'angle de la pollution, sous ses différentes formes et ce, à travers la considération de 17 paramètres caractéristiques de la chimie et de la biologie des eaux superficielles.

Nous nous sommes fixés trois objectifs essentiels dans le cadre de ce travail :

Tout d'abord, il s'agissait de bien situer le sujet (la pollution des eaux de la MOSELLE française) dans son contexte global que l'on peut subdiviser en deux sous-éléments :

- le cadre naturel, géographique,
- le cadre humain et économique.

Il est fondamental, en effet de mettre l'accent sur les répercussions de l'environnement général, (à travers ses diverses composantes) sur un des éléments, (ici la rivière MOSELLE) qui fait partie de l'ensemble.

Ensuite, nous avons estimé indispensable et ce, malgré toutes les campagnes de presse et la sensibilisation de l'opinion au cours de ces dix dernières années, de rendre plus concret, par la cartographie du phénomène, étudié au niveau de la MOSELLE française, la notion de pollution qui demeure finalement encore assez floue dans l'esprit du public.

Si ce dernier est périodiquement sensibilisé par des manifestations exceptionnelles de la pollution (Amoco Cadiz déversement accidentel de cyanure dans tel cours d'eau....) il n'a point toujours conscience du caractère chronique de ce phénomène, notamment au niveau des cours d'eau. C'est pourquoi, pour mettre en valeur cette chronicité, seule une cartographie de l'évolution de la pollution sous ses diverse formes (organique, minérale, toxique, degré d'eutrophisatio pouvait présenter un intérêt.

L'exemple de la MOSELLE nous a semblé suffisamment si gnificatif pour que nous proposions une méthodologie cartographique de type dynamique allant dans ce sens.

Il fallait ensuite apprécier le bilan de la pollution de 1965 à 1978 et, par là même, l'impact des mesures prises en vue de la réduire ou de la limiter.

Nous nous sommes attachés à expliquer le pourquoi des phénomènes observés et, en ce domaine, les renseignements que nous avons pu recueillir auprès des services de l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse, (et qui constituent le support indispensable à partir duquel ce travail a été mené à bien) nous ont été d'une aide capitale.

Si dans certains cas, l'explication des faits constatés n'a guère posé de problèmes, dans d'autres il a fallu procéder par hypothèses qu'il conviendra éventuellement de vérifier par d'opportunes études ultérieures.

- Enfin nous avons insisté sur les aspects particuliers de la lutte antipollution dans le bassin de la MOSELLE française, action menée par l'A.F.B.R.M., et sur les problèmes spécifiques rencontrés au niveau de chaque type de pollution (organique, minérale, toxique, eutrophisation).

. Ce travail se caractérise donc, nécessairement, par un volume important d'annexes graphiques et cartographiques, vu les objectifs que nous nous étions assignés.

Le lecteur, a à sa disposition trois types d'annexes :

- l'annexe I comprend les supports graphique et cartographique illustrant le texte,

- l'annexe II regroupe les différentes références statistiques (tableaux chiffrés) dont l'essentiel provient de l'exploitation des données de L'A.F.B.R.M.,

- l'annexe III est consacrée à la représentation cartographique des phénomènes de pollution dans leur aspect évolutif . L'observateur y trouvera 4 séries de 6 tableaux cartographiques ou cartes numérotés de 1 à 6 (une série par type de pollution représenté) traduisant la situation des eaux de la MOSELLE française en matière de pollutions. Le cours de la MOSELLE étant divisé en six secteurs d'amont en aval chacun d'eux a fait l'objet d'un tableau cartographique (1)

Le travail présenté a nécessité l'exploitation par ordinateur (OLIVETTI P 652) de 16 932 données relatives aux 17 paramètres retenus.

(1) Montage diapositives.

première partie

PRÉSENTATION PHYSIQUE, HUMAINE ET ÉCONOMIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA MOSELLE FRANÇAISE (BASSINS de la SARRE et de la NIED exclus)

Prenant sa source au pied du DRUMONT (1266 mètres d'altitude), tout près du col de BUSSANG, sur le versant occidental du Massif Vosgien, la MOSELLE coule, dans un premier temps, en prenant une direction SE-NW jusqu'à TOUL. Puis son cours bifurque brusquement vers le Nord-Est jusqu'à la confluence avec la MEURTHE ; à partir de là son tracé adopte une orientation générale Sud-Nord "perturbée" par un infléchissement vers le Nord-Est de THIONVILLE à la frontière.

Si la pente topographique du versant ouest des Vosges s'abaisse progressivement vers l'Ouest, une seconde inclinaison, Sud-Nord, partant des plateaux de Haute-Saône vient se superposer à la précédente et interférer avec elle, aboutissant ainsi à une résultante globale qui est une pente orientée SE-NW. Nous passons ainsi de secteurs s'élevant à 1300-1400 mètres d'altitude au Sud-Est à des côtes de l'ordre de 300-320 mètres au Nord-Ouest ; si l'on excepte toutefois la zone montagneuse du Massif Vosgien, l'inclinaison de la pente apparaît moins évidente puisque, cette restriction étant retenue, les altitudes les plus élevées, au Sud-Est, "plafonnent" alors aux environs de 500 mètres.

La MOSELLE, tout comme la MEUSE, échappe contrairement à la SEINE et ses affluents, à l'attraction du Bassin de PARIS. Par ailleurs, la simple observation de son tracé indique, sur la carte, que le cours supérieur de la MOSELLE se dirige vers la vallée mosanne pour s'en rapprocher au maximum, à TOUL, et s'en écarte finalement en direction du RHIN, décrivant ainsi la boucle caractéristique de la région touloise, conséquence d'un phénomène de capture de la MOSELLE bien connu.

SECTION I : CARACTÉRISTIQUES GÉOGRAPHIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA MOSELLE FRANÇAISE

A. DEFINITION DU BASSIN VERSANT DE LA MOSELLE FRANCAISE : ETENDUE ET SUPERFICIE

L'ensemble du bassin versant de la MOSELLE s'étire sur 273 kilomètres du Sud au Nord, jouxtant avec ceux de divers autres affluents du RHIN à l'Est, au Nord-Est et au Nord ; à l'Ouest et au Nord-Ouest, le bassin de la MEUSE le borde sur près de 500 kilomètres. Enfin, sa limite la plus méridionale coïncide avec la ligne de partage des eaux entre les domaines hydrographiques orientés vers la Mer du Nord et la Mer Méditerrannée.

Le bassin de la MOSELLE, comme le définit M. PARDE, fait partie de la catégorie des bassins fluviaux moyens étant donné que sa superficie se situe entre 10 000 et 50 000 km2 ; il s'agit en fait du plus étendu des bassins de tous les affluents du RHIN , avec 27 395 km2 (**in R. FRECAUT, 1971**).

Toutefois, dans le cadre de cette étude, ne nous intéresse que la partie française du bassin versant de la MOSELLE, tout en excluant, par ailleurs, les affluents qui n'apportent point leurs eaux ou collecteur principal sur notre territoire, c'est-à-dire, entre autre, la SARRE et la NIED.

Cette restriction étant précisée, le bassin de la MOSELLE que nous avons retenu dans le cadre de cette étude couvre 11 415,5 km2 et entre donc encore dans la classe des bassins moyens tels que les définit M. PARDE.

Observons par ailleurs, comme le note R. FRECAUT (1971), que certains sous-bassins ou bassins secondaires, de même que divers bassins partiels couvrent des superficies notables, par exemple :

- Haute et Moyenne MOSELLE en amont de la confluence de la MEURTHE à POMPEY : 3 733,8 km2
- MEURTHE : 3 085 km2
- Moyenne MOSELLE, de la confluence de la MEURTHE à celle de la SEILLE à METZ : 1 082,4 km2
- SEILLE : 1 279,6 km2

B. PRECISIONS CONCERNANT LES LIMITES DU BASSIN VERSANT DE LA MOSELLE FRANCAISE (fig. 1)

Du col de BUSSANG au **HOHNECK** (1 366 m) et au CLIMONT, la ligne de partage des eaux entre les bassins de la MOSELLE et de l'ILL correspond assez fidèlement à la ligne de faîte des VOSGES cristallines.

Puis, après une bifurcation vers l'Ouest, la limite du bassin versant atteint le Mont DONON (1 008 m) en suivant le rebord du plateau des VOSGES gréseuses : à partir de là, le partage entre les eaux du bassin de la MEURTHE et les eaux du bassin de la SARRE se fait au niveau d'une zone de reliefsplus flous ; il en est de même dans le secteur du Pays des Etangs, entre la SARRE et la SEILLE supérieure, où les affleurements du KEUPER inférieur ne donnent point naissance, dans le paysage, à des dénivellations particulièrement évidentes.

Le contact entre les bassins de la SEILLE et de la NIED apparaît plus nettement sur une carte et coïncide, dans un premier temps, avec différents fragments de la cuesta infraliasique et avec la ride anticlinale de MORHANGE (buttes de MARIMONT, de BENESTROFF ; côtes de VIC, de BELLANGE). En allant vers le Nord, la ligne de partage des eaux est jalonnée par les buttes de TINCRY et de DELME, couronnées de calcaire à polypiers, en avant de la cuesta bajocienne. Enfin, entre la CANNER et la MOSELLE inférieure d'une part, et la NIED d'autre part, la limite du bassin versant de la MOSELLE française passe par les points les plus élevés des replats structuraux et des buttes de la cuesta infraliasique (affleurement des grès rhétiens et des calcaires à gryphées).

Aux confins méridionaux du bassin, du col de BUSSANG à la Vôge occidentale, la ligne de partage des eaux voisine , à quelques kilomètres de distance seulement, le lit de la MOSELLE et correspond à un ensemble de reliefs modérés au niveau desquels, d'ailleurs, prennent leur source la SAONE et les principaux cours d'eau de son bassin supérieur (CONEY, LANTERNE, OGNON).

La limite occidentale du bassin versant traverse le Plateau Lorrain selon une direction S-SE•N-NW, de la Forêt de DARNEY (source du MADON) aux secteurs les plus occidentaux du bassin de l'ORNE. Cette limite entre en contact, parfois, avec les côtes de MEUSE, au niveau de PAGNY-SUR-MEUSE où s'en approche à quelques kilomètres seulement au Nord de COMMERCY et à l'Ouest de VERDUN.

Les réseaux hydrographiques du RUPT de MAD et de l'ORNE occupent la partie occidentale et nord-occidentale du bassin versant de la MOSELLE française. La ligne de partage des eaux entre ce dernier et le bassin de la

MEUSE semble peu évidente dans la plaine de la WOEVRE où seuls quelques "bombements" modestes en constituent le support ; cette limite sépare les bassins d'affluents de la MEUSE (CHIERS et SEMOIS) d'une part, de ceux d'affluents de la MOSELLE (ORNE et FENSCH) d'autre part, aux confins de la frontière franco-belge et franco-luxembourgeoise.

C. TOPOGRAPHIE D'ENSEMBLE DU BASSIN DE LA MOSELLE FRANCAISE (tableau I, fig.2)

Les secteurs les plus élevés du bassin ne concernent que la montagne Vosgienne où les altitudes dépassant 1 000 mètres se rencontrent dans la moitié méridionale du massif.

Toujours dans les Hautes-VOSGES, M. VON TEIN (1905) a évalué à quelques 467 km2 les superficies comprises entre 700 et 1 000 mètres; l'ensemble vosgien du bassin de la MOSELLE comprend encore, entre 400 et 700 mètres d'altitude, plus de 1 500 km2 (in R. FRECAUT, 1971).

Dans le reste du bassin versant, sur le Plateau Lorrain, la plupart des reliefs demeurent inférieurs à 400 mètres ; altitude qui n'est dépassée ici que sur une superficie de 340 km2 (la moyenne se situant entre 200 et 400 mètres).

Enfin, seules les vallées de Plateau Lorrain côtent des altitudes inférieures à 200 mètres.

Les cours d'eau du bassin supérieur (vosgien) de la MOSELLE connaissent une pente supérieure à 2°/$_{oo}$ avec parfois des secteurs compris entre 5 et 15°/$_{oo}$. Cette déclivité peut même atteindre des pourcentages exceptionnels mais sur de faibles distances (VOLOGNE supérieure, en amont du lac de RETOURNEMER : 66,6°/$_{oo}$ sur 2,7 km ; MEURTHE supérieure en amont du VALTIN : 71,4°/$_{oo}$ sur 4,6 km) (in R. FRECAUT, 1971).

Dans certains cas, comme le note R. FRECAUT(1971) les pentes ne décroissent point régulièrement. Ainsi, de la confluence de la VOLOGNE à EPINAL, la déclivité de la MOSELLE augmente du fait de conditions lithologiques et techniques locales.

tectoniques

Les cours d'eau du Plateau Lorrain présentent, eux, une pente plus faible, toujours inférieure à 2°/$_{oo}$ et la plupart du temps n'excédant pas 0.5°/$_{oo}$. Les affluents de la rive gauche de la MOSELLE se signalent,

dans bien des cas, par un tracé anaclinal (MADON, RUPT DE MAD, ORNE) ; dans leur cours inférieur, par suite du franchissement du front de cuesta, leur pente connaît des pourcentages plus accusés. Mais les pentes les plus modérées s'observent au niveau des rivières des plateaux du KEUPER et du LIAS et l' exemple de la SEILLE à cet égard est particulièrement significatif

Enfin, pour ce qui est de la MOSELLE moyenne (par rapport à la totalité de son cours) les valeurs de sa pente apparaissent relativement importantes si on les compare à celles observées au niveau d'autres fleuves ou rivières de plateau sur la même section de leur cours (pourcentages compris entre 0,3 et 1,6°/$_{oo}$).

Le profil en long des cours d'eau exerce une influence déterminante qui conditionne directement la vitesse des eaux fluviales.

D. ASPECT D'ENSEMBLE DU DRAINAGE DANS LE BASSIN VERSANT DE LA MOSELLE FRANCAISE

Le tracé général du réseau hydrographique mosellan est à mettre, pour l'essentiel, en relation avec l'évolution géomorphologique du territoire. Si en amont d'EPINAL, l'aspect de la section vosgienne du cours de la MOSELLE traduit une adaptation de ce dernier aux caractères de la tectonique locale, le tracé des cours d'eau, sur le Plateau lorrain, apparaît ici plus diversifié ; la direction du cours de la MOSELLE, notamment, change, dans ce secteur, à plusieurs reprises :

- S - SE • N - NW d'EPINAL à TOUL,
- W - SW • E - NE de TOUL à la confluence de la MEURTHE,
- S - N de la confluence de la MEURTHE à PAGNY/MOSELLE,
- S - SW • N - NE de PAGNY à METZ,
- à nouveau S - N de METZ à THIONVILLE,
- SW - NE après THIONVILLE.

Un tel tracé résulte d'une surimposition et d'une inadaptation aux conditions structurales ainsi que des divers réaménagements au tertiaire par suite d'une évolution géomorphologique complexe.

En effet, dès le Miocène, la MOSELLE, au niveau de ce qui deviendra la partie française de son bassin versant, assure le drainage du Plateau Lorrain et du secteur nord des VOSGES ; les VOSGES méridionales ne feront partie intégrante du bassin versant qu'après la capture du Val de l'Asne. En effet, les méandres encaissées du Val de l'Asne témoignent d'un ancien écoulement de la haute MOSELLE vers la MEUSE ; de même, l'étroitesse de la portion de vallée conduisant de TOUL à la confluence de la MEURTHE plaide en faveur d'un aménagement récent (interglaciaire RISS-WURM) au Quaternaire. L'abandon du Val de l'Asne par la haute MOSELLE résulterait d'un phénomène de défluviation (lors d'une crue vraisemblablement) ; la rivière, du fait des apports vosgiens, remblaya plus rapidement que la MEUSE, s'exhaussa sur sa nappe alluviale et fut détournée vers la MEURTHE.

Selon les secteurs du bassin versant que nous considérons, nous constatons des formes différentes de drainage :

- *Dans le Massif Vosgien, l'allure du réseau hydrographique montre bien l'influence de la tectonique qui en a déterminé la mise en place (bassins de la MOSELLE supérieure, de la VOLOGNE, de la haute MEURTHE). Ici, le drainage, de type orthogonal, est très significatif de cette influence.*

- *Sur le Plateau Lorrain, le réseau hydrographique, au contraire, présente une structure dendritique (MOSELLE moyenne et ses principaux affluents : MEURTHE moyenne et inférieure, SEILLE...).*

Si, comme le note R. FRECAUT (1971) dans les VOSGES la densité du réseau hydrographique associée à de fortes pentes favorise des crues violentes, sur le Plateau Lorrain, par contre, du fait des déclivités modérées et de l'espacement plus important des points de confluence, la brutalité des crues se trouve atténuée. Toutefois, d'autres facteurs jouent un rôle non négligeable sur l'intensité des crues tels que la nature des terrains qui composent le bassin versant (degré de perméabilité) ou la densité et le type de couvert végétal qui l'intéressent.

SECTION II : CADRE GÉOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA MOSELLE

(figure 3)

Le contexte géologique dans lequel s'inscrit le bassin versant de la MOSELLE française appartient à la région située à l'Ouest des VOSGES, correspondant à la bordure orientale du Bassin Parisien. Le sous-sol est formé d'un socle de terrains anciens, fortement plissés avant la fin de l'époque primaire, c'est-à-dire au moment des soulèvements hercyniens (Carbonifère) qui ont donné naissance aux montagnes hercyniennes dont les VOSGES représentent un des maints vestiges européens.

Ces formations qui constituent le socle de l'Est du Bassin Parisien se composent de sédiments marins métamorphisés (schistes et gneiss) par des intrusions granitiques et des matériaux volcaniques.

A la fin de l'ère primaire et tout au long de l'époque secondaire, l'érosion a accumulé d'abord, surtout dans les points bas, la série gréseuse du Permo-Trias. Ces dépôts, souvent continentaux, ont été ensuite recouverts par des dépôts marins plus fins, alternativement calcaires ou argileux ou salins. Ils ont donné lieu à une série de couches sédimentaires de perméabilité variée, s'étendant sur tout le Nord et le Nord-Est de la France. Dans le secteur du bassin versant de la MOSELLE française, les divers terrains se succèdent du Permien au Jurassique supérieur.

Durant l'ère tertiaire, se sont accumulés d'importants dépôts de sédiments, essentiellement de nature marneuse, qui n'ont subsisté qu'en dehors de la région qui nous intéresse. En ALSACE, notamment, ces sédiments recèlent d'importants gisements potassiques.

A la fin de l'époque tertiaire et au début de l'ère quaternaire, la surrection des chaînes alpines s'est répercutée sur le massif ancien VOSGES-Forêt Noire, lequel fut relevé tandis que s'affaissait la plaine d'ALSACE en un vaste graben (fossé d'effondrement) drainé vers le Sud puis, ultérieurement, vers le Nord comme actuellement.

Ces mouvements eurent pour conséquence une reprise de l'érosion, particulièrement active sur les massifs anciens ainsi rajeunis et qu'elle débarrassa de leur couverture sédimentaire secondaire, mettant ainsi à jour les terrains primaires et cristallins plus anciens.

L'étude même sommaire des terrains géologiques, de leur composition chimique constitue un élément non négligeable dans l'appréciation de la teneur en alcalino-terreux, Ca^{++} et Mg^{++} (dureté totale) de la salinité (conductivité, teneur en chlorures, en sulfates...) des eaux superficielles ; ces dernières connaissent une sorte de pollution "naturelle" du fait de la nature des roches caractérisant les régions qu'elles traversent.

Toutefois, avant d'aborder l'étude de la composition chimique des grands ensembles lithologiques, il importe de présenter, même brièvement, la trame géologique du bassin versant de la MOSELLE dans le cadre des limites que nous avons retenues.

A. DESCRIPTION DE LA CONSTITUTION GEOLOGIQUE DU BASSIN DE LA MOSELLE FRANCAISE

Nous analyserons successivement les deux grands ensembles géologiques du bassin versant, à savoir :

- *les terrains anciens plissés,*
- *la couverture sédimentaire largement ondulée.*

1. *Le socle de terrains anciens plissés*

Il apparaît dans les VOSGES du Sud-Est. Au sens géographique du terme, ce massif peut faire l'objet d'une distinction en deux parties :

- Les Hautes VOSGES ou VOSGES méridionales constituées de gneiss, de granites, de schistes anciens et d'une série complexe plissée concernant des terrains dévono-dinantiens. La ligne de crête culmine au-dessus de 1 100 mètres jusqu'à la latitude de SAINT-DIE pour ensuite décroître plus au Nord.

- Au Nord du col de SAALES, les Basses VOSGES ou VOSGES du Nord appartiennent déjà au domaine sédimentaire. Elles sont constituées de grès du Trias inférieur.
  Ici, les sommets dépassent exceptionnellement 800 mètres ; l'altitude moyenne voisine les 500 mètres.

2. *La série sédimentaire ondulée*

Elle s'appuie sur les vieux massifs hercyniens des VOSGES et des ARDENNES dont les terrains en constituent le soubassement. A l'Est, le fossé d'effondrement alsacien limite cette couverture sédimentaire.

La structure du Bassin Parisien et le jeu de l'érosion différentielle ont contribué à faire apparaître les terrains selon une disposition en auréoles, des plus anciens à l'Est aux plus récents vers le centre du Bassin Parisien.

Pour ce qui concerne le bassin de la MOSELLE, nous trouvons successivement d'Est en Ouest les couches géologiques du Permien (Primaire) du Jurassique inférieur (Lias), du Jurassique moyen (Oolithique), du Jurassique supérieur (**fig. 3**)

a) Les terrains primaires : le Permien

Il forme une série composée d'argiles, de grès et de conglomérats, d'extension et d'épaisseur variables. Il repose en discordance sur les terrains plus anciens (Carbonifère moyen ou supérieur).

b) Les terrains secondaires

Les affleurements des diverses formations, ordonnés en bandes largement festonnées, se succèdent, de plus en plus récents vers l'Ouest et le Sud-Ouest.

Cette disposition est en relation avec le tectonique de la couverture sédimentaire ; cette tectonique doit ses caractéristiques principales à la superposition de trois phénomènes :

- un plongement d'ensemble des assises en direction de l'Ouest,
- des ondulations à grand rayon de courbure, de direction NE-SW (du Sud-Est au Nord-Ouest on distingue en effet : l'anticlinal des VOSGES, le synclinal de SARREGUEMINES, l'anticlinal de Lorraine, le synclinal du Luxembourg, l'anticlinal de SIERCK),
- des failles (dont celles de RODEMACK-HETTANGE-HAYANGE, de BERG-KOENIGSMACKER-CLOUANGE, de METZ-GORZE). D'autres failles présentent une direction transversale.

1) Le Trias

Il comprend trois divisions :

• *Le Trias inférieur ou Buntsandstein*

C'est une série gréseuse qui s'étend largement dans les VOSGES du NOrd. Vers le Sud, elle forme une ceinture en limite Nord-Ouest du socle ancien. La limite supérieure passe approximativement par LORQUIN, CIREY-SUR-VEZOUZE, RAMBERVILLERS, EPINAL, MONTHUREUX.

Elle se compose de la base au sommet :

- du grès vosgien, masse essentielle du Trias inférieur de 200 à 400 mètres de puissance selon les secteurs. On trouve, à sa base, des conglomérats riches en dolomie.

- du grand conglomérat : bancs durs et compacts d'un grès grossier à ciment silicieux,

- du grès bigarré : à sa base, il comprend des grès comparables au grès vosgien mais riches en lits argilo-sableux ; sa partie supérieure (ou grès à Voltzia) est formée de grès à grains fins, bigarrés, argileux.

• *Le Trias moyen ou Muschelkalk*

C'est une série calcaire qui se perçoit localement dans le paysage par une côte. Sa limite supérieure suit une ligne joignant en gros SARREBOURG, LUNEVILLE, CHARMES, VITTEL.

De la base au sommet, on distingue :

- le Muschelkalk inférieur présentant une triple division :

  une section inférieure : grès argileux ou grès coquillier

  une section moyenne marno-argileuse

  une section supérieure dolomitique et calcaire.

La puissance de cette formation est de 55 mètres en moyenne.

- le Muschelkalk moyen qui comporte deux parties :

  à la base, des argiles bariolés pauvres en calcaire

  au-dessus, les "couches grises" : marnes calcaires ou dolomitiques.

Le Muschelkalk moyen se trouve être le siège d'amas de gypse surtout dans les marnes grises, notamment à SIERCK. En profondeur, se trouve du sel gemme accompagné de bancs épais d'anhydrite. Le sel de ce niveau est exploité dans la région de SARRALBE. L'existence de sel gemme a également été décelée dans le secteur de DIEUZE.

La puissance du Muschelkalk moyen voisine les 50 mètres.

- le Muschelkalk supérieur, composé de trois couches essentielles, de la base au sommet :

  le calcaire à entroques, en bancs épais (10 mètres en moyenne)

  au-dessus, les couches à cératites : alternance de marnes et de calcaires (40 mètres d'épaisseur)

  au sommet, la Lettenkhole comprenant trois couches successives de bas en haut : la dolomie inférieure, les marnes bariolées, la dolomie limite. En tout, 30-35 mètres d'épaisseur.

- *Le Trias supérieur ou Keuper*

Il s'agit d'une série essentiellement marneuse, ayant son extension maximale en MOSELLE. C'est l'étage du sel. Sa limite, vers l'Ouest, peut être jalonnée comme suit, du Nord au Sud : vallée de la CANNER, PANGE, Ouest de CHATEAU-SALINS, SAINT-NICOLAS-de-PORT, rive gauche de la MOSELLE de PONT-SAINT-VINCENT à CHARMES, MIRECOURT, BULQUEVILLE, LAMARCKE.

Cet étage compte cinq formations se succédant comme suit, de bas en haut :

- les marnes bariolées inférieures du Keuper : masse marneuse assez uniforme, sauf vers le sommet plus ou moins dolomitiqu

  Le trait original de ces marnes bariolées consiste en des intercalations de gypse et d'anydrite, surtout en profondeur

  Par ailleurs, les marnes bariolées inférieures renferment, notamment dans les régions de CHATEAU-SALINS et DIEUZE,

de puissantes masses de sel gemme. On retrouve ce sel gemme dans la région située au Sud-Est de NANCY où il est exploité par salines et soudières.

La puissance de cette formation varie de 60 à 200 m. en moyenne.

- le grès à Roseaux constitué de grès fins plus ou moins argileux :
- les marnes bariolées sur le grès à Roseaux.
- la Dolomie en dalles ou plaquettes.
- les marnes bariolées supérieures (60 à70 m. d'épaisseur), formation renfermant souvent du gypse et de l'anhydrite.

2) Le jurassique.

On subdivise le jurassique en trois niveaux également:

- Le jurassique inférieur ou Lias

Le sommet de cet étage est constitué par le minerai de fer. On peut aisément en suivre la localisation sur la rive gauche de la MOSELLE. A l'Est, la série d'échève par le Rhétien dont la masse gréseuse fait apparaître un ressaut dans la topographie.

Le jurassique inférieur comprend quatre sous-étages :

- le Rhétien : le Rhétien inférieur est essentiellement composé de grès et d'argiles de 15 à 40 m. d'épaisseur.

  Quant au Rhétien supérieur il constitue une assise argileuse imperméable.

- le Calcaire à Gryphées (Hettangien, Sinémurien) : cette formation consiste en une alternance répétée de bancs calcaires marneux durs et de lits de marnes schisteuses.

  Au Nord de la MOSELLE, des formations du même âge que le Calcaire à Gryphées réapparaissent. Ici, la partie moyenne est formée de grès.

- le Lias marneux (Lotharingien, Charmouthien, Toarcien) : c'est une série argileuse avec quelques rares intercalations de calcaires et de grès. La puissance de cette formation approche les 250 m. dans la région de THIONVILLE.

- la formation du minerai de fer (Aalénien). Elle consiste en un complexe de couches sableuses, argileuses et calcaires avec intercalation de couches plus ou moins continues de minerai de fer.

• Le jurassique moyen (Oolithique)

Cette série forme le couronnement des côtes de MOSELLE et recouvre le plateau qui s'étend à l'Ouest de celles-ci. Elle est constituée par les formations appartenant aux étages du Bajocien et du Bathonien qui forment l'ensemble calcaire et marno-calcaire du Dogger (limite Ouest : BRIEY-LAC DE LA MADINE-TOUL-NEUFCHATEAU).

. le Bajocien : il présente une grande importance du fait de sa superposition sur le minerai de fer. Seul l'extrême sommet du Bajocien moyen (calcaire à POLYPIERS) affleure en de rares endroits. Un conglomérat marque la base du Bajocien, suivi de calcaires spathiques et coquilliers marneux, puis des formation récifales à calcaires diversement oolithiques.

. le Bathonien : A sa base repose la Caillasse à Anabacia, marno-calcaire, riche en petits polypiers isolés et en fausses oolithes avec des bancs calcaires cristallins.

Les marnes bleues à RHYNCHONELLES, entrecoupées de lentilles calcaires, surmontent la caillasse.

• Le jurassique supérieur

Dans le bassin de la MOSELLE, il correspond à la plaine de la WOEVRE et concerne une faible partie des côtes de MEUSE. Il correspond, ici, à l'étage de l'Oxfordien.

. l'Oxfordien inférieur ou Callovien : coïncide avec la partie moyenne et inférieure des argiles de la WOEVRE. Cette masse argilo-marneuse, à rares bancs calcaires, n'excède point 200 m. d'épaisseur.

. l'Oxfordien moyen : pour son terme inférieur, constitue le sommet des argiles de la WOEVRE. Ces argiles et marnes avec bancs calcaires passent progressivement, à leur sommet, au Terrain à Chailles (ensemble de marnes et argiles sableuses).

. l'Oxfordien supérieur ou Argovo-Rauracien :

. *l'Argovien présente des faciès calcaires diversifiés (coralligènes, marno-calcaires, calcaires crayeux...), il atteint 40 m. d'épaisseur,*

. *le Rauracien, puissant de 75 m., est un étage presque entièrement calcaire. A sa base, il se charge d'éléments marno-calcaires, de même qu'à son sommet. Il se termine par une surface d'émersion érodée. L'Argovo-Rauracien coïncide avec les côtes de MEUSE et limite, à l'Ouest, le bassin de la MOSELLE, séparant celui-ci du bassin de la MEUSE.*

B. COMPOSITION CHIMIQUE DES GRANDS ENSEMBLES LITHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA MOSELLE FRANCAISE

Son influence s'avère importante en ce qui concerne la pollution minérale et, particulièrement, la dureté des eaux fluviales qui traversent les diverses formations géologiques. Les principaux renseignements relatifs à la composition chimique des différentes roches figurent dans la thèse de R. FRECAUT (La Moselle et son bassin),1971.

Rappelons toutefois que si les analyses chimiques abondent au niveau des terrains cristallins et gréseux, elles font par contre quelque peu défaut dans le domaine des roches schisteuses, argileuses et surtout calcaires, compte tenu de la plus grande extension de ces deux dernières dans la géologie du bassin versant de la MOSELLE.

1. Les terrains cristallins et métamorphiques (tableau II)

Ils se localisent dans les Vosges centrales et méridionales et correspondent donc aux bassins de la MOSELLE supérieure, de la MOSELOTTE, en grande partie, au bassin de la VOLOGNE ainsi qu'au bassin supérieur de la MEURTHE.

Les résultats des analyses chimiques mentionnés proviennent pour l'essentiel du Service de Documentation du Centre de Recherches Pétrographiques et Géologiques de NANCY et ont été rapportés par R. FRECAUT. (1971).

L'élément dominant dans ces roches est la silice dont la teneur varie entre 55 et 75 % en moyenne. Le potassium, le sodium, le magnésium et le calcium sont les autres composants chimiques essentiels de ces roches :

- le potassium, exprimé en K_2O varie entre 4, 40 et 8,10 % pour la majorité des roches ;
- Na_2O entre pour 2 à 4 % dans la composition chimique des diverses roches cristallines (4,92 % dans les diorites de St MAURICE SUR MOSELLE) ;
- Mg O se rencontre en quantité non négligeable mais fort fariable d'un terrain à l'autre (de 0,25 à 7,30 %) ;
- la teneur en Ca O est également appréciable (entre 0,3 et 4 % en général, mais on a relevé 7,48 % dans les diorites d'ETIVAL).

Dans l'ensemble, les différentes variétés de roches cristallines et métamorphiques présentent une assez grande similitude de composition chimique ; ceci a une répercussion sur les transports en solution dans ce secteur du bassin mosellan.

2. *Les roches gréseuses (tableau III)*

Les ensembles gréseux du bassin comprennent :

. *les grès Permiens,*

. *les grès du Buntsandstein*

. *les séries gréseuses du Muschelkalk et du Lias.*

Proche du grès Vosgien, le grès Permien se rencontre dans quelques bassins de subsidence tels que celui de St.DIE (MEURTHE Supérieure, Fave, Plaine).

Dans les grès du Buntsandstein domine le grès Vosgien. Les formations gréseuses du Bundsandstein intéressent partiellement ou en totalité les bassins de nombre de petits affluents ou sous affluents de la MOSELLE, parmi lesquels la MORTAGNE et la VEZOUZE supérieures.

Il existe d'autres séries gréseuses concernant le bassin versant de la MOSELLE en dehors de celles du Permien et du Trias inférieur (Buntsandstein) ; il s'agit des séries du Trias moyen ou Muschelkalk avec le grès Coquillier et du Trias supérieur ou Keuper avec le grès à Roseaux.

Le jurassique inférieur ou Lias présente également 2 niveaux gréseux avec le Rhétien et l'Hettangien (au Nord de THIONVILLE, ce dernier, généralement constitué de marno-calcaires comporte en effet un faciès gréseux).

On ne connaît parfaitement que la composition chimique des roches gréseuses du Permien, du Buntsandstein et du Grès Coquillier. On remarque une assez nette ressemblance avec les terrains cristallins. Ici encore la silice domine (entre 67 et 93 %) ; mais la teneur en cet élément n'atteint que 48,22 % dans le grès Coquillier à ciment calcaire ou argileux.

K_2O présente aussi une certaine importance ; son pourcentage varie de 1,30 % dans un niveau gréseux du Bundsandstein (le Conglomérat principal) et 7,30 % dans le grès Permien.

Par contre, Na_2O ne se rencontre qu'en quantités réduites (moins de 0,5 %).

Ce n'est que dans un faciès grèseux du Buntsandstein (la zone violette supérieure, dalomit ique), que la teneur en Ca O revêt une certaine importance (11,40 %).

Ces deux niveaux se signalent également par les plus fortes teneurs en Mg O (respectivement 2,64 % et 3,30 %). Pour tous les autres, les teneurs en Ca O et Mg O restent inférieures à 1 %.

3. *Les terrains calcaires*

On ne rencontre que très rarement de faciès exclusivement calcaire. L'ensemble géologique du bassin versant de la MOSELLE possède une gamme complexe de calcaires, calcaires marneux et marno-calcaires.

Le Muschelkalk constitue un ensemble assez étendu, même en excluant les faciès grèseux du Coquillier et les intercalations argilo-marneuses. La dolomie du Muschelkalk inférieur et moyen et le calcaire à entroques et **cé**ratites du Muschelkalk supérieur n'affleurent qu'en des régions précises : bassins du MADON supérieur et du DURBION.

Les bassins du MADON et de la SEILLE appartiennent, pour l'essentiel, aux formations du Lias, pour la plupart marneuses et marno-calcaires ; il faut néanmoins signaler certains étages à dominante calcaire:

. *marno-calcaires de l'Hettangien,*

. *calcaires ocreux du Sinémurien,*

. *calcaires du Charmouthien inférieur.*

Beaucoup d'affluents de la rive gauche de la MOSELLE (TERROUIN, RUPT DE MAD, ORNE) drainent des bassins essentiellement calcaires correspondant aux assises des calcaires oolithiques du Bajocien inférieur et moyen, du Bajocien supérieur et du Bathonien inférieur.

Seule une faible partie du bassin versant de la MOSELLE se trouve concernée par les calcaires oolithiques et coralliens de l'Argovo-Rauracien.

Les seules données quantitatives relatives à la composition chimique des roches calcaires se rapportent au calcium et au magnésium.

La teneur en $CaCO_3$ approche les 80 % dans le calcaire à entroques du Muschelkalk supérieur ; elle voisine les 70 % dans le faciès marno-calcaire de l'Hettangien lequel renferme par ailleurs 1 à 1,5 %, exceptionnellement 3-4 % de $MgCO_3$. Des pourcentages analogues ont été constatés dans le calcaire ocreux du Sinémurien.

Dans le bassin de l'ORNE, le calcaire oolithique du Bajocien inférieur et moyen contient de 80 à 85 % de calcium ; mais des teneurs plus élevées ont été mesurées, à la limite occidentale du bassin de la MOSELLE, dans les calcaires oolithiques et coralliens de l'Argovo-Rauracien avec 96-98 % .

Ces pourcentages importants en calcium concernant les diverses séries calcaires ne sont point sans répercussion sur la minéralisation des eaux des bassins versants correspondants.

4. *Les terrains argilo-marneux*

Les marnes du Keuper couvrent une vaste zone, notamment entre la MEURTHE et la MOSELLE moyenne, et intéressent en particulier les bassins versants de l'EURON et du SANON.

Les argiles de WOEVRE (Callovien-Oxfordien), les terrains à CHAILLES (Oxfordien moyen) concernent le bassin supérieur de l'ORNE et de ses principaux affluents.

Mais il existe des niveaux argileux et marneux dans des formations réputées calcaires :

- série argileuse du Muschelkalk moyen,
- intercalations marneuses du Muschelkalk inférieur et supérieur,
- marnes du Sinémurien inférieur,
- marnes du Charmouthien moyen et supérieur,
- marnes et argiles du Toarcien,
- marnes de l'Aalénien,
- marnes de la base du Bajocien supérieur.

La silice demeure ici encore l'élément prédominant avec des teneurs oscillant entre 40 et 57 %.

Les ensembles argilo-marneux du Keuper et du Callovien-Oxfordien renferment une proportion de calcium assez modeste mais néanmoins nettement supérieure à celle observée dans les terrains cristallins et grèseux déjà considérés précédemment.

Les marnes vertes du Keuper inférieur contiennent 22,7 % de Ca CO_3 à BAINVILLE-AUX-MIROIRS, tandis qu'à ROSIERES-AUX-SALINES les marnes gypsifères du Keuper en renferment 36,1 %.

Dans les marnes dolomitiques du Keuper, à DOMJULIEN, ont été relevées des teneurs en Ca CO_3 variant entre 10 et 28 % ; cet élément est présent par contre en quantités sensiblement plus importantes dans les marnes du Callovien et dans les marno-calcaires de l'Oxfordien : respectivement, 48,5 % à LIFFOL-LE-GRAND et 34 % à ECROUVES (G. MILLOT, 1950, in R. FRECAUT, 1971).

Des proportions plus modestes ont été notées dans les niveaux marneux du Muschelkalk et du Lias :

- *24,6 % dans les marnes vertes à PEXONNE,*
- *9,8 % dans les marnes du Muschelkalk supérieur,*
- *9,6 % dans les marnes du Charmouthien,*
- *21 % dans les marnes du Toarcien à LUDRES.*

Généralement, ces terrains se caractérisent par leur pauvreté en Mg O (rarement plus de 0,5 %) tandis que leur teneur en calcium varie, elle, assez fortement d'une formation à l'autre.

SECTION III : APPROCHE HYDROLOGIQUE DE LA MOSELLE ET DE SON BASSIN VERSANT

L'étude de la qualité des eaux doit prendre en considération une notion de quantité. L'analyse du régime d'un cours d'eau, de son débit, variable dans le temps et dans l'espace, contribue à l'interprètation de la variation de la qualité des eaux de surface.

Les hautes eaux et, dans les cas exceptionnels, les crues, entraînent un phénomène de dilution, diminuant les concentrations en éléments polluants et améliorant les teneurs en oxygène dissous, mais provoquent également une augmentation des matières en suspension et une dissolution des éléments minéraux.

Au contraire, en période de basses eaux et, dans les cas extrêmes, d'étiages, ce sont les phénomènes de concentration des diverses pollutions qui dominent.

Toutefois, et nous le verrons au cours de la section II de la 2ème partie de cette étude, il ne faut point considérer ce rôle du débit isolément; d'autres facteurs interviennent dont l'action interfère avec celle du débit et souvent même la contrarie.

A. L'ABONDANCE MOYENNE ANNUELLE

1. *Les modules interannuels absolus*

On constate, au niveau du bassin versant de la MOSELLE, une augmentation relativement lente des modules au fur et à mesure de la traversée du Plateau Lorrain. En effet :

- dans le secteur montagneux de son bassin versant, dans le secteur vosgien, les débits moyens annuels de la MOSELLE n'atteignent guère des valeurs très élevées et, en tout cas, n'excédant pas les 40 m^3/s (tableau 4) : 6,4 m^3/s à RUPT-SUR-MOSELLE ; 23,3 m^3/s à NOIR-GUEUX ; 36,2 m^3/s à EPINAL.

Il en est de même des apports des principaux affluents dans cette région, MOSELOTTE et VOLOGNE, lesquels n'écoulent pas 10 m^3/s (respectivement 7,65 m^3/s à ZAINVILLERS et 9,15 m^3/s à CHENIMENIL). Le débit de la MEURTHE à la sortie de son bassin supérieur vient d'ailleurs confirmer la modestie générale des modules au niveau de la fraction vosgienne des divers cours d'eau (quelques 8 m^3/s à St.DIE).

- les affluents du Plateau Lorrain, pour leur part, se signalent par des débits relativement médiocres dans l'ensemble :

  . MADON, SEILLE et ORNE fournissent au collecteur principal entre 8 et 10 m^3/s (respectivement : 9,2 m^3/s ; 8,6 m^3/s et 9 m^3/s à PULLIGNY, METZ et ROSSELANGE),

  . RUPT-DE-MAD, FENSCH et CANNER apportent encore moins à la MOSELLE; ne déversant pas 3 m^3/s (2,91 m^3/s à ONVILLE ; 1,98 m^3/s à MAISON-NEUVE ; 0,504 m^3/s à KOENIGSMAHER),

  . seule la MEURTHE fait exception puisqu'à MALZEVILLE elle écoule 34,2 m^3/s ce qui contraste nettement avec les débits des autres affluents du Plateau Lorrain. Ceci s'explique par le fait que la MEURTHE dispose d'un bassin versant plus étendu et que celui-ci présente, dans sa zone supérieure, un caractère typiquement montagnard, à fortes précipitations (fig. 4).

Au total, le module de la MOSELLE double presque d'EPINAL à TOUL et de TOUL à HAUCONCOURT, comme le fait remarquer R. FRECAUT, passant successivement de 36,2 m^3/s à 58 m^3/s puis 116 m^3/s.

2. *Les modules interannuels spécifiques*

En se référant à la superficie du bassin versant, l'abondance spécifique (rapport du module interannuel brut à la surface du bassin) permet de comparer entre eux des cours d'eau très divers.

Toutefois, les différents facteurs géophysiques de l'écoulement entrent encore en jeu. Les interractions de ces derniers font que les modules spécifiques varient fortement, en fonction du bassin versant, d'un domaine hydrologique à l'autre.

Néanmoins, le débit spécifique moyen annuel s'avère plutôt modéré pour la plupart des cours d'eau du bassin de la MOSELLE. Toutefois, il importe de formuler quelques distinctions :

- dans le secteur montagneux des HAUTES VOSGES, l'abondance spécifique connait des valeurs assez marquées, supérieures à 40 l./s./km2 ; ainsi pour la MOSELLE supérieure à RUPT-SUR-MOSELLE (41,8 l./s./km2) et pour la MOSELOTTE à ZAINVILLERS (40,9 l./s./km2). Elle atteint encore des valeurs importantes à NOIR-GUEUX (37,5 l./s./km2), à EPINAL (29,81./s./km2) en ce qui concerne la MOSELLE, ainsi qu'à CHENIMENIL (25,8 l./s./km2) pour la VOLOGNE.

  Ces modules spécifiques élevés sont à mettre en relation avec les fortes précipitations, tant solides que liquides (fig. 4) interessant les VOSGES, alors que, parallèlement, les basses températures du milieu océanique de montagne d'une part, la rapidité du ruissellement dûe aux fortes pentes d'autre part, contribuent à ralentir l'évapotranspiration.

  Cette influence montagnarde du bassin versant supérieur reste sensible sur une bonne partie du cours de la MOSELLE comme le démontrent les débits spécifiques suivants mesurés d'amont en aval :

  . *RUPT-SUR-MOSELLE :* *41,8 l./s./km2,*
  . *NOIR-GUEUX :* *37,5 l./s./km2,*
  . *EPINAL :* *29,8 l./s./km2,*
  . *TOUL :* *17,5 l./s./km2,*
  . *BLENOD :* *15 l./s./km2 environ.*

- si l'on peut affirmer que dans les parties montagneuses des VOSGES les modules spécifiques restent supérieurs à 20 l./s./km2 il en va tout autrement dans les autres secteurs du bassin de la MOSELLE où ils voisinent les 10 l./s./km2 bien que des nuances s'observent en fonction des cours d'eau :

  . les débits spécifiques approchent voire dépassent les 10 l./s./km2 dans les bassins d'altitude un peu plus élévée lesquels se trouvent par conséquent mieux arrosés : MEURTHE à MALZEVILLE, MADON à PULLIGNY (tableau IV) de même que la MORTAGNE à MOYEN, la SEILLE jusqu'à VIC (fig. 5),

- quant aux cours d'eau dont le bassin se situe en plaine ou sur le Plateau Lorrain en totalité, ils se caractérisent par des modules spécifiques inférieurs à 10 l./s./km 2 et même, souvent, à 8 l./s./km 2 : RUPT DE MAD à ONVILLE, SEILLE à METZ, ORNE à ROSSELANGE, CANNER à KOENIGSMAKER.

Dans ces secteurs de plaines et de plateaux, la faiblesse des débits spécifiques trouve son explication dans l'influence de facteurs tels que :

- la faiblesse relative des pentes et l'étendue des terrains imperméables ; ceci facilite grandement "l'attaque" des eaux par l'évaporation (bassin de la SEILLE notamment);

- la végétation forrestière assez réduite par comparaison avec le secteur vosgien du bassin versant. La végétation absorbe l'eau mais son ombre constitue un facteur limitant de l'évaporation.

Si dans les VOSGES, nous l'avons vu, les basses températures du milieu montagnard modèrent la transpiration végétale, et l'abondante végétation forestière (plus de 45 % de la superficie cadastrée, fig.18A) par son effet d'ombre, réduit, parallèlement, l'évaporation directe déjà amoindrie également par le ruissellement rapide et les basses températures moyennes, dans les régions de plaines et de plateaux du bassin de la MOSELLE, avec la prédominance de la végétation herbacée et des surfaces cultivées, l'efficacité de celle-ci vis-à-vis de l'évaporation est plus modeste.

B. LES VARIATIONS SAISONNIERES

Nous avons tracé une quinzaine de graphiques relatifs à quelques stations : ce sont des courbes de variations saisonnières du coefficient mensuel de débit qui est le rapport, pour chaque mois, de la moyenne des débits mensuels de la période considérée au module annuel global de la même période. Les valeurs inférieures à l'unité coïncident avec les basses eaux, celles supérieures à 1 indiquent les périodes de hautes eaux (**fig. 6 et fig. 7, de A à D; tableau V**).

Nous pouvons remarquer que les cours d'eau du bassin de la MOSELLE présentent un régime du type pluvial océanique ; l'alimentation liquide de ces cours d'eau est largement prédominante pour ne pas dire exclusive.

Nous noterons la répartition bien nette entre les hautes eaux de saison froide (de novembre à avril la plupart du temps) et les basses eaux de saison chaude (de mai à octobre). Le coefficient mensuel de débit le plus fort se situe le plus fréquemment en février ou en décembre, plus rarement en novembre (un seul cas : la MOSELLE à RUPT / MOSELLE), tandis que le plus faible apparaît surtout en juillet et parfois en août ou septembre.

La répartition des hautes et basses eaux s'explique beaucoup plus par le rôle de l'évapotranspiration, faible en saison froide et maximale de mai à octobre, que par les variations de précipitations. D'ailleurs, hormis dans les secteurs de montagne du bassin de la MOSELLE, le maximum pluviométrique apparaît toujours en saison chaude (**fig.6 et fig.8, de A à C ; tableau VI**).

Toutefois, ce régime fluvial général connaît, dans le bassin versant de la MOSELLE tel que nous l'avons défini, deux nuances régionales :

- le régime pluvial océanique de plaine, caractérisant la majeure partie du bassin,
- le régime pluvio-nival de moyenne montagne, pour les bassins supérieurs de la MOSELLE et de la MEURTHE ainsi que pour ceux de la MOSELOTTE et de la VOLOGNE. Dans cette nuance, l'influence nivale se traduit, sur la courbe de variation des coefficients mensuels de débits, par un triplement du maximum de saison froide (MOSELLE à RUPT / MOSELLE et NOIR-GUEUX ; MOSELOTTE à ZAINVILLERS ; VOLOGNE à CHENIMENIL : fig.7 A) :

  . *le maximum principal se place en fin d'automne (novembre), en début d'hiver (décembre) ou en plein hiver (février) selon le cas,*

  . *le maximum secondaire s'observe le plus souvent en février ou bien en avril,*

  . *enfin, le maximum tertiaire concerne surtout le mois d'avril mais il peut apparaître en novembre.*

Le maximum de fin d'automne ou de début d'hiver est lié aux précipitations liquides ; celui de février tient à la fois aux précipitations liquides et à un début de fusion nivale ; celui d'avril s'explique par la conjonction des pluies et de la fusion nivale de printemps.

La rétention nivale est assez peu efficace dans ce type de régime ; elle ne joue semble-t-il qu'en mars et encore, ne donne t-elle pas lieu, pour ce mois, à un coefficient de débit inférieur à 1 sauf dans un seul cas : RUPT-SUR-MOSELLE.

C. LES VARIATIONS EFFECTIVES DES DEBITS

1. *La valeur moyenne des extrêmes journaliers*

La moyenne des minima et des maxima journaliers, calculée pour une longue période, renseigne sur l'écart que connait en moyenne une rivière entre son plus faible et son plus fort débit dans l'année.

Ainsi, on a pu estimer qu'à HAUCONCOURT, en année moyenne, la MOSELLE peut écouler près de quarante fois plus d'eau le jour de sa crue la plus marquée que le jour de son étiage le plus accusé. Ce chiffre atteint la valeur de 65 à EPINAL (G. SCHAUB, 1975).

2. *Quelques débits extrêmes journaliers et instantanés*

Le débit journalier est lui-même une valeur moyenne. En période d'étiages, les minima instantanés diffèrent peu des minima journaliers ; mais en périodes de crues les maxima instantanés atteignent souvent des valeurs très supérieures aux maxima journaliers.

a) Les étiages

Il faut distinguer les basses eaux, phénoméne périodique, annuel et régulier d'une rivière, des étiages qui sont un phénomène exceptionnel.

En régime pluvial océanique, les étiages peuvent apparaitre en saison froide (période normale des hautes eaux), comme en saison chaude. Ainsi, lors de l'hiver 1962-1963, la MOSELLE n'a écoulé que 6,7 m^3 d'eau à la seconde à EPINAL (le 26.2.1963) et 23,3 m^3 à la seconde à HAUCONCOURT (le 3.3.1963) ; pourtant, la moyenne de ces deux mois est supérieure à 50 m^3/s à EPINAL (période 1952-1977) et à 150 m^3/s à HAUCONCOURT (période 1956-1977) ; exactement : 56,5 et 152 m^3/s .

Mais les étiages de saison chaude sont plus fréquents et plus marqués. A EPINAL, le plus faible étiage journalier a été observé le 17 août 1952 (0,6 m^3/s) ; toutefois un débit minimum instantané de 0,3 m^3/s a été relevé à cette station le 27 juin 1954.

C'est le 10 août 1964 qu'a été enregistré, à HAUCONCOURT le débit journalier le plus bas (6,85 m^3/s) tandis que le 28 août 1976 le débit journalier s'est fortement rapproché de cette valeur avec 7,25 m^3/s.

Voici à titre indicatif les débits minima journaliers observés lors des grands étés de ces vingt cinq dernières années dans quelques stations de la MOSELLE :

- à EPINAL, le débit journalier minimal a atteint 1,6 m^3/s le 2 septembre 1964 et 2,58 m^3/s le 23 août 1976,
- à TOUL, la MOSELLE a écoulé un minimum de 3,1 m^3/s le 13 et le 15 septembre 1959 ; 3,58 m^3/s le 8 juillet 1964 ; 3,5 m^3/s le 12 octobre 1971 ; 3,19 m^3/s les 28 et 29 août 1976,
- à HAUCONCOURT, la valeur minimale des débits journaliers a été de 7,40 m^3/s le 19 septembre 1971 et de 7,25 m^3/s le 28 août 1976.

b) Les crues

Ce sont des phénomènes exceptionnels, tout comme les étiages, mais plus spectaculaires que ces derniers. Il faut les distinguer des hautes eaux qui se répètent, elles, régulièrement chaque année.

C'est surtout en saison froide (hautes eaux) que l'on remarque, en régime pluvial océanique, les crues les plus accusées.

A HAUCONCOURT, durant la période 1956-1977, c'est le 10 février 1956 que furent relevés les plus forts débits journaliers et instantanés maxima, respectivement : 2100 et 2200 m^3/s.

A EPINAL, une des plus fortes crues de saison froide a été mesurée le 31 mars 1962 avec un débit maximum journalier de 478 m^3/s et un débit maximum instantané de 600 m^3/s.

En ce qui concerne les crues de saison chaude, celle du 12 mai 1970 s'est traduite par un débit maximum instantané de 191 m^3/s et 479 m^3/s respectivement à EPINAL et à TOUL tandis que la MEURTHE à MALZEVILLE écoulait 606 m^3/s le même jour.

Mais au cours de cette même crue les débits maximum journalier et maximum instantané approchèrent respectivement, le 13 mai, les 1200 et les 1300 m^3/s. à la station de HAUCONCOURT.

Voici quelques valeurs de débits de crues mesurées au cours de ces vingt-cinq dernières années. (Voir tableau page suivante)

Les crues de saison froide résultent de la conjonction : fonte des neiges - précipitations liquides, tandis que les crues de saison chaude, sont à mettre en relation avec des périodes d'orages exceptionnels de caractère durable.

3. *Les débits moyens sur plusieurs jours consécutifs*

Les débits moyens de huit à dix jours consécutifs donnent une idée de la sévérité de l'étiage. Lors des étiages sévères, apparaissant au cours d'une longue période sèche, la diminution du débit est très lente et il n'existe alors qu'un faible écart entre le débit de la décade la plus sèche et le débit naturel du jour le plus sec.

On fournira pour deux stations de la MOSELLE, EPINAL et HAUCONCOURT, les débits moyens minimums de 10, 30 et 60 jours consécutifs pour la période 1952-1974 (EPINAL) et 1956-1974 (HAUCONCOURT).

Stations	Modules	D.M.M. 10 jours	D.M.M. 30 jours	D.M.M. 60 jours
EPINAL	36,3 m^3/s	6,30 m^3/s	7,76 m^3/s	9,63 m^3/s
HAUCONCOURT	117 m^3/s	25,60 m^3/s	29,90 m^3/s	34,80 m^3/s
D.M.M. = Débits Moyens Minimums.				

VALEURS DE DÉBIT DE CRUES MESURÉES AU COURS DE LA PÉRIODE 1955-1980

SOURCE A.F.B.R.M.

Stations	Mesure	1958	1962	1970	1972	1977	1978
EPINAL	D.M.I. (m^3/s)	470 (9.2)	600 (31.3)	530 (23.2)	675 (17.11)	412 (26.1)	396 (31.12)
	D.M.J. (m^3/s)	420 (9.2)	478 (31.3)	372 (23.2	422 (17.11)	320 (26.1)	371 (31.12)
TOUL	D.M.I. (m^3/s)		695 (1.4)	555 (10.2)	890 (18.11)	580 (22.2)	560 (25. 2)
	D.M.J. (m^3/s)		630 (1.4)	525 (24.2)	705 (18.11)	490 (21.2)	535 (25. 2)
HAUCONCOURT	D.M.I. (m^3/s)	2200 (10.2)	1150 (2.4)	1275 (13.5)	1141 (19.11)	925 (22.2)	1032 (26. 2)
	D.M.J. (m^3/s)	2100 (10.2)	980 (2.4)	1197 (13.5)	1057 (19.11)	895 (22.2)	980 (26. 2)

D.M.I. = Débit maximum instantané

D.M.J. = Débit maximum journalier

( ) = Date de mesure

On constate qu'à EPINAL, l'étiage de 10 jours consécutifs de la MOSELLE représente à peine plus de 15 % seulement du module (17,35 % exactement). A HAUCONCOURT, ce même étiage de 10 jours consécutifs représente un peu plus de 1/5 du module (21,88 %).

Pour ce qui est du débit minimum de 30 jours consécutifs, il représente à peu près 1/5 du module à EPINAL et 1/4 à HAUCONCOURT.

Enfin, l'étiage de 60 jours consécutifs dépasse à peine le quart (26,52 %) de la valeur du module à EPINAL et approche 30 % de celle-ci à HAUCONCOURT.

Tous ces pourcentages soulignent la sévérité de certains étiages. Les plus fortes valeurs des débits moyens de 10, 30, 60 jours consécutifs observées à HAUCONCOURT s'expliquent par les apports très appréciables qu'à ce niveau du cours de la MOSELLE, les affluents ont déjà apporté au collecteur principal du bassin versant.

Ce sont les étiages de longue durée, les étiages persistants qui constituent un terrain favorable à l'aggravation des pollutions du fait du processus de concentration qu'ils engendrent au niveau, notamment, des divers polluants minéraux.

Le régime d'un cours d'eau dépend des facteurs hydro-météorologiques déterminant l'écoulement fluvial. Nous allons voir que les périodes de sécheresse marquée résultent de facteurs pluvio-thermiques exceptionnels quant à leur durée et à leur intensité, lesquels bouleversent les caractéristiques "normales" du bilan de l'eau au niveau d'une station par exemple.

Il convient donc d'accorder une attention certaine à ces facteurs et à leur rôle dans les diverses "affectations" de l'eau précipitée, surtout pour la période qui nous interesse laquelle, nous le verrons, connut une phase sèche de plusieurs années et une phase plus humide.

Les quantités d'eau qui s'évaporent, ruissellent ou alimentent les réserves aquifères varient, certes, en fonction de l'importance du total précipité ; mais d'autres facteurs interviennent tels que les températures et l'insolation.

C'est pourquoi ces trois éléments déterminants du bilan de l'eau doivent être appréciés pour comprendre et expliquer les variations périodiques des débits et écoulements des cours d'eau.

D. LE BILAN DE L'EAU ET SES FACTEURS DANS LE BASSIN DE LA MOSELLE

Nous insisterons tout particulièrement dans cette sous-section, sur la période 1965-1978 servant de cadre à notre étude. Cette période fut riche en étés remarquables du point de vue pluvio-thermique et, de ce point de vue la longueur des phases de déficit pluviométrique marqué notamment, peut constituer un élément non négligeable dans l'explication et l'interprètation de l'intensité de certaines pollutions.

Nous situerons la sècheresse de la période qui nous interesse par rapport à celle que connurent d'autres périodes (quand les données existent et nous le permettent) ; puis nous étudierons le bilan de l'eau au niveau des deux seules stations pour lesquelles nous disposons de données : METZ et NANCY (ces données concernent d'ailleurs une partie de la période 1965-1978 seulement car ce genre de bilan ne s'effectue que depuis une époque récente au niveau des services météorologiques régionaux).

1. *Les facteurs pluvio-thermiques influençant le bilan de l'eau et l'écoulement fluvial*

a) Les enseignements tirés des courbes de pluviosité

Pour étudier les aspects de la pluviosité dans le bassin versant de la MOSELLE française, nous avons considéré l'évolution du rapport des totaux pluviométriques annuels successifs sur une période déterminée, à la moyenne annuelle des précipitations durant cette même période.

Les courbes ainsi établies (fig.9 de A à R) rendent compte des périodes humides (lorsque le rapport est supérieur à 1) et des périodes sèches (quand il reste inférieur à l'unité).

Nous avons retenu 18 stations, dispersées sur l'ensemble du bassin de la MOSELLE, et réparties entre les secteurs de montagne, de plateau et de plaine de ce dernier. (fig. 6)

D'une station à l'autre la période d'observations peut varier considérablement (d'une vingtaine d'années à plus d'un siècle). Mais les stations pour lesquelles sont disponibles les séries de données les plus longues se localisent surtout en région de plaine ou de plateau (MIRECOURT, GONDREXANGE, NANCY-TOMBLAINE, St NICOLAS-DE-PORT, METZ-FRESCATY).

Néanmoins, elles permettent déjà de formuler certaines remarques à propos des périodes sèches, les plus fondamentales, nous l'avons vu. Nous décelons en effet, à l'examen de ces courbes, portant sur une longue période d'observations, une alternance de phases à dominante humide et de phases nettement plus sèches ; parmi celle-ci nous citerons :

. *à GONDREXANGE : 1856-1874 ; 1883-1894 ; 1941-1948 1953-1964 ; 1971-1976,*

. *à MIRECOURT : 1881-1903 ; 1916-1921 ; 1971-1976,*

. *à NANCY-TOMBLAINE : 1897-1909 ; 1953-1959 ; 1961-1964 ; 1971-1976,*

. *à St NICOLAS-DE-PORT : 1906-1909 ; 1942-1949 ; 1953-1957 ; 1961-1964 ; 1971-1976,*

. *à METZ-FRESCATY : 1932-1938 ; 1942-1948 ; 1953-1957 ; 1971-1976.*

On peut donc remarquer que les périodes sèches varient plus ou moins sensiblement d'une station à l'autre quant à leur durée ou quant à leur correspondance. Ceci étant bien sûr à attribuer à l'influence des conditions géographiques et climatiques locales. Toutefois, et quelle que soit la station, certaines périodes de sécheresse "reviennent" régulièrement, du moins dans les régions de plaine et de plateau.

. *1953-1957,*

. *1971-1976 ; cette dernière période apparait d'ailleurs également au niveau des stations de montagne (fig. 9, de A à D).*

. *la période 1959-1964 figure aussi assez régulièrement.*

Il faut également noter l'existence d'étés remarquables, d'années sèches remarquables, intégrés au sein des périodes sèches précédemment identifiées, ou bien apparaissant en pleine période humide. Il s'agit pour le 20e siècle, des années suivantes : 1921, 1929, 1933, 1949, 1953, 1959, 1964, 1971, 1976.

Ces étés remarquables bien connus des climatologues intéressent des années facilement repérables sur les courbes de pluviosité par des "pics" très accusés vers les valeurs inférieures à 1.

Généralement, lors des années précitées, la pluviosité a été même inférieure à 0,8, avoisinant parfois 0,6 (fig. 9, de A à R), notamment :

. *1953 et 1971 à LA BRESSE,*
. *1949 à REMIREMONT,*
. *1902 et 1921 à MIRECOURT,*
. *1921 et 1949 à GONDREXANGE,*
. *1971 à PIERRE-PERCEE et BADONVILLERS,*
. *1942, 1953, 1976 à COMMERCY (bassin de la MEUSE supérieure),*
. *1949 à NANCY-TOMBLAINE et St NICOLAS-DE-PORT,*
. *1933 et 1953 à METZ-FRESCATY.*

Dans certains cas, plus rares, la pluviosité a frôlé 0,5 et même moins ; ainsi à METZ-FRESCATY (1921), TOUL (1943 et 1947), GERARDMER (1942 et 1971).

En ce qui concerne la période qui nous intéresse dans le cadre de cette étude (1965-1978), nous constatons sur les diverses courbes que si dans l'ensemble elle fut plutôt humide (les courbes présentant 8 à 9 années sur les 14 qu'en comporte cette période, à pluviosité supérieure à la moyenne), elle connut par contre deux phases bien nettes et totalement différentes quant à la pluviométrie :

. de 1965 à 1970, la pluviosité, supérieure à la moyenne, traduit une phase humide généralement continue ; l'année 1970, et plus rarement encore l'année 1966 faisant exception dans quelques stations;

. de 1971 à 1976 le bassin de la MOSELLE connait un déficit de précipitations par rapport à la moyenne, déficit interrompu l'espace d'une année, en 1974. Notons que ce sont les années de début et de fin de cette période sèche (1971 et 1976) qui furent les plus faiblement arrosées;

. après 1976, il y eut une remontée de la pluviosité bien qu'à NANCY-TOMBLAINE et St NICOLAS-DE-PORT (région centrale du bassin de la MOSELLE) 1978 se soit signalée par une pluviosité à peine moyenne.

Mais lors des périodes à déficit pluviométrique accusé interviennent également des phénomènes tout aussi remarquables quant à leur intensité ou à leur durée, phénomènes d'ordre thermique dont l'influence peut se révéler d'autant plus déterminante, pour le bilan de l'eau et son évolution, qu'elle aggrave les conséquences d'une insuffisance des précipitations.

b) Les courbes de températures et d'insolation

Les températures de l'air évoluent en général en raison inverse des précipitations et sont évidemment liées à l'insolation.

Nous avons représenté sur des graphiques la situation thermique de chaque saison chaude, remarquable par sa sècheresse, au cours de ces vingt cinq dernières années, pour la période avril-octobre.

Il s'agit des courbes de températures moyennes mensuelles calculées au niveau de quelques stations du bassin de la MOSELLE avec, comme référence, la courbe "normale" représentant, pour chaque mois, la température moyenne sur une vingtaine d'années en général (fig. 10 de A à F)

La période concernée a connu de façon plus ou moins continue des températures supérieures à la normale :

- en 1959 : d'avril à septembre dans toutes les stations,
- en 1964 : d'avril à septembre également sauf à GERARDMER et à NANCY-TOMBLAINE où l'on note une légère interruption en août,
- la discontinuité est plus marquée pour l'année 1971 puisque, lors de celle-ci, les températures moyennes mensuelles ont été supérieures à la normale en avril, mai, juillet, août et octobre ; le cas de MIRECOURT faisant exception,
- pour 1976 on observe une différence entre le secteur nord et le secteur sud du bassin de la MOSELLE puisqu'au niveau des stations vosgiennes de MIRECOURT, GOLBEY et GERARDMER on constate un excédent thermique pour mai, juin, juillet et octobre tandis que dans les stations de la fraction du bassin située plus en aval, le mois d'août a également enregistré une température moyenne supérieure à la valeur normale.

Il est à noter qu'au cours de ces étés remarquables, les moyennes mensuelles de température ont dépassé la valeur normale correspondante de plus de 2°5 dans certains cas ; l'excédent a même approché les 3 ou 4 degrès (différences considérables compte tenu du fait qu'il s'agit de moyennes). Ainsi :

- en juin et juillet 1976 et souvent en juillet 1959 (avec plus de 4° à SEREMANGE-ERZANGE) dans la partie aval du bassin,

- toutefois, à mesure que l'altitude s'accroît, l'excédent thermique tend à demeurer inférieur à ces valeurs. Seule la station de MIRECOURT d'altitude intermédiaire a enregistré en juillet 1959 et en juillet 1976 une moyenne mensuelle supérieure de plus de 2°5 à la normale.

Les données d'insolation corroborent les remarques précédentes (fig.11 A' et 11 B') pour la période considérée et même en dehors de celle-ci. Nous relèverons en particulier des durées d'insolation supérieures à 300 heures en juillet 1971 et juin 1976 et de plus de 250 heures en juillet et septembre 1959, juin et juillet 1964, juillet 1949 et août 1976.

Dans certains cas, l'excédent d'insolation par rapport à la normale a dépassé les 50 % ; ainsi pour septembre 1959, octobre 1971, juin 1976.

Plus intéressantes s'avèrent les courbes d'évolution du coefficient d'insolation annuel (rapport de l'insolation de l'année à l'insolation moyenne). Leur analyse nous apprend en effet que sur la période 1950-1978 deux phases relativement bien distinctes se sont succédées, phases que nous avions déjà observées antérieurement au moment de l'étude des courbes de pluviosité (fig. 11A et 11B) :

- avant 1970, l'insolation annuelle oscilla aux environs de la moyenne avec cependant quelques exceptions correspondant aux années 1959, 1962, 1964 et 1967,

- après 1970 dominent des années à insolation plus marquée ; il s'agit, nous l'avons vu, des années à déficit pluviométrique accusé qui composent la période 1971-1978 ; au cours de celle-ci, l'insolation n'a vraiment été inférieure à la moyenne qu'en 1974 et après 1976 (surtout au niveau de la station de NANCY-TOMBLAINE).

On comprend, à l'analyse des courbes des températures moyennes mensuelles et d'insolation mensuelle, l'intérêt des observations précédentes pour la période sur laquelle porte cette étude (1965-1978).

Les facteurs pluviométriques conditionnent l'écoulement fluvial en déterminant les valeurs caractéristiques du bilan de l'eau : évapotranspiration, réserve, surplus... Celles-ci permettent d'apprécier la part des précipitations qui alimentent le débit des rivières.

2. *Le bilan de l'eau dans le bassin de la MOSELLE (période 1971 - 1978)*

Les différentes phases du cycle de l'eau qui se succèdent au sein des écosystèmes sont : l'interception, la pénétration, l'évapotranspiration, l'infiltration, le ruissellement, le drainage (écoulement fluvial).

La végétation intercepte, par l'écran qu'elle forme, et évapore, avant même qu'elle atteigne le sol, une partie de l'eau précipitée. La fraction de celle-ci qui pénètre le couvert végétal s'écoule le long des tiges et des troncs puis, s'infiltre dans le sol ou ruisselle.

Le sol retient une partie de l'eau infiltrée et ce, d'autant plus que le complexe colloïdal argile-humus qu'il contient est abondant. Une fraction de l'eau infiltrée, celle qui "mouille" le sol dans sa zone superficielle (20-30 cm de profondeur) peut s'évaporer par suite de remontées capillaires vers la surface.

Par le biais des racines de la végétation, celle-ci peut puiser l'eau à une plus grande profondeur, eau qu'elle transpire par sa surface foliaire. A titre indicatif, un bouleau évapore en moyenne 75 litres d'eau par jour ; un hêtre 100 litres ; un tilleul 200 litres. On estime que, dans nos régions, la quantité d'eau perdue par transpiration du couvert végétal varie entre 2000 et 3000 tonnes d'eau par hectare et par an en moyenne (P. DUVIGNEAUD, 1974).

On appelle évapotranspiration la quantité d'eau libérée dans l'atmosphère par l'écosystème ; cela équivaut à la somme d'eau transpirée par les plantes et évaporée par le sol ; elle peut être évaluée à 3000-7000 tonnes par hectare et par an dans nos régions.

Lorsque la quantité de pluie infiltrée dans le sol excède la capacité maximale en eau, elle percole jusqu'à la nappe aquifère, percolation d'autant plus importante que le climat est plus régulièrement pluvieux et que le sol est plus perméable. Cette percolation est responsable du lessivage des éléments colloïdeux du sol.

La fraction de la pluie qui ruisselle et rejoint les collecteurs principaux est donc d'autant plus abondante que la pente du bassin versant est plus forte et que le sol est plus dénudé de végétation.

a) Les paramètres caractéristiques du bilan de l'eau

Une des approches les plus classiques du bilan de l'eau, à l'échelle mensuelle a été mise au point par le botaniste et climatologue américain C.W. THORNTHWAITE (1957). Elle repose sur l'évaluation, à partir d'un certain nombre d'hypothèses formulées par ce chercheur, et pour une surface donnée, des épaisseurs, en millimètres, des lames d'eau correspondant, entre autres, à : (in Ch. P. PEGUY, 1970).

. la "réserve", dans les sols superficiels, d'eau utilisable par les plantes : R.U. La valeur maximale de cette réserve a été fixée conventionnellement à 100 mm par C.W. THORNTHWAITE (1957) pour les sols à végétation assez abondante des régions tempérées,

. l'écoulement de l'eau en excès, ou "surplus S", après comblement de la réserve à 100 mm ; il comprend le ruissellement superficiel et la percolation souterraine après infiltration. Pour les bassins fluviaux assez étendus il a été démontré qu'en moyenne annuelle, le débit à l'exutoire était du même ordre de grandeur que la somme des écoulements mensuels,

. la "déficience". Lors des périodes de sècheresse la quantité d'eau réellement évaporée (évapotranspiration réelle : E.T.R.) est souvent inférieure à celle qui aurait pu s'évaporer (évapotranspiration potentielle : E.T.P.) si l'eau s'était trouvée assez abondante. Dans ce cas, la différence algébrique E.T.P.-E.T.R. est positive : on parle alors de déficience, notion fondamentale dans l'étude des bilans de l'eau.

Surplus et déficience représentent respectivement la phase humide et la phase sèche du cycle de l'eau. Ces deux paramètres revêtent donc une importance capitale au niveau des débits des cours d'eau.

La durée des périodes de surplus et de déficience, ainsi que leur apparition plus ou moins précoce et leur persistance plus ou moins prolongée, tardive, ne sont point sans répercussion, par écoulements fluviaux interposés, sur le caractère plus ou moins chronique de certaines pollutions.

Plus particulièrement pour la période 1971-1978 (les estimations des divers paramètres caractéristiques du bilan de l'eau ne sont effectuées que depuis 1971 et pour les stations de METZ et NANCY uniquement), l'analyse du bilan de l'eau au niveau du bassin de la MOSELLE met en évidence les perturbations de l'alimentation de la rivière liées à la sècheresse qui a sévi durant une grande partie de cette période.

b) Les observations relatives à la période 1971 - 1978 à METZ et NANCY

Au niveau des deux stations de METZ-FRESCATY et de NANCY-TOMBLAINE la réserve en eau des sols superficiels est comblée (100 mm d'après C.W. THORNTHWAITE, 1957) respectivement de décembre à mars et de décembre à avril en année moyenne, ce qui traduit globalement, en situation normale, le caractère plus sec du climat dans le secteur aval du bassin de la MOSELLE, essentiellement lié à la topographie (éloignement de la zone montagneuse vosgienne ; altitude moyenne plus élevée dans le secteur amont).

Sur le tableau VII, (1 et 2) les figures 12 A et 12 B, on notera les différences entre les valeurs mensuelles normales de la réserve et les valeurs mensuelles particulières de celle-ci pour chaque année, de 1971 à 1978.

La réserve est l'objet d'un double phénomène en période de sècheresse ; d'une part, elle est plus faible que la normale et, d'autre part, la période de non comblement (R.U. < 100 mm) persiste plus longtemps. Celle-ci a couvert 9 mois en 1971 à NANCY (avril-décembre) et 10 mois à METZ (avril 1971-janvier 1972) ; même observation pour 1973 : réserve non comblée durant 9 mois de mars à novembre dans les deux stations.

En 1976, par contre, si les valeurs de la réserve sont descendues en dessous de 100 mm dès mars et jusqu'à novembre à NANCY-TOMBLAINE, la période durant laquelle R.U. ne fut point comblée n'a guère différé de ce que nous pouvons observer en année normale (non comblement d'avril à novembre) à METZ-FRESCATY.

Au cours des autres années de la période 1971-1978 la réserve a été inférieure à 100 mm :

- *soit pendant une phase de 7 mois (NANCY) ou 8 mois (METZ), comme en année normale mais avec des valeurs moins défavorables dans l'ensemble ; ce fut le cas en 1975,*
- *soit durant une phase plus brève mais avec quelques valeurs mensuelles de R.U. plus mauvaises que la normale. C'est ce que nous constatons pour les années 1974 et 1978.*

En 1972 et en 1977 enfin, la réserve a globalement été moins affectée par la sècheresse comme en témoignent, en période de non comblement, ses valeurs généralement supérieures à la normale.

Si la déficience E.T.P.-E.T.R. pour notre étude sur les débits, ne présente qu'un intérêt intermédiaire dans la mesure où elle dépend de la valeur de la réserve R.U. (la valeur mensuelle de E.T.R. dans le bilan de l'eau selon C.W. THORNTHWAITE est égale à la valeur des précipitations du mois considéré à laquelle s'ajoute la différence entre la valeur de la réserve de ce mois et celle du mois précédent), le surplus S, lui, est fondamental.

En effet, lorsque la réserve est comblée à 100 mm, le surplus de l'eau précipitée servira, après déduction de E.T.P. (quant P < E.T.P.) à alimenter les débits du bassin en hiver et surtout à l'établissement pendant cette saison, des réserves profondes qui soutiendront les débits d'été.

En période normale, dans le bassin de la MOSELLE, il y a surplus de décembre à avril (NANCY, secteur sud) ou de décembre à mars (METZ, secteur nord). Or, force est de constater (tableau VII, 1 et 2 et fig. 12, A et B) que de 1971 à 1976, pour les quatre ou cinq mois d'hiver au cours desquels il existe un surplus, celui-ci a été moins abondant qu'en année normale la plupart du temps. (Exception faite, dans une certaine mesure, de 1974).

Il faut attendre, pour retrouver une situation normale 1977 et 1978 et encore, cette dernière année semble-t-elle aussi plutôt déficitaire surtout dans le secteur amont du bassin de la MOSELLE à en juger par les valeurs mensuelles de S relatives à la station de NANCY-TOMBLAINE. (fig. 12 B).

En ce qui concerne donc, les réserves profondes en eau qui s'avèrent capitales pour le soutien des débits de saison chaude nous constatons que pendant toute la période 1971-1978, pratiquement, elles ont été handicapées par le déficit des surplus d'eau en hiver. Ceci n'est évidemment pas sans répercussion sur les débits de la MOSELLE et de ses affluents comme en témoignent les figures 13 A à 13 G tout particulièrement pour la période 1971-1978.

En effet, les courbes de variation des écarts à la normale pour les débits mensuels de la MOSELLE et de quelques affluents font apparaître dans toutes les stations retenues, le déficit très net des débits au cours de la période 1971-1976. Durant ces six années les débits mensuels ont en effet été presque constamment inférieurs à leur valeur normale.

Des excédents n'apparurent qu'en des occasions très localisées dans le temps, sans caractère durable ; leur rareté est particulièrement manifeste au niveau des stations du secteur aval du bassin de la MOSELLE (le secteur amont étant nettement plus "montagnard") : PULLIGNY, MALZEVILLE, TOUL, HAUCONCOURT, ROSSELANGE (fig. 13, de C à G)

Si l'on considère l'ensemble des stations retenues, il n'est guère que 4 mois de 1971 à 1976 qui connurent un excédent de débit : par rapport à la normale : novembre 1972 ; octobre, novembre et décembre 1974! Par contre, de 1965 à 1971 et après 1976 la tendance aux débits mensuels excédentaires est nettement affirmée.

SECTION IV : ACTIVITÉS HUMAINES ET POLLUTION

Le bassin de la MOSELLE, surtout la partie aval, de même que celui de la MEURTHE, notamment depuis LUNEVILLE, sont les lieux d'une forte occupation humaine et d'une intense concentration industrielle génératrices de phénomènes de pollution de grande ampleur. La pollution peut se présenter sous des aspects et avec des conséquences très diverses.

A. DES POLLUTIONS TRES DIVERSES DANS LEUR NATURE (PROPOSITIONS DE L'A.F.B.R.M.)

- **Pollution physique non dissoute.** Dans ce cas l'eau présente un aspect trouble provoqué par des particules organo-minérales insolubles. On observe fréquemment des dépots de boues nocifs pour la végétation aquatique et pour la vie animale (mort de poissons par lésions branchiales).

- Pollution dissoute. Diverses substances en sont responsables :

  . les matières biodégradables par les microorganismes de l'eau, lesquels, pour ce faire utilisent une part importante de l'O_2 dissous,

  . les matières oxydables non biodégradables ; elles demeurent intactes et, de ce fait, peuvent constituer une gène pour les usagers même très éloignés des sources de pollution,

  . les sels ; ils représentent une pollution grave car vu leur solubilité il est quasiment impossible de les séparer de l'eau,

  . les micropolluants qui apportent à l'eau leur toxicité, des mauvais goûts, des couleurs et des odeurs, et ce à de faibles teneurs.

- Pollution bactériologique. La présence dans l'eau de bactéries (streptocoques, coliformes...), de virus peut persister longtemps après rejet dans les eaux.

- Pollution thermique. Elle est en relation avec les rejets d'eaux chaudes des centrales thermiques. Les effets dérivés de l'élévation de la température de l'eau sont fondamentaux au niveau de la teneur en oxygène dissous qui diminue dans de telles conditions. Il s'en suit une modification des conditions de vie de la faune et de la flore.

- Pollution radio-active. La Commission Internationale de protection radiologique admet une concentration maximale de 10 p Ci/l dans l'eau potable (in Inventaire du degré de pollution des eaux superficielles, rivières et canaux, Campagne 1971, rapport général, 1973). Le développement des centrales nucléaires accroît le rayonnement naturel. La radio-activité d'origine industrielle peut alors se concentrer dans certains organismes comme les algues ; celles-ci se situent généralement en début des chaînes alimentaires. Le processus de concentration va croissant tout au long de ces dernières , par effet cumulatif.

B. LES ORIGINES DES POLLUTIONS DANS LE BASSIN DE LA MOSELLE TEL QU'IL A ETE RETENU

1. *Les pollutions d'origine domestique*

Pour le bassin de la MOSELLE, la population a évolué de la façon suivante, de 1962 à 1975 (recensements), dans les différents secteurs hydrologiques A_4, A_5, A_6, A_7, A_8 définis, au niveau de ce bassin par les services de l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE. (fig. 14) :

Secteurs hydrologiques	*1962 (hab.)*	*1968 (hab.)*	*1975 (hab.)*
A_4 *(secteur amont de BAYON)*	*185 693*	*190 568*	*200 673*
A_5 *(entre BAYON et FROUARD)*	*116 389*	*117 659*	*120 624*
A_6 *(bassin de la MEURTHE)*	*416 029*	*443 753*	*464 995*
A_7 *(entre FROUARD et RICHEMONT)*	*307 188*	*334 163*	*363 570*
A_8 *(secteur aval de RICHEMONT)*	*387 081*	*397 578*	*390 209*
TOTAL (hab.)	*1 412 380*	*1 483 721*	*1 540 071*

Le sillon mosellan se trouve jalonné par diverses agglomérations importantes dont EPINAL, TOUL, PONT-A-MOUSSON, METZ et THIONVILLE. Mais il convient d'y ajouter LUNEVILLE et NANCY sur le cours aval de la MEURTHE, et les ensembles urbains de la vallée de l'ORNE et de la vallée de la FENSCH, (fig. 15).

Centrée sur le sillon mosellan, l'aire de la métropole lorraine couvre un territoire de quelques 4 000 km 2, se subdivisant en deux conglomérats urbains :

- au sud, la "conurbation" NANCY-TOUL-LUNEVILLE (prévision de 620 000 hab. pour 1985),
- au nord, les agglomérations de METZ, THIONVILLE et les conurbations du bassin sidéruegique : vallées de l'ORNE et de la FENSCH (780 000 hab. prévus pour 1985).

Cette concentration urbaine dans le bassin de la MOSELLE et, en particulier sur les deux pôles de la Métropole Lorraine, contribue à accroître la pollution provenant du rejet des résidus de la vie collective. En 1968, on évaluait en moyenne à 190 g/habitant la quantité de matières dissoutes ou en suspension rejetée chaque jour dans les fleuves riverains par les eaux d'égoût des villes européennes. COLAS (1968) (in F. RAMADE 1974) précise la charge moyenne de pollution des eaux en g/hab./jour pour les grandes villes d'Europe Occidentale:

	Matières (en g/j/h)			DBO_5 *en g/h/jour*
	minérales	*organiques*	*Total*	
en suspension décantables	20	40	60	19
non décantables	10	20	30	12
dissoutes	50	50	100	
Totaux	80	110	190	54

Il existe encore des communes rurales ne possédant pas de réseaux d'égoûts ni de stations d'épuration. Les communes urbaines, dans certains cas, ne disposent que d'un réseau d'égoûts insuffisant. Si la plupart des collectivités pourvues de tels réseaux épurent leurs eaux, cette épuration ne se limite parfois (de plus en plus rarement il est vrai) qu'à une simple opération de décantation. (fig. 16 et 17 , A et B).

Le tableau VIII récapitule la population des principales agglomérations du bassin de la MOSELLE (recensement de 1975) et leur situation du point de vue stations d'épuration. On constate à la lecture de ce tableau, que la construction de stations d'épuration, au niveau des grandes agglomérations du bassin de la MOSELLE française relève d'initiatives relativement récentes. Beaucoup de ces stations, en effet, ne sont entrées en service qu'après 1973 ; c'est le cas pour METZ, EPINAL-GOLBEY, DOMBASLE, NANCY II (LANEUVEVILLE), JARNY, LE THILLOT, JOEUF-HOMECOURT, MAIZIERES-les-METZ.

Les agglomérations les plus importantes qui disposaient, avant 1974, de stations d'épuration étaient les suivantes :

. St DIE : 1956,
. THIONVILLE :1968,
. NANCY I (MAXEVILLE) : 1970,
. REMIREMONT : 1971,
. HAGONDANGE-BRIEY : 1973.

Au début de l'année 1980, pour LUNEVILLE, TOUL et PONT-A-MOUSSON n'existait qu'un projet de station d'épuration.

Au total, pour la période qui nous intéresse (1965-1978), seule la seconde moitié de celle-ci a vu se développer sensiblement la mise en service de stations d'épuration. Pour plus de précision, voici sous forme de tableau, l'évolution de la situation en ce domaine dans le bassin de la MOSELLE française, de 1968 à 1978.

Stations	Avant 1968	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
Mises en Service	56	20	4	11	33	15	15	17	9	12	7	3
Capacité Eq^s Hab^{ts}	113 510	164 170	6 400	356 850	114 855	36 040	114 100	28 930	414 350	41 000	130 100	6 800

Nous noterons l'effort de mise en service de ces stations après 1970, ce qui confirme la tendance déjà observée au niveau des grandes agglomérations. L'année 1971, en particulier, est très révélatrice du phénomène (33 stations d'épuration mises en service).

Toutefois, il faut nuancer le nombre de stations entrant en fonctionnement tous les ans par la capacité d'épuration engendrée par ces stations. Dans ce cas nous constatons que la capacité en équivalents-habitants ne suit pas l'évolution du nombre de stations crées ; ceci étant lié bien sûr au fait que la capacité de chaque station est fort variable d'un cas à l'autre.

Ainsi en 1975 sur les 414 350 E.h. mis en service la seule station de l'agglomération messine intervient pour 322 000 E.h.

On dénombrait en 1968, dans le bassin versant de la MOSELLE française tel que nous l'avons défini, 76 stations d'épuration traitant les pollutions d'origine domestique, soit une capacité de 277 680 équivalents habitants au total.

On estime qu'au niveau d'une communauté, compte tenu des conditions d'alimentation en eau, du mode de vie, du type de raccordement aux égouts, un habitant rejette en moyenne une quantité de pollution fixe. On peut dès lors évaluer la pollution d'un rejet quelconque, en équivalents habitants. En FRANCE, l'équivalent habitant vaut (fig.16) :

- pour la DBO_5 : 54 g/jour (en réseau d'égouts séparatif),
- pour les matières oxydables : 57 g/jour
  (M. Ox. = $\frac{DCO + 2\,DBO_5}{3}$; DBO_5 et DCO étant mesurées après décantation des matières en suspension pendant deux heures),
- pour les matières en suspension : 90 g/jour.

En FRANCE, l'habitant-équivalent servant comme base forfaitaire pour l'assiette des redevances à payer pour les eaux usées est évalué à partir de la somme des matières en suspension totales et des matières organiques dissoutes oxydables soit : 90g + 57g = 147g.

Si l'on comptait en 1968, 76 stations d'épuration représentant 277 680 équivalents-habitants de capacité, celle-ci était portée en 1975, par le jeu des mises en service successives, à 1 349 205 équivalents-habitants. Cela signifie, qu'en l'espace de sept ans, la capacité d'épuration dans le bassin de la MOSELLE française a quintuplé tandis que la population, dans les limites géographiques retenues ne s'accroissait que de 4,8 % passant de 1 483 721 habitants en 1968 à 1 540 071 habitants en 1975.

Si l'on considère le rapport $\frac{\text{capacité d'épuration dans le bassin}}{\text{population du bassin}}$, on constate qu'il est passé de 18,7% en 1968 à 87,6% en 1975. Toutefois, de tels pourcentages ne doivent point faire illusion car :

. *le rendement moyen de l'ensemble des stations mises en service se situait, en 1976, aux alentours de 75% (74, 13% exactement) ; ce qui signifie qu'elles "éliminent" 75% de la pollution qu'elles reçoivent. Mais comme par ailleurs, ces stations sont chargées en moyenne à 55% de leur capacité (54,05% en 1976), elles épurent en fait l'équivalent de quelques 40% de cette dernière, soit exactement, toujours pour l'année précitée :556 916 équivalents habitants,*

. *par ailleurs, se trouvent également raccordées aux stations d'épuration des collectivités, diverses industries, notamment des industries agro-alimentaires, ce qui réduit encore la part de l'épuration des eaux chargées d'une pollution strictement domestique.*

2. *Les pollutions d'origine agricole*

Les cartes (fig.18,AàE) établies à partir des données du Recensement, général de l'Agriculture (R. G. A.) 1970, résument sommairement la situation agricole dans le bassin versant de la MOSELLE.

Elles font apparaître des ensembles très nets quant aux types d'activités agricoles pratiquées. Certes, des données plus récentes auraient été plus souhaitables mais le R.G.A. 1980 est seulement en cours de dépouillement.

- Tout d'abord il convient de distinguer l'ensemble boisé des VOSGES, surtout grèseuses, où la forêt couvre généralement plus de 45% de la surface cadastrée (fig.18 A). Elle occupe d'ailleurs également une place relativement importante sur le revers de la cuesta de MOSELLE (HAYE). On note un certain lien de causalité entre la répartition des forêts et les grands affleurements des couches géologiques.

- Nous relèverons ensuite la complémentarité quasi parfaite existant entre les cartes 18B et 18C relatives à l'utilisation agricole du sol :

  . la surface toujours en herbe (S.T.H.) occupe plus de 66% de la surface agricole utilisée (S.A.U.) dans les VOSGES cristallines et grèseuses, sur les terrains argileux et calcaires du Trias moyen et supérieur et du Lias inférieur (Hautes vallées du bassin de la MOSELLE). Elle garde encore une importance notable sur les argiles du Callovien, (Woëvre, Haute vallée de l'ORNE),

. c'est le secteur aval du bassin qui compte les surfaces céréalières les plus étendues (plus de 30% de la S.A.U.), notamment sur le revers des côtes de MOSELLE, dans le bassin du RUPT-de-MAD, dans le Pays-Haut, le Pays Messin).

- Toutefois, l'élevage reste une pratique générale à l'ensemble du bassin, avec en particulier les bovins (élevage laitier) et les porcins. Il n'est pratiquement pas d'exploitation exempte de vaches laitières ; la plupart du temps, plus de la moitié des exploitations en possèdent. Seuls quelques secteurs très localisés font exception : VERMOIS, région de NANCY, secteur aval du bassin de l'ORNE, Vallée de la MOSELLE au sud de METZ (fig. 18 D). Pour ce qui est des porcins ils font l'objet d'un élevage très pratiqué (par plus de 50 % des exploitations) dans le bassin de la SEILLE, le bassin amont du MADON ; le secteur amont de la vallée de l'ORNE, la vallée de l'YRON (affluent de l'ORNE), le bassin de la MOSELLE à l'aval de METZ, le pays messin. (fig. 18 E).

Les activitée agricoles ont une influence sur la pollution des rivières notamment au niveau de l'eutrophisation, par l'apport de nutrients aux cours d'eau. Bien que les études en ce domaine soient assez limitées du fait des difficultés d'une approche globale de ce phénomène, divers travaux, assez ponctuels il est vrai, dans certains cas, ont permis d'apprécier cet apport. Ainsi en 1975, en FRANCE, on estimait l'apport de nutrients par l'agriculture aux eaux superficielles entre 2 et 23 kg N et O et 0,4 kg P par hectare et par an.

a) Les apports d'engrais artificiels

Si la consommation d'engrais chimiques, en Lorraine progresse semble-t-il moins vite que la moyenne française elle a tout de même doublé voire même triplé de 1965 à 1976 selon l'élément fertilisant considéré (fig. 19). Si les statistiques du R.G.A. ne sont point établies à une échelle plus fine (qui conviendrait mieux dans le cadre de notre étude) que le niveau départemental, elles permettent néanmoins d'apprécier cette tendance de la consommation d'engrais dans le bassin de la MOSELLE. (Tableau IX)

Ce sont les éléments fertilisants azotés qui ont fait l'objet, de 1965 à 1976 de l'accroissement de consommation le plus fort, suivis des engrais à base de potasse et de phosphates.

Or, ces éléments fertilisants sont soumis à un lessivage plus ou moins efficace selon le cas. Les ions nitrates sont les plus facilement lessivéstandis que les phosphates, retenus au niveau des complexes colloïdaux du sol, sont peu entraînés. Les ions ammonium sont également peu mobiles.

Les nitrates proviennent des engrais minéraux mais également des résidus de récoltes et de l'épandage de fumier ; leur lessivage sera plus ou moins important en fonction de la texture du sol, du type de culture, de la pluviosité.

Maximum sur les sols en jachère et en céréales, le lessivage des nitrates se réduit au minimum sur les prairies permanentes et, de ce fait, grâce aux cartes 18B et 18E nous pouvons déceler les régions du bassin de la MOSELLE qui sont les plus aptes à fournir des nitrates d'origine agricole par lessivage, aux cours d'eau.

A l'inverse, pour les phosphates, le lessivage est plus important au niveau des prairies et sols nus qu'au niveau des sols cultivés.

Les charges de nutrients, lors des lessivages varient bien sûr en fonction des charges d'engrais épandus à l'hectare. Ainsi, en agriculture intensive (110-180 kg N/ha/an), la charge nitrique des eaux lors des lessivages varie de 7 à 20 mg/l.

Pour les phosphates, en agriculture semi intensive du type de celle pratiquée dans notre région, on peut atteindre des charges de 0, 015 mg P total/l. alors qu'en agriculture intensive les teneurs varient entre 0,05 et 0,1 mg P (PO_4) /l.

L'érosion est un autre facteur d'entraînement des engrais; elle dépend de la pluviosité, du sol, de la longueur et du degré de la pente du terrain, du type de culture. Ainsi, une culture permanente (prairie permanente) protège beaucoup mieux le sol de l'érosion que ne le fait une culture saisonnière (de céréales par exemple), bien qu'en ce dernier cas de notables différences existent entre une culture de maïs (écartement des lignes d'implantations qui laisse une plus grande proportion de sol dénudé) et une culture de blé, d'orge, ou d'avoine.

Les eaux de ruissellement sont plus riches en éléments fertilisants que les sols qu'elles érodent (coefficient moyen d'enrichissement de 2,7 pour l'azote minéral ; 3,4 pour les phosphates solubles ; 2 pour le potassium).

Il en résulte que les phosphates, parce que liés aux colloïdes du sol sont plus mobilisables par érosion que par lessivage. Dans nos régions, compte tenu des caractéristiques climatiques et d'un type d'agriculture semi intensive, la charge phosphorique des eaux de drainage liée à l'érosion peut atteindre 0,5 mg P/l.

b) Les apports d'engrais naturels

Ils sont liés aux activités d'élevage. Celui-ci prenant de plus en plus une allure industrielle, on assiste à une rupture de l'équilibre animal-sol qui caractérisait les élevages traditionnels ; ceci pose le problème de l'élimination des rejets de déchets animaux qui contiennent de l'azote, du phosphore, du potassium... Ces rejets ont plusieurs formes :

- le fumier, dont l'azote et le phosphore sont assimilés par les plantes dès la première année dans une proportion de 80%.,
- le lisier dont les propriétés dans le sol sont voisines de celles des engrais minéraux . Mais la fertilisation par lisier favorise le lessivage des nitrates et des phosphates ainsi que l'érosion du phosphore,
- le purin : son rôle, dans le sol équivaut à celui du lisier mais il tend à favoriser davantage encore le lessivage des phosphates.

Les déjections animales atteignent en moyenne 75 kg/jour et pour 1 000 kg de poids vif chez les bovins et 65 kg par jour et pour 1000 Kg de poids vif chez les porcins (chiffres avancés par TIENTJE et VEITER, 1972; COTTENIE , 1973; FURRER, 1973 ; DROEVEN, 1973) (in A. NOIRFALISE, 1974).

Selon REYNS, TRIGANIDES et STROSHINE (1973), le potentiel de pollution des déjections animales (valeur de la D B O_5 pour 1 000 kg de poids vif) est le suivant, par animal et par jour (A. NOIRFALISE, 1974) :

- *1 814 g pour des vaches de 500 kg,*
- *2 173 g pour des porcs de 60 kg,*
- *3 200 g pour des volailles de 2 kg.*

Il faut ajouter, comme autres engrais naturels, les écoulements de silos et la décomposition de débris végétaux (paille) après récolte et enfouissement. On estime en effet que 40 quintaux/ha de paille apportent au sol : 25 kg d'azote, 15 kg de phosphore et 50 kg de potasse.

Il convient enfin d'attirer l'attention sur un phénomène qui intéresse la LORRAINE et le bassin de la MOSELLE en particulier ;

il s'agit du développement actuel du drainage agricole "artificiel" (par pose de drains en P.V.C. en profondeur, drains qui se déversent dans divers collecteurs secondaires dont les eaux finissent par rejoindre le collecteur principal : la MOSELLE). Il serait en effet très intéressant, en ce qui concerne l'eutrophisation des cours d'eau, de voir les répercussions de ce développement du drainage agricole au niveau des exportations de nutrients vers les rivières.

Une étude récente (1979) réalisée en collaboration par l'E.N.S.A.I.A. de NANCY et le S.R.A.E.L. au niveau de la ferme de la BOUZULE et visant à apprécier l'influence des éléments apportés par les eaux de ruissellement et d'infiltration issues de sols cultivés sur la dégradation de la qualité des eaux superficielles, montre en particulier l'enrichissement de celles-ci en azote nitrique.

3. *Les pollutions d'origine industrielle*

Le bassin de la MOSELLE regroupe l'essentiel des industries lorraines. Notre étude exclut toutefois, vu la définition géographique du bassin versant que nous avons retenue, le bassin houiller. Mais force est de constater que les gisements de sel et l'essentiel du gisement ferrifère sont inclus dans les limites du bassin versant de la MOSELLE même si l'on excepte comme nous l'avons fait, les sous bassins de la SARRE et de la NIED.

Le tableau X donne un aperçu de la répartition et de la diversité des industries moyennes et importantes du point de vue pollution, que l'on trouve dans le bassin de la MOSELLE. Les fig. 20 A à 20 E représentent les localisations des principales sources polluantes de nature industrielle sur la MOSELLE et ses principaux affluents, par secteurs géographiques.

L'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE (A.F.B.R.M.) a établi une liste d'établissements industriels par secteurs hydrologiques (fig. 14), liste qui correspond au tableau X et qui permet en quelque sorte de faire le "portrait"industriel du bassin de la MOSELLE et par là même de percevoir les origines industrielles de la pollution :

- dans le secteur A_4 coïncidant avec les bassins de la Haute MOSELLE, de la MOSELOTTE et de la VOLOGNE, prédominent surtout les établissements textiles et les industries du bâtiment et des travaux publics (respectivement 44 et 25 entreprises en 1976). Révêtent également une importance certaine les secteurs de l'agro-alimentaire (11 établissements) des industries mécaniques (9) des industries du papier (6),

- dans le secteur A_5, correspondant aux bassins de la MOSELLE moyenne-supérieure et du MADON apparaissent surtout les industries agro-alimentaires (7 laiteries-fromageries) et sidérurgiques (2),

- dans le secteur A_6, (bassin de la MEURTHE avec l'agglomération nancéienne) on comptait, en 1976, entre autres :

  . *18 entreprises de constructions mécaniques,*
  . *16 établissements textiles et annexes du textile,*
  . *15 usines agro-alimentaires (laiteries-fromageries, brasseries, sucreries...),*
  . *7 abattoirs-équarrissages,*
  . *5 fabriques de papier et carton,*
  . *3 entreprises d'extraction du sel.*

- dans le secteur A_7, (bassin de la MOSELLE moyenne, du RUPT-DE-MAD et de la SEILLE) nous rencontrons surtout des constructions mécaniques, des industries agro-alimentaires et des entreprises sidérurgiques (3),

- enfin, dans le secteur A_8, (MOSELLE française inférieure, bassins de la FENSCH et de l'ORNE) se trouve le domaine des mines de fer (15), des entreprises sidérurgiques (14) des constructions mécaniques (6 entreprises). Restent encore importantes les industries agro-alimentaires (10).

Si l'on récapitule en une synthèse plus... géographique, nous pouvons discerner 3 ensembles quant à leur structure industrielle.

. La partie vosgienne du bassin de la MOSELLE (en amont de NEUVES-MAISONS et d'AZERAILLES) ; c'est le secteur de l'industrie du textile, du bois, de l'agro-alimentaire.

. La partie nanceienne du bassin ; c'est la zone du sel et des activités qu'il a induites (salines et soudières) dont l'influence est déterminante sur la qualité des eaux de la MEURTHE, de la SEILLE et de de la MOSELLE.

. Le 3e secteur, en aval de NEUVES-MAISONS, est marqué surtout par des activités liées à l'exploitation du minerai de fer : extraction (mines), sidérurgie, cokeries, constructions mécaniques, dont la concentration maximale se situe dans les vallées de l'ORNE et de la FENSCH (cours d'eau particulièrement affectés par ces activités) ainsi que dans la vallée de la MOSELLE au nord de METZ.

Nous pouvons par ailleurs remarquer que les constructions mécaniques et les industries agro-alimentaires figurent bien dans tous les secteurs hydrologiques plus haut analysés.

Compte tenu de ce qui précède nous pouvons deviner que les eaux fluviales du bassin de la MOSELLE française sont fortement perturbées notamment dans les secteurs moyen et inférieur de celui-ci (partie aval du bassin de la MEURTHE et bassin de la MOSELLE à l'aval de NEUVES-MAISONS).

Or, les besoins en eau de ces industries sont énormes. On admet qu'il faut en moyenne :

. 25	litres	d'eau	pour	fabriquer	1 l.	de bière,
. 100	"	"	"	"	1 kg	de sucre,
. 0,5-4	"	"	"	"	1 l.	de lait,
. 200	"	"	"	"	1 kg	de papier,
. 600	"	"	"	"	1 kg	d'engrais azoté,
. 135	"	"	"	"	1 kg	d'acier.

Il faut ajouter également que certaines de ces industries (textile, agro-alimentaire) exigent une eau de très bonne qualité sur le plan du degré de pureté.

Par ailleurs, si une fraction plus ou moins importante de cette eau sert de fluide caloporteur, au total, cela constitue néanmoins un volume d'eaux résiduaires considérable. Or, la composition de ces dernières varie fortement dans la mesure où elles peuvent renfermer des résidus de toutes sortes de fabrications ; mais il est possible de les classer sommairement en trois catégories :

. les eaux à caractère organique dominant qui proviennent surtout des industries alimentaires (abattoirs, conserveries, laiteries-fromageries, brasseries, élevages industriels...) et dont la composition, très variée associe des débris végétaux et minéraux, des graisses, des protéines, des glucides, des sels ; la $D.B.O._5$ peut être énorme,

. les eaux à caractère minéral dominant constituent les rejets des gravières, carrières, mines (eaux de lavages), des industries siderurgiques et chimiques minérales, des industries de traitements de surface ; ce qui les caractérise, c'est la forte charge en matières en suspension ou en solution (sels) et une faible $D.B.O._5$.,

. les eaux à caractère mixte sont rejetées par les industries du textile et du bois, les activités liées à la chimie du pétrole et du charbon, à la chimie organique, les industries pharmaceutiques... Elles sont riches en hydrocarbures, huiles, tensio-actifs, colorants, phénols..., éléments souvent très toxiques.

Dans le domaine des pollutions industrielles voici ce que rejettent certaines productions, en moyenne :

La production journalière de :	*...entraîne...*	*Le rejet d'un poids de pollution de :*
10 litres de bière :	*"*	*210 g*
4 camemberts :	*"*	*450 g*
10 kg de viande de boeuf :	*"*	*600 g*
1 tonne de coke :	*"*	*2 300 g*
1 000 litres d'essence :	*"*	*60 g*
2 paires de chaussures :	*"*	*150 g*

Sachant que l'équivalent-habitant représente une pollution journalière globale de 147 g en totalisant la pollution physique (**M. E. S. T.**) et la pollution organique (M. Ox.) voici quelques chiffres relatifs à diverses activités industrielles de la partie française du bassin de la MOSELLE (Commission Internationale pour la Protection de la MOSELLE contre la Pollution, Rapport du Groupe de Travail B, 1973).

Habitants-équivalents par branche industrielle dans la partie française du bassin de la Moselle (pollution brute)

Entreprise industrielle	Unité de base	Population équivalente
Industries alimentaires		
— Laiteries sans fromagerie	1000 l de lait	30
— Laiteries avec fromagerie	1000 l de lait	55
— Brasseries	1 hectolitre bière	15
— Conserveries de légumes	Tonne de produit entrant en fabrication	200
— Fruits ou viandes		
— Abattoirs	Tonne de carcasse abattue	200
Industries textiles		
— Teinture, blanchiment, impression et apprêt	Tonne de tissu traité	540
Tannerie au chrome	Tonne de peau mise en oeuvre	820
Sidérurgies		
— Fonte (hauts-fourneaux)	Tonne de fonte produite (après décantation)	10
— Acier (aciérie) avec lavage des fumées	Tonne d'acier produit (après décantation)	15
— Acier laminé (laminoir)	Tonne d'acier laminé	30
— Cokeries	Tonne de coke produit	70
Chimie organique	Par emploi	70
Chimie minérale	Par emploi	20
Blanchisserie industrielle	Tonne de linge traité	170
Fabrication du papier	Tonne de papier fabriqué	200
Raffinage du pétrole	Emploi	50
Métallurgie mécanique	Emploi	10

L'équivalent-habitant représente une pollution journalière globale de 147 grammes en totalisant:

— la pollution physique (matières en suspension totales)
— la pollution organique dissoute (matières oxydables) = $\frac{2\ DBO_5 + DCO}{3}$

Pour mener à bien la lutte contre la pollution industrielle de la MOSELLE et de ses affluents, l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE (comme l'ensemble des Agences de Bassins) a mis sur pied un système reposant :

- *sur des redevances, supportées par les industriels pollueurs,*
- *sur des aides aux investissements accordées aux industriels qui acceptent d'épurer leurs rejets. Ces aides visent donc à financer les installations d'ouvrages d'épuration.*

Au début de 1979 le bassin versant de la MOSELLE française comptait 88 ouvrages d'épuration industrielle, contre 34 début 73, (figure 21, A, B et C) ; les branches les plus "en flèche" étant les laiteries, les papiers et les cartons, et les plus en retard, la chimie et le textile. Les progrès les plus spectaculaires ont été réalisés au niveau des M.E.S.T. qui ont fait l'objet d'une élimination active (sidérurgie, papèteries). Par contre, l'élimination des M.Ox. reste plus difficile car plus coûteuse.

Actuellement, l'effort de l'A.F.B.R.M. est orienté vers les branches d'activité industrielle accusant un certain retard (textile, chimie, sidérurgie, traitements de surface) sous la forme de programmes de branches.

Au total, on peut mesurer l'effort en matière de lutte contre la pollution à travers la mise en service des stations d'épuration des collectivités locales et des industries (comparaison des figures 17 B et 21 B d'une part avec la figure 21 C d'autre part).

CONCLUSION DE LA PREMIÈRE PARTIE

Avant d'aborder l'étude proprement dite des pollutions de la MOSELLE et de leur représentation cartographique, une vue d'ensemble des caractères généraux du bassin de la MOSELLE française s'avérait nécessaire.

En effet, la connaissance du régime hydrologique de la MOSELLE et de ses affluents, des variations saisonnières des débits apportent un élément de réponse en ce qui concerne l'explication des oscillations interannuelles des phénomènes de pollution.

Mais l'étude des régimes des cours d'eau impliquait elle-même la considération des régimes pluvio-thermiques dans les divers secteurs du bassin de la MOSELLE française.

Les concentrations en polluants dans les eaux fluviales évoluent en fonction du débit de la rivière... en théorie du moins, comme nous le verrons par la suite, car les rejets des industries et des communautés humaines ne demeurent point forcément constants dans le temps ; le débit des effluents industriels et urbains ainsi que leur teneur en éléments polluants varient aussi, et rien ne permet d'affirmer, bien entendu, que ces variations et celles du débit des cours d'eau récepteurs de rejets se produisent simultanément.

Par ailleurs, pour apprécier l'aspect "natures" de la pollution de la MOSELLE, une analyse de la constitution géologique de son bassin versant permet de mettre en relation, dans une certaine mesure, l'importance de la dureté totale des eaux fluviales, leur conductivité, leur teneur en sulfates ou en chlorures... avec la composition chimique des différents terrains traversés par la MOSELLE et ses affluents (roches calcaires, gisements gypsifères, marnes salifères...).

Enfin, l'action humaine, urbanisation, industrialisation, activités agricoles) constitue l'origine de la majeure partie de la charge polluante véhiculée par les eaux des cours d'eau du bassin de la MOSELLE française.

Le caractère industriel est particulièrement marqué dans ce dernier, avec quatre domaines principaux : activités liées au travail des métaux (mines de fer, sidérurgie, construction mécanique), industries exigeant des eaux propres (textile, industrie du papier), activités liées au sel (extraction et chimie), secteur agro-alimentaire (laiteries, brasseries...). D'autre part, la présence humaine se signale par l'existence de nombreuses agglomérations importantes dont la fixation a été déterminée par des facteurs géographiques capitaux (carrefour européen de la région lorraine). Leur développement résulte des avantages qu'offrait cette situation (liaisons commerciales nationales et internationales), des ressources naturelles ayant suscité les activités que nous avons exposées plus haut, des aléas de l'Histoire qui, entre autres ont favorisé, pendant la période d'annexion de l'ALSACE-LORRAINE au Reich (1871-1918), la croissance de l'agglomération de NANCY vers laquelle émigrèrent à cette époque des populations mosellannes (messins notamment) et alsaciennes désirant échapper à la germanisation.

Précisons également que ces mêmes facteurs historiques expliquent l'installation après la défaite de 1870 et ses conséquences, des industriels alsaciens du textile dans les vallées vosgiennes du versant lorrain, resté français, où ces derniers retrouvèrent des conditions géographiques favorables, identiques à celles que leur offraient les vallées des rivières du versant alsacien avant l'annexion de l'ALSACE au Reich. (Eaux propres, maind'oeuvre abondante, période d'inoccupation des ruraux en hiver...).

deuxième partie

PROPOSITION CARTOGRAPHIQUE POUR LA REPRÉSENTATION DE L' ÉVOLUTION DES DIFFÉRENTS TYPES DE POLLUTIONS DE LA MOSELLE SUR UNE PÉRIODE DÉCENNALE : 1965 · 1974

La cartographie des phénomènes de pollution n'a guère fait l'objet de propositions jusqu'à ce jour, et systématiquement, qu'à l'occasion des inventaires nationaux du degré de pollution des eaux superficielles effectués tous les 5 ans depuis 1971.

Les Agences Financières de Bassin ont dès le début proposé des cartes de qualité et d'objectifs de qualité des eaux superficielles.

Dans les deux cas, il s'agit d'une cartographie statique c'est-à-dire évoquant les niveaux de pollution ou la qualité des eaux à un moment donné.

Toutefois, si les cartes accompagnant les inventaires nationaux du degré de pollution des eaux superficielles (notamment celui de 1971) se caractérisent par une approche analytique (chaque paramètre fait l'objet d'une représentation, au niveau de l'ensemble du territoire national, en fonction des différents points d'analyse, des différentes stations retenues), celles publiées régulièrement par les Agences de Bassin témoignent d'une démarche beaucoup plus synthétique, quant à l'appréhension des phénomènes, et plus réaliste dans la mesure où géographiquement, elle s'effectue à l'échelle d'un cadre territorial plus limité et plus "naturel" : le bassin fluvial.

Nous avons pensé apporter notre contribution dans le domaine de la représentation cartographique des phénomènes de pollution des eaux fluviales. Nous nous sommes pour ce faire quelque peu inspirés, quant aux techniques de cartographie, des expériences précedemment évoquées. Mais, pour ce qui est des objectifs recherchés, il s'agissait, pour nous d'innover en proposant un type de cartographie à la fois :

- synthétique, car nous voulions représenter les phénomènes de pollution en fonction de leur spécificité (nous avons ainsi retenu 4 types de pollution des eaux de la MOSELLE : organique, minérale, toxique, eutrophisation),

- analytique dans la mesure où nous désirions que l'observateur ait accès, par la carte, aux particularités des divers paramètres caractéristiques de chacun des types de pollution précités, particularités qu'aurait pu dissimuler une représentation résolument trop synthétique des phénomènes à mettre en évidence.

Par ailleurs, la cartographie que nous proposons, à la différence de celles déjà existantes, se veut dynamique car elle met l'accent sur l'aspect évolutif des pollutions. A cet effet, nous avons opté pour une représentation de ces phénomènes sur une période décennale (en l'occurrence 1965-1974) estimant que celle-ci permet déjà d'apprécier la spécificité des problèmes inhérants à la pollution de la MOSELLE.

Au total, le travail cartographique, joint en annexe III se présente sous la forme de 24 cartes ou tableaux cartographiques (6 par type de pollution représenté). Chaque tableau cartographique concerne un secteur du cours de la MOSELLE comme l'indique la carte de localisation des stations de relevés accompagnant la légende explicative, indispensable à l'observateur.

SECTION I : ESSAI DE CARTOGRAPHIE DE LA POLLUTION PAR UNE MÉTHODE DE REPRÉSENTATION PARTICULIÈRE : CROQUIS ET TABLEAU CARTOGRAPHIQUES

A. LA CARTOGRAPHIE THEMATIQUE

1. *Recherche d'une vision globale*

La carte est une image ; l'image a pris, dans nôtre civilisation, le relais du livre. Aussi, le rôle d'une carte ne peut-il se réduire à celui de représentation annexe et dépendante d'un texte.

Selon S. RIMBERT, (1968),... *"la carte doit parler par elle-même et être porteuse, comme les mots, d'informations, de raisonnements et d'évocations, et ceci, à l'aide de signes et de couleurs"*...

Ceci se révèle particulièrement vrai pour les cartes dites "thématiques" ; celles-ci exigent des travaux annexes de documentation, compilation, groupements de données statistiques. Elles relèvent souvent de spécialistes qui désirent donner un support visuel à un thème.

Toujours selon S. RIMBERT, ... *"la carte thématique constitue un exemple de sémiologie appliquée à la communication d'une description, d'une analyse, d'une synthèse proposées par un géographe ou un autre spécialiste à des lecteurs d'images"*...

Pour cela, le cartographe doit opérer un choix parmi toute une série de méthodes graphiques, celles qui se révèleront être les plus appropriées à fournir au lecteur les résultats d'une étude de phénomènes spatiaux. Il s'agit, pour le cartographe d'offrir l'outil le mieux adapté pour permettre une vision générale au premier coup d'oeil. Cela doit ensuite faire l'objet d'un commentaire de carte visant à interpréter les observations.

2. *La carte est un système logique*

L'usage de la carte géographique se place dans une situation intermédiaire entre l'observation sur le terrain et l'interprétation des résultats. La cartographie ne se borne pas seulement à la représentation des phénomènes spatiaux mais participe également à la clarification de la pensée.

Une carte nécessite une réflexion minimale et ne se limite pas à être un banal inventaire. C'est une construction rationnelle qui se traduit par une légende logique, c'est-à-dire une légende dont les qualités se rapprochent de celles du langage.

Toutefois, cet aspect du message cartographique ne suffit pas toujours à atteindre le lecteur ; les aspects esthétiques du dessin sont également importants.

Le véritable problème qui se pose au cartographe est celui du choix, dans la gamme des moyens cartographiques, de la méthode la mieux adaptée à un problème donné.

B. LE CHOIX D'UN CROQUIS CARTOGRAPHIQUE PLUTOT QUE D'UNE VERITABLE CARTE (d'après R. BRUNET,1967)

Un croquis cartographique ne peut être confondu avec une carte au sens où l'on entend généralement ce terme. La différence réside dans le fait que le croquis fait l'objet, de la part de son auteur, d'un soin plus ou moins accusé. Pour notre part, nous envisageons l'élaboration du croquis cartographique comme devant aboutir à un travail "achevé". Mais la différence essentielle avec la carte consiste en ce que le croquis reste l'oeuvre d'un exécutant amateur, géographe certes, mais dessinateur sans qualification particulière. La réalisation du croquis cartographique (ou géographique) se trouve à la portée de tout le monde. En effet, avec l'assimilation de quelques bons principes de base, et l'habitude aidant, les dessins figurant dans cette thèse peuvent être exécutés par quiconque.

Nous reviendrons par la suite sur le fait qu'un croquis n'a point pour objectif de tout exprimer. Il résulte de cette affirmation qu'un croquis cartographique ne doit pas être le résultat d'une juxtaposition de signes plus ou moins compréhensibles pour l'observateur, mais tout au contraire, le fruit de choix mûrement pensés. Un bon dessin présente comme qualités fondamentales :

. *sa simplicité ; il importe en conséquence d'éviter une surcharge de symboles : la lisibilité du croquis en dépend,*

. *sa clarté ; les figurés représentant les différents paramètres doivent se distinguer l'un de l'autre.*

Or, ces impératifs constituent un problème car être simple est difficile, cela présuppose choix et sélection judicieux... et sélectionner, choisir, implique réflexion et jugement... Apprendre à dessiner, à représenter, à exprimer des phénomènes par le biais d'un croquis, de symboles... Il n'existe aucune méthode miracle, et seuls des essais, maintes fois répétés permettent de conduire à des résultats et des représentations dont le principal mérite réside dans le fait qu'ils peuvent être sans cesse améliorés. C'est pourquoi la méthode que nous proposons ne saurait en aucune manière se prétendre exclusive ; elle reflète une conception individuelle et reste donc passible des critiques de ses détracteurs.

C. BUTS ET OBJETS D'UN CROQUIS CARTOGRAPHIQUE

Ce type de croquis informe l'observateur :

. *par une traduction dans le concret de données statistiques difficilement perceptibles considérées en elles-mêmes,*

. *en apportant une précision dans la nature du ou des phénomènes.*

Un tel croquis permet également une localisation (dans le temps et dans l'espace) du phénomène représenté. Il nous aide à comprendre les interactions des divers facteurs dont la combinaison détermine les traits spécifiques d'un phénomène.

Il s'agit par conséquent d'un croquis à caractère essentiellement synthétique ; le principe de ce croquis est fort simple. Il suffit de mettre en évidence l'essentiel d'un phénomène (dans le cas présent, chaque type de pollution de la MOSELLE : organique, minérale, toxique et degré d'eutrophisation) tout en montrant que celui-ci n'est que la résultante de la combinaison de différents facteurs. L'éxécution d'un tel dessin s'avère particulièrement malaisée.

Le croquis cartographique revient donc à symboliser, à simplifier le complexe. Il permet de saisir d'un coup d'oeil le caractère global du ou des phénomènes, tandis que sa lecture détaillée dévoile les diverses nuances de ceux-ci. Le croquis apparaît donc comme une forme d'expression de première importance dans la mesure où elle fait appel à la vision et à la mémoire visuelle. Il présente ainsi une valeur démonstrative (pédagogique même) : mieux qu'un long texte ou un tableau de données chiffrées, mieux qu'une juxtaposition ou une superposition de courbes statistiques, il "expose" les phénomènes.

Toutefois, il importe de ne point trop exiger d'un croquis cartographique et ce, pour divers motifs :

. *En premier lieu, il ne saurait présenter qu'une valeur relative ; un croquis ne peut, par définition s'avérer plus exact ou même aussi exact que les sources, et, notamment les données statistiques qui rendent possible son élaboration. En effet, si la réalité se trouve déformée quand nous essayons de la décrire, sa schématisation sur un croquis accroît encore davantage un tel inconvénient.*

. *Le croquis cartographique doit présenter l'essentiel, l'originalité des phénomènes, élaguant les détails, et mettant de l'ordre dans le foisonnement des apparences.*

En effet, le croquis, en cartographie, suppose de la part de l'exécutant un choix difficile et judicieux. Ce type de représentation se propose deux objectifs contradictoires :

. *la clarté, son pouvoir évocateur d'une part,*
. *la complexité, le nombre de faits à représenter d'autre part.*

Le croquis cartographique oscille entre le simple et le complexe ; il doit représenter de façon simple des phénomènes complexes : voilà l'opposition à résoudre. La simplification extrême de la réalité conduit à la dénaturation de celle-ci. Mais vouloir reproduire la complexité du réel revient à élaborer un croquis inintelligible.

Le problème n'est cependant pas insoluble. Un choix s'impose et diverses solutions peuvent apparaître, chacune ayant ses adeptes et ses détracteurs. C'est pourquoi, un mode particulier de représentation cartographique reste avant tout l'expression d'un choix individuel, et ne saurait en conséquence revêtir un aspect absolu, universel. Le caractère fondamental du croquis cartographique consiste en son extrême diversité.

D. LES QUALITES DU CROQUIS EN CARTOGRAPHIE

Compte tenu de ce qui précède, nous distinguerons donc quatre impératifs essentiels, indispensables à la compréhension, la qualité... "l'accessibilité" du croquis.

1. *La première qualité d'un croquis est évidemment sa clarté*

Le croquis doit être lisible, condition absolue, nécessaire, que l'usage ne cesse de confirmer. Cette règle reste toujours présente à chaque étape de l'exécution du dessin :

. Une clarté d'ensemble s'impose tout d'abord : les grands faits doivent se distinguer au premier coup d'oeil, les contrastes apparaître spontanément.

. Mais la clarté concerne également les détails que l'on a choisi de représenter : même un signe, un figuré d'intérêt apparamment secondaire, de dernière grandeur, doit être perceptible sans difficulté dans ce cas là.

En effet, quel intérêt présente un croquis dont la réalisation a exigé l'accumulation d'une masse de données, de longues heures de confection, si le résultat d'un tel travail, par absence de clarté, de netteté s'en trouve gâté ?

Un croquis cartographique doit, à notre sens, nous l'avons précisé antérieurement, se présenter sous une forme achevée. Cette netteté acquise, il reste encore, à notre avis, un certain nombre de précautions à respecter pour rendre un croquis intelligible. Il importe en effet de repousser systématiquement certaines solutions tentantes dont l'adoption aboutirait immanquablement à produire un croquis indéchiffrable, donc, dépourvu de toute valeur. Il existe au moins trois manières de rendre un croquis illisible ; elles consistent :

. *à employer un trop grand nombre de signes,*
. *à choisir des signes extrêmement complexes, ce qui implique trop de temps pour les discerner,*
. *à superposer trop de figurés, si bien que les derniers surchargent et cachent les précédents, conduisant ainsi à des difficultés de distinction.*

La principale cause d'échecs dans un croquis résulte beaucoup plus de la superposition des figurés que de leur juxtaposition. On aboutit parfois à un tel enchevêtrement de signes qu'aucun phénomène ne devient perceptible à l'oeil de l'observateur.

Certains croquis exigent un véritable effort de traduction, ce qui suppose que l'on se réfère en permanence à la légende. Aussi, cette dernière, nous le préciserons par la suite, gagne à se présenter sous une forme simplifiée et brève.

Notons enfin qu'il est néfaste et inutile pour la clarté du croquis, de retenir tous les types de facteurs entrant dans la composition d'un phénomène ; il convient donc d'effectuer un choix, de ne représenter que les critères fondamentaux ou de regrouper ceux-ci en quelques catégories.

Toutefois, la clarté ne peut être atteinte au prix de l'insuffisance ; le caractère par définition synthétique du croquis, en cartographie ou en géographie, l'exige. On ne saurait réaliser une synthèse de quelque valeur avec trop peu d'éléments. Comme le dit R. BRUNET, ..."*si l'on ne peut tout dire, il faut dire beaucoup*"... aussi, le croquis impose-t-il un choix raisonné. Mais parfois, ce dernier se trouve conditionné ou orienté en raison même de la nature des données statistiques sur lesquelles repose l'élaboration du dessin ; en effet, dans certains cas, les statistiques ne fournissent des valeurs que pour un nombre réduit de paramètres, et le choix ne peut porter, en conséquence, que sur les seules données disponibles. Ainsi, des statistiques incomplètes ne permettent-elles point toujours un libre choix des paramètres que l'on désire représenter : le croquis dépend alors exclusivement des données statistiques existantes.

2. *La seconde qualité du croquis réside dans son caractère schématique*

Tout ce qui figure dans un croquis résulte d'une schématisation ; celle-ci peut concerner tout aussi bien le fond de carte que l'ensemble des données que l'on décide de retenir.

Mais que recouvre le terme "schématiser" appliqué à la représentation cartographique ?

. *Schématiser signifie tout d'abord mettre en évidence, "grossir", ce qui ajoute à la clarté du croquis.*

. *Mais une schématisation implique une simplification. Toute carte même très précise, suppose déjà une généralisation. On ne peut montrer une infinité de nuances ; si l'on envisage de représenter l'importance de la DBO_5 au niveau de différentes stations fluviales, on pratique par exemple quatre ou cinq coupures dans la série des valeurs observées ou relevées pour ce paramètre. Les tranches de valeurs s'adaptent mieux à la réalisation d'un croquis que les valeurs exactes elles-mêmes ; celles-ci, en effet restent davantage du domaine du graphique.*

La nature même de la cartographie et du croquis cartographique notamment, obligent donc à schématiser. Mais nous avons aussi indiqué antérieurement, que la schématisation constitue une condition nécessaire à la clarté, la netteté du croquis. Or, le principal problème à résoudre dans ce domaine réside dans le fait de savoir à quel degré de simplification il convient de s'arrêter. Certains facteurs seront ainsi représentés de façon très schématique, d'autres avec certaines nuances.

L'obligation dans laquelle on se trouve à chaque instant de simplifier, ne doit pas conduire à une dénaturation des faits ; elle suppose au contraire, vu les risques qu'elle entraîne, une certaine rigueur d'esprit...

3. *La rigueur constitue en effet la troisième qualité du croquis selon R. BRUNET*

Dans le croquis, l'ordre ne peut être transgressé. Certains éléments se trouvent parfaitement bien localisés et ne souffrent en aucune manière d'être déplacés : on ne saurait en effet, par exemple, modifier la succession des diverses stations de mesure de la pollution, d'amont en aval, sur le cours de la MOSELLE, et ce, sous aucun prétexte. Le croquis peut donc résumer mais non déplacer.

La rigueur dans les localisations, dans la succession de celles-ci, constitue en outre, le seul moyen que l'on ait de mettre en évidence des contrastes de répartition, de concentration, d'évolution de tel ou tel phénomène. Mieux encore, la cartographie se nourrit, selon R. BRUNET, de rapprochements, et le croquis à précisément pour but de les montrer. Sur cette conviction repose la conception du "tableau" cartographique que nous proposons dans ce travail. L'exactitude dans la représentation des phénomènes demeure la condition nécessaire de ces confrontations, de ces parallèles. Dans le croquis cartographique, la coïncidence de figurés assure de telles comparaisons, de même que leur superposition donne l'image des phénomènes.

4. *Le croquis doit être évocateur*

Un croquis ne se limite pas uniquement à être lisible, clair, il doit être expressif. Ne consistant pas en une simple accumulation de faits, il doit montrer une image fidèle des phénomènes. Des traits retenus, tous ne présentent point une importance égale ; une certaine hiérarchie s'avère en effet nécessaire pour permettre à l'observateur de faire la distinction entre l'essentiel et le secondaire même si ce dernier ne doit point passer inaperçu.

Le croquis s'adresse à l'oeil et doit faire apparaître certains figurés comme "en avant" du croquis, de sorte qu'ils "sautent aux yeux". Les oppositions s'en trouveront accentuées, les points communs ramenés à un niveau identique même s'il faut oublier pour cela leurs différences de détails.

Moyen d'expression très évocateur, le croquis se révèle néanmoins plus sommaire qu'un texte ou un graphique dont on peut percevoir finement les nuances.

E. IMPORTANCE CAPITALE DE LA LEGENDE

La compréhension d'une carte ou d'un croquis cartographique dépend strictement de la légende. Aussi, la première démarche de l'observateur qui se réfère à une carte doit-elle consister précisément à se reporter à la légende ; nous n'insisterons jamais suffisamment sur cette recommandation. En effet, la consultation de la légende est perçue bien souvent comme une opération fastidieuse ; aussi, généralement, l'observateur juge-t-il une carte directement et, pour cette raison, il convient de le dire, ... défavorablement.

Une légende doit être classée ; sur un croquis cartographique toute une série de signes différents peuvent être employés, même s'ils ne diffèrent que par de simples nuances. Il ne saurait être question de les disposer dans un ordre quelconque selon, par exemple, l'inspiration du moment ou la progression du dessin. Ces signes se présentent alignés et les figurés de surface apparaissent dans des "caissons" qui sont normalement de petits rectangles.

On peut envisager deux formes de classement pour une légende :

. *l'une serait à base graphique ; on classe les signes d'après leur nature : les "caissons" de couleur, puis de grisés, puis les figurés. Il s'agit du procédé qui permet la lecture la plus rapide de la légende ; c'est celui que nous avons adopté,*

. *l'autre, plus géographique, consiste à classer par rubriques ; ainsi, par exemple pour une véritable carte, on représente en légende d'abord les signes relatifs au relief, puis ceux qui se rapportent au climat, aux sols, à la végétation... Un tel procédé ne convient pas pour un croquis du type de celui que nous proposons dans la mesure où celui-ci ne comprend qu'une seule rubrique : la rubrique pollution organique, ou pollution minérale ou pollution toxique ou enfin la rubrique degré d'eutrophisation.*

Le texte d'une légende gagne, selon R. BRUNET, à demeurer aussi bref que possible ; mais il implique également une grande précision. Lorsque les symboles sont proportionnels à des quantités précises, il faut indiquer toujours l'unité retenue ou choisie : il suffit de préciser ce que représente la figurine dessinée en légende. Les plages ou les tranches de valeurs doivent également être désignées avec précision (par exemple : moins de 100 ; 100 à 150 ; plus de 150).

Voilà donc les quelques principes (préconisés par les géographes Roger BRUNET et Sylvie RIMBERT) qui nous ont guidés dans l'élaboration de notre travail cartographique. Ajoutons qu'un croquis ne se construit point au hasard ; R. BRUNET précise en effet : ...*"Avant de commencer un croquis, on doit le "voir", l'imaginer terminé et, dans le choix des figurés, comme dans leur exécution, toujours garder à l'esprit l'image du résultat vers lequel on tend. Ne pas avancer "à l'aveuglette" est en effet la condition nécessaire au succès du travail"*... (1967).

SECTION II : LE TABLEAU CARTOGRAPHIQUE DE L'ÉVOLUTION DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE DE LA POLLUTION DE LA MOSELLE

PROBLÈMES CONCERNANT LE CHOIX DES DONNÉES À REPRÉSENTER

Le titre de cette section résume clairement les objectifs du croquis cartographique proposé ; il s'agit de représenter et de mettre en évidence une évolution, en l'occurence, l'évolution des diverses formes de pollution de la MOSELLE. Le but du croquis présenté précise, en même temps, l'originalité de ce travail cartographique. Jusqu'ici, les principales et seules réalisations de cartes concernant les phénomènes de pollution se sont traduites :

- *soit par des cartes reflètant la qualité des eaux superficielles (exemple des cartes publiées par l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE, relatives au Bassin de la MOSELLE),*

- *soit par des cartes inventaires du degré de pollution des eaux superficielles ; ces cartes ne tiennent compte, chacune, que d'un seul paramètre (par exemple une carte de FRANCE des valeurs de la DBO_5 que l'on trouve parmi les diverses cartes de l'inventaire du degré de pollution des eaux superficielles établi, notamment, en 1971).*

  L'inconvénient de telles représentations réside, à notre avis, dans le fait qu'elles donnent de la pollution une image figée dans le temps. En effet, ces cartes sont établies à l'occasion de campagnes annuelles se déroulant au rythme de une tous les cinq ans, sur un nombre déterminé de points de prélèvements.

Ainsi, les cartes publiées par les services du Secrétatiat Permanent pour l'Etude des problèmes de l'Eau reflètent les résultats de la première campagne et du premier inventaire, réalisés au cours de l'année 1971. (La campagne suivante et le second inventaire concernent donc l'année 1976). Le troisième inventaire doit voir le jour cette année, en 1981.

Nous constatons que les cartes relatives à de tels inventaires ne traduisent en fait l'état de la pollution que pour l'année considérée (exemple, l'année 1971). Or, la pollution reste un phénomène changeant, essentiellement. Les cartes proposées par l'organisme précité ne présentent qu'un seul intérêt : elles fournissent une situation globale des valeurs de chaque paramètre de pollution pour l'année concernée. Elles permettent tout au plus d'apprécier les variations de chacun des paramètres, dans l'espace, d'une région à l'autre, pour une année donnée, et, éventuellement, d'effectuer une comparaison de cinq ans en cinq ans, (d' inventaire en inventaire) de la situation de ces paramètres, ce qui peut permettre dans une certaine mesure d'en percevoir l'évolution. Mais on ne sait point, de la sorte quelle a été la variation des phénomènes de pollution durant les cinq années qui séparent deux inventaires successifs.

Les cartes de qualité des eaux superficielles proposées par l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE) présentent l'avantage et l'originalité d'être plus synthétiques, dans la mesure où elles indiquent la qualité des eaux de la MOSELLE et de ses affluents dans les divers secteurs de leur cours ; en effet, la détermination de la qualité d'une eau repose sur la considération de plusieurs paramètres. Ainsi, une eau de qualité 1A se caractérise par une température inférieure à 20°, un pourcentage de saturation en oxygène supérieur ou égal à 90%, une DBO_5, inférieure ou égale à 3 mg/l d'oxygène... Aussi , quand on traduit, par une couleur conventionnelle, la qualité d'une eau sur une carte, on représente en même temps la valeur particulière correspondante de chacun des paramètres retenus pour définir cette qualité. Toutefois, ces cartes proposées par l'Agence Financière RHIN-MEUSE quoique fort intéressantes et faciles à interpréter, peuvent susciter quelque objection ; ainsi par exemple, le fait que l'observateur doive constamment, pour connaître les valeurs ou les tranches de valeurs des paramètres correspondant à une qualité déterminée, se reporter au tableau des critères d'appréciation de la qualité générale d'une eau (Voir tableaux p. suivantes) .Ce dernier précise en effet, pour chaque qualité (IA,IB, 2, 3) les valeurs correspondantes des différents paramètres. Une telle "gymnastique" rend assez difficile la lecture de la carte.

Le tableau cartographique que nous avons réalisé se propose de prendre en considération l'évolution des phénomènes de pollution de la MOSELLE non seulement dans l'espace, mais également dans le temps :

. *au niveau des diverses stations de prélèvement nous représentons la situation de la pollution relative à chaque année d'observation, ceci pour chaque type de pollution.*

. *Ainsi, sur le même "tableau" peuvent s'apprécier les états successifs de la pollution d'une année à l'autre et d'une station à l'autre.*

Nous reviendrons par la suite sur cette méthode de représentation.

CRITÈRES D'APPRÉCIATION DE LA QUALITÉ GÉNÉRALE DE L'EAU

		S0	S1	S2	S3	S4
	1. Conductivité S/cm à 20°C	400	750	1 500	3 000	> 3 000
	2. Dureté totale ° français	15	30	50	100	> 100
	3. Cl mg/l	100	200	400	1 000	> 1 000
	4. Capacité d'adsorption du Na (1)	2	4	8	> 8	

		1 A	1 B	2	3
II	5 Température	< 20°	20 à 22°	22 à 25°	25 à 30°
III	6 O_2 dissous en mg/l (2) O_2 dissous en % sat.	7 > 90 %	5 à 7 70 à 90 %	3 à 5 50 à 70 %	milieu aérobie à maintenir en permanence
	7 DBO_5 eau brute mgO_2/l	⩽ 3	3 à 5	5 à 10	10 à 25
	8 Oxydabilité mgO_2/l	⩽ 3	3 à 5	5 à 8	
	9 DCO eau brute mgO_2/l	⩽ 20	20 à 25	25 à 40	40 à 80
IV	10 NO_3 mg/l			44	44 à 100
	11 NH_4 mg/l	⩽ 0,1	0,1 à 0,5	0,5 à 2	2 à 8
	12 N total mg/l (Kjeldahl)				
V	13 Saprobies	oligosaprobe	β mésosaprobe	α mésosaprobe	Polysaprobe
	14 Ecart de l'indice biotique par rapport à l'indice normal (3)	1	2 ou 3	4 ou 5	6 ou 7
VI	15 Fer total mg/l précipité et en sol	⩽ 0,5	0,5 à 1	1 à 1,5	
	16 Mn total mg/l	⩽ 0,1	0,1 à 0,25	0,25 à 0,50	
	17 Matières en susp. totales mg/l (4)	⩽ 30	⩽ 30	⩽ 30 (m dec ⩽ 0.5 ml/l)	30 à 70 (m dec ⩽ 1 ml/l)
VII	18 Couleur mg Pt/l	⩽ 10 (absence de coloration visible)	10 à 20	20 à 40	40 à 80
	19 Odeur	non perceptible		ni saveur ni odeur anormales	Pas d'odeur perceptible à distance du cours d'eau
	20 Subst. extractibles au chlorof. mg/l	⩽ 0,2	0,2 à 0,5	0,5 à 1,0	> 1
	21 Huiles et graisses	néant		traces	présence
	22 Phénols mg/l	⩽ 0,001		0,001 à 0,05	0,05 à 0,5
	23 Toxiques	norme permissible pour la vocation la plus exigeante et en particulier pour préparation d'eau alimentaire			Traces inoffensives pour la survie du poisson
	24 pH	6,5 - 8,5 6,0 - 8,5 si TH < 5° f		6,5 - 8,5 6,0 - 8,5 si TH 5° fr 6,5 - 9,0 photosynthèse active	5,5 - 9,5
VIII	25 Coliformes /100 ml		< 5 000		
	26 Esch. coli /100 ml		< 2 000		
	27 Strept. fec. /100 ml				
IX	28 Radioactivité	catégorie I du SCPRI		catégorie II du SCPRI	

(1) C A S. = $\frac{Na\sqrt{2}}{\sqrt{Ca + Mg}}$ teneurs en meil

(2) La teneur en O_2 dissous est impérative

(3) L'indice normal est supposé égal à 10 s'il n'a pas été déterminé

(4) La teneur en MES ne s'applique pas en période de hautes eaux.

QUALITÉ GÉNÉRALE DE L'EAU

SALINITE	1A	1B	2	3
0	1A.S0	1B.S0	2.S0	3.S0
1	1A.S1	1B.S1 EAU POTABLE (traitement simple ou normal) INDUSTRIES ALIMENTAIRES	2.S1 IRRIGATION	3.S1
2	1A.S2	1B.S2 ABREUVAGE DES ANIMAUX	S.S2 EAU INDUSTRIELLE eau potable (traitement poussé)	3.S2 Irrigation
3	1A.S3	1B.S3 BAIGNADE LOISIRS POISSON (vit et se reproduit normalement)	2.S3 Abreuvage des animaux	3.S3 AUTOEPURATION NAVIGATION REFROIDISSEMENT
4	1A.S4	1B.S4	S.S4 Loisirs (contacts exceptionnels avec l'eau) Poisson (vit normalement mais sa reproduction peut être aléatoire)	3.S4 Autoépuration Poisson (sa survie peut être aléatoire dans certaines circonstances)

Commentaires :

Qualité minimale selon la vocation du cours d'eau

Seules les principales vocations des cours d'eau ont été reportées dans la grille.

La position d'une vocation en grands caractères indique la qualité minimale normale.

La position d'une vocation en petits caractères indique la qualité minimale éventuellement tolérable.

Les eaux dont les teneurs dépassent les limites de la qualité 3 sont inaptes à la majorité des usages et peuvent constituer une menace pour la santé publique et pour l'environnement. De ce fait, la qualité 3 constitue un objectif minimum, même si certaines eaux du milieu naturel sont à l'heure actuelle de qualité inférieure. Pour la cartographie de la qualité actuelle, on utilisera dans ce cas la couleur rouge.

Nature des critères pris en compte

Les critères utilisés ont été regroupés en 9 grandes familles, certains critères comme les toxiques (n° 23) et la radioactivité (n° 28) correspondant déjà à un ensemble de mesures spécifiques.

Un jugement correct sur la qualité de l'eau nécessite la connaissance d'un ou plusieurs critères de chaque famille, en fonction des pollutions à attendre à l'amont.

Une bonne connaissance des 3 premières familles est indispensable.

Le système des saprobies et surtout l'indice biotique apportent une information essentielle en particulier en cas de pollution d'origine industrielle. Dans ce dernier cas, il est toutefois souhaitable de disposer de renseignements spécifiques concernant les familles VI, VII et éventuellement IX.

Par ailleurs des analyses bactériologiques (VIII) sont indispensables à l'aval des grandes agglomérations.

Variabilité des teneurs dans le temps.

La qualité des eaux étant extrêmement variable dans le temps en fonction de différents facteurs, il est nécessaire de prendre en compte les situations les plus défavorables.

L'on pourra admettre un dépassement exceptionnel de ces limites — sauf pour la teneur en oxygène dissous — durant une fréquence de 5 à 10 % du temps (20 jours en année moyenne) ou lorsque le débit descend en dessous d'une valeur critique, appelée « débit de référence », débit à définir cas par cas.

Il reste que nous ne pouvons nier les avantages offerts par les cartes jusqu'ici réalisées ; celles-ci témoignent d'une certaine conception de la représentation cartographique et elles apportent divers enseignements intéressants (notamment les cartes de qualité des eaux de l'Agence de Bassin RHIN-MEUSE).

La méthode que nous proposons se singularise dans la mesure où elle privilégie l'aspect "évolution" des phénomènes de pollution. Mais elle ne saurait être exempte de toute critique ; en effet nous ne présentons pas dans notre travail, une carte au sens strict du terme, mais plutôt un tableau cartographique. Ce type de représentation oblige notamment l'observateur, pour situer les diverses stations (dont l'ordre et la succession de la source de la MOSELLE à la frontière sont respectés sur le tableau) à se reporter à une carte de localisation annexe. Il pourra nous être fait reproche de cette "gymnastique", mais le but de notre travail (mettre en évidence les variations des diverses formes de pollution) rend secondaire, à notre avis, la stricte localisation des stations ; celle-ci, d'ailleurs le lecteur s'en apercevra lui-même immédiatement, n'est guère compatible avec la représentation de l'évolution d'un phénomène, laquelle exige nécessairement des cartes de grande taille, donc, le fractionnement du cours de la MOSELLE en plusieurs secteurs.

A. LES DONNEES STATISTIQUES DISPONIBLES ET LEURS POSSIBILITES D'EXPLOITATION

1. *L'origine des données et leurs caractéristiques*

Les relevés qui ont servi de point de départ à l'établissement du tableau cartographique proviennent des services de documentation de l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE.

Ces statistiques concernent 35 stations se répartissant de la façon suivante :

- *26 stations se succèdent le long du cours de la MOSELLE, de la source à la frontière,*
- *les autres stations permettent d'apprécier l'état de la pollution des eaux de 9 affluents principaux, immédiatement à l'amont de leur confluence avec la MOSELLE. Nous n'avons retenu, en effet, pour les affluents, que les valeurs observées au niveau de la dernière station située avant la confluence.*

Nous nous sommes exclusivement intéressés à l'évolution de la pollution de la rivière MOSELLE ; ceci excluait la considération de l'ensemble des stations des affluents, mais imposait que l'on s'arrêtât néanmoins aux apports polluants que ces derniers déversent dans la MOSELLE. Aussi, n'avons-nous retenu, pour chaque affluent, que les relevés statistiques relatifs à la station la plus proche de la confluence, à savoir, d'amont en aval du cours de la MOSELLE française : (fig. 22, de A à I).

. AUTRIVE, *pour la Moselotte,*
. JARMENIL, *pour le Vologne,*
. XEUILLEY, *pour le Madon,*
. BOUXIERES-AUX-DAMES, *pour la Meurthe,*
. ONVILLE, *pour le Rupt-de-Mad,*
. METZ, *pour la Seille,*
. RICHEMONT, *pour l'Orne,*
. FLORANGE, *pour la Fensch,*
. KOENIGSMACKER, *pour la Canner.*

Sur le cours de la MOSELLE nous rencontrons successivement d'amont en aval, les 26 stations d'observation suivantes : (fig. 22, J à S).

. SAULX (fig. 22 J)
. ELOYES
. EPINAL
. GOLBEY
. CHATEL-NOMEXY (fig 22 K)
. BAINVILLE-AUX-MIROIRS
. VELLE (fig. 22 L)
. MEREVILLE
. MARON
. DOMMARTIN-LES-TOUL
. LIVERDUN (fig. 22 M)
. FROUARD
. CUSTINES
. MILLERY (fig. 22 N)
. BLENOD-LES-PONT-A-MOUSSON (fig22C
. ARRY
. ARS-SUR-MOSELLE
. METZ (Pont de VERDUN)
. MALROY
. HAUCONCOURT (fig. 22 P)
. BLETTANGE
. UCKANGE (fig. 22 Q)
. BERTRANGE
. THIONVILLE
. MANOM (fig. 22 R)
. SIERCK-LES-BAINS (fig. 22 S)

Au niveau de l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE, les relevés de pollution ont commencé en 1964. Nous avons volontairement éliminé l'année 1964 car elle présente des lacunes dans la série des paramètres mesurés (tantôt les observations de DBO_5 manquent ; parfois la discontinuité apparaît au niveau des valeurs de NH_4, NO_3^-,...) Par ailleurs, certaines valeurs relatives à cette première année peuvent faire l'objet de réticences. Bref, le caractère parfois incomplet et discontinu des données statistiques concernant l'année 1964 nous a incités à écarter celle-ci.

La période d'évolution représentée cartographiquement s'étend donc sur dix années (1965-1974) dans le meilleur des cas. En effet, cette période d'observation diffère d'une station à l'autre ; elle porte, selon les cas, pour la plupart des paramètres :

. *sur une seule année (1971) : ELOYES, EPINAL, GOLBEY, BAINVILLE-AUX-MIROIRS, MEREVILLE, MARON, DOMMARTIN-LES-TOUL, FROUARD, CUSTINES, ARRY, ARS-SUR-MOSELLE, METZ, MALROY, BLETTANGE, BERTRANGE, THIONVILLE, toutes stations situées sur le cours de la MOSELLE,*

. *sur trois années dont deux consécutives (1971 et 1973-1974) : SAULX (MOSELLE), AUTRIVE (MOSELOTTE), JARMENIL (VOLOGNE), ONVILLE (RUPT-DE-MAD), KOENIGSMACKER (CANNER),*

. *sur quatre années successives : 1971, 1972, 1973,1974 : VELLE, BLENOD-LES-PONT-A-MOUSSON, UCKANGE (MOSELLE), XEUILLEY (MADON),*

. *sur huit années (1967-1974) : METZ (SEILLE),*

. *sur dix années enfin (1965-1974 : CHATEL-NOMEXY, LIVERDUN, MILLERY, HAUCONCOURT, MANOM, SIERCK-LES-BAINS (MOSELLE), BOUXIERES-AUX-DAMES (MEURTHE), RICHEMONT (ORNE), FLORANGE (FENSCH).*

Dans la plupart de ces stations, les relevés s'effectuent tous les mois, lors d'un jour déterminé. Mais dans un certain nombre de points de prélèvement, au cours de l'année 1971, on note une seule observation par trimestre ; ces stations s'énumèrent comme suit :

. *SAULX, EPINAL, BAINVILLE-AUX-MIROIRS, MEREVILLE, MARON, CUSTINES, ARRY, METZ, MALROY, THIONVILLE pour la MOSELLE,*

. *AUTRIVE (MOSELOTTE), JARMENIL (VOLOGNE), XEUILLEY (MADON), KOENIGSMACKER (CANNER) pour les affluents.*

Notons enfin, comme nous le verrons par la suite, qu'au niveau de certaines stations, les relevés de certains paramètres (ceux des cyanures, phénols, substances extractibles au chloroforme, détergents anioniques, orthophosphates en particulier) font défaut.

2. Le choix des paramètres à retenir

Nous constatons que selon les stations les paramètres faisant l'objet de mesures différent. Cela résulte du fait qu'au niveau du réseau de stations considéré, les relevés de pollution se trouvent destinés à des organismes variés qui ne formulent point tous les mêmes demandes de paramètres : Au niveau de la MOSELLE et de son bassin nous pouvons distinguer aunsi trois séries de stations :

. *les stations des "Commissions Internationales" ; leurs mesures de pollution intéressent le Ministère de l'Industrie,*

. *les stations permanentes fournissent des données au Ministère de l'environnement,*

. *le réseau de stations complémentaires : les relevés de ces stations se destinent aux administrations locales, l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE elle même....*

Une telle structure s'explique par le fait que les organismes demandeurs retiennent, pour la détermination des critères de pollution, des paramètres différents, d'où l'existence de trois groupes de stations et non d'un réseau unique. Ainsi, divers paramètres retenus par certains organismes sont négligés par d'autres ; cela explique souvent le manque de continuité, au niveau des données relatives à un même paramètre, d'une station à l'autre ou d'un groupe de stations à l'autre.

a) Au niveau de la pollution organique

Nous avions convenu, au départ, de représenter l'évolution des valeurs de quatre paramètres caractéristiques de la pollution organique :

. *le DBO_5 (demande biochimique en oxygène),*
. *la DCO (demande chimique en oxygène),*
. *le pourcentage de saturation en oxygène,*
. *la teneur en azote ammoniacal (NH_4^+).*

Or, l'examen des données statistiques disponibles permet de constater que les valeurs de DCO n'apparaissaient qu'au niveau d'un certain nombre de stations, et faisaient défaut, notamment pour les stations dont les relevés s'échelonnent sur onze années consécutives (1964-1974), c'est-à-dire pour les stations dont les mesures sont destinées aux "Commissions internationales". Seules les stations de prélèvements mises en place en 1971 mesurent la demande chimique en oxygène.

Aussi, avons nous opté en dernière instance pour l'oxydabilité au permanganate à chaud plutôt que de retenir la DCO. L'oxydabilité permet de représenter l'évolution sur dix années de la pollution organique de la MOSELLE ce qui n'est point le cas de la DCO ; divers auteurs avouent d'ailleurs préférer l'oxydabilité à la DCO.

Pour toutes les stations de prélèvements, pratiquement, les statistiques de l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE disposent de relevés concernant les quatre paramètres que nous avons choisis pour représenter l'évolution sur dix ans de la pollution organique de la MOSELLE, à savoir :

. *la DBO_5,*
. *l'oxydabilité au permanganate de potassium ($KMnO_4$),*
. *le pourcentage de saturation en oxygène,*
. *la teneur en azote ammoniacal.*

a1) La DBO_5 (en mg/ℓ d'O_2)

La charge organique des eaux superficielles s'accroît dès que ces dernières reçoivent des rejets résiduaires urbains ou industriels. Les microorganismes présents dans les eaux de surface dégradent, en éléments plus simples, diverses substances complexes rejetées ou existant naturellement dans ces eaux. L'activité des microorganismes est consommatrice d'oxygène et se trouve à l'origine du phénomène d'autoépuration des cours d'eau.

Comme le rejet d'un effluent organique, réducteur, dans le milieu naturel provoque une diminution de la quantité d'O_2, on évalue cette pollution organique en quantité d'oxygène demandé.

Ainsi, la demande biochimique en oxygène (D.B.O.) exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation des matières organiques contenues dans une eau, par l'intermédiaire des microorganismes qui se développent, dans des conditions déterminées, dans le milieu.

On distingue 2 stades dans la biodégradation des matières organiques :

. *un premier stade, concernant les composés carbonés, débute immédiatement et se termine, à une température de 20°C au bout d'une vingtaine de jours,*

. *pour ce qui est du deuxième stade, relatif aux composés azotés, il commence au bout d'une dizaine de jours et s'étend sur un laps de temps assez long.*

Il a été convenu de retenir la demande biochimique en oxygène pendant 5 jours à 20°C, que l'on désigne par le sigle DBO_5. On définit ainsi la DBO_5 comme la quantité d'oxygène, exprimée en mg/l, nécessaire pour assurer la dégradation biochimique et la métabolisation des matières organiques contenues dans un litre d'eau résiduaire à une température de 20°C, à l'abri de l'air, pendant 5 jours. Cette méthode de mesure de la DBO_5 fait l'objet d'une normalisation AFNOR.

La consommation d'O_2 est donc l'effet principal résultant d'un rejet de matières organiques dégradables dans le milieu naturel. Les estimations de la DBO_5 ont pour but d'évaluer cette nuisance et d'en mesurer les effets.

En comparant les valeurs mesurées avec les effets sur la quantité d'oxygène présente, on peut déterminer :

. *la charge d'un cours d'eau ou d'un effluent en éléments fermentiscibles,*
. *la charge admissible dans une eau déjà polluée,*
. *le pouvoir autoépurateur d'une rivière,*
. *l'efficacité des ouvrages d'autoépuration artificielle.*

Précisons toutefois, que la présence dans l'eau de substances toxiques, d'hydrocarbures, ou de détergents anioniquespeut inhiber la DBO ; il en résulte que les faibles valeurs de DBO_5, compte tenu de ce phénomène n'indiquent point systématiquement une bonne qualité de l'eau. Aussi, la DBO_5 ne doit-elle pas être considérée comme unique critère d'évaluation de la qualité organique d'une eau "... *A la limite on peut même estimer que la présence d'une DBO_5 sensible est une preuve que la rivière peut encore se défendre et assurer une autoépuration active...*" (M. NISBET et J. VERNEAUX, 1970).

a2) *L'oxydabilité au K MnO_4 (en mg/l d'O_2)*

La concentration des matières organiques réductrices peut faire l'objet d'une estimation globale; il suffit en effet, de mesurer la quantité d'oxygène que ces substances ôtent à un corps oxydant, en l'occurrence le permanganate de potassium, dans certaines conditions. Cette estimation porte le nom d'oxydabilité, notion capitale car les composés organiques jouent un rôle primordial dans le milieu aquatique en tant que substances réductrices capables de diminuer la teneur de l'eau en oxygène dissous.

Les résultats s'expriment en mg/l d'O_2 emprunté au permanganate.

Cette oxydabilité est sans doute la détermination qui dans l'analyse des eaux fait l'objet des contestations les plus fortes. Elle varie d'un pays à l'autre bien que le réactif oxydant utilisé puisse être le même.

Cette mesure s'effectue aussi bien à froid qu'à chaud, en 4 heures, en milieu acide (ordre de précision 5% environ). L'inconvénient majeur des dosages au $K MnO_4$ consiste dans l'instabilité de ce composé. A noter également que les différences entre DCO et Oxydabilité au $K MnO_4$ se révèlent d'autant plus grandes que l'eau est riche en substances réductrices.

a3) *La teneur en oxygène dissous en pourcentage de saturation*

La détermination de la teneur en oxygène dissous revêt une grande importance du point de vue biologique. En effet, en exerçant, dans les eaux de surface, une fonction d'autoépuration, l'oxygène contribue au maintien et au développement de la vie aquatique.

La quantité d'oxygène contenu dans l'eau s'exprime :

. *soit par la teneur en O_2 dissous immédiat (en mg/ℓ d'O_2),*
. *soit par le pourcentage de saturation.*

Cette teneur en O_2 dissous dans les eaux de surface approche, en conditions normales le taux de saturation. Dans un milieu équilibré, cette teneur résulte de différents phénomènes antagonistes :

. *une partie de l'O_2 dissous fait l'objet d'une consommation biochimique en vue de la dégradation des matières organiques polluantes et de l'oxydation de composés minéraux. Il y a alors appauvrissement en oxygène du milieu aquatique,*

. *mais le contact de l'eau avec l'atmosphère permet l'absorption d'oxygène, par la surface du cours d'eau, soit par diffusion lente, soit par brassage brutal. Toutefois, certains polluants tels les hydrocarbures, les détergents perturbent souvent ce transfert à l'interface air-eau,*

. *de même, l'action photosynthétique des plantes aquatiques enrichit de façon notable les eaux des rivières en oxygène.*

L'équilibre avec l'atmosphère se trouve particulièrement bien réalisé, voire dépassé, dans les eaux circulant facilement ce qui, par ailleurs évite la division de ces dernières en différentes couches thermiques.

Bien entendu, la teneur en oxygène dissous dans l'eau est nécessaire à la respiration des poissons, à la plupart des organismes vivants. L'oxygène représente quelques 35% du volume des gaz dissous à pression normale, alors qu'il n'entre, toujours en volume, dans la composition de l'atmosphère que dans une proportion de 21 %.

La teneur en oxygène dans l'eau est liée à diverses conditions :

. *la pression atmosphérique au lieu d'observation,*
. *la pression de vapeur saturante laquelle est fonction de la température de l'air,*
. *la salinité de l'eau,*
. *la quantité de substances réductrices contenues dans cette eau.*

Pour une pression atmosphérique normale de 760 mm de mercure la solubilité de l'oxygène dans l'eau diminue à mesure que la température croît (tables de TRUESDALE, DOWNING et LAWDEN, en 1955 : 14,16 mg/l à 0°C et 7,53 mg/l à 30°C). Le pourcentage de saturation se détermine à l'aide des abaques de RAWSON (1944) et de MORTIMER (1956) qui mettent en relation la teneur en oxygène dissous avec la température de l'échantillon, et en considérant l'altitude du lieu de prélèvement (pression atmosphérique) (Voir document joint, page suivante).

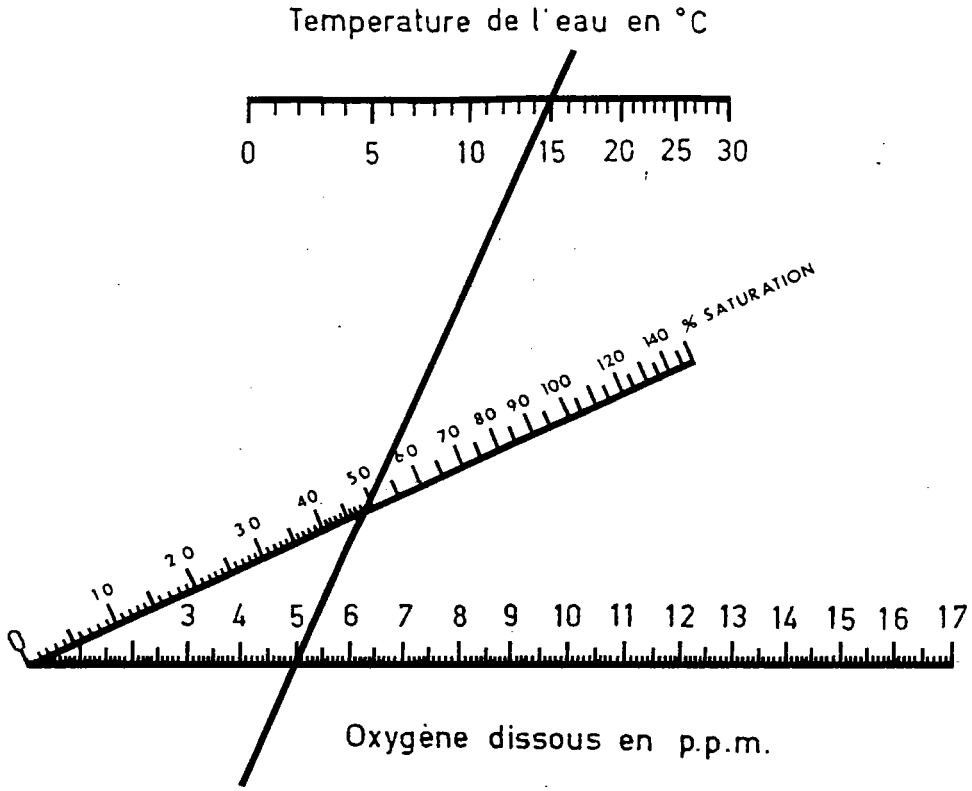
M. NISBET et J. VERNEAUX (1970) par ailleurs constatent que ... "pour une même valeur absolue de la concentration en O_2 dissous, le pourcentage de saturation diminue avec la température alors que la résistance physiologique du poisson augmente. Mais il est difficile de fixer des valeurs limites en dehors des indicateurs de température et de temps, ainsi :

. *avec 1,6 mg/l d'O_2 (soit 19% de la saturation à 20° C), la truite meurt en 3 - 5 heures,*

. *mais avec une teneur identique en O_2 à 10° C (soit 15% de la saturation) la truite résiste pendant le même laps de temps ..."*

ABAQUE DONNANT LE % DE SATURATION EN OXYGENE

(Rawson . 1944)



Correction en fonction de l'altitude et de la pression:

ALTITUDE mètres	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
PRESSION mm Hg	760	750	741	732	723	714	705	696	687	679	671
FACTEUR DE CORRECTION	1,00	1,01	1,03	1,04	1,05	1,06	1,08	1,09	1,11	1,12	1,13

Selon KLEIN (1959) dans des conditions biologiquement normales, le minimum de saturation atteint 75 %, avec des pourcentages de 110 et plus, dans les eaux courantes, (in M. NISBET et J. VERNEAUX, 1970).

Tenant compte des données de KLEIN, reprises par M. NISBET et J. VERNEAUX, nous retiendrons comme seuil minimal un taux de saturation de 70 % ; des valeurs inférieures à ce pourcentage indiqueront une pollution organique plus ou moins aiguë.

a4) L'azote ammoniacal NH_4^+ (forme ionisée)

L'ammoniaque est un des maillons du cycle complexe de l'azote. Elle se présente soit sous forme ionisée, soit sous forme non combinée ; cette dernière forme serait directement fonction du pH. La présence d'azote ammoniacal dans le milieu naturel est anormale et provient de différentes origines :

- Les déchets des végétaux de cultures et les animaux du sol produisent de l'azote ammoniacal après dégradation des protéines. Mais une grande partie de l'azote ammoniacal est retenue (complexée) par les éléments constitutifs du sol ; le ruissellement naturel entraîne le reste de l'azote non fixé par le sol, lequel s'additionne aux productions des végétaux aquatiques.

- On peut également trouver de l'azote ammoniacal dans l'eau de pluie (jusqu'à 2 mg/l).

- De nombreuses industries sont responsables, principalement, de l'augmentation du taux d'ammoniaque dans le milieu ; parmi elles :

  . les cokeries,
  . les industries chimiques (fabriques d'engrais azotés),
  . les industries textiles (blanchiment à l'eau ammoniaquée).

L'existence d'ions ammonium dans une eau traduit souvent une dégradation incomplète de composés organiques provenant d'une pollution récente. Elle s'explique aussi par certains procédés de traitement des eaux. Généralement, l'azote ammoniacal ne se rencontre que dans les eaux particulièrement riches en substances organiques en cours de décomposition ; il apparaît surtout lorsque la teneur en oxygène dissous dans le milieu aquatique s'avère insuffisante pour permettre sa transformation en nitrites et nitrates.

$$NH_4^+ \rightleftharpoons NO_2^- \rightleftharpoons NO_3^-$$

Le taux d'azote ammoniacal peut varier fortement, dû à une pollution ou non ; il ne permet point, toutefois, à lui seul, une interprétation correcte du degré de pollution organique d'une eau.

La méthode de dosage des ions ammonium fait l'objet d'une norme française homologuée : les ions mercuri-iodure ($Hg\ I_4$) K_2 donnent une coloration rouge avec le cation NH_4^+ en présence de soude ou de potasse en excès.

Précisons que la mesure de NH_4^+ n'a point été effectuée au niveau des stations de SAULX et d'ELOYES pour la MOSELLE en ce qui concerne l'année 1971 de même qu'au niveau de la station d'AUTRIVE (MOSELOTTE) pour la même année.

b) Au niveau de la pollution minérale

Les caractères essentiels d'une eau, du point de vue minéralogique, comprennent en effet :

. *des anions* : *bicarbonates (HCO_3^-) ou degré T.A.C. ; carbonates ou alcalinité vraie (degré T.A.) ; sulfates (SO_4^{--}) ; chlorures (Cl^-) ; nitrates (NO_3^-) et la silice, présente sous forme ionique,*

. *des cations* : *calcium (Ca^{++}) ; magnésium (Mg^{++}) ; le degré hydrotimétrique (T.H.) ou dureté ; sodium (Na^+), potassium (K^+) et le fer sous les formes Fe^{++} et Fe^{+++}.*

Nous avons rètenu pour la représentation cartographique de la pollution minérale, les 4 paramètres suivants :

. *la conductivité électrique,*
. *les chlorures,*
. *les sulfates,*
. *la dureté totale.*

Nous allons les analyser successivement.

b1) *La conductivité électrique (mesurée à l'aide d'un conductimètre*

La conductivité électrique d'une eau mesure la résistance opposée au passage d'un courant électrique entre deux électrodes impolarisables plongées dans l'eau à analyser. Elle est proportionelle à la quantité de sels ionisables dissous et constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau. Or, dans les eaux naturelles, constituant généralement des solutions peu concentrées en sels minéraux, la grande majorité des éléments dissous sont ionisés et contribuent ainsi à la conductibilité d'une eau.

La mesure de la conductivité électrique renseigne sur la salinité d'une eau. Une forte conductivité traduit soit des pH anormalement élevés, soit une salinité importante (du fait de concentrations élevées en sulfates, chlorures, bicarbonates). Mais la conductivité ne permet pas une distinction entre ces différents paramètres, même si chacun d'eux joue un rôle en fonction de son degré de dissociation ionique : elle donne un aperçu global qui permet de juger du niveau de contamination.

La salinité peut être d'origine naturelle ou industrielle ; dans ce dernier cas, diverses activités produisent des eaux fortement salines

. *les eaux de puits de mines de potasse,*
. *les eaux d'exhaure des mines de houille ... ;*

. *les eaux résiduaires de mines de fer, des gisements de pyrites ...*

La conductivité électrique mesurant la conductance d'une colonne d'eau comprise entre 2 électrodes de 1 cm2 de surface et séparées de 1 cm, s'exprime en µmhos/cm/cm2 ou microsiemens/cm.

Les sels dissous dans l'eau exercent une pression osmotique sur les organismes qui y vivent. Lorsque des variations brusques de la salinité des eaux se produisent, on constate parfois des migrations et même des mortalités. Par ailleurs, une trop forte pression osmotique, peut entraîner la mort des cellules au niveau des tissus des branchies et autres organes externes.

Généralement, la conductivité électrique croît de l'amont vers l'aval des cours d'eau. Une conductivité comprise entre 150 et 750 µS/cm caractérise les eaux ayant une bonne productivité piscicole. Mais au delà de 3000 µS/cm, l'équilibre écologique se trouve fortement perturbé.

Si la conductivité apporte des indications globales sur la contamination du milieu, elle ne fournit aucune précision concernant la nature du ou des contaminants. De plus, en présence d'eaux naturellement dures, elle donne parfois une fausse impression de contamination ; aussi, la conductivité doit-elle s'accompagner d'une analyse minérale afin d'apprécier l'importance des différents éléments ionisés présents dans l'eau. En particulier, le dosage des sulfates et des chlorures permet de connaître l'importance de ces contaminants dans l'eau.

b2) *Les chlorures (Cl-)*

La teneur en chlorures traduit la salure des eaux. Les chlorures se rencontrent dans toutes les eaux à des teneurs variables ; mais généralement les eaux superficielles des rivières françaises sont très douces et en renferment moins de 50 mg/l.

L'augmentation de la salure des eaux résulte essentiellement :

. *soit de la percolation à travers des terrains géologiques salés (Trias), c'est le cas en LORRAINE, pour beaucoup de rivières du bassin de la MOSELLE,*

. *soit d'industries extractives et dérivées (soudières, salines, mines de potasse ...),*

. *soit de rejets humains (urine).*

Les eaux souterraines contiennent en général 10 - 20 mg en ion chlorure ; mais au contact de certaines formations géologiques (Trias), leur teneur en cet élément peut dépasser 100 mg/l.

La présence de chlorures dans l'eau a été souvent utilisée comme l'indice d'une pollution. Les eaux chlorurées alcalines sont laxatives et peuvent être préjudiciables aux personnes atteintes de maladies cardiovasculaires ou rénales.

A teneurs élevées, la présence de chlorures dans l'eau corrode les métaux, se révèle impropre à certaines industries, à l'utilisation en vue de l'irrigation (effets sur la croîssance de certains végétaux à 200 - 400 mg/l en Cl^-) et nuit à la faune et à la flore aquatiques.

Le dosage des chlorures par la méthode de **MOHR** fait l'objet d'une normalisation A.F.N.O.R. en milieu neutre, les chlorures sont dosés par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de précipitation est mise en évidence par la formation de chromate d'argent rouge).

b3) *Les sulfates (SO_4--)*

Ce sont des éléments naturels des eaux de surface, liés aux cations principaux (Ca^{++}, K^+, Na^+). Leur présence dans les eaux, à teneurs relativement élevées limite certains usages de l'eau, en particulier pour :

. *l'industrie alimentaire (sucreries, laiteries ...),*
. *les industries textiles,*
. *les brasseries ...*

Par ailleurs, des teneurs inférieures à 200 mg/l ne présentent aucun problème pour l'irrigation et le développement des algues en milieu aquatique. Les animaux peuvent absorber des eaux renfermant 1 g/l, sans dommage, tandis que pour l'alimentation humaine les normes françaises fixent la concentration maximale dans l'eau distribuée à la population à 250 mg/l d'ions SO_4^{--}.

La teneur en sulfates est surtout utile pour caractériser les eaux particulières; la nature géologique régionale jouant un rôle primordial, de même que certains effluents industriels et urbains, lesquels peuvent aussi fournir des eaux riches en sulfates.

L'origine naturelle des sulfates dans les eaux est à rattacher essentiellement à la dissolution du gypse des terrains gypsifères et au lessivage des terrains pyrifères où les sulfures entraînés s'oxydent au contact de l'air pour donner des sulfates. Il faut préciser que les eaux très chargées en sulfates par suite des apports des terrains traversés se révèlent peu favorables à la vie piscicole comme le notent M. NISBET et J. VERNEAUX (1970).

Les origines artificielles des sulfates sont plus difficiles à cerner étant donné leur importance dans l'industrie. Toutefois les principaux apports proviennent :

. *des tanneries,*
. *de l'industrie papetière,*
. *des textiles,*
. *des ateliers de décapage métallique.*

La méthode gravimétrique de dosage des sulfates (normalisation A.F.N.O.R.) se révèle la plus précise quoique la plus délicate et la plus longue.

b4) *La dureté totale*

Il s'agit du dosage des alcalino-terreux (calcium et magnésium). Les résultats étant exprimés en degrés français ou en mg/l de $Ca\ CO_3$.

Ce sont donc les ions Ca^{++} et Mg^{++} qui caractérisent la dureté d'une eau. Celle-ci résulte le plus souvent de l'effet de dissolution des terrains sur lesquels les eaux s'écoulent : la dureté des eaux est essentiellement naturelle et, de ce fait, on ne peut parler véritablement de pollution.

Toutefois, cette dureté a un impact sur la vie aquatique et les usages domestiques industriels ou agricoles de l'eau :

. ainsi le développement de la couverture biologique des eaux se trouve freiné si ces dernières s'avèrent trop dures,

. au contraire, mollusques et crustacés voient leur développement contrarié dans une eau dont la teneur en calcium se révèle insuffisante.

Par ailleurs, les eaux dures accroîssent la consommation des savons, entartrent les appareils de chauffage et augmentent le temps de cuisson des légumes. Au niveau industriel on retrouve ces mêmes inconvénients des eaux dures :

. tartre dans les chaudières et les circuits de réfrigération,
. gène dans les opérations de lavage utilisant des savons (une eau dure s'oppose au moussage du savon).

Par contre, l'irrigation des terres par des eaux riches en calcium apporte au sol arable cet élément indispensable à la croissance des végétaux.

Comme la dureté de l'eau résulte du pouvoir que celle-ci possède de dissoudre les ions Ca^{++} et Mg^{++} des formations géologiques sur lesquelles elle circule, les eaux dures se rencontrent plus fréquemment dans les cours d'eau s'écoulant dans des régions calcaires ; par contre, les rivières situées en région de roches schisteuses, métamorphiques ou cristallines se signaleront par des eaux beaucoup plus douces.

Par définition, l'unité de dureté s'appelle le degré hydrotimètrique. Un degré français correspond à la présence de 10 mg/l de $CaCO_3$ ou 4 mg/l de Ca^{++} dans l'eau. En multipliant le nombre de milliéquivalents de calcium et de magnésium contenus dans une eau par 5, nous obtenons la dureté totale de cette eau en degrés français :

$$\text{Dureté totale (°F)} = \frac{Ca^{++}\ (mg/l)}{20,04} + \frac{Mg^{++}\ (mg/l)}{12,16} \times 5$$

. 1 milliéquivalent de Ca^{++} = 20,04 mg
. 1 milliéquivalent de Mg^{++} = 12,16 mg.

La détermination du degré hydrotimétrique s'effectue par la méthode compléxométrique en utilisant le complexon III en solution à 7,44 g/l. La réaction se fait en milieu tampon ammoniacal NH_4 OH - NH_4 Cl (pour réaliser un pH de 9,2 - 9,3) avec, comme indicateur le Noir Eriochrome qui forme un complexe coloré avec les ions Ca^{++} et Mg^{++}. A la fin de la complexation des ions Ca^{++} et Mg^{++} par l'EDTA (par suite de la dissociation du complexe Noir Eriochrome Mg^{++}), l'indicateur vire du violet au bleu clair.

Précisons qu'au niveau des chlorures, des sulfates et de la dureté totale l'année 1971 comporte des lacunes dans les relevés pour les stations suivantes :

. SAULX et ELOYES pour la MOSELLE,
. AUTRIVE pour la MOSELOTTE.

c) Le degré d'eutrophisation

L'eutrophisation est un phénomène naturel, traduisant un maximum de productivité des eaux avec une diversité optimale d'espèces végétales et animales. Elle correspond à un état d'équilibre où les apports fertilisants (phosphore, azote ...) sont complètement minéralisés par la flore et la faune aquatiques.

Un apport trop important (pollution) entraîne l'asphyxie du milieu, provoquée par la prolifération de certaines espèces végétales et animales. Ces dernières, "explosant" grâce à la surabondance des éléments nutritifs (nitrates et phosphates en particulier), finissent par consommer tout l'oxygène dissous dans l'eau. Seuls peuvent alors survivre les organismes anaérobies.

-c1) *Les orthophosphates*

Ils peuvent avoir une origine naturelle dans la mesure où ils résultent de la décomposition de la matière vivante, du lessivage des minéraux des roches-mères.

Mais de plus en plus, leur présence dans les eaux provient d'une origine artificielle (polyphosphates des détergents, eaux traitées aux phosphates, engrais, industrie chimique ...).

D'après M. NISBET et J. VERNEAUX, des concentrations supérieures à 0,1 - 0,2 mg/l traduisent une pollution par des eaux vannes riches en phosphates organiques et en détergents synthétiques, ainsi que par les eaux de ruissellement (1970).

Les valeurs limites mentionnées dans *"Water Quality Criteria" (1968)* indiquent qu'au delà de 0,3 mg/l, pour les eaux courantes, on peut retenir un caractère marqué d'eutrophisation ou de pollution par détergents, et des risques de nuisances diverses.

Les apports des eaux de ruissellement provoquent de fortes variations de la teneur en orthophosphates, notamment à la suite d'averses abondantes ou de périodes de crues (lessivages des sols). L'importance de ces apports se trouve d'autant plus marquée du fait de l'usage immodéré des engrais phosphatés.

Le dosage des phosphates renseigne sur l'importance d'une pollution urbaine et sur le degré de trophie d'une eau.

Le phosphore, directement assimilable, est un des principaux éléments fertilisants ; sa présence dans les eaux naturelles à des concentratio supérieures à 0,05 mg/l est l'indice d'une contamination du milieu.

Le dosage des phosphates selon la méthode normalisée AFNOR, repose sur le fait que les ions orthophosphates en solution acide ($H_2 SO_4$) et en présence de molybdate d'ammonium, forment un anion complexe phosphomolybdique qui, après réduction, présente une coloration bleue dosée par colorimétrie.

c2) *Les détersifs anioniques (A.B.S.)*

Il existe plusieurs groupes de détersifs que l'on peut rassembler en 3 catégories : anioniques, non ioniques et cationiques, selon la partie de la molécule douée de propriétés tensio-actives.

Les détergents synthétiques contiennent de la matière active aux propriétés surfactantes, des polyphosphates et plusieurs autres ingrédients (perborates, persulfates, blanchissants, parfums ...).

Les détersifs anioniques sont les plus usités, notamment dans les usages domestiques, toutefois, certains détersifs cationiques, proscrits des usages domestiques, font l'objet d'applications industrielles.

Il y a une vingtaine d'années ces composés n'existaient pratiquement pas dans les eaux naturelles ; mais la généralisation de leur usage dans les domaines ménager et industriel a provoqué peu à peu une pollution de presque tous les cours d'eau. De nombreuses sources et nappes d'eau renferment également des détergents anioniques. Parmi les détersifs anioniques on distingue toute une série de composés non biodégradables : alkyl sulfates, alkylbenzène sulfonates (A.B.S.) ... Mais la loi a fait obligation en FRANCE d'utiliser dans les mélanges commercialisés, 80% au moins de détersifs biodégradables ; ceux-ci sont généralement des anioniques appartenant au groupe des alkylbenzènes sulfonates linéaires (L.A.S.).

La pollution des eaux continentales qui résulte de l'usage des détersifs se caractérise par des apports, dans ces dernières, d'agents tensioactifs mais également, de phosphates, en quantité non négligeable. Ainsi,

l'enrichissement artificiel des eaux en composés phosphorés vient s'additionner aux effets écotoxicologiques des composés détersifs. C'est dans cette mesure que les détergents anioniques contribuent à accélérer les processus d'eutrophisation des cours d'eau.

Par ailleurs, l'un des principaux effets de ces composés est d'inhiber le pouvoir autoépurateur des cours d'eau, de limiter le développement des microorganismes benthiques et de compromettre le fonctionnement des stations d'épuration.

Les mousses qui accompagnent souvent la présence de détergents dans l'eau, outre la gène qu'elles provoquent pour la navigation (elles peuvent cacher des obstacles), freinent en effet les échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère.

Les détergents altèrent le goût de l'eau ; quant à leur toxicité pour la faune aquatique, on admet, en général, qu'il n'existe point de danger direct pour le poisson à des concentrations n'excédant pas 3 mg/l.

L'obligation légale imposée dans la plupart des pays européens depuis la fin des années 60, de commercialiser des produits détersifs biodégradables a provoqué une certaine diminution de la pollution des cours d'eau par ces substances. Actuellement les eaux de surface contiennent généralement moins de 0,1 mg/l de détersifs.

La méthode de dosage est basée sur le fait que les composés tensio-actifs anioniques forment avec le vert de méthyle ou le bleu de méthylène, un complexe de coloration bleue, extractible par le chloroforme. Cette méthode permet le dosage de 2 types de détergents anioniques :

- les alkylbenzènes sulfonates (A.B.S.) qui ne sont pas biodégradables,
- les alkyl sulfonates linéaires (L.A.S.) qui, eux, sont biodégradables.

L'intensité de la coloration est mesurée au spectrophotomètre à 652 mμ. La méthode convient pour une zone de concentration variant entre 0,025 et 100 mg/l, exprimée en A.B.S. On relève toutefois des interférences avec certains composés organiques et inorganiques.

c3) Les nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique. Bien que les teneurs varient assez fortement suivant la saison, ils attestent que le processus de biodégradation a déjà joué.

L'azote des nitrates, tout comme celui des nitrites et de l'ammoniaque est un des éléments nutritifs des plantes et notamment des plantes aquatiques. La teneur en nitrates d'une eau permet donc de suivre théoriquement, le degré d'eutrophisation de celle-ci : les nitrates, en effet, contribuent largement à l'eutrophisation des lacs et des rivières.

Ils sont assimilés au cours des processus photosynthétiques. Mais si leur évolution dans un cours d'eau peu pollué s'avère facile à percevoir et à corréler avec la productivité, ceci devient plus délicat à évaluer en présence d'une rivière lente et polluée.

Les nitrates peuvent exister naturellement dans les eaux ; dans ce cas, la teneur en nitrates résulte de l'action de ruissellement et d'écoulement des eaux sur les sols (ou du lessivage des sols) constituant le bassin versant des rivières ; la présence de nitrates dans les eaux de surface est à rattacher, dans ce cas, directement à la nature des zones drainées.

L'accroîssement de la teneur des eaux en nitrates provient surtout de l'activité humaine laquelle accélère l'enrichissement en substances nutritives par les rejets d'eaux usées domestiques et par l'apport d'engrais sur les sols cultivés qui subissent le ruissellement et l'infiltration des eaux. Il est certain que la généralisation des engrais artificiels aux nitrates a fortement contribué à cet enrichissement. Ainsi peut-on mettre en parallèle 2 séries de résultats :

- *en FRANCE, la consommation de nitrates artificiels est passée de 250 000 tonnes en 1950 à 1 230 000 tonnes en 1970,*
- *dans certaines sources captées pour l'alimentation de PARIS l'eau contenait 20 mg/ℓ de nitrates en 1950 et 40 mg/ℓ en 1972-1973.*

Par ailleurs, les rejets d'industries minérales et d'engrais azotés interviennent également pour augmenter la teneur des cours d'eau en nitrates.

Mais outre leur rôle important dans l'eutrophisation des eaux de surface, les nitrates peuvent présenter 2 dangers :

. *en milieu réducteur, ils se transforment en nitrites qui se fixent sur l'hémoglobine (comme l'oxyde de carbone) empêchant celle-ci de fixer l'oxygène nécessaire aux êtres vivants à sang rouge,*

. *les nitrates peuvent, peut être, intervenir dans la formation des nitrosamines qui sont des agents cancérigènes.*

Le danger que représentent les nitrates est suffisamment sérieux pour que les normes proposées par l'O.M.S. en fixent la teneur maximale dans l'eau potable à 44 mg/l.

Précisons d'autre part que les nitrates peuvent jouer le rôle de donneur d'oxygène. Lorsque l'été les taux d'oxygénation des rivières sont très bas, une forte pollution organique peut faire entièrement disparaître l'O_2 dissous. Les nitrates, cédant leur oxygène peuvent empêcher le développement d'une vie anaérobie.

- La présence des nitrates stimule la croissance des algues, facilite indirectement la photosynthèse et la formation d'oxygène au sein du cours d'eau.

Les nitrates sont dosés en présence de composés phénolés et d'acide sulfurique ; ils se transforment ainsi, en dérives nitrés du phénol donnant, en milieu alcalin, une coloration jaune. Le dosage se fait par colorimétrie et exige l'absence de chlorures.

c4) *Le potassium*

On le rencontre a l'état naturel dans la majorité des eaux de surface, mais à des teneurs généralement faibles, largement inférieures à celles du sodium.

Une teneur anormale provient en général des industries extractives (sel, potasse) et des usines d'engrais.

Sa toxicité vis à vis du poisson se trouve réduite par le calcium et le sodium. Mais il est plus toxique pour les poissons et les mollusques que le calcium, le magnésium et le sodium ; cette toxicité dépendant essentiellement des anions avec lesquels il est combiné (concentration létale : 50 mg/l pour l'épinoche).

Sa présence signifie indirectement une eutrophisation du milieu (lac oligotrophe : 0,4 à 1,5 mg/l ; lac eutrophe : jusqu'à 5 - 6 mg/l).

On peut suivre, grâce à ce corps, l'évolution de l'enrichissement du milieu.

Les analyses de potassium sont intéressantes, par ailleurs car la majorité de la radioactivité naturelle des eaux provient de l'isotope 40 du potassium.

Le dosage chimique comme pour le sodium s'avère très complexe, surtout que les concentrations sont généralement faibles. Seules les spectrophotométries de flammes (absorption et émission) sont utilisées.

les mesures des quatre paramètres que nous venons d'étudier comportent, pour la période 1965-1974 de nombreuses lacunes. Ainsi, pour les stations au niveau desquelles nous disposont des 10 relevés relatifs aux 10 années considérées (stations des Commissions Internationales), les données d'orthophosphates et de détergents font défaut sauf :

. *pour la MEURTHE à BOUXIERES-AUX-DAMES (1971 et 1974),*
. *la FENSCH à FLORANGE (1971),*
. *la MOSELLE à SIERCK-LES-BAINS (1974).*

Par ailleurs pour les mêmes stations les mesures de potassium n'ont été effectuées qu'à partir de l'année 1967.

Enfin aucun des quatre paramètres n'a été mesuré au niveau des stations de SAULX (1971) et d'ELOYES (1971) pour la MOSELLE et d'AUTRIVE (1971) pour la MOSELOTTE.

d) La pollution toxique

C'est au niveau des relevés concernant ce type de pollution que les données statistiques fournies par l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE comportent le plus de lacunes :

. certains paramètres étant négligés (radioactivité, hydrocarbures),

. d'autres n'étant mesurés qu'au niveau de quelques stations (composés phénoliques, cyanures, substances extractibles au chloroforme),

. d'autres enfin, n'ont point fait l'objet de relevés continus au niveau des stations où normalement les statistiques portent sur les 10 années considérées (Nitrites).

Il a donc fallu élaborer une carte en tenant compte de ces nombreuses lacunes et de l'inconstance des données statistiques. Compte tenu de ces considérations nous avons choisi comme paramètres caractéristiques de la pollution toxique :

. *l'ammoniac (NH_3),*
. *les nitrites,*
. *les composés phénoliques,*
. *les cyanures,*
. *les substances extractibles au chloroforme.*

d1) L'ammoniac (NH_3)

Il faut distinguer l'ammoniac, ou gaz NH_3, de l'ammoniaque, base NH_4OH.

Une solution aqueuse d'ammoniaque ou de sel d'ammonium se dissocie en ammoniac et en eau d'après l'équilibre ci-dessous :

$$NH_4OH \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^- \rightleftharpoons NH_3 + H_2O$$

On appelle azote ammoniacal total l'ensemble des formes de l'azote associé à l'hydrogène sous les 2 états : NH_4^+ (forme ionisée) et NH_3 (forme non ionisée).

Selon WUHRMANN et WOKER (1948), c'est la quantité d'ammoniac non ionisé (NH_3) qui est responsable de la toxicité d'une solution aqueuse d'ammoniaque ou de sel d'ammonium ; cette quantité de NH_3 dépend de la constante de dissociation de l'équilibre réversible mentionné plus haut, laquelle constante varie en fonction du pH et de la température (in J.F. FERARD, 1974).

L'influence du pH est plus déterminante que celle de la température. D'après TRUSSEL (1972), à 10° C, le pourcentage d'ammoniac non ionisé est multiplié par 10 quand le pH passe de 7 à 8 ; par contre, un accroissement de température de 10° C à 20° C pour un pH constant de 7 se traduit par un doublement du pourcentage d'ammoniac ; ce pourcentage est un pourcentage évalué en fonction de la quantité d'azote ammoniacal total (NH_4^+ et NH_3) (in J.F. FERARD, 1974).

Par ailleurs, LLOYD et HERBERT (1960), montrent que l'existence de CO_2 dans l'eau, diminuant son pH, peut entraîner une baisse du pourcentage d'ammoniac non ionisé (in J.F. FERARD, 1974).

La concentration en oxygène dissous joue également un rôle important ; DOWNING et MERKENS (1955 et 1957), ont constaté que lorsque l'oxygène dissous augmente, la toxicité de NH_3 diminue. D'après les travaux de LARMOYEUX et PIPER (1973), la truite peut tolérer une concentration d'ammoniaque de 1 mg/l si le taux d'O_2 dissous excède 7 mg/l. Par contre, on note des atteintes pathologiques diverses (ralentissement de la croissance, atteintes branchiales etc ...) avec des concentrations d'ammoniaque supérieures à 0,5 mg/l et un taux d'oxygène dissous inférieur à 5 mg/l (in J.F. FERARD, 1974).

d2) *Les nitrites (NO_2^-)*

Ils ne constituent qu'un stade intermédiaire dans le cycle de l'azote. Ils ne persistent dans le milieu que lorsque celui-ci n'est pas oxydant. Leur présence est liée :

. *soit à une dégradation bactérienne de l'azote ammoniacal,*

. *soit à un rejet de nitrites (engrais, réduction de nitrates..)*

L'oxydation des nitrites est assez rapide en milieu acide. En milieu basique, elle est plus lente et discutable. On peut aussi avoir une réduction des nitrates qui fournit des nitrites mais seulement dans des cas d'action de bactéries saprophytes anaérobies (sol) ou sous l'influence de la flore contenue dans le tube digestif des enfants.

Si les nitrites favorisent la croissance planctonique au même titre que les nitrates, ils peuvent être nuisibles au poisson mais à des doses très importantes par rapport à celles que l'on trouve ordinairement dans le milieu naturel ; par exemple, 50 mg/l de nitrite de sodium tuent un vairon en 14 jours. Si dans des zones de très faible pollution on ne trouve généralement pas de nitrites, dans les zones à autoépuration active, on relève fréquemment des teneurs de 0,01 mg/l. Mais l'absence de nitrites n'est pas une condition suffisante pour affirmer une absence de pollution organique.

Le dosage des nitrites fait l'objet d'une normalisation AFNOR. L'acide sulfurique forme, en milieu chlorhydrique ; en présence d'ions ammonium, avec les nitrites, un complexe jaune susceptible d'un dosage colorimétrique.

d3) Les composés phénoliques

Dans la catégorie "phénols" on classe généralement un ensemble de molécules hydroxyles dérivées du benzène et diversement substituées. Ces molécules sont sensibles à la biodégradation en fonction de leur structure.

La toxicité est fonction de la structure des phénols mis en jeu. Si à concentration élevée ce sont des dénaturants des protéines, aux doses rencontrées dans le milieu naturel, ils jouent essentiellement un rôle antiseptique (phénols, crésols, alkyphénols ...) ce qui peut entraîner une modification d'équilibre du milieu aquatique (diminution de la biodégradation).

La présence de phénols dans les eaux provient le plus souvent des pollutions industrielles :

- industries du pétrole et raffineries,
- cokeries, fonderies (lavage des effluents gazeux),
- industries chimiques et pharmaceutiques (colorants, pesticides ...).

Le principal risque des composés phénoliques est la création de composés chlorés (chlorophénols) lors d'une chloration éventuelle, ce qui a pour effet de rendre l'eau impropre à tout usage.

Voici quelques seuils de toxicité observés :

Composé phénolique	Seuils de toxicité : mg./l		
	Escherichia coli (bactérie)	*Scenedesmus* (algue)	*Daphnia* (crustacé)
P. Aminophénol	8-10	6	96
m. crésol.....	600	40	28
Phénol.....	+ 1000	40	16

La méthode de dosage à la 4-aminoantipyrine permet de déterminer le phénol, ses dérivés ortho et métasubstitués, les phénols parasubstitués. Des dérivés tels que le paracrésol ne sont pas dosés par cette méthode.

d4) Les cyanures

La présence de cyanures dans l'eau est liée aux effluents de certaines industries (cockeries, eaux de lavage des hauts fourneaux, fabriques de gaz, industries pétrochimiques). Les cyanures sont donc le signe, en particulier, d'une pollution industrielle de type sidérurgique.

Ce composé a sa stabilité et sa toxicité directement fonction du pH du milieu (c'est en fait HCN non dissocié le plus toxique). Si on a une toxicité presque nulle pour un pH 8 elle est très forte à pH 6 ou en dessous.

La toxicité vis-à-vis des poissons est directement fonction du pH, de l'oxygène dissous, de la minéralisation et de la température. Les organismes planctoniques et les invertébrés sont, quant à eux beaucoup moins sensibles.

Pour les Téleostéens, en présence de cyanure de potassium, la dose limite tolérée (celle à partir de laquelle apparaîssent des mortalités dans les populations) est de 0,1 p.p.m. ; la concentration minimale provocant 100 % de mortalité (CL 100) est de 0,5 p.p.m. (FURON, 1962 , in F. RAMADE, 1974

La méthode de dosage repose sur le fait que l'ion cyanure, en solution alcaline est transformé en chlorure de cyanogène (CNCl), par réaction avec le chloramine T à un pH inférieur à 8 ; CN Cl forme une teinte bleue par addition de pyridine - pyrazolone (méthode d'EPSTEIN).

d5) Les substances extractibles au chloroforme (S.E.C.)

Ce sont des substances persistantes, c'est-à-dire résistant à la dégradation biochimique. On les trouve dans les contaminations liées aux activités agricoles (pesticides) ou industrielles (phénol, colorants, médicaments, hydrocarbures) ou dans les utilisations domestiques (détergents, huiles, graisses ...).

En raison de leur persistance et de la toxicité de bon nombre d'entre-elles, à faible concentration, elles mettent en danger la santé de l'homme, la vie et le développement de la faune aquatique. Par ailleurs, ces co posés chimiques ont des effets synergétiques les uns sur les autres. Les substances organiques qui, prises séparément n'auraient que peu de toxicité, peuven

B.U. METZ

devenir toxiques à un seuil plus faible, en combinaison avec d'autres substances

Il est difficile d'individualiser au plan analytique ces molécules ou groupes de molécules. Le principe de la méthode de détermination des S.E.C. consiste à extraire les substances organiques et organométalliques contenues dans l'eau, par du chloroforme purifié, à pH sensiblement neutre, à l'abri de la lumière et à température ambiante.

Comme nous l'avons précisé antérieurement, les paramètres de pollution toxique n'ont pas, au cours de la période étudiée, toujours été mesurés de façon continue selon les stations considérées.

Ainsi, pour ce qui est de l'ammoniac, les valeurs obtenues résultent d'un calcul à partir des relevés de NH_4^+, du pH et de la température ; il suffisait donc que l'un ou l'autre de ces trois derniers paramètres n'ait point été mesuré au niveau d'une station ou d'une année déterminées pour que l'évaluation de NH_3 devienne impossible. C'est ainsi que pour ce paramètre nous ne disposons d'aucune donnée pour l'année 1971 au niveau des stations de SAULX et d'ELOYES (MOSELLE) et d'AUTRIVE (MOSELOTTE).

Nous pouvons faire la même observation pour les nitrites en ce qui concerne les stations précitées et l'année considérée.

Par contre, au niveau des stations pour lesquelles les observations portent en principe sur 10 années consécutives, les relevés de NO_2^- manquent pour 1967, 1968, 1969, 1970,1971, et 1972.

Les composés phénoliques, outre le fait qu'ils n'ont pas été mesurés aux stations de SAULX, d'ELOYES (MOSELLE) et d'AUTRIVE (MOSELOTTE) en 1971, apparaissent, au niveau des stations faisant normalement l'objet de mesures de 1965 à 1974, au cours de périodes différentes d'une station à l'autre :

. *1965 et 1966 à CHATEL - NOMEXY et LIVERDUN (MOSELLE),*
. *1965, 1966 et 1967 à MILLERY (MOSELLE),*
. *1965 à 1974 à HAUCONCOURT, MANOM et SIERCK-LES-BAINS (MOSELLE), RICHEMONT (ORNE), FLORANGE (FENSCH),*
. *1965, 1966, 1971 et 1974 à BOUXIERES-AUX-DAMES (MEURTHE).*

Les mesures de cyanures sont encore plus rares. Elles n'existent que pour les stations suivantes :

. *VELLE, BLENOD-LES-PONT-A-MOUSSON, UCKANGE (MOSELLE) pour la période 1971-1974,*
. *FROUARD, CUSTINES, ARRY, MALROY, THIONVILLE (MOSELLE) pour l'année 1971,*
. *HAUCONCOURT, MANOM et SIERCK-LES-BAINS (MOSELLE) pour les années 1973 et 1974,*
. *BOUXIERES-AUX-DAMES (MEURTHE) pour 1974,*
. *RICHEMONT (ORNE) et FLORANGE (FENSCH) pour la période 1968-1974.*

Enfin, les relevés des substances extractibles au chloroforme sont observables au niveau de la plupart des stations que nous venons de citer mais souvent pour des périodes plus brèves.

. On les trouve pour les mêmes années ou périodes que précédemment à VELLE, BLENOD, UCKANGE, FROUARD, CUSTINES, ARRY, MALROY, THIONVILLE, BOUXIERES-AUX-DAMES.

. Des mesures de S.E.C. apparaîssent également à SIERCK (1974) pour la MOSELLE et à FLORANGE (1971) pour la FENSCH.

B. PROBLEME DU CHOIX DES VALEURS STATISTIQUES A RETENIR POUR LA REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE DES DIVERS PARAMETRES

1. Les valeurs particulières traduites cartographiquement

Les statistiques de l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE, comme la plupart des données disponibles relatives à des mesures de pollution, concernent des relevés effectués une fois par mois ou une fois par trimestre, pendant une période d'observation plus ou moins longue.

Ainsi la valeur de chaque paramètre désignée comme caractéristique d'une mois déterminé, ne traduit, en fait, que l'état de la pollution au jour du prélèvement ou de la mesure. Pour chacun des paramètres, on considère donc, de façon quelque peu abusive, la valeur observée au cours d'une journée (et même à un instant précis de cette journée), comme une valeur mensuelle de pollution. On attribue ainsi à tout mois de l'année une valeur instantanée des divers paramètres. La variabilité des phénomènes au cours de la journée et au cours du mois n'apparaît donc pas. Rien ne permet d'affirmer, en effet, que la valeur de tel paramètre, constatée le jour du prélèvement, vaut également pour les jours suivants ou pour l'ensemble du mois ; tout conduit à penser au contraire qu'elle varie plus ou moins fortement d'une journée à l'autre. (fig. 23 A et B) et assez indépendamment du débit.

Ainsi, une observation journalière et même instantanée devient-elle, par extension, une observation ... "mensuelle" traduisant un état "mensuel" de la pollution. Les statistiques disponibles attribuent donc à chaque mois d'une année donnée un relevé journalier ; et toute année se trouve ainsi représentée par douze (ou quatre) valeurs journalières de pollution (en fait par douze ou quatre valeurs instantanées).

On comprendra que, dans de telles conditions, nous ne saurions retenir comme caractéristique d'une pollution annuelle la moyenne de douze relevés journaliers, ceci d'autant plus qu'une moyenne, par ailleurs, ne révèle point la variabilité des phénomènes. De plus, la moyenne est précisément la valeur qui ne se réalise jamais, parce que, évidemment, calculée.

La médiane s'avère plus intéressante dans la mesure où l'on dispose d'une série de valeurs impaire. Or, par définition, une série annuelle de douze valeurs "mensuelles" (donc paire) disposées par ordre croissant, ne comporte pas une valeur centrale (qui fournirait la médiane), mais deux ; dans ce cas, la médiane se calcule : elle correspond à la moyenne des deux valeurs centrales de la série. Exemple :

. *Série croissante impaire : 1, 3, 4, 6, 7.5, 8, 9.6, 15, 17*
Médiane de la série = 7.5 = valeur réelle

. *Série croissante paire : 2, 3.2, 4.6, 5, 7, 8.4, 9, 10.1*
Médiane de la série : $\frac{5 + 7}{2} = 6$ = valeur calculée.

Mais, pas plus que la moyenne, la médiane ne rend compte de la variabilité annuelle des phénomènes de pollution. L'idéal consisterait à disposer de stations fonctionnant en continu, lesquelles permettraient une appréciation plus fine, plus exacte des phénomènes de pollution, et la détermination de valeurs journalières, mensuelles, pour chacun des phénomènes considérés (médianes, fréquences, éventuellement moyennes). Toutefois, il reste évident que le coût de telles installations automatiques de mesures ne permet pas, pour l'instant d'équiper l'ensemble du cours ou du bassin de la MOSELLE en stations de ce type. (L'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE n'en dispose actuellement que d'une seule pour l'ensemble du bassin de la MOSELLE, MILLERY, à laquelle il faut ajouter deux stations E.D.F. semblables : à KOEKING et APACH).

Par ailleurs, il est impensable de procéder à des observations continues au niveau de tous les points de prélèvement que comporte le cours de la MOSELLE ; cela supposerait une disponibilité permanente de quelques trente équipes de terrain. On peut imaginer là encore le coût de fonctionnement d'une telle opération.

Aussi, comme les statistiques existantes fournissent uniquement à de très rares exceptions près, des valeurs provenant de mesures ... instantanées, elles ne révèlent (il convient d'insister là dessus) qu'une image, un état assez approximatif de la pollution réelle.

De ce fait il nous a paru vain et inutile de rechercher un traitement mathématique élaboré de données ... par définition trop rares et sporadiques (que signifie une médiane ou une moyenne "annuelles" estimées sur la base de douze valeurs théoriquement mensuelles mais effectivement journalières ?).

Quelles valeurs caractéristiques avons-nous retenues pour chaque paramètre représenté ? Les services de l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE considérent, pour la détermination de la qualité annuelle d'une eau, la valeur "mensuelle" la plus mauvaise dans onze cas sur douze. Se trouve ainsi écartée la valeur "mensuelle" indiquant la pollution la plus grave au cours de l'année ; on retient donc la onzième des douze valeurs "mensuelles" classées par ordre croissant de la moins mauvaise à la plus mauvaise. Précisons que dans le cas du pourcentage de saturation en O_2, la valeur la plus mauvaise n'est point la plus forte, mais la plus faible (en valeur absolue) ; plus le taux de saturation est faible, plus il est mauvais.

Nous nous sommes inspirés de la méthode pratiquée par l'Agence de Bassin RHIN-MEUSE, mais nous l'avons complétée. En effet, notre objectif restant la représentation de l'évolution des phénomènes de pollution de la MOSELLE, il nous a paru intéressant de nous attacher non seulement à la variabilité de ces phénomènes d'une année à l'autre, mais encore à leur changement au cours d'une même année. Aussi, avons nous pris en considération, pour chaque paramètre :

- . et la valeur "mensuelle" la plus mauvaise dans onze cas sur douze,
- . et la valeur "mensuelle" la plus mauvaise dans deux cas sur douze (ce qui suppose que dix mois se caractérisent par une pollution plus grave que celle exprimée par la valeur retenue, tandis qu'un mois se signale par une pollution moins grave, par la pollution la moins grave).

En résumé, pour choisir les valeurs des paramètres, nécessaires à la représentation cartographique de ces derniers, nous avons procédé de la manière suivante :

- *par un dépouillement des feuilles de relevés fournies par l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE, nous avons retenu, pour chaque paramètre, les douze valeurs "mensuelles" relatives à chacune des années que comporte la période de prélèvements,*

- *nous avons ensuite ordonné ces valeurs de la moins mauvaise à la plus mauvaise,*

- *nous avons éliminé de la série des douze valeurs ainsi classées les deux valeurs extrêmes (on peut d'ailleurs estimer que celles-ci résultent éventuellement d'erreurs de mesures),*

- *La série restante comprend donc dix valeurs, disposées de la moins mauvaise à la plus mauvaise ; dans cette nouvelle série nous avons retenu, pour les traduire cartographiquement, les deux termes extrêmes, ceux-ci indiquent, à travers chaque paramètre, pour une année donnée :*

  . *l'un, l'état le plus critique de la pollution au cours de l'année envisagée : nous parlerons alors, pour plus de commodité d'expression, de pollution maximale ou de valeur maximale de tel paramètre,*

  . *l'autre, l'état le moins grave de la pollution, ce que nous traduirons par : pollution minimale ou valeur minimale du paramètre considéré.*

Présisons toutefois, que dans le cas de stations faisant l'objet d'un seul prélèvement trimestriel (4 prélèvements annuels au lieu de 12), nous considérons directement, pour chaque paramètre la plus mauvaise et la moins mauvaise des 4 valeurs disponibles.

Nous disposons, ainsi pour chaque paramètre, au niveau des différentes stations, de deux valeurs pouvant exprimer les limites de variation au cours d'une année des phénomènes de pollution ; elles donnent un aperçu de l'évolution au cours d'une même année, de la pollution (tableaux XI, XII, XIII, XIV).

Néanmoins, le choix des valeurs à représenter sur la "carte" s'est heurté dans certains cas (assez rares) à des difficultés dues au fait que la série des relevés concernant une année déterminée, présentait une lacune : certains paramètres n'ayant pas fait l'objet de mesures pour un mois donné. Faut-il alors ignorer cette situation ou en tenir compte ? Il importe de procéder avec circonspection : tout dépend de l'époque de l'année où se situe le mois pour lequel on ne dispose point de données :

. s'il fait partie de la période des basses eaux de la rivière, (il suffit, pour s'en rendre compte de considérer les courbes de coefficients mensuels de débits étudiées antérieurement, dans la 1e partie de ce travail, ou bien de lire les débits correspondants indiqués sur les feuilles de relevés et de comparer mois à mois) il convient de prendre en considération la lacune. En effet, généralement, les périodes de basses eaux des rivières se signalent, mais il ne s'agit point d'une loi absolue, par les pollutions les plus fortes. Cette

règle devrait particulièrement bien se vérifier pour les pollutions de type minéral. En fait, tout dépend du paramètre considéré, de la période d'activité optimale dans les domaines industriel ou agricole (épandages d'engrais notamment, fréquents surtout de novembre à avril, c'est-à-dire en période de hautes eaux) ; de plus, la diminution du taux de nitrates en particulier, au printemps et en été dans les eaux des rivières correspond au développement rapide en cette période de l'année, dans les cours d'eau, des organiques végétaux qui consomment NO_3^- (fig. 24 : A-A', B-B', C-C'). Néanmoins, ignorer une lacune relative à un mois situé en période de basses eaux revient alors à rejeter la possibilité que le mois en question ait pu se caractériser par une pollution grave, et, même la plus forte. Si le mois ne possédant pas de relevés appartient à la période des basses eaux de la rivière, il doit être considéré, pour cette raison, comme celui pour lequel la pollution, dans le cas où l'on aurait procédé à des mesures, se serait éventuellement révélée la plus forte. On perçoit dès lors l'importance de ce qui précède pour la détermination de la valeur représentant cartographiquement la pollution la plus critique ; celle-ci correspondra à la plus mauvaise des onze valeurs "mensuelles" disponibles, la lacune étant assimilée en effet au douzième cas, autrement dit, à une valeur hypothétique symbolisant, compte tenu de ce qui vient d'être exposé, la pollution la plus critique au niveau du paramètre considéré. Cela revient en fait à contourner l'obstacle de la lacune et à se placer, pour la détermination des valeurs devant exprimer, par le biais de la carte, la pollution maximale, dans les conditions les plus favorables : celles où l'on dispose d'une série annuelle de douze valeur "mensuelles".

. On procède de la même façon dans le cas où le mois pour lequel on ne dispose pas de mesures appartient à la période des hautes eaux de la rivière. Les hautes eaux provoquent une dilution accrue des polluants, et c'est généralement à cette période de l'année que s'observent les pollutions les moins fortes. Aussi, lorsqu'une lacune concerne un mois situé en périodes de hautes eaux de la rivière, il convient de ne point la négliger. On peut en effet, supposer que des relevés effectués éventuellement lors du mois en question auraient vraisemblablement, du fait de l'appartenance de celui-ci à la période de hautes eaux, révélé une faible pollution (phénomène de dilution) et peut être même la pollution la plus faible de l'année considérée bien qu'il ne s'agisse point là nous l'avons précisé antérieurement d'une loi systématique ; en effet, la remontée de la teneur en nitrates notamment en automne, correspond à la minéralisation des déchets organiques accumulésdans la vase en été auxquels s'ajoutent ceux provenant du lessivage des terrains du bassin versant pendant les pluies d'automne. (fig.24 : A-A', B-B', C-C',). Ainsi, le mois retenu comme présentant la pollution la plus faible de l'année, correspondra, parce que faisant partie de la période des hautes eaux, à celui pour lequel les relevés font défaut. Il en

résulte que la valeur la plus mauvaise dans deux cas sur douze, caractéristique de la pollution minimale à représenter sur la carte, coïncide dans ce cas, avec la moins mauvaise des onze valeurs "mensuelles" disponibles pour l'année envisagée.

. Enfin, si une série annuelle comporte plusieurs lacunes, la meilleure solution consiste à retenir directement comme base de représentation cartographique des limites de variation de la pollution, la plus mauvaise et la moins mauvaise des valeurs "mensuelles" disponibles.

C'est à partir de ces valeurs "annuelles" significatives de la pollution maximale et minimale au cours de chaque année, que nous avons procédé à la définition des classes nécessaires à l'élaboration de la "carte".

2. *Détermination au niveau de chaque paramètre, des classes de valeurs en vue de la représentation cartographique*

Le choix des classes que nous avons opéré repose en partie sur l'article de M. NISBET et J. VERNEAUX : *" Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques"*, Annales de Limnologie, t. 6, fasc. 2, 1970, p. 161 - 190.

Nous nous sommes également inspirés des "Critères d'appréciation de la qualité générale de l'eau" proposés par l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE (1976).

Nous avons également retenu, en particulier pour la pollution toxique, certaines normes de la "Proposition de directive de la Commission du Conseil des Communautés européennes concernant la qualité requise des eaux douces aptes à la vie des poissons" (juillet 1976).

Nous avons enfin tiré d'autres enseignements partiels des "Paramètres de la qualité des eaux" (R. BREMOND et R. VUICHARD) publiés par le Ministre de la Protection de la Nature et de l'Environnement, 1973, ainsi que de l'ouvrage "Ecotoxicologie" de R. RAMADE, 1977.

Mais il importe de préciser qu'au niveau de l'étude cartographique de la pollution de la MOSELLE ou de tout autre cours d'eau, les classes de valeurs doivent être déterminées en fonction du cas considéré. En particulier, les "tranches" avancées par M. NISBET et J. VERNEAUX résultent en effet, de l'examen, de la synthèse de 1200 analyses effectuées annuellement, sur l'ensemble du territoire français, de 1960 à 1970. Mais il reste évident que ces classes ne sauraient demeurer identiques d'un cours d'eau à l'autre ; aussi, est-il nécessaire de les adapter aux circonstances, en fonction des relevés particuliers à chaque rivière étudiée.

En ce qui nous concerne, nous avons retenu, des propositions des divers auteurs dont il a été fait mention plus haut, que la valeur au delà de laquelle, pour chacun des paramètres considérés, ces auteurs estiment déceler une pollution, ou devoir déceler une pollution. Le but du travail cartographique proposé consistant en la représentation de l'évolution de la pollution, il nous a paru inutile, exception faite de quelques cas que nous préciserons par la suite, de multiplier les classes pour les situations satisfaisantes des eaux de la MOSELLE et de ses affluents, c'est-à-dire, pour les valeurs des paramètres indiquant une absence de pollution. C'est pourquoi, pour la majorité des paramètres retenus, nous ne consacrons qu'une seule tranche de valeurs aux situations favorables. Nous allons à présent examiner les classes "situation satisfaisante" au niveau des divers types de pollution et des différents paramètres.

a) Les classes "état satisfaisant" au niveau des diverses pollutions

a1) Au niveau de la pollution organique

Nous avons retenu pour l'essentiel, au niveau de ce type de pollution, les propositions de M. NISBET et J. VERNEAUX. Ces deux auteurs jugent satisfaisants :

- *un taux de saturation en oxygène supérieur ou égal à 70 %,*
- *une D.B.O_5 inférieure à 3 mg/l d'O_2,*
- *une oxydabilité au KMn O_4 inférieure à 3 mg/l d'O_2,*
- *une teneur en ions ammonium inférieure à quelques centièmes de milligrammes par litre. Cette proposition approximative ne suffit point ; elle provient du fait que les mesures de NH_4^+ se révèlent imprécises pour les faibles teneurs. Toutefois, vu que la présence d'azote ammoniacal dans l'eau est tout à fait anormale, et après vérification des "Critères d'appréciation de la qualité générale de l'eau" retenus par l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE, nous avons considéré comme douteuse une teneur en NH_4^+ supérieure ou égale à 0,1 mg/l.*

a2) Au niveau de la pollution minérale

Là encore, ce sont les propositions de M. NISBET et J. VERNEAUX qui ont surtout servi de base de référence. Comme état satisfaisant, ces propositions indiquent :

- *une conductivité électrique inférieure à 500 µmhos/cm/cm2,*
- *une teneur en chlorures (Cl^-) inférieure à 20 mg/l,*
- *une teneur en sulfates (SO_4^{--}) inférieure à 20 mg/l,*
- *pour la dureté totale, les données de M. NISBET et J. VERNEAUX sont exprimées en mg de Ca tandis que nous proposons des mesures exprimées en mg de Ca CO_3. Il a donc fallu reconvertir les valeurs de M. NISBET et J. VERNEAUX en Ca CO_3. J.C. BOEGLIN. dans "Critères d'évaluation et d'identification de la pollution", 1973 considère comme normale une dureté totale comprise entre 160 et 280 mg de Ca CO_3/l. ; une eau dure se caractérisant par une dureté de 300 à 600 mg/l de Ca CO_3. Nous avons donc retenu comme satisfaisante la situation d'une eau dont la dureté totale n'excédait pas 300 mg/l de Ca CO_3.*

Toutefois, il importait, à notre avis, de distinguer les eaux douces des eaux comportant une dureté même normale. Selon J.C. BOEGLIN les eaux sont dites douces quand leur dureté totale se situe entre 0 et 100 mg/l de Ca CO_3.

La classe 120 - 130 mg/l de Ca CO_3 caractérisant une dureté légère, il nous a paru logique de considérer comme douces les eaux dont la dureté totale est inférieure à 120 mg/l de Ca CO_3.

Si nous faisons un rapprochement avec les propositions de M. NISBET et J. VERNEAUX, nous constatons ceci :

- *dureté totale inférieure à 120 mg/l de Ca CO_3 : eaux douces. Ce sont selon M. NISBET et J. VERNEAUX des eaux de productivité faible ou médiocre,*

- *dureté totale comprise entre 120 et 300 mg/l de Ca CO_3 : dureté légère à normale. Il s'agit selon M. NISBET et J. VERNEAUX d'eaux de productivité moyenne (100 à 200 mg/l de Ca CO_3) ou d'eaux piscicoles typiques très productives (200 à 275 mg/l de Ca CO_3).*

Donc, dans le cas de la dureté totale la classe,"état satisfaisant" se composera en fait de deux sous classes :

- *eaux douces : T.H. $<$ 120 mg de $CaCO_3$;*
- *eaux de dureté normale : 120 mg/l $\leqslant$ T.H. $<$ 300 mg/l de Ca CO_3.*

a3) Au niveau du degré d'eutrophisation

Outre les données de M. NISBET et J. VERNEAUX nous avons utilisé également les renseignements que l'on trouve dans "Les paramètres de la qualité des eaux" de R. BREMOND et R. VUICHARD (1973) et dans l'ouvrage : "Ecotoxicologie" de F. RAMADE (1977).

Ces divers auteurs proposent comme satisfaisantes des teneurs :

. inférieures à 3 mg/ℓ. de NO_3^- pour les nitrates,
. inférieures à 0,3 mg/ℓ pour les orthophosphates,
. inférieures à 0,1 mg/ℓ pour les détersifs anioniques ; au sujet de ce paramètre, M. NISBET et J. VERNEAUX constatent avec F. RAMADE dans son ouvrage "Ecotoxicologie" qu'actuellement, les eaux de surface titrent, en règle générale moins de 0,1 mg/ℓ de détersifs et qu'au-delà de 0,3 mg/ℓ de détersifs anioniques commence le domaine des pollutions critiques.
. inférieures à 2 mg/ℓ pour le potassium. M. NISBET et J. VERNEAUX ne proposent point de normes pour le potassium. Aussi nous sommes nous référés aux données des "Paramètres de la qualité des eaux de R. BREMOND et R. VUICHARD. Ceux-ci constatent en effet que certains lacs européens oligotrophes ou mésotrophes renferment de 0,4 à 1,5 mg/ℓ de K^+ tandis que certains lacs eutrophes atteignent la teneur de 5 à 6 mg/ℓ. Il nous a donc paru opportun de retenir comme normale une concentration inférieure à 2 mg/ℓ de K^+ dans l'eau des rivières.

a4) Au niveau de la pollution toxique

Quatre sources de référence nous ont servi à déterminer les valeurs considérées comme "normales" pour les différents paramètres retenus pour la représentation de la pollution toxique de la MOSELLE. Ces sources sont :

• La "Proposition de directive de la Commission du Conseil des communautés européennes concernant la qualité requise des eaux douces aptes à la vie des poissons". (juillet 1976). Celle-ci indique ainsi comme "satisfaisantes" les valeurs limites suivantes :

• pour les composés phénoliques : teneur au plus égale à 0,005 mg/ℓ. Nous avons donc décidé de considérer comme acceptable une concentration inférieure à 0, 005 mg/ℓ,

• en ce qui concerne l'ammonium non ionisé, le document précité fait une distinction entre eaux salmonicoles et eaux cyprinicoles. La concentration maximale admise pour les premières est de 0, 005 mg/ℓ de NH_3, et pour les secondes : 0,025 mg/ℓ de NH_3.
Nous avons retenu les classes suivantes :

. *eaux salmonicoles : teneur en NH_3 inférieure à 0,005 mg/ℓ,*
. *eaux cyprinicoles : teneur en NH_3 inférieure à 0,025 mg/ℓ.*

- *pour les nitrites, il est également fait une distinction entre eaux salmonicoles qui doivent au plus, selon le document considéré contenir 0,05 mg/ℓ de NO_2^- et eaux cyprinicoles qui ne doivent point dépasser une teneur de 0,5 mg/ℓ de NO_2^-. Aussi avons-nous pris en compte pour notre part, les "normes" suivantes comme état "satisfaisants :*

. *eaux salmonicoles : teneur en NO_2^- inférieure à 0,05 mg/ℓ,*
. *eaux cyprinicoles : teneur en NO_2^- inférieure à 0,5 mg/ℓ.*

- "Les paramètres de la qualité des eaux" (R. BREMOND et R. VUICHARD, 1973) et les données de l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE. Ces divers documents retiennent comme concentration limite tolérable du cyanure dans l'eau 0,05 mg/l. Nous avons donc décidé, pour notre part de considérer comme acceptable, une teneur en CN^- inférieure à 0,05 mg/l. Signalons qu'une concentration de 0,05 mg/l de CN^- dans l'eau constitue pour la truite une dose mortelle en 5 jours. Toutefois, il faut tenir compte du fait qu'une pollution par les cyanures est un phénomène généralement accidentel donc momentané, non durable.

- En ce qui concerne les substances extractibles au chloroforme, nous trouvons des indications quant à la concentration acceptable dans les eaux de surface dans "l'Inventaire du degré de pollution des eaux superficielles, rivières et canaux", (1971), ainsi que dans les "Propositions techniques pour une directive de la Commission des Communautés européennes concernant la qualité requise des eaux douces à vocation piscicole". (1965).

Dans le premier cité de ces deux documents il est précisé que les résultats obtenus aux ETATS-UNIS et par le Commissariat des ressources en eau de l'ONTARIO, signalent que les eaux de surface ou souterraines non contaminées contiennent entre 0,01 et 0,05 mg/l. de S.E.C. Dans le second des documents précités nous retrouvons ces chiffres en tant que taux maximum instantané admissible (0,05 mg/l) et taux moyen maximum admissible sur 24 h (0,01 mg/l.) pour les substances persistantes ou cumulatives. Nous avons donc retenu comme acceptable une teneur en S.E.C. dans l'eau inférieure à 0,05 mg/l.

On notera que pour déterminer la classe ou les classes "état satisfaisant" des différents paramètres de la pollution toxique nous avons pris en considération l'action des différentes substances à l'égard de la vie aquatique et notamment vis-à-vis du poisson.

b) La détermination des autres classes au niveau des divers paramètres de pollution

En ce qui concerne la détermination des autres tranches, elle dépend strictement de la variation dans le temps des valeurs maximales et minimales à traduire cartographiquement, pour chaque paramètre, au niveau de l'ensemble des stations.

Le problème qui se pose est celui du choix des coupures en vu de définir les limites des classes. Les classes ne doivent point être trop hétérogènes ; on peut pratiquer soit des coupures équidistantes, soit des coupures obéissant à une progression.

La simple lecture des chiffres suggère parfois le choix des coupures. Mais lorsque les données statistiques sont très nombreuses, comme précisément dans le cas qui nous intéresse, on emploie alors une méthode plus rationnelle consistant à dresser pour chaque paramètre l'histogramme des fréquences de valeurs. C'est ce qui a été fait. Il faut toutefois mentionner que malgré la rareté des données statistiques concernant les composés phénoliques mais surtout les cyanures et les substances extractibles au chloroforme, il a été néanmoins possible d'établir des histogrammes des fréquences pour les valeurs de ces paramètres. Précisons par ailleurs, à propos de la teneur en oxygène dissous en pourcentage de saturation, que les différentes classes déterminées à partir de l'histogramme des fréquences de valeurs n'ont point été retenues en tant que telles dans la représentation cartographique de ce paramètre ; nous avons considéré pour ce dernier, les valeurs réelles elles-mêmes. Toutefois les différentes classes de taux de saturation-en oxygène nous seront utiles par la suite.

Comment sont établis les histogrammes des fréquences de valeurs maximums et minimums à traduire cartographiquement?

- *on porte en abscisse les valeurs statistiques (ainsi que les intervalles de valeurs),*
- *on porte en ordonnée, le nombre de fois ou chaque valeur et chaque intervalle de valeurs se trouvent représentés.*

Les courbes de fréquences ou, plus exactement les histogrammes des fréquences de valeurs présentent plusieurs "creux" et plusieurs "bosses", lesquels ne résultent point forcément du hasard, mais traduisent souvent des phénomènes réels.

Il faut pratiquer les coupures toujours aux points les plus bas de l'histogramme des fréquences, si bien que pour les différents paramètres faisant l'objet d'une représentation cartographique nous obtenons les classes suivantes (fig. 25, de A à Q).

b1) *Dans le cas de la pollution organique*

- *pour le D.B.O_5 (en mg/l. d'O_2) (fig. 25 A)*

1. $DBO_5 < 3$
2. $3 \leqslant DBO_5 < 6$
3. $6 \leqslant DBO_5 < 15$
4. $15 \leqslant DBO_5 < 40$
5. $DBO_5 \geqslant 40$

- *pour l'oxydabilité au permanganate de potassium (en mg/l d'O_2) (fig. 25 B)*

1. $Oxy < 3$
2. $3 \leqslant Oxy < 6$
3. $6 \leqslant Oxy < 15$
4. $15 \leqslant Oxy < 30$
5. $Oxy \geqslant 30$

- *pour la teneur en O_2 dissous (en pourcentage de saturation) (fig. 25 C)*

1. $O_2 \geqslant 70$
2. $50 \leqslant O_2 < 70$
3. $30 \leqslant O_2 < 50$
4. $10 \leqslant O_2 < 30$
5. $O_2 < 10$

On retrouve assez curieusement pour la teneur en O_2 dissous en pourcentage de saturation les mêmes classes que proposent M. NISBET et J. VERNEAUX. (1970)

- *pour la teneur en azote ammoniacal (mg/l de NH_4^+) (fig. 25 D)*

1. $NH_4^+ < 0,1$
2. $0,1 \leqslant NH_4^+ < 1$
3. $1 \leqslant NH_4^+ < 5$
4. $5 \leqslant NH_4^+ < 15$
5. $NH_4^+ \geqslant 15$

b2) Dans le cas de la pollution minérale

• pour la conductivité électrique (en $\mu S/cm$) (fig. 25 E)

1.		C	<	500
2.	500 ≦	C	<	1000
3.	1000 ≦	C	<	1800
4.	1800 ≦	C	<	3200
5.		C	≧	3200

• pour les chlorures (en mg/ℓ de $Cℓ^-$) (fig. 25 F)

1.		$Cℓ^-$	<	20
2.	20 ≦	$Cℓ^-$	<	80
3.	80 ≦	$Cℓ^-$	<	400
4.	400 ≦	$Cℓ^-$	<	1500
5.		$Cℓ^-$	≧	1500

• pour les sulfates (en mg/ℓ de SO_4^{--}) (fig. 25 G)

1.		SO_4^{--}	<	20
2.	20 ≦	SO_4^{--}	<	80
3.	80 ≦	SO_4^{--}	<	150
4.	150 ≦	SO_4^{--}	<	400
5.		SO_4^{--}	≧	400

• pour la dureté totale en mg/ℓ de $Ca\,CO_3$) (fig. 25 H)

1a.		TH	<	120	(eaux douces)
1b.	120 ≦	TH	<	300	(dureté légère à normale)
2.	300 ≦	TH	<	500	
3.	500 ≦	TH	<	1300	
4.		TH	≧	1300	

b3) *Dans le cas du degré d'eutrophisation*

• *pour les nitrates (en mg/ℓ de NO_3^-) (fig. 25 I)*

1. $NO_3^- < 3$
2. $3 \leqslant NO_3^- < 6$
3. $6 \leqslant NO_3^- < 9$
4. $9 \leqslant NO_3^- < 15$
5. $NO_3^- \geqslant 15$

• *pour les orthophosphates (en mg/ℓ de PO_4^{---}) (fig. 25 J)*

1. $PO_4^{---} < 0,3$
2. $0,3 \leqslant PO_4^{---} < 0,45$
3. $0,45 \leqslant PO_4^{---} < 0,7$
4. $0,7 \leqslant PO_4^{---} < 1$
5. $PO_4^{---} \geqslant 1$

• *pour les détergents anioniques (en mg/ℓ A.B.S.) (fig. 25 K)*

1. A.B.S. $< 0,1$
2. $0,1 \leqslant$ A.B.S. $< 0,2$
3. $0,2 \leqslant$ A.B.S. $< 0,3$
4. $0,3 \leqslant$ A.B.S. $< 0,4$
5. A.B.S. $\geqslant 0,4$

Au vu de l'histogramme des fréquences de valeurs relatif aux détergents anioniques A.B.S. nous aurions pu ne retenir que 4 classes en groupant les classes 3 et 4 précisées ci-dessus afin d'obtenir la tranche de valeurs $0,2 \leqslant$ A.B.S. $< 0,4$. Mais pour plus d'uniformité avec les autres paramètres nous avons retenu 5 classes.

• pour le potassium (en mg/ℓ de K^+) (fig. 25 L)

1			K^+	<	2
2	2	≤	K^+	<	5
3	5	≤	K^+	<	15
4	15	≤	K^+	<	30
5			K^+	≥	30

b4) Dans le cas de la pollution toxique

• pour l'ammonium non ionisé (en mg/ℓ de NH_3) (fig. 25 M)

1a			NH_3	<	0,005	(eaux salmonicoles)	Classe 1
1b	0,005	≤	NH_3	<	0,025	(eaux cyprinicoles)	
2	0,025	≤	NH_3	<	0,05		
3	0,05	≤	NH_3	<	1		
4			NH_3	≥	1		

• pour les nitrites (en mg/ℓ de NO_2^-) (fig. 25 N)

1a			NO_2^-	<	0,05	(eaux salmonicoles)	Classe 1
1b	0,05	≤	NO_2^-	<	0,5	(eaux cyprinicoles)	
2	0,5	≤	NO_2^-	<	1		
3	1	≤	NO_2^-	<	3		
4			NO_2^-	≥	3		

• pour les composés phénoliques (en mg/ℓ de C. Ph.) (fig. 25 O)

1			C. Ph.	<	0,005
2	0,005	≤	C. Ph.	<	0,05
3	0,05	≤	C. Ph.	<	0,5
4	0,5	≤	C. Ph.	<	5
5			C. Ph.	≥	5

• *pour les cyanures (en mg/ℓ de CN^-) (fig. 25 P)*

1		CN^-	$<$	0,05
2	0,05 $\leqslant$	CN^-	$<$	0,1
3	0,1 $\leqslant$	CN^-	$<$	0,3
4		CN^-	$\geqslant$	0,3

• *pour les substances extractibles au chloroforme (en mg/ℓ de S.E.C.) (fig. 25 Q)*

1		S.E.C.	$<$	0,05
2	0,05 $\leqslant$	S.E.C.	$<$	1
3	1 $\leqslant$	S.E.C.	$<$	3
4	3 $\leqslant$	S.E.C.	$<$	5
5		S.E.C.	$\geqslant$	5

Pourquoi n'avoir point opté pour la détermination des coupures, la méthode la plus courante et la plus simple qui consiste à procéder par tranches de valeurs de 10 en 10 ou, de 20 en 20 ... par exemple ? Cette méthode malgré sa simplicité revient, en fait, à pratiquer des coupures arbitraires ; rien ne prouve en effet, que les chiffres se conforment, par exemple, à un ordre décimal, lequel relève en fait d'une vue de l'esprit.

Par souci de clarté, la multiplication des classes constitue un inconvénient majeur. Généralement, on retient un maximum de 5 tranches, lesquelles doivent par ailleurs présenter un certain équilibre.

Enfin, il convient de préciser que les différentes classes déterminées pour chacun des paramètres que nous avons retenus, au niveau des stations de la MOSELLE et des stations des affluents immédiatement situées avant la confluence reflètent en fait, les caractéristiques propres du système hydrographique ainsi défini, en matière de pollution. Ces classes ne sauraient, en conséquence être adoptées en tant que telles pour un autre cours d'eau, un autre système hydrographique car, par définition, elles ne sont point représentatives de ce dernier mais du réseau hydrographique de la MOSELLE. Si l'on désire étudier la pollution des eaux d'une autre rivière et en établir une représentation cartographique, il faudra donc déterminer des classes de valeurs, pour chaque paramètre de pollution, à partir des relevés effectués dans les stations de la rivière en question. Les classes de valeurs relatives à un cours d'eau ne peuvent être retenues pour représenter cartographiquement la pollution d'un autre cours d'eau.

SECTION III : PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE CARTOGRAPHIQUE ADOPTÉE

(cF. Annexe III)

La méthode utilisée concerne la représentation de statistiques sur le croquis ou le tableau cartographique. Pour cela, il convient de procéder à un choix judicieux des figurés à retenir. Désirant insister sur l'évolution de la pollution, nous nous devions d'établir des comparaisons dans le temps et dans l'espace, en opposant les valeurs des différents paramètres retenus ; pour atteindre un tel objectif, nous disposions de plusieurs techniques classiques employées jusqu'ici dans l'élaboration des divers types de cartes courants.

A. LES PROBLEMES POSES PAR LA REPRESENTATION DE L'EVOLUTION D'UN PHENOMENE

Nous envisagions de montrer par la carte, l'évolution sur dix ans, de 1965 à 1974 (pour les stations pourvues de mesures intéressant cette période) de quatre types de pollution des eaux de la MOSELLE et des affluents (pour chacun de ces derniers, seules ont été retenues les statistiques relatives à la station la plus proche de la confluence). Aussi, fallait-il affecter d'une représentation chacune des années de la période étudiée pour lesquelles nous disposions de mesures ; celà imposait donc, au niveau de chaque station, que l'on juxtapose sur une même ligne les diverses figures, les divers motifs révélant l'état de la pollution organique, ou minérale, ou toxique ou du degré d'eutrophisation, relatif à chacune des années de la période 1965-1974. Ainsi pouvait apparaître l'évolution des phénomènes dans le temps.

De la même façon, nous avons tenu à représenter également l'évolution des diverses pollutionsde la MOSELLE dans l'espace. C'est pourquoi, le procédé que nous venons de présenter a été appliqué, pour chaque type de pollution, au niveau de chacune des 35 stations qui se succèdent de la source de la MOSELLE à la frontière (stations affluentes comprises).

Finalement, la méthode employée consiste en un tableau cartographique comportant :

. *en abscisse : l'état du type de pollution considéré, au niveau de chaque station, d'une année à l'autre de la période 1965-1974,*

. *en ordonnée : les différentes stations rencontrées successivement d'amont en aval du cours de la MOSELLE française.*

Nous avons voulu respecter la direction de l'écoulement de la MOSELLE (en gros SUD-NORD) ; aussi la "carte" se lit-elle, en ordonnée, de bas en haut (la station située au bas de chaque carte ou de chaque tableau cartographique se trouve être, dans tous les cas, la plus proche de la source). En abscisse, la carte se lit, bien sûr, de gauche à droite.

Le lecteur comprendra aisément que l'évolution d'un phénomène de pollution, surtout sur une période aussi longue (dix ans), ne peut faire l'objet d'une représentation cartographique de type classique (à moins évidemment, de réaliser une carte de l'état de la pollution relative à chacune des années de la période étudiée et de juxtaposer l'ensemble des cartes ..., ce qui implique un maniement malaisé).

C'est pourquoi, le tracé de la MOSELLE n'apparaît pas dans notre représentation ; nous n'avons considéré les stations que dans leur ordre chronologique. Toutefois, afin que l'observateur puisse avoir un aperçu de la localisation de ces différentes stations, nous joignons une carte du cours de la MOSELLE précisant la situation des points de prélèvements les uns par rapport aux autres et indiquant les divers secteurs du cours concernés par les tableaux cartographiques.

Car en effet, la représentation des phénomènes de pollution sur une longue période, au niveau des 35 stations, suppose une carte de grande taille. Aussi avons-nous opté pour la sulution qui consiste à réaliser cette représentation en six tableaux, chacun se rapportant à un secteur particulier du cours de la MOSELLE. Ajoutons enfin, que nous avons mis en évidence, sur les tableaux cartographiques, les stations des affluents par la mention "affluent".

Ainsi, notre méthode de représentation présente l'avantage :

- *de permettre une appréciation de l'évolution des divers types de polluants, d'une année à l'autre, pour chaque station (évolution dans le temps),*
- *de faciliter l'observation des variations des différents paramètres, d'amont en aval, d'une station à l'autre, au niveau de chacune des années de la période 1965-1974 ayant fait l'objet de relevés (variation dans l'espace).*

L'inconvénient essentiel du travail proposé réside dans le fait que l'on doit juxtaposer les six tableaux pour perçevoir l'évolution des phénomènes sur l'ensemble du cours de la MOSELLE ; de plus, il faut se reporter à la carte de localisation des stations. Mais la représentation de l'évolution d'un phénomène (et en particulier dans le cas qui nous intéresse) impose de telles contraintes.

B. LES FIGURES RETENUS

Pour représenter la situation annuelle des paramètres caractéristiques des différents types de pollution, plusieurs procédés se présentaient, entre autres :

. *les diagrammes à "bâtons". On dresse des "barres" d'une largeur fixe ; leur longueur étant proportionnelle à la valeur du paramètre que chacune d'elles est censée représenter. La distinction des divers paramètres aurait éventuellement reposé sur l'affectation d'une couleur différente à chaque "barre". Comme nous désirions représenter pour chaque année, les valeurs maximale et minimale de chaque type de pollution (organique, minérale, toxique et degré d'eutrophisation), nous aurions par exemple adopté un diagramme à "barres" opposées (les valeurs les moins mauvaises figurant au-dessus de l'axe des abscisses, les valeurs les plus mauvaises au-dessous).*

. *les figures géométriques. Parmi elles, le cercle eût été une figure commode dans la mesure où il peut être divisé en secteurs, en fractions de couronnes ; ces dernières, exprimées en grades ou en degrés, auraient pu signifier, dans le cas de la pollution organique notamment, la teneur en O_2 dissous en pourcentage de saturation. La valeur des autres paramètres de pollution organique aurait pu être indiquée, par exemple, par la surface de différents secteurs. Afin de permettre la distinction entre les paramètres, nous aurions affecté à ces derniers une couleur différente ...*

Bref, la liste des figurés n'était point limitative. Toutefois, les diagrammes (à "bâtons", circulaires ou autres) reposent sur la représentation exacte des valeurs statistiques elles-mêmes. Or, il faut avouer par exemple que la D.B.O.5 se caractérise, dans notre étude, pour la période 1965 - 1974 par une variabilité allant de 0 à 160 mg/l d'O_2. Les valeurs de la conductivité électrique, de la teneur en chlorures, de la Dureté totale présentent une variabilité encore plus forte :

. *de 45 à 9010 mg/ℓ pour la conductivité électrique,*
. *de traces à 3260 mg/ℓ pour les chlorures,*
. *de 11,1 à 3000 mg/ℓ de $Ca\,CO_3$ pour la dureté totale.*

Quelle échelle adopter sur un diagramme en "bâtons" afin que demeurent visibles à la fois, pour la conductivité électrique par exemple, des valeurs de 45 mg/l et de 9010 mg/l ? Même en adoptant une échelle logarithmique en ordonnée, un tel objectif semblait difficile à atteindre. La forte variabilité des paramètres imposait le choix d'une représentation, pour ces derniers, fondée non point sur une traduction cartographique de leurs valeurs proprement dites, mais sur la considération de tranches de valeurs, ces mêmes tranches de valeurs que nous avons déterminées, selon les critères déjà précisés antérieurement (Section II, B,2) à partir des histogrammes de fréquences des valeurs établis pour les divers paramètres retenus.

Une carte bâtie sur la base de diagrammes à "bâtons" ou de diagrammes circulaires avec secteurs, si elle reflète des situations exactes puisque les statistiques se trouvent directement traduites graphiquement, s'avère par contre peu expressive. Les diagrammes doivent en effet être scrutés un à un, leurs éléments mesurés ; de plus, ils expriment assez mal les contrastes : seules les grandes oppositions devenant visibles. De tels diagrammes n'ajoutent pas grand chose à un simple tableau chiffré, à plusieurs colonnes, sur lequel les variations entre les chiffres se perçoivent aussi bien que sur les graphiques.

"... Si l'on veut qu'un croquis soit expressif, il faut en appeler à l'expression visuelle et non à la lecture raisonnée ..." ; ainsi s'exprime le géographe R. BRUNET. Au lieu d'employer des diagrammes, il convient d'opter pour la combinaison de figurés de surface (couleurs, hachures ...) traduisant cartographiquement des valeurs situées dans une classe déterminée.

A partir de ces considérations, quels figurés avons-nous adoptés pour représenter, au niveau de chaque type de pollution, les classes de valeurs relatives aux différents paramètres choisis ? Nous avons élaboré un "motif" caractérisant la situation d'un type de pollution donné (organique, minérale, toxique, degré d'eutrophisation) à l'échelle d'une année (fig. 26, A,B,C,D).

1. *Dans le cas de la pollution organique (fig. 26 A)*

Le motif mis au point présente une allure générale circulaire ; il comporte deux parties, deux portions de cercle identiques, de 150°, opposées; chacune de celles-ci comprend :

- *une couronne périphérique marquée par une bande circulaire noire de 6 mm de largeur, soulignée par une bande blanche (pour favoriser l'impression visuelle). La couronne peut atteindre une longueur maximale correspondant à une valeur de 150° ; cette longueur varie en fonction de l'importance de la teneur en oxygène dissous en pourcentage de saturation : 1° équivalant à 1%. Il se trouve en effet que le taux de saturation en oxygène, d'après l'abaque de RAWSON, 1944, atteint très rarement 150 %,*
- *une fraction de cercle qu'entoure la couronne,*
- *un triangle inscrit dans la fraction de cercle.*

La fraction de cercle, mise en évidence par des "grises" (hachures ou pointillés) indique la valeur de la teneur en azote ammoniacal. Celle-ci apparaît à l'observateur en fonction de l'intensité du figuré de surface qui se répartit en 5 classes. Plus la surface de la portion de cercle apparaît globalement sombre, plus la teneur en NH_4^+ est forte. La gradation de l'intensité s'exprime par les variations de l'épaisseur et de l'écartement des hachures. Nous avons opté volontairement pour un fort contraste d'une plage à l'autre de sorte que l'oeil de l'observateur puisse mieux les distinguer.

Le triangle inscrit dans le cercle intérieur combine deux paramètres :

. *sa taille varie en fonction de 5 classes de valeurs relatives à l'oxydabilité au KMnO4 ;*

. *sa couleur indique l'importance de la DBO_5. Nous avons adopté la gamme de couleurs déjà utilisée par les différents organismes qui se préoccupent des problèmes de l'eau (Agences Bassins notamment) à savoir, selon une gradation progressive traduisant l'intensité croissante du phénomène : bleu, vert, jaune, orangé, rouge, violet.*

Nous n'avons retenu que 5 classes de valeurs de DBO_5 correspondant à 5 couleurs (nous avons exclu le bleu). Pour faciliter l'observation, nous avons choisi des teintes qui se distinguent aisément l'une de l'autre, de sorte qu'une couleur de la gamme ne se rapproche trop de sa suivante ou de sa précédente.

2. *Dans le cas de la pollution minérale (fig. 26 B)*

Dans ce cas, la figure que nous proposons apparaît sous la forme d'un carré séparé en deux moitiés, en gros triangulaires, qui s'opposent, base contre base, de part et d'autre de la diagonale horizontale. Chaque moitié du carré se compose de la façon suivante :

. *une bordure, un liséré extérieur, discontinu ou non, de largeu variable selon la plus ou moins forte dureté totale de l'eau (5 classes ont été retenues, avec une distinction particulière pour les eaux douces),*

. *une portion de la moitié du carré se présente sous un aspect hachuré. Nous avons conservé la même gamme de hachures que nou avons adoptée dans le cas de la pollution organique. Le système de hachures (ou de pointillés) traduit ici les valeurs d la conductivité électrique réparties également en cinq "tranches",*

. un trapèze, inscrit dans la moitié "triangulaire" du carré, cumule deux paramètres. En effet, sa taille varie en fonction de 5 classes de valeurs pour les sulfates, alors que sa couleur indique l'intensité de la teneur en chlorures (5 "plages", les mêmes qui avaient été choisies, pour la représentation de la DBO_5, visualisent les 5 "tranches" de valeurs retenues pour Cl^-).

3. Dans le cas du degré d'eutrophisation (fig. 26 C)

Le motif que nous avons élaboré pour la représentation du degré d'eutrophisation a un aspect d'ensemble à la fois circulaire et hexagonal. Il se compose, toujours selon le même principe, de deux parties identiques qui se font face. Chaque partie comporte :

. une couronne extérieure circulaire ayant l'aspect d'un liséré discontinu formé de petits cercles qui se différencient selon une gradation conformément à la légende de la carte correspondante. C'est donc la différenciation des petits cercles qui fait la différenciation des liserés, selon cinq classes à l'intérieur desquelles se répartissent les valeurs de la teneur en potassium,

. inscrit dans le demi cercle se trouve un trapèze (demi hexagone mis en hachures (selon la même gradation adoptée dans les deux types de pollution précédents). La variation d'intensité du système de hachures figure dans ce cas les différences de valeur relatives aux nitrates,

. enfin, un rectangle, inscrit dans le trapèze, permet de représenter à la fois la teneur en détersifs anioniques (variation de la taille du rectangle selon cinq tranches de valeurs) et la teneur en orthophosphates qui sera matérialisée par cinq plages de couleurs, constitutives de la gamme déjà employée pour la DBO_5 et les chlorures.

4. Dans le cas de la pollution toxique (fig. 26 D)

La pollution toxique a fait l'objet d'une représentation un peu différente. L'allure générale du motif exposé ici est une sorte d'étoile à 3 branches dont la partie centrale présente une forme hexagonale divisée en deux moitiés trapézoïdales.

Chaque branche, de forme également trapézoïdale, se trouve elle même divisée en deux fractions situées de part et d'autre d'une droite équi-distante des deux bases du trapèze ; il en résulte que chacune des branches de l'étoile comporte un trapèze "extérieur", de taille plus grande, et un trapèze "intérieur", de taille plus réduite.

. *la branche supérieure est réservée à la représentation des substances extractibles au chloroforme,*

. *les deux branches inférieures concernent les cyanures (celle de gauche) et les composés phénoliques (celle de droite).*

Ces trois paramètres sont figurés par cinq plages de hachures (identiques à celles déjà mentionnées pour les autres types de pollution), sauf pour les cyanures dont les valeurs se disposent non pas en cinq tranches (comme les S.E.C. et les composés phénoliques) mais en quatre.

. En ce qui concerne la partie centrale, en forme d'hexagone, de l'étoile, sa moitié supérieure, trapézoïdale est affectée à la variation des valeurs de NH_3 qui s'étalent en cinq plages de couleurs "chaudes" selon la gradation suivante : jaune clair, jaune foncé, orange, rouge et brun. La couleur jaune traduit des états satisfaisants de l'eau. (Le ton clair pour les salmonidés, le ton foncé pour les cyprinidés).

. Quant à la moitié inférieure, également trapézoïdale, de la partie centrale de l'étoile, nous l'avons destinée à l'expression, par une gamme de couleurs "froides", de la teneur en nitrites, selon la progression suivante : vert clair, vert foncé, bleu, violet, noir. Dans ce cas, c'est le ton clair de la couleur verte qui traduit un état acceptable de l'eau pour les salmonidés et le ton foncé pour les cyprinidés.

C. LES PRECISIONS CONCERNANT LES FIGURES REPRESENTANT LES DIFFERENTS PARAMETRES

1. *L'interprétation des "motifs" proposés pour les différents types de pollutio*

a) Le cas des pollutions organique et minérale et du degré d'eutrophisation (fig. 26, A-B-C)

Dans ces cas le motif élaboré s'interprète comme suit :

. la partie supérieure donne l'état le moins grave du type de pollution considéré, pour une année donnée, au niveau de chaque paramètre,

. la partie inférieure indique l'état le plus critique du type de pollution en question.

b) Le cas de la pollution toxique (fig. 26 D)

. Au niveau des branches de l'étoile :

. pour les trois branches, les hachures des trapèzes "extérieurs", de plus grande taille, expriment l'état le plus grave de la pollution en ce qui concerne les paramètres considérés (S.E.C., CN^- et composés phénoliques) au niveau d'une année donnée,

. les hachures des trapèzes "intérieurs", de plus petite taille traduisent la situation la moins critique de la pollution au niveau de ces mêmes paramètres.

. Au niveau de la partie centrale de l'étoile :

. les valeurs "annuelles" maxima de NH_3 et de NO_2^-, significatives de la pollution la plus forte, sont indiquées par la couleur (de la gamme "chaude" pour l'ammonium non ionisé et de la gamme "froide" pour les nitrites) du trapèze de plus grande taille,

. la couleur du trapèze de plus petite taille, inscrit dans le précédent, exprime bien sûr, la pollution la moins grave pour une année déterminée.

Ainsi apparaît encore, à l'échelle de l'année, un contraste pour chaque type de pollution ; ce contraste peut figurer une évolution de la pollution au cours de l'année. Il peut indiquer à l'observateur si telle pollution varie beaucoup ou bien reste relativement constante au cours de l'année. De plus, le lecteur de la carte peut vérifier si ; d'une année à l'autre, du fait de la juxtaposition des motifs cartographiques, le même contraste se maintient ou bien s'il évolue vers une aggravation ou une amélioration. Par ailleurs, il peut évaluer d'une station à l'autre ou d'une année à l'autre, la modification des niveaux maximum et minimum de chaque paramètre de pollution retenu. (cf. ANNEXE III).

Finalement, la méthode de représentation cartographique proposée permet une triple appréciation de l'évolution des phénomènes de pollution :

. d'une station à l'autre, d'amont en aval,
. au cours d'une même année,
. d'une année à l'autre.

2. Précisions annexes facilitant la lecture du croquis

Il importait que l'observateur dispose, à la lecture du motif cartographique, de repères lui indiquant éventuellement une précision sur l'intensité du type de pollution :

- pour l'oxydabilité au $KMnO_4$ (pollution organique), les sulfates (pollution minérale), les détersifs anioniques (degré d'eutrophisation), la plus petite taille de la figure géométrique retenue pour la représentation de ces trois paramètres (respectivement : le triangle, le trapèze, le rectangle) se rapporte à l'état de pollution jugé satisfaisant par M. NISBET J. VERNEAUX (1970) et F. RAMADE (1977),

- une couleur verte signifiera à l'observateur une valeur acceptable pour la $D.B.O_5$, les chlorures, les orthophosphates et les nitrites ; même chose pour le jaune en ce qui concerne l'ammonium non ionisé. Pour ces deux derniers paramètres (NO_2^- et NH_3) le ton le plus clair du vert et du jaune a été retenu pour les valeurs maximales tolérables en eaux salmonicoles, et le ton foncé pour les valeurs maximales tolérables en eaux cyprinicoles,

- la teneur en NH_4^+, en nitrates, en composés phénoliques, en cyanures, en substances extractibles au chloroforme, de même que la valeur de la conductivité électrique seront perçues comme satisfaisantes chaque fois que dans le système de hachures retenu pour représenter ces paramètres apparaîtra une plage en pointillés,

- enfin, en ce qui concerne la teneur en O_2 dissous en pourcentage de saturation, la dureté totale, le potassium, la valeur maximale tolérable pour chacun de ces paramètres apparaîtra lorsque, respectivement :

  . la couronne représentative de la valeur d'O_2 dissous ne descend point en dessous de 70 % (pourcentage proposé par M. NISBET et J. VERNEAUX). Le repère 70 % figure sur le croquis ; mais la valeur 70 % n'a été mentionnée que dans le cas où le taux de saturation en oxygène atteignait 75 % minimum, ceci pour des impératifs de clarté,

  . le liséré extérieur traduisant la dureté totale est discontinu : avec de petits cercles vides pour les eaux douces et de petits cercles pleins pour les eaux normalement dures,

. le liseré discontinu indiquant la teneur en potassium apparaît composé exclusivement de petits cercles vides.

Il convient encore de préciser que, dans le cas de la pollution toxique, nous avons indiqué, au niveau de chaque branche de l'étoile représentant ce type de pollution, le nom du paramètre représenté (S.E.C., CN^-, composés phénoliques : C.P.) chaque fois que les données statistiques, les relevés existaient, autrement dit chaque fois que la représentation (ici par système de hachures) du paramètre considéré était possible.

Le système de hachures (ou de pointillés) adopté reste le même dans les quatre types de pollution définis ; toutefois quelques petites nuances de détail (traits de hachures plus épais que la normale) ont parfois été préférés pour des impératifs de visualisation meilleure (Ex : classe 2 pour les valeurs de NH_4^+ dans le cas de la pollution organique, et pour les valeurs de CN^-, Composé phénoliques, et substances extractibles au chloroforme en ce qui concerne la pollution toxique).

CONCLUSION DE LA DEUXIÈME PARTIE

La méthode cartographique proposée pour la représentation des pollutions de la MOSELLE se veut synthétique dans la mesure où elle intègre différents paramètres, plus exactement, quatre paramètres (pollutions organique et minérale, degré d'eutrophisation) ou cinq (pollution toxique) ; chacun de ceux-ci s'apprécie au niveau de l'année, par l'existence de deux valeurs figurant en quelque sorte l'oscillation annuelle des phénomènes (valeur minimale et valeur maximale).

Mais si cette représentation apporte de nouvelles conceptions dans le domaine de la cartographie des pollutions, du fait qu'elle met en évidence non plus seulement les phénomènes en eux-mêmes, mais également et surtout leur évolution, nous ne devons pas la retenir comme une "méthode absolue" ; en effet, elle peut et doit faire l'objet d'améliorations et de critiques, susciter d'autres propositions. Il faut souhaiter que cet aspect de la recherche, la cartographie, puisse sortir de l'état de délaissement dans lequel elle se trouve progressivement réduite au niveau des différentes disciplines ; elle doit jouer auprès du public, notamment en ce qui concerne les phénomènes de pollution, un rôle d'information primordial.

C'est pourquoi il importe d'encourager les initiatives en ce domaine, et ce, d'autant plus que la représentation cartographique des paramètres de pollution ne se situe encore qu'à ses premières tentatives. Notre proposition constitue donc, en quelques sorte, un premier pas, une esquisse dans le domaine de l'expression, par la carte, de l'évolution d'un phénomène, il reste à espérer qu'il sera suivi de nombreux autres exemples.

Nous avons voulu aboutir, par ce type de travail cartographique, à une représentation relativement simple, de manière que, non seulement les personnes averties, mais également le profane, puissent interpréter et lire sans trop de difficultés l'évolution des phénomènes de pollution : là demeure l'objectif des cartes ci-jointes.

Toutefois, il faut admettre que la méthode que nous proposons, de même que les différentes formes de représentation cartographique jusqu'ici adoptées, s'appuient sur des données statistiques fragmentaires. Les relevés de pollution, effectués la plupart du temps une fois par mois (et dans certains cas, une fois tous les trois mois), lors d'un jour déterminé, prétendent en effet mesurer, bien abusivement, les valeurs "mensuelles" des divers paramètres. Seules des mesures quotidiennes pourraient permettre une approche plus fine, plus fidèle de la réalité des phénomènes de pollution et de leur variabilité dans le temps et dans l'espace.

troisième partie

CARACTÉRISTIQUES ORIGINALES DES EAUX SUPERFICIELLES DU BASSIN VERSANT DE LA MOSELLE FRANÇAISE (BILANS 1965-1974 et 1965-1978)

Le niveau de pollution des eaux de la MOSELLE, mais aussi principalement de certains affluents, nous oblige à retenir des classes largement situées au-dessus de celles normalement retenues pour les eaux superficielles. (Il en est ainsi pour DBO_5, oxydabilité, NH_4^+, dureté, conductivité, chlorures, sulfates, K^+ et certains toxiques : NH_3, phénols, NO_2^-, cyanures, substances extractibles au chloroforme).

Dans cette troisième partie, nous mettons l'accent sur les grands problèmes soulevés par la pollution de la MOSELLE à travers ses quatre aspects principaux :

- La pollution minérale avec la question de la régulation et de la réduction des rejets de Cl^- dans la MEURTHE par les salines et les soudières.
- L'eutrophisation et l'accroissement des teneurs en nutrients dans les eaux superficielles.
- La pollution organique et les problèmes du bon fonctionnement des ouvrages d'épuration des effluents urbains et industriels.
- La pollution toxique : ses caractères spécifiques et ses répercussions sur les autres formes de pollution.

Nous orienterons cette étude dans deux directions :

- tout d'abord, une synthèse des tableaux cartographiques de l'évolution spatio-temporelle de ces quatre types de pollution. Rappelons qu'il y a 6 tableaux cartographiques par type de pollution . Les renseignements fournis par ces cartes permettent, dans la mesure où ils concernent une période de 10 ans (1965-1974) une approche globale du phénomène pollution. Nous nous référerons , au cours de cette étude, essentiellement aux valeurs, aux classes de valeurs traduisant la pollution maximale.

- ensuite, nous essaierons d'établir un bilan de la pollution de la MOSELLE en considérant deux périodes : 1965-1974 et 1965-1978. A cet effet, nous avons retenu l'ensemble des valeurs mesurées au cours de ces périodes pour chacun des paramètres que nous avons choisis, et ce, à partir des annuaires de la qualité des eaux publiés par le Ministère de la Qualité de la Vie. Nous nous sommes limi-

tés aux principales stations de la MOSELLE, à savoir :

. CHATEL-NOMEXY
. VELLE
. LIVERDUN
. MILLERY
. BLENOD
. HAUCONCOURT
. UCKANGE
. MANOM
. SIERCK

Dans les cas de VELLE, BLENOD, UCKANGE, les mesures des paramètres de pollution n'ont commencé qu'en 1971. Il s'agira donc de nuancer les conclusions que nous pourrons tirer de l'analyse des données relatives à ces 3 stations, au niveau desquelles, les périodes de mesures sont plus brèves, en les comparant avec les grandes tendances qui se dégageront de l'étude des valeurs concernant les 6 autres stations, valeurs qui proviennent de relevés effectués sur 10 et 14 ans.

A partir de ces données statistiques de pollutions, nous avons dressé, pour chaque paramètre et pour chaque période (1965-1974 et 1965-1978) l'histogramme, la "barre" des fréquences cumulées des valeurs mensuelles, par classe. Les classes ayant été définies dans la 2° partie de cette étude, relative à la proposition d'une méthodologie cartographique de l'évolution des phénomènes de pollution.

Ainsi, pour chaque paramètre de pollution, il est aisé de faire une comparaison des bilans 1965-1974 et 1965-1978, en juxtaposant les histogrammes représentatifs de ces deux périodes (fig. 28 à 36).

Mais, par ailleurs, nous avons tracé le profil de l'évolution dans l'espace de chaque paramètre d'amont en aval du cours de la MOSELLE en retenant, au niveau de chaque station, dans la série des valeurs observées sur 10 et 14 ans et disposées en ordre croissant, celles qui, dans cette dernière, occupent la position :

. du 1° décile
. du 9° décile
. de la médiane

Un tel travail n'a pu être mené à bien que par traitement des valeurs par ordinateur (OLIVETTI P. 652). Au total, ce sont 16 932 données qui ont été ainsi traitées. C'est grâce à ce fondement statistique qu'a pu aboutir le travail graphique indispensable pour dresser un bilan de la pollution de la MOSELLE française et, par là même, pour apprécier les efforts mis en oeuvre pour lutter contre celle-ci.

Le lecteur trouvera intégrés au texte divers schémas et figures indispensables à la bonne compréhension de ce dernier. Les figures ont fait l'objet d'une numérotation différente (a,b,c...) pour les distinguer de celles mises en annexe I.

SECTION I : ÉTUDE DE LA POLLUTION MINÉRALE

Evolution de certains facteurs de pollution minérale (conductivité, Cl^-, SO_4^{--}, SO_4^{--}, dureté totale : T.H.)

La pollution minérale de la MOSELLE se traduit surtout par une forte salinité de l'eau de cette rivière. Cette salinité a une double origine : naturelle et artificielle (industrielle).

- L'origine naturelle est à mettre en relation avec :

  . *la diversité lithologique du bassin versant :*
  - *calcaires à dolomie du Muschelkalk,*
  - *argiles et marnes du Keuper,*
  - *calcaires et marno-calcaires à dominante marneuse du Lias,*
  - *calcaires du Bajocien et du Bathonien.*

Ces roches se caractérisent bien sûr par leur teneur en calcium qui explique, en grande partie, la dureté des eaux des rivières qui les traversent. Les eaux fluviales des bassins partiellement ou exclusivement calcaires et marno-calcaires révèlent une concentration importante en alcalino-terreux avec prépondérance de Ca^{++} et Mg^{++}.

. *les gisements salifères et gypsifères contenus dans certaines couches géologiques (Muschelkalk moyen et Keuper).*

Les rivières dont le bassin versant se trouve concerné par ces terrains ont des eaux chargées en sulfates et en chlorures (Sanon, Seille supérieure). La teneur en chlorures des eaux de la Seille en amont de Dieuze a été attestée par Y. LHOTE, 1967 (in R. FRECAUT, 1971) qui l'évaluait à 600 mg/l. L'étang de LINDRE, duquel sortent les eaux de la SEILLE, se trouve lui-même sur des terrains salés.

- L'origine industrielle concerne tout particulièrement les chlorures comme le montre le bilan suivant (1965-1970) établi pour le bassin de la MOSELLE française (Commission Internationale pour la Protection de la MOSELLE contre la Pollution Rapport du Groupe de Travail B, 1973).

Flux de sel moyen : 42,3 kg. de Cl^-/s.

. *partie naturelle*	*13,0 %*
. *sel contenu dans les eaux extraites du sous-sol* ...	*3,6 %*
. *sel de consommation, adoucissement, déneigement* ...	*4,7 %*
. *pertes des salines*	*4,7 %*
. *rejet des soudières*	*74,0 %*

Néanmoins, le rejet des soudières a fait l'objet d'une régulation en 1974.

I. EVOLUTION DE LA POLLUTION MINERALE SELON LES TABLEAUX CARTOGRAPHIQUES (1965-1974) (voir également tableau XII de 1 à 35)

Nota : Le potassium sera envisagé comme facteur d'eutrophisation.

La consultation des tableaux cartographiques montre, pour la pollution minérale et selon l'évolution amont aval, les faits suivants :

- Secteur amont, de la source à VELLE

Les cours de la MOSELLE se caractérisent par une faible minéralisation (moins de 120 mg/l de $CaCO_3$ pour la dureté, traduisant une faible productivité). La nature du substrat géologique **explique** en grande partie cette **situation** (grès, granites).

- Secteur VELLE-FROUARD

Les eaux du MADON connaissent une pollution minérale consécquente par les sulfates, avec répercussion sur la dureté et la conductivité, d'une manière stable de 1971 à 1974. Mais cette pollution sulfatée a peu d'incidence sur les eaux de la MOSELLE à MARON, lesquelles connaissent à cette station une dureté normale.

Cette pollution du MADON par les sulfates est nettement mentionnée dans le Rapport technique de l'opération pilote Haute Moselle (A.F.B.R.M., 1979). Elle provient de la traversée, par le cours du MADON, des affleurements géologiques du MUSCHELKALK et du KEUPER. La salinité qui en résulte est de type bicarbonaté calcique avec de fortes valeurs pour les sulfates et le magnésium.

Jusqu'à LIVERDUN, les eaux sont acceptables, hormis un changement de classe à cette station pour les maximums en sulfates et chlorures depuis, respectivement, 1968 et 1969.

- Secteur FROUARD-METZ

La MEURTHE (BOUXIERES-AUX-DAMES) se singularise par sa charge très élevée en chlorures, sa dureté et sa conductivité du fait des rejets des salines et soudières. Les années de sécheresse (1971 et 1972) sont spécialement critiques, avec un impact très net sur les stations aval.

Après la confluence de la MEURTHE, les eaux de la MOSELLE accusent l'impact des rejets minéraux avec un degré moindre lié à la dilution, mais ceci jusqu'à la frontière.

- Secteur confluence de la SEILLE-BERTRANGE

La situation se maintient jusqu'à METZ où la MOSELLE reçoit les eaux très particulières de la SEILLE. On note, en effet, un enrichissement très important en sulfates et chlorures influençant la conductivité et la dureté. Ces teneurs sont liées à une pollution naturelle par les

couches géologiques du KEUPER riches en terrains gypsifères et salifères (marnes). Le rejet de $BaSO_4$ par UGINE KUHLMANN à DIEUZE ne semble pas être responsable des teneurs en sulfates car le sulfate de baryum précipite. Cecui-ci intervient néanmoins par sa présence dans les sédiments du fond du lit de la MOSELLE (HAUCONCOURT). Par contre, le rejet par cette même usine de chlorure de baryum contribue à l'enrichissement en Cl^- des eaux de la SEILLE.

En aval de METZ, et compte-tenu de la dilution des eaux de la SEILLE, le niveau de pollution minérale n'est pas aggravé de façon assez sensible pour que nos classes puissent le mettre en évidence.

Les eaux de l'ORNE à RICHEMONT présentent une teneur élevée en sulfates, en liaison avec l'origine des eaux qui sont en grande partie des eaux d'exhaure des mines de fer. Ces eaux s'enrichissent en sulfates au contact des couches géologiques dans les zones minières foudroyées par suite de la modification de leur circulation souterraine (D. HERVE, 1978). Cependant, après dilution dans la MOSELLE (UCKANGE) nous n'observons pas de modifications dans les classes pour les sulfates.

- Secteur confluence de la FENSCH-SIERCK-LES-BAINS

Les eaux de la FENSCH sont constituées de rejets d'industries alimentés par les eaux de la MOSELLE d'où la mise en évidence d'une teneur élevée en chlorures. Par ailleurs, la présence d'eaux d'exhaure des mines explique les teneurs en sulfates qui s'ajoutent à ceux déjà présents dans la MOSELLE. Le niveau de pollution est par ailleurs constant pour les sulfates du fait de la relative stabilité des eaux d'exhaure.

La tendance sulfatée des eaux de la MOSELLE s'affirme jusqu'à la frontière du fait de la sommation des effets de la SEILLE, de l'ORNE et de la FENSCH. Par contre, les eaux très sulfatées et dures de la CANNER (classe 4) ne modifient pas les classes observées en aval de la confluence (SIERCK) par rapport à l'amont (MANOM). Rappelons que la Vallée de la CANNER fait l'objet d'une exploitation de gypse. De plus, le bassin versant de cette rivière est intéressé par les formations géologiques du KEUPER. Par ailleurs, les teneurs en SO_4^{--} des eaux de la FENSCH (et même de l'ORNE) ne sont peut-être pas sans rapport avec les rejets des cokeries, riches en sulfures.

II. BILANS COMPARES : 1965-1974 et 1965-1978

A. Evolution amont-aval (fig. 27 ; A.B.C.D. ; tableau XV, de 1 à 9)

Les courbes des teneurs en sulfates (fig. 27, C et D) montrent bien que l'origine de cet élément est presque exclusivement naturelle. En effet, à CHATEL-NOMEXY, la MOSELLE vient de quitter les terrains gréseux et granitiques de la partie vosgienne de son bassin.

A VELLE, elle a déjà traversé les terrains du MUSCHELKALK et elle coule sur ceux du KEUPER ; il s'agit là, nous l'avons précisé à propos du MADON, de couches géologiques riches en éléments sulfatés.

Après VELLE, l'accroissement de la teneur en sulfates évolue vers l'aval en fonction des apports successifs des affluents riches en éléments comparables (MADON, MEURTHE, SEILLE, ORNE et CANNER).

L'origine naturelle des sulfates est visible également par le fait que les valeurs en SO_4^{--} varient peu dans le temps. Les courbes relatives aux bilans 1965-1974 et 1965-1978 sont presque parfaitement confondues. Même les teneurs relatives aux stations de VELLE, BLENOD et UCKANGE au niveau desquelles les relevés ne sont effectués que depuis 1971 confirment cette origine naturelle.

Tout au plus, pourrait-on mentionner une légère aggravation des teneurs correspondant à la position du 1er décile.

Les trois autres paramètres considérés dans l'étude de la pollution minérale présentent l'un par rapport à l'autre une évolution amont-aval identique du fait de leur interdépendance :

- Les courbes de conductivité et de teneurs en chlorures se caractérisent (fig. 27, A et B) par un décrochement très net vers les valeurs élevées après LIVERDUN, conséquences des apports de la MEURTHE. Après BLENOD, nous observons une légère diminution consécutive au phénomène de dilution. Les valeurs représentatives des stations de VELLE, BLENOD et UCKANGE, du fait des périodes d'observation plus brèves ne peuvent faire l'objet de remarques spécifiques.

- Quant à l'évolution des valeurs de la dureté totale (fig. 27 D) elle ressemble beaucoup à celles de la conductivité et des chlorures, et pour les mêmes raisons à ceci près que le décrochement entre LIVERDUN et BLENOD est moins net. Ceci pouvant être expliqué par le fait que la dureté d'une eau a aussi des origines naturelles et l'évolution de ce paramètre de CHATEL-NOMEXY à LIVERDUN le montre bien. On ne peut vraiment parler d'eaux "douces", pour la MOSELLE, qu'en amont de VELLE.

- Enfin, une observation plus attentive de la représentation amont-aval des valeurs de conductivité, T.H. et Cl^- occupant, dans les séries sur 10 ou 14 ans, la position des 1° et 9° déciles et de la médiane, montre une régression des teneurs élevées et une augmentation des teneurs faibles lorsque l'on compare les bilans 1965-1974 et 1965-1978 ; ceci, du fait de la régulation des rejets des salines et soudières depuis 1974.

B. Evolution des fréquences de valeurs par classe et par station (1965-1974 et 1965-1978)

La répartition des valeurs de SO_4^{--} par classe (fig. 28 à 36 : C et D et tableau XVI de 1 à 9) ne varie pas de façon significative d'un bilan à l'autre, quelle que soit la station considérée. Il en est de même

pour la conductivité, les chlorures et la dureté jusqu'à LIVERDUN. Mais à partir de MILLERY, l'évolution dans le temps de ces trois derniers paramètres n'est pas nette.

. Au niveau de la conductivité, l'amélioration est toute relative et porte sur la classe 3 (1000 $\mu S \leqslant C < 1800\ \mu S$) dont les valeurs sont plus fréquentes dans le bilan 1965-1978 que dans le bilan 1965-1974. Mais cette plus grande fréquence de la classe 3 dans les valeurs de conductivité se fait aussi bien aux dépens des classes 4 et 5 que des classes 1 et 2.

A BLENOD et UCKANGE (fig. 32 et 34 C) il faut aussi noter une augmentation de la fréquence des valeurs appartenant à la classe 2 (mais ces stations ne comptent pas de relevés pour la période 1965-1970).

. Mêmes observations pour la dureté qui ne "s'améliore" qu'au niveau des classes 2 et 3 dans le bilan 1965-1978 ou 1971-1978 (fig. 31 à 36, D).

. Par contre, les histogrammes relatifs aux chlorures ne permettent pas les mêmes conclusions sauf au niveau de BLENOD et d'UCKANGE (fig. 32 et 34,C) pour la classe 3 toujours dans les 2 cas. Mais l'absence de données pour la période 1965-1970 explique peut-être cette différence avec les autres stations.

Or, depuis 1974, les rejets de chlorures dans la MEURTHE sont contrôlés. Si des effets (assez relatifs) à la suite de ces dispositions apparaissent au niveau des bilans qui concernent la conductivité et la dureté, la répartition des fréquences des valeurs de Cl^-, par classe de 1965 à 1970 par rapport à 1965-1974 ne fait rien apparaître, quelle que soit la station considérée ayant fait l'objet de mesures, pour ce paramètre, durant ces périodes.

Aussi, importe-t-il d'approfondir ce problème des rejets d'ions Cl^- dans la MEURTHE et la MOSELLE.

III. LES REJETS D'IONS Cl^- DANS LA MOSELLE

A. L'industrie du sel et ses problèmes

Nous reprendrons l'essentiel des données dans l'analyse de PIHAN J.C (1980).

La Lorraine possède une richesse naturelle d'origine géologique sous la forme de sel gemme. Le gisement est constitué par deux niveaux différents, emballés par des formations imperméables argilo-marneuses. Le niveau inférieur appartient au Muschelkalk moyen. Le niveau supérieur, plus récent, appartient au Keuper inférieur et affleure dans les vallées de la SEILLE et du SANON. La MOSELLE reçoit donc une pollution saline naturelle par ces deux rivières. Dans le bassin de la MOSELLE seul est concerné le niveau supérieur exploité au sud - est de NANCY par galerie souterraine et sondage.

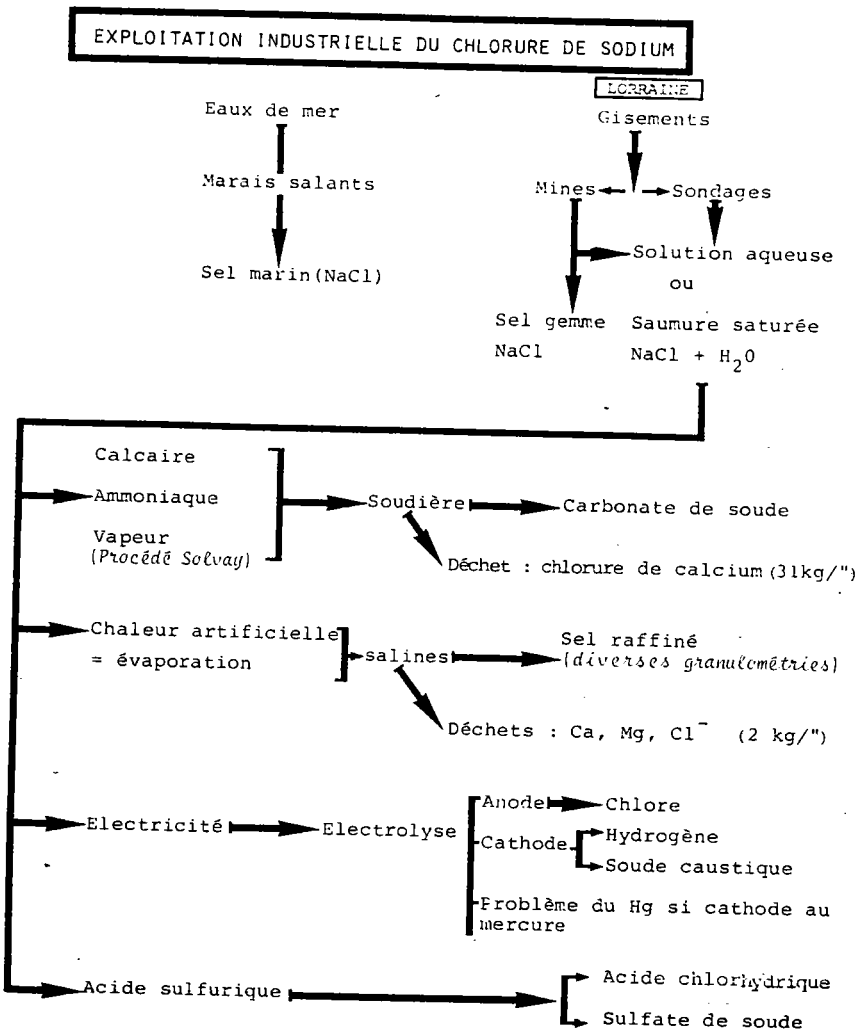
Les limites d'extension sont données par la carte extraite de RHIN-MEUSE-informations n° 17, février-mars 1979 (cf. fig. a, page 141).

L'exploitation en a été faite déjà par les Romains. La méthode du briquetage dans la vallée de la SEILLE a été datée vers 1000 ans avant Jésus-Christ. Ce type d'exploitation qui consiste à faire évaporer une saumure dans des creusets en argile a laissé environ 2 millions de m3 de déchets qui forment l'Ile de MARSAL. Les salines furent rasées sous Louis XIV au XVIIème siècle pour des raisons de stratégie et selon les plans de VAUBAN.

Il a fallu attendre le début du XIXème siècle pour voir s'implanter l'industrie chimique dans la vallée de la MEURTHE au sud de NANCY. Sur les 6 millions de tonnes de sel produits en FRANCE, 3 millions proviennent de LORRAINE. Ce sel est destiné à la consommation humaine (15 %), à l'industrie chimique (50 %), aux industries diverses (18 %), au déneigement (11 %) à l'agriculture (5 %) et aux ateliers de salaison (1 %). Les gisements sont exploités par mine ou par sondage. Le puits de SAINT-JEAN-BAPTISTE a été foré en 1868 et 1872 jusqu'à 170 mètres de profondeur. Il donne 500 000 tonnes/an utilisées principalement pour le déneigement (il est géré par la Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est).

La technique des sondages permet la dissolution du sel et son transport dans les Saumoducs à une teneur de 300 g/l (les salines de Lorraine raffinent cette solution). Les débouchés du sel raffiné sont multiples (industrie chimique: chlore, soude; industrie alimentaire; agriculture; tannerie; traitement de surface; adoucisseurs d'eau). Les salines polluent par rejet d'eaux de purge contenant du calcium, du magnésium et des ions chlore (2 kg/" d'ions Cl^- dans la MEURTHE). A proximité des salines et en liaison avec une autre ressource régionale, le calcaire, s'est développée l'industrie chimique SOLVAY à DOMBASLE, RHONE-POULENC à la MADELEINE. La production essentielle des soudières est le carbonate de soude utilisé pour l'industrie du verre, la sidérurgie, la chimie, le textile, la papeterie. D'autres produits comme le chlore et la soude caustique sont également exploités (voir schéma page suivante).

Le problème majeur des soudières est l'obtention de chlorure de calcium qui, hormis son utilisation dans le déneigement est un déchet. L'effluent des soudières est décanté dans un immense bassin puis est rejeté en MEURTHE. Pour 1 tonne de carbonate de soude, on obtient 960 kg de sous-produit exprimé en ions "chlore". Les usines produisant 1 100 000 tonnes de carbonate, ce sont 970 000 tonnes d'ions chlore qui sont déversées, soit 31 kg/", quantité actuellement autorisée au rejet. Ceci représente 383 mg/l de salinité (exprimés en ions Cl^-) auxquels il faut ajouter 24 mg/l pour les salines, 100 mg/l pour les rejets urbains et la salinité naturelle, lorsque les eaux de surface atteignent les couches salifères. Actuellement, en comptant également les 5 kg/" d'ions chlore provenant des soudières de SARRALBE et arrivant en MOSELLE par la SARRE, c'est donc au total 500 mg/l d'ions Cl^- qui se retrouvent dans les eaux de la MOSELLE.



Les normes européennes impliquent de diminuer de moitié ces rejets évalués en MOSELLE à 38 kg/" d'ions Cl^-. Dès à présent, la MOSELLE est équipée de stations de contrôle (schéma page 142 - fig. b). Les rejets des bassins de régulation et de décantation se font automatiquement (graphique page suivante, fig. a et c). Les méthodes préconisées pour réduire encore plus les rejets dans les eaux superficielles sont multiples et nous examinerons les différentes possibilités à la fin de ce chapitre. Le respect d'une concentration de 250 mg/l dans la rivière pendant 90 % du temps permettrait de garantir l'utilisation de la nappe alluviale pour l'eau potable (RHIN-MEUSE Information n° 20, décembre 1980).

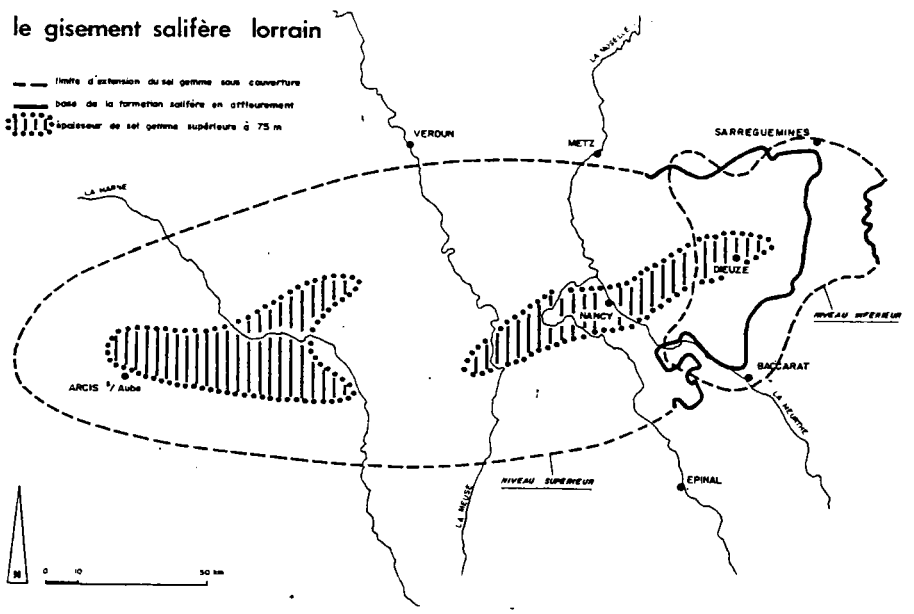


Fig. a : Source: Rhin-Meuse Information n°17 : Février-Mars 1979

Teneurs en Chlorures dans la Moselle à Ars (amont de Metz)

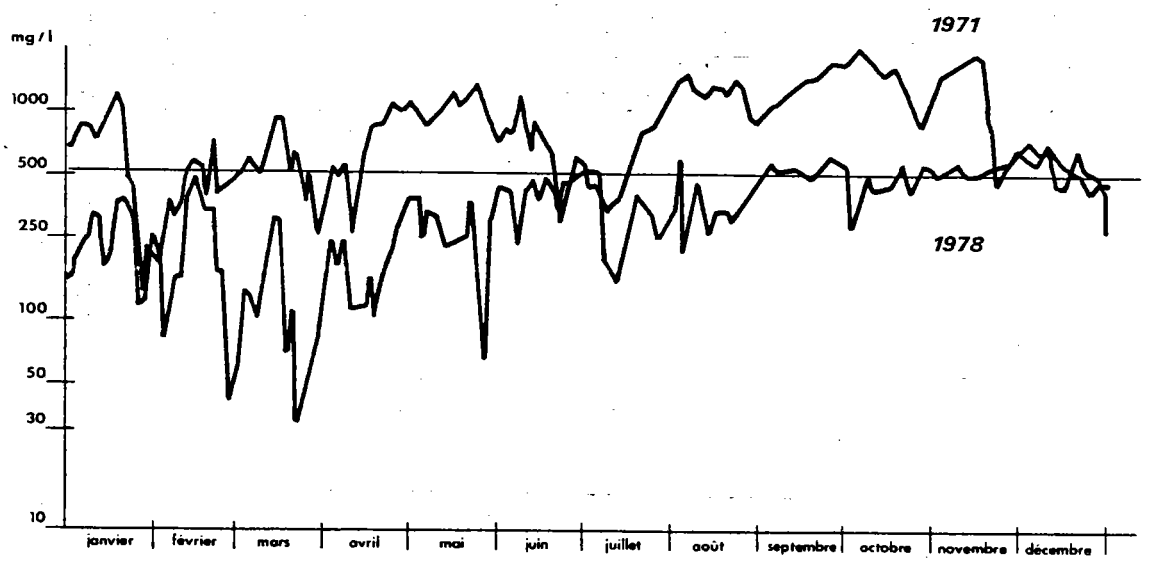
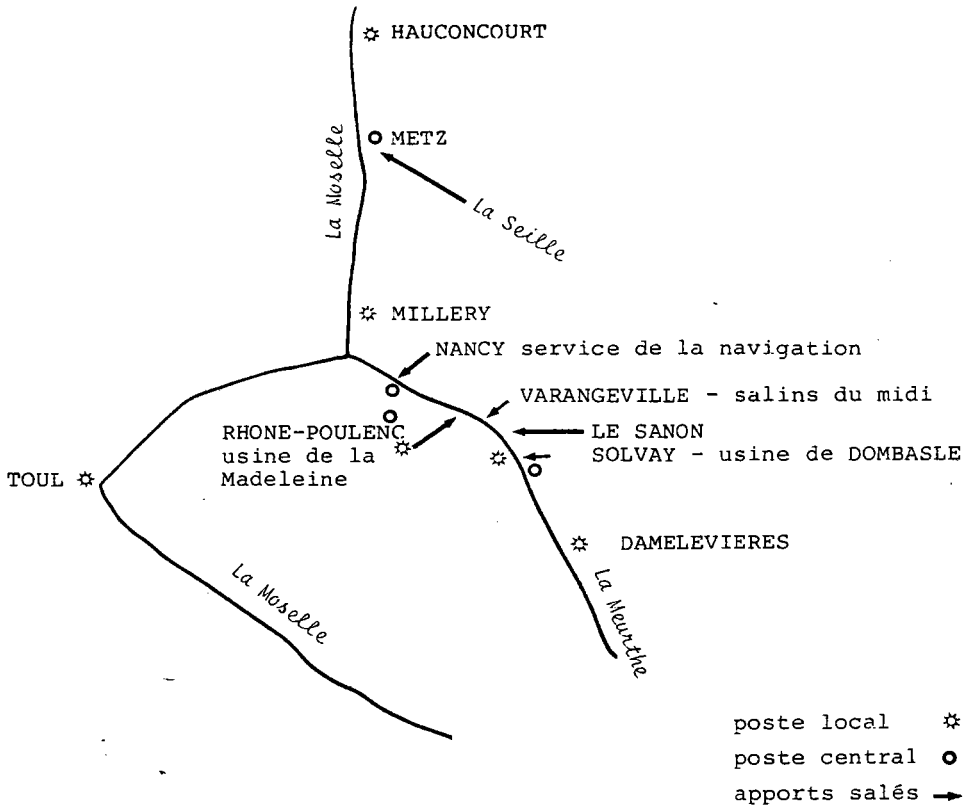


Fig. c : Source: Rhin-Meuse Information n° 17 : Février-Mars 1979



Postes de mesure sur les cours d'eau

la Moselle à :

TOUL (mesure du débit - $m^3/''$)
HAUCONCOURT (mesure du débit $m^3/''$ concentration en chlorures g/m^3)
MILLERY (concentration en chlorures g/m^3)

la Meurthe à :

DAMELEVIERES (mesure du débit en $m^3/''$)

Postes de mesure sur les rejets

SOLVAY - Dombasle (mesure des flux des chlorures en kg/s)
RHONE-POULENC - La Madeleine

Fig. b : Contrôle de la salinité des eaux de la Moselle, réseau de télétransmission (A.F.B.R.M.).

Quels enseignements apporte la visualisation de l'influence de la régulation des rejets d'ions Cl^- sur la qualité des eaux de la MOSELLE (expression graphique) ?

Compte-tenu des débits très variables de la MOSELLE, la teneur en chlorures dans celle-ci, et avant régulation des rejets, variait d'une centaine de milligrammes à plus de 1 g./l. à l'amont de METZ.

La décision de fixer en-deçà de 500 mg/l ces teneurs a été prise en 1974. Ceci est réalisé en régulant les rejets en fonction des débits mesurés à HAUCONCOURT. Il était prévu que dans la période actuelle, une teneur maximale de 250 mg/l serait observée. En fait, le programme de cette deuxième phase n'est pas réalisé (cf. fin de chapitre).

Ayant travaillé sur les périodes 1965-1974 et 1965-1978, nous avons voulu contrôler que nos représentations graphiques visualisaient cette diminution des teneurs extrêmes en chlorures.

La représentation des fréquences cumulées pour les stations concernées, c'est-à-dire situées à l'aval de la confluence de la MEURTHE, ne présente pas de différence entre ces deux périodes (fig. 31 à 36, C). Ceci s'explique par le choix des limites de classes retenues :

classe 1 : $Cl^- < 20$ mg/l
classe 2 : $20 \leqslant Cl^- < 80$
classe 3 : $80 \leqslant Cl^- < 400$
classe 4 : $400 \leqslant Cl^- < 1500$
classe 5 : $Cl^- \geqslant 1500$

En effet, depuis 1974, les modifications des teneurs en chlorures se sont produites dans la zone inférieure de la classe 4 (400 à 600) sans jamais concerner la classe 3. Cette évolution serait cependant visible dans l'avenir si la deuxième phase de lutte contre la pollution saline était réalisée avec une teneur moyenne de 250 mg/l, teneur considérée comme objectif par l'Agence de Bassin. (voir fig. d ci-desous)

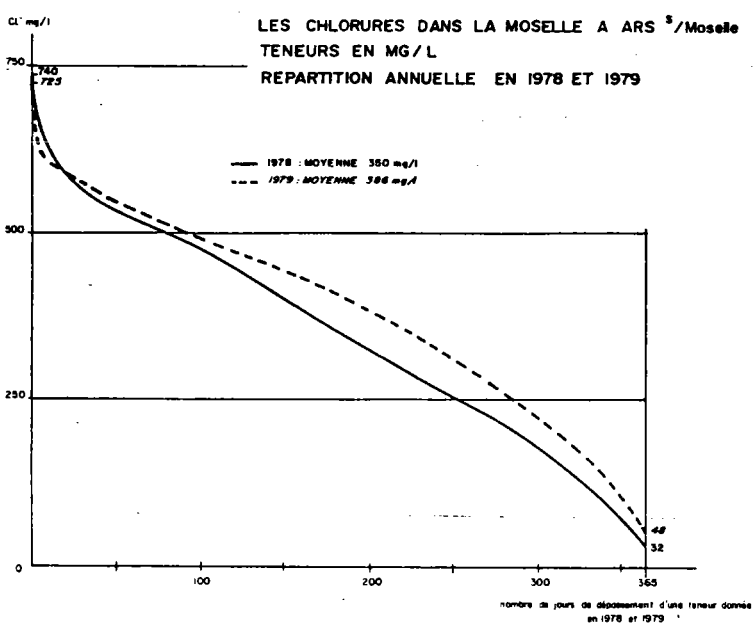


Fig. d : Source Rhin-Meuse Information n° 20, Décembre 1980.

Nous avons vérifié l'amorce de cette régression de salinité en déplaçant la limite supérieure de classe 3 de 400 à 500 et 600. Le tableau suivant montre bien une évolution régréssive des fréquences des teneurs élevées :

stations amont-aval	fréquences (%) des teneurs en Cl^-			
	< 500 mg/l		< 600 mg/l	
	1965-74	1965-78	1965-74	1965-78
MILLERY	59.2	61.3	63.3	72
HAUCONCOURT	58.5	62.7	68.6	75.9
MANOM	65.3	70.5	70.3	77.7
SIERCK	65.3	71.7	71.2	77.1

Ceci montre qu'il est difficile de fixer les valeurs de seuil entre les classes. Les classes retenues sont conformes à des niveaux déterminés par les histogrammes des fréquences des valeurs maximales et minimales sur dix années. Lorsqu'un problème spécifique se pose, il convient de retenir les valeurs intermédiaires, à l'intérieur de chaque classe, montrant l'évolution d'un phénomène; ainsi dans le cas des chlorures, et pour la MOSELLE: 200, 300, 400, 500, 600 mg/l par exemple.

B. LES METHODES PROPOSEES EN VUE DE REDUIRE LES REJETS

1. Mise en pratique de la technique des injections

Cette technique rallie l'avis favorable d'une grande majorité de géologues, mais pose des problèmes différents **en** LORRAINE et en ALSACE. A ce jour, la France ne compte qu'un exemple de réalisation à GRANDPUITS (SEINE-ET-MARNE) où la Société des Engrais de l'Ile de France injecte à 1900 mètres de profondeur de l'eau salée à 10 g/litre (essentiellement du nitrate d'ammonium).

1.1. *Application en Lorraine*

Les industriels lorrains (SOLVAY et RHONE-POULENC) ont créé un groupement économique "RISELOR" (Recherche Injection souterraine en Lorraine) pour étudier les possibilités d'injection des saumures **des** soudières à une profondeur supérieure à 1000 mètres et hors d'atteinte de la nappe phréatique (schéma page suivante). Cette technique est utilisée aux U.S.A., au CANADA et en ALLEMAGNE. Pour la LORRAINE, le lieu d'injection est envisagé dans le sous-sol Toulois dans les grès du trias inférieur. Ces grès sont déjà gorgés d'eau à 13,5 g/l de chlorures et séparés par 700 mètres d'argiles des nappes exploitées, situées dans les calcaires du Bajocien. Une expérimentation a eu lieu au "Bois de Chazot". Le forage a été exécuté du 22 avril au 21 juin 76. Une demande d'autorisation d'injection par gravité de 25 000 m3 a été faite

en mars 76 et l'autorisation accordée le 30 avril 77 :

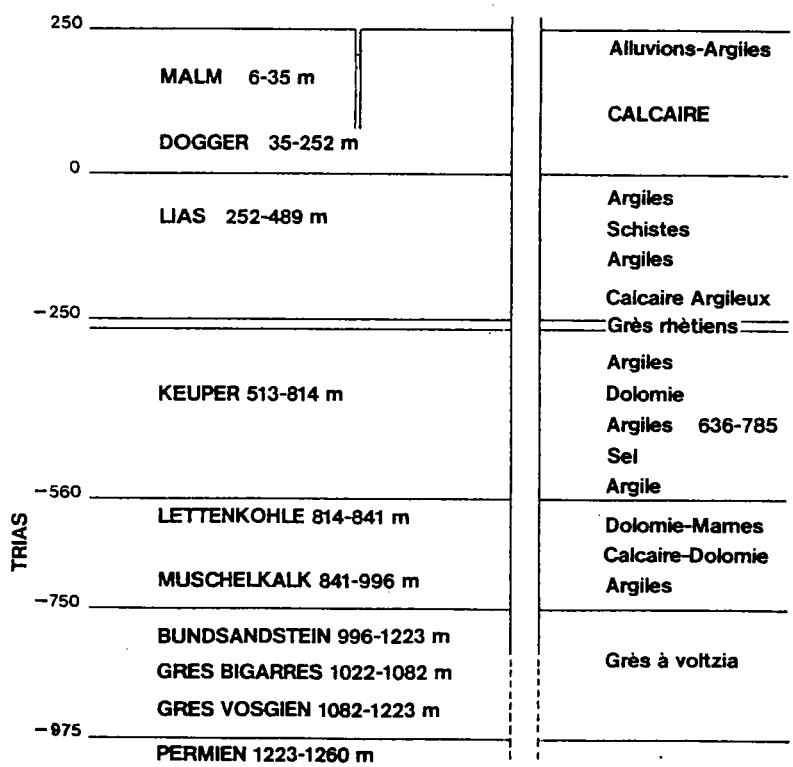
(autorisation préfectorale selon le décret du 23 février 1973 et après déclaration d'utilité publique. Avis du Chef de Service de l'Industrie et des Mines, du Conseil Départemental d'Hygiène, de la mission chargée du Bassin, du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France).

Compte-tenu d'une hostilité locale, l'injection n'a commencé que le 12 avril 78 en 2 phases :

. 12 avril - 10 mai 78
. 12 juillet - 23 août 78

Ce programme a coûté 12 millions de francs.

COUPE GEOLOGIQUE A TOUL



Après cette expérience à petite échelle, il n'a pas été noté d'incidences sur les captages superficiels mais des phénomènes de colmatage sont apparus. Dans ce cas des grès, il s'agit d'une porosité de matrice et à la suite du colmatage, il semble que l'on soumettra la saumure à une filtration préalable pour réduire les M.S.T. Les études sont en cours. La saumure injectée à 90 g/l de NaCl constituera dans la roche une bulle en forme de poire dont le rayon moyen atteindrait 2 kilomètres environ, après 30 ans d'injection.

1.2. *Application en ALSACE*

Le problème des injections en ALSACE se pose en termes différents. D'une part, la roche réceptrice, qui est du calcaire du Dogger, présente une porosité dite "de fracture" bien connue en terrain karstique. D'autre part, il existe déjà sur le site des forages pétroliers permettant une exploitation en doublet avec injection et soutirage. Un essai grandeur nature a été réalisé en 1975-76 à la limite du bassin potassique. L'expérience a été jugée prometteuse. Devant une violente opposition locale, le projet n'a pas progressé.

1.3. *Répartitions possibles des injections entre l'ALSACE et la LORRAINE* (*fig. e3 et e4* page suivante)

. 1ère hypothèse (fig. e3)

Il serait fait appel à une injection de 24 kg/s d'ions Cl^- en ALSACE avec deux saumoducs; l'un, M.D.P.A./soudière de Lorraine véhiculant 36 kg/s d'ions Cl^-; l'autre, soudière de Lorraine/RHIN véhiculant 20kg/s. Le coût serait de 1090 millions de francs (1978) dont 170 pour l'injection en ALSACE.

. 2ème hypothèse (fig. e4)

Il serait fait appel à une injection dans les deux régions : 40 kg/s en ALSACE et 20 kg/s en LORRAINE. Le coût, comprenant les investissements et 10 ans de frais d'exploitation, serait de 630 millions de francs (1978).

L'expérimentation devrait donc reprendre dans les deux régions pour connaître exactement les capacités d'injection en fonction de la nature différente des roches concernées (grès en LORRAINE, calcaire en ALSACE). Les recherches semblent actuellement assez avancées pour privilégier cette hypothèse. Une bonne information du public devrait faciliter la compréhension du problème dans toutes ses dimensions.

2. Autres solutions proposées ne faisant pas appel aux injections

2.1. Exploitation des déchets des M.D.P.A.

Si le programme d'injections n'est pas retenu, une solution de rechange consisterait en la création d'une saline de 1 million de tonnes/an, ce qui représente une diminution de 20 kg/s d'ions chlore au rejet des M.D.P.A. Cette unité implantée dans la région de MULHOUSE serait financée par l'ensemble des Etats signataires des accords de BONN. Cette disposition

ne règlerait pas le problème de la diminution des rejets en MOSELLE et, selon les besoins du marché actuel français et communautaire, elle serait source d'une surproduction.

L'annonce même du projet a entraîné une vive animosité entre l'ALSACE et la LORRAINE, animosité amplifiée par le projet d'une création de soudière qui recyclerait une partie du sel résiduaire des M.D.P.A. mais nécessiterait de trouver sur place un calcaire de bonne qualité. Enfin, la production de chlore en ALSACE, compte-tenu des débouchés se justifie difficilement selon les spécialistes.

fig. e 1

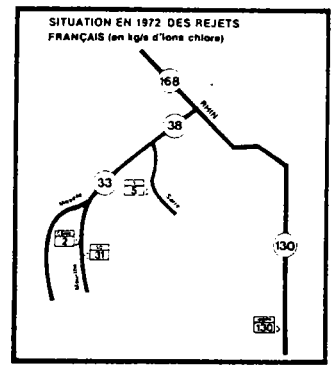


fig. e 2

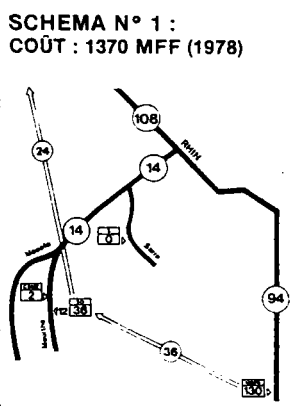


Fig. e 3

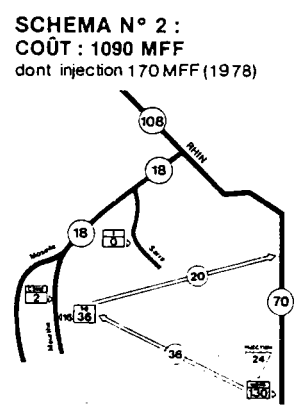


Fig. e 4

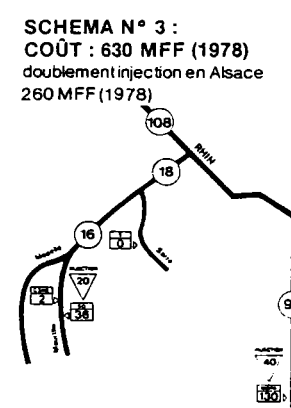


Figure e : Répartition des différents flux en ions Cl^- exprimés en kg/s.
1) Situation 1972.
2) Projet de deux saumoducs MDPA/Lorraine et Lorraine/Mer du Nord (24 kg/s).
3) Projet d'injection en Alsace et saumoduc Alsace/Lorraine/Alsace.
4) Projet de double injection en Alsace et Lorraine.

2.2. *Stockage en surface des rejets des M.D.P.A.*

Cette solution qui, historiqueemnt a déjà été employée, n'est pas satisfaisante, comme nous l'avons montré, vis-à-vis de la protection de la nappe phréatique d'ALSACE.

2.3. *Utilisation du sel résiduaire des M.D.P.A. par les Soudières lorraines (fig. e2)*

Dans cette hypothèse, le Saumoduc M.D.P.A./Soudières lorraines, véhiculant 36 kg/s d'ions chlore, pose un problème d'étanchéité sur son parcours mais aussi nécessite de diminuer les rejets en MOSELLE en renvoyant les effluents des Soudières de LORRAINE vers la Mer du Nord à raison de 24 kg/s d'ions chlore. D'autre part, la qualité de la saumure devrait être contrôlée. Le coût, comprenant les investissements et 10 ans de frais d'exploitation serait de 1370 millions de francs (estimation 1978); donc, de loin le plus coûteux des projets chiffrés.

2.4. *Le remblayage*

Il consiste à stocker les sels résiduaires dans les cavités de la mine, laissées vides par l'extraction du minerai. Cette technique est employée en U.R.S.S., aux U.S.A. et en R.F.A. Elle nécessiterait en France une modification de la technique d'exploitation.

CONCLUSION

Un programme à long terme contre la pollution du RHIN a été élaboré les 25 et 26 octobre 72 à LA HAYE. Il a été décidé un contrôle des rejets d'ions chlore à partir de 1 kg/s. A la demande des Hollandais, les délégués ont fixé à 200 mg/l de Cl^- la norme à respecter à la frontière germano-néerlandaise (BIMMEN-LOBITH). Il apparaît, dès à présent, qu'en dessous d'un débit de 1600 m3/s, cette valeur est dépassée. Pour obtenir ce résultat sans diminuer la production, il a été décidé que la FRANCE réduirait ses rejets de 168 kg/s à 108 kg/s en stockant le sel résiduaire des M.D.P.A. en terrils.

DONNEES 72-73 DE LA COMMISSION INTERNATIONALE DU RHIN

	Suisse	France	Allemagne	Pays-Bas
rejets en chlorures	2kg/" (+Aar: 2 à 5 kg/")	168 kg/" (+Ill:3 à 4 kg/" Sarre+Moselle : 5kg/")	135 kg/"	0

Les valeurs entre parenthèses sont les charges diffuses rejetées dans certains affluents.

Au total, le RHIN reçoit 400 kg/" d'ions chlore. Un débit de 1 kg/" d'ions Cl^- correspond à 53 000 T/an de sel.

Des commissions internationales pour la protection de certains affluents fonctionnent : MOSELLE-SARRE, Commission tripartite franco-belgo-

luxembourgeoise. La convention de BONN (3 décembre 1976) qui confirme l'objectif fixé à LA HAYE, mais qui n'a pas été ratifiée par le Parlement français, prévoit la dépollution minérale du RHIN avec l'injection de saumure au sud-ouest de MULHOUSE (20 kg/s). Le financement prévu est de 132 millions de francs (30 % R.F.A., 34 % Pays-Bas, 6 % Suisse).

Les normes européennes prévoient un seuil de 200 mg/l pour les ions Cl^- d'ici les 5 prochaines années à la frontière germano-hollandaise. Le sel étant incompatible avec les besoins de l'agriculture, l'usage industriel et l'alimentation humaine.

Dans chaque état, des comités ont été créés et définissent les orientations. En ALSACE, un comité technique de l'eau et une commission interministérielle d'étude de la nappe phréatique (elle comprend les collectivités locales, les administrations et les groupes industriels) établissent un programme de régénération des eaux et de protection de la nappe phréatique, principalement des zones de vulnérabilité que sont les lieux d'échange entre le réseau hydrographique et la nappe. Depuis 1977, d'importants financements ont été consentis par l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE pour surveiller la pollution et prendre les mesures susceptibles d'assurer l'alimentation en eau potable de la région de MULHOUSE (création du barrage de MICHELBACH sur la DOLLER). Ceci représente le coût de la pollution.

En ce qui concerne la FRANCE, les rejets en rivière sont soumis à autorisation et doivent être conformes à la législation sur la police des eaux (loi du 16 décembre 1964. Décret d'application du 23 février 1973). A partir d'une certaine importance, les établissements industriels sont soumis à la législation sur les établissements classés : loi du 19 juillet 1976, décret d'application du 21 septembre 1977.

Nous voyons donc qu'au niveau européen comme au niveau des Etats riverains, une législation de sauvegarde se met en place , associée aux progrès technologiques et à la prise de conscience des problèmes écologiques. Le coût de la lutte est élevé mais il n'y a pas, à postériori, d'autres solutions. Désormais, nous devons être vigilents et évaluer de manière aussi fine que possible l'impact de tout nouvel aménagement et faire en sorte qu'il soit compatible avec les objectifs fixés. Actuellement, le RHIN ressemble à un grand malade en observation avec 175 stations de mesure :

- SUISSE: HAUT-RHIN, 10 stations; Aar, 17 stations,
- FRANCE: 106 stations répertoriées sur le RHIN et ses affluents,
- R.F.A.: 36 stations,
- PAYS-BAS: 6 stations,

auxquelles il faut ajouter 6 stations communes de la Commission internationale et 56 stations des exploitants d'eau potable dont 21 sur le RHIN.

Finalement, le RHIN est le fleuve malade le mieux étudié actuellement. Les remèdes sont proposés, il faut très vite les appliquer, en tenant compte des données socio-économiques et humaines et en demandant à tous les pays riverains, concernés par la pollution, de faire le même effort.

SECTION II : ÉTUDE DU NIVEAU D'EUTROPHISATION

Evolution de certains facteurs d'eutrophisation : N (NO_{3-}) ; P (PO_4^{3-}) ; K^+ ; A.B.S. (détergents)

Le phénomène d'eutrophisation, bien étudié depuis plusieurs années, est complexe. De nombreuses études soulignent l'importance des composés phosphorés (jugés comme facteur limitant), des composés azotés et, accessoirement, d'autres facteurs (dureté, silicium).

Nous n'avons retenu que les nitrates et les orthophosphates pour les composés azotés et phosphorés, auxquels il a été adjoint le potassium et les détergents. Ces derniers ayant été préoccupants à une certaine époque.

Le potassium est pris en ligne de compte à titre expérimental du fait de certains rejets singuliers en MOSELLE et parce qu'il est établi que sa présence favorise la croissance planctonique (BREMOND et al, 1979).

Dans la période étudiée, d'autres paramètres déterminants dans les processus d'eutrophisation n'ont pas fait l'objet de mesures. La chlorophylle n'a été intégrée aux études que cette année, en 1981. Cependant, une étude récente de la production primaire en MOSELLE (SADROLASCHRAFI, 1980) nous fournit une référence à mettre en corrélation avec les teneurs en nutrients constatées pendant la période de notre étude. Les figures jointes (f1 et f2) montrent un accroissement des taux en chlorophylle de MILLERY à CATTENOM avec cependant, à certaines campagnes, une décroissance vers la frontière (campagne d'août de UCKANGE à CATTENOM). La présence de toxiques peut être prise en considération dans ce secteur.

I. EVOLUTION DU NIVEAU D'EUTROPHISATION SELON LES TABLEAUX CARTOGRAPHIQUES (1965-1974) (voir également tableau XIII, de 1 à 35)

- **Secteur amont, de la source à VELLE**

Les facteurs NO_3^-, PO_4^{3-}, K^+ sont présents à un niveau acceptable bien qu'en se tenant aux valeurs définies pour évaluer le niveau d'eutrophisation, il y ait déjà assez de nutrients pour classer la qualité de l'eau au niveau eutrophe. En retenant l'évolution des orthophosphates, il y a augmentation des teneurs de 1973 à 1974.

A GOLBEY, aval immédiat d'EPINAL, les A.B.S. atteignent la classe maximale retenue, ceci en liaison avec les rejets domestiques urbains. A VELLE, la classe 3 des nitrates est signalée en 1972 et 1973, en liaison sans doute avec les apports de l'EURON. Les eaux de ce petit affluent, qui se déversent dans la MOSELLE quelques kilomètres à l'amont de VELLE, présentent une qualité douteuse avec de hautes teneurs en matières oxydables, en éléments liés au cycle de l'azote (NO_3^-, NH_4^+) et en phosphates. La situation de cet affluent s'explique par l'existence d'industries agricoles (laiterie) et de porcheries importantes.

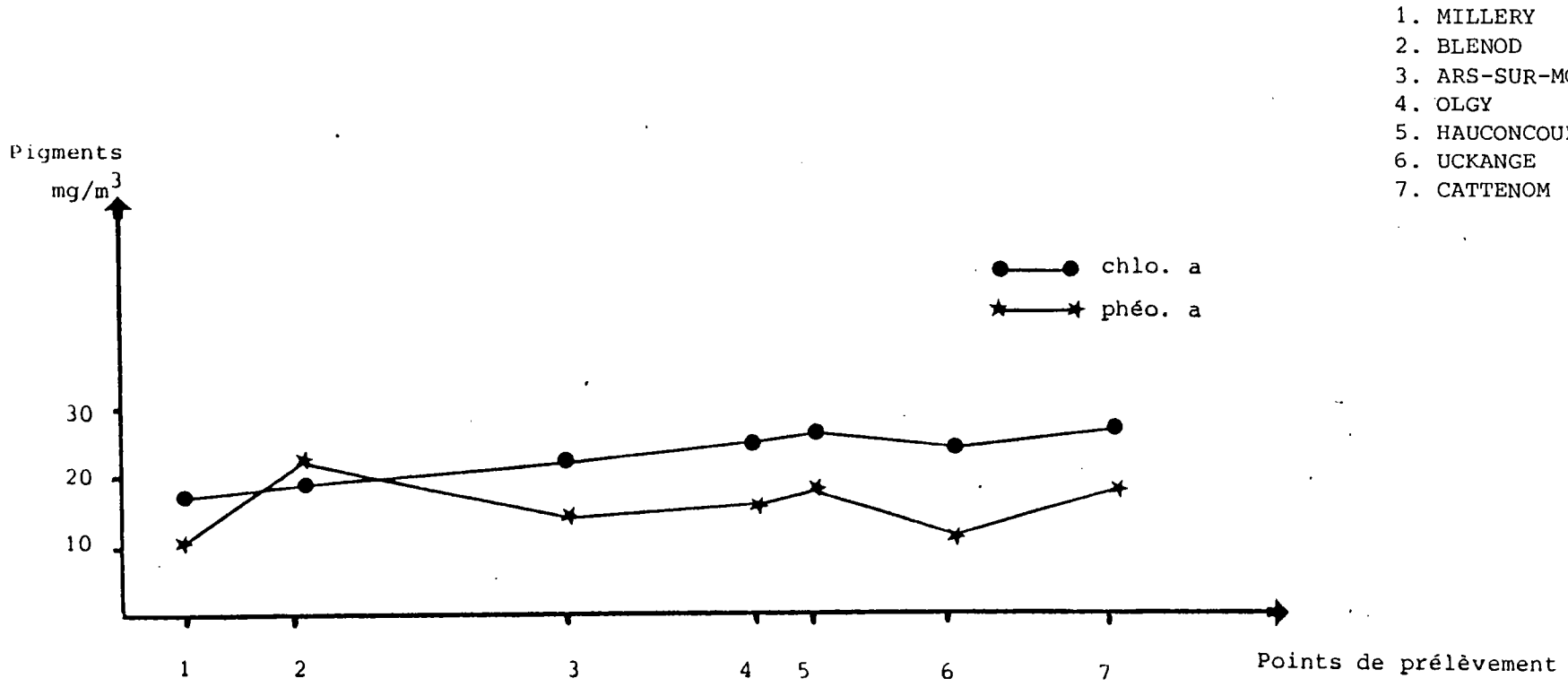


FIGURE f1 VALEURS MOYENNES DES CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A ET EN PHÉOPHYTINE A MESURÉES SUR LA MOSELLE EN 1979 (SECTEUR DE MILLERY À CATTENOM) (SADROLASCHRAFI D., 1980)

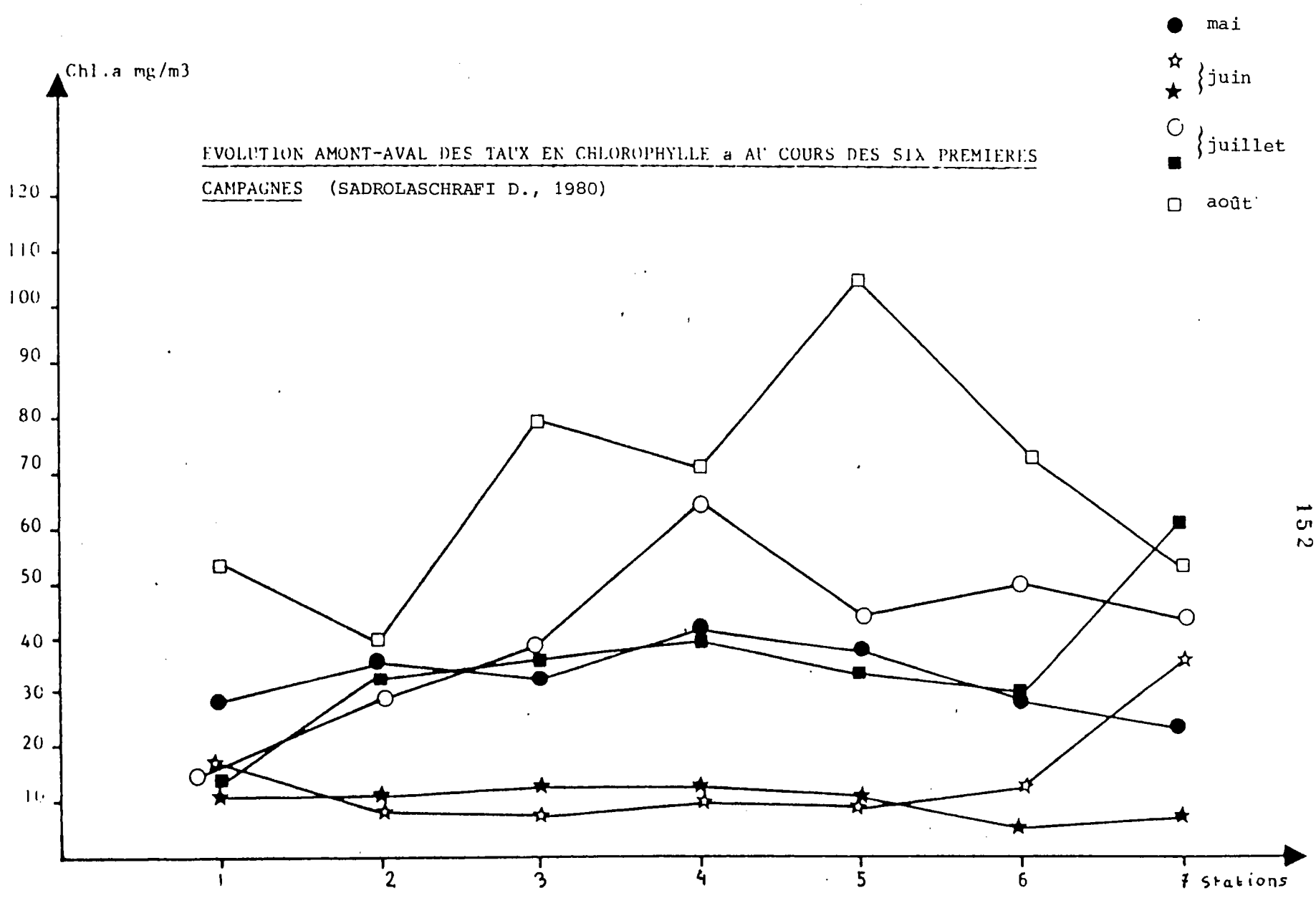

Chl.a mg/m3
EVOLUTION AMONT-AVAL DES TAUX EN CHLOROPHYLLE a AU COURS DES SIX PREMIERES CAMPAGNES (SADROLASCHRAFI D., 1980)
mai
juin
juillet
août
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
1
2
3
4
5
6
7 stations

Fig. f2

• Secteur VELLE-FROUARD

Le MADON, déjà signalé pour les sulfates, connaît conjointement des teneurs maximales élevées en NO_3^- (classe 4), orthophosphates (classe 5) et potassium (classe 3). Le niveau d'eutrophisation de cet affluent a fait l'objet d'études spécifiques (Rapport Technique de l'opération pilote Haute-Moselle, A.F.B.R.M., 1979).

Cette étude insiste sur les activités agricoles fondées sur l'élevage bovin, ovin et porcin (fig. 18 D et 18 E) qui expliqueraient des charges organiques importantes dans les hauts bassins (MADON, GITTE, SAULE, COLON, BRENON) ; ces derniers entraînant des valeurs élevées en NH_4^+, NO_3^- et PO_4^{---}. Précisons à ce sujet que l'existence d'une laiterie à VILLE sur ILLON peut tout aussi bien expliquer ces teneurs en NO_3^-, $PO4^{---}$ et K^+ ; en effet, il est bien connu que les boues des stations d'épuration des laiteri renferment, par tonne de poids sec : 67 kg d'azote, 70 kg de phosphore (P_2O_5) 10 kg de potasse (K_2O). Mais il semble bien que la teneur en ces éléments des eaux du MADON à XEUILLEY provienne essentiellement de l'activité agricole.

La MOSELLE à MARON n'est pas sensiblement influencée par le MADON. A LIVERDUN, il y a augmentation sensible des teneurs en NO_3^- (classe 4) et K^+ (classe 3) depuis 70-71. Les teneurs en $NO3^-$ résultent sans doute des activités urbaines et industrielles des agglomérations de NEUVES-MAISONS et LIVERDUN.

• Secteur FROUARD-METZ

Les qualités des eaux de la MOSELLE est préoccupante avec de fortes teneurs en NO_3^-, K^+, $PO4^{3-}$, et ABS, ceci depuis 1971, année particulièrement sèche.

Le potassium a pour origine les rejets des salines et soudières (enquête personnelle auprès des industriels). Les soudières signalent des teneurs de 900 mg/l de K^+ dans les saumures avant passage dans les réservoirs de décantation.

Des relevés instantanés ponctuels effectués le 26 juin 1981 indiquent qu'à l'amont du rejet de l'usine Solvay les eaux de la Meurthe ont une teneur de 3,2 mg/l de K^+ ; à l'aval, au pont de St Nicolas de Port, la teneur passe à 13,2 mg/l à la suite des rejets de l'usine précitée cummuns avec ceux de la ville de DOMBASLE, mais aussi des rejets de Rhone Poulenc.

De plus, il ne faut pas oublier que les eaux apportées par le San titrent 5,5 mg/l par suite, essentiellement, du déversement, dans cet affluent de la Meurthe, des eaux de la source saline de La Folie (riches en Na Cl et KCl). Les chiffres sensiblement plus élevés enregistrés à Bouxières, donc juste avant la confluence de la Meurthe avec la Moselle (souvent plus de 20 mg/l de K^+), s'expliquent par l'adjonction des rejets de l'agglomération nancéienne. Ce cumul d'apports en eaux riches en K^+ se traduit, à Millery, par une teneur de 12 mg/l et plus des eaux de la Moselle en cet élément.

L'impact de la MEURTHE sur la MOSELLE se visualise déjà à CUSTINES qu'il convient de comparer avec FROUARD. L'évolution se confirme à MILLERY mais le manque de données en PO_4^{3-} est regrettable ; K^+ et NO_3^- sont en classe 3 et 4 de 71 à 74, avec persistance de la classe 4 pour les teneurs maximales en nitrates à partir de 1972.

La station de BLENOD se caractérise par sa richesse en orthophosphates (classe 4 de 72 à 74) avec des teneurs maintenues en NO_3^-, K^+. Par contre, les teneurs en ABS diminuent régulièrement de 71 à 74.

Le RUPT DE MAD, comparé au MADON, apporte plus de nitrates (1974) mais moins de PO_4^{3-}. K^+ se situe au même niveau. Le rapport du S.R.A.E.L. (1972), sur la qualité des eaux du RUPT-DE-MAD souligne que cette rivière peu profonde, assez bien ensoleillée, de pente faible, héberge une végétation riche et envahissante qui ralentit considérablement le courant et favorise l'envasement. En période d'étiages, on note une tendance à l'asphyxie.

Les teneurs en NO_3^- peuvent provenir d'un lessivage accentué des sols dans une zone accidentée. L'épandage d'engrais au printemps influencerait les teneurs en phosphates relevées en cette saison. La carte (fig. 18 C) du pourcentage de surface céréalière dans le SAU plaide en faveur de cette interprétation. Les détergents sont liés aux activités urbaines ; ils régressent dans le temps.

. A METZ, nous ne disposons que de l'année 71 Le bilan montre que K^+ et PO_4^{3-} se maintiennent à un niveau élevé alors que NO_3^- ne dépasse pas la deuxième classe.

• Secteur confluence de la SEILLE-BERTRANGE

La SEILLE présente une croissance progressive de 1967 à 1974 des teneurs en NO_3^- (passage de la classe 2 à la classe 5). K^+ passe de la classe 3 à la classe 4. Il est en grande partie d'origine naturelle, lié au fait que la SEILLE coule sur des terrains salés du KEUPER.

Outre l'origine urbaine, il faut expliquer les teneurs en NO_3^- par l'activité rurale (lessivage d'engrais et sans doute aussi développement du drainage agricole dans une vallée aux sols présentant souvent un caractère d'hydromorphie).

A HAUCONCOURT, les classes maximales ne changent pas par rapport à BLENOD. Les minimales passent, pour NO_3^-, de 1 à 3, tandis que les maximales atteignent la classe 4.

L'ORNE apporte des eaux très chargées en NO_3^- et K^+ et particulièrement depuis 1970 (classes maximales respectivement 5 et 4). La présence de potassium s'explique, pour les industriels de la sidérurgie, par l'existence de cet élément dans le minerai (DI MARZIO, 1976). L'enrichissement en K^+ est signalé dans les eaux de lavage des gaz de Hauts-fourneaux. Les purges de ces circuits libèrent donc très certainement du potassium. D'autre part, les eaux de ruissellement des crassiers sont parfois enrichies en cet élément. Lors de l'étude de la pollution minérale, nous avons précisé l'origine différente des sulfates, à savoir l'eau d'exhaure des mines.

L'impact de l'ORNE est très net sur les eaux de la MOSELLE à UCKANGE; les nitrates atteignent en maxima la classe 5 en 1973, avec conjointement PO_4^{3-} en classe 5. Ces valeurs sont en liaison avec les activités urbaines et industrielles de la conurbation de la vallée de l'ORNE et de la MOSELLE.

Comme observé à BLENOD, les ABS diminuent progressivement de 71 à 74 de la classe 3 à la classe 1. En règle générale, le niveau des ABS en 1971 est de 3, de BLENOD à BERTRANGE.

- Secteur confluence de la FENSCH-SIERCK-LES-BAINS

La FENSCH, qui reçoit uniquement des effluents industriels et domestiques, se singularise par le potassium atteignant la classe 5. Le potassium, comme pour l'ORNE, s'explique par l'activité industrielle sidérurgique. En 1971, les orthophosphates et les ABS atteignent également la classe 5. L'absence de données, pour les autres années, en ces deux éléments, ne permet pas de suivre l'évolution.

Pour la seule année exploitable, 1971, il y a une nette influence de la FENSCH et des rejets de la zone urbaine thionvilloise sur la qualité des eaux de la MOSELLE à THIONVILLE (PO_4^{3-}, NO_3^-, ABS).

De MANOM à la frontière, le niveau d'eutrophisation s'élève avec le constat plus fréquent de la classe 5 en nitrates et la présence de PO_4^{3-} en classe 3 vers SIERCK. La CANNER apporte NO_3^- et PO_4^{3-}.

II. BILANS COMPARES 1965-1974 et 1965-1978

A. Evolution amont-aval (fig. 27 : E-F-G-H ; tableau XV, de 1 à 9)

Le potassium (fig. 27 H) croît légèrement de CHATEL à LIVERDUN puis, avec l'arrivée de la MEURTHE, présente une croissance très marquée en liaison avec l'industrie salifère de la vallée de la MEURTHE. Après une légère décroissance due à la dilution, on remarque un nouvel accroissement des teneurs en fonction de l'activité sidérurgique des vallées de l'ORNE et de la FENSCH. L'existence d'une régulation des rejets salins depuis 1974, se traduit par une atténuation des teneurs entre les bilans 1965-1974 et 1965-1978.

Les nitrates s'accroissent progressivement d'amont en aval (fig. 27 E) avec une aggravation vers la frontière, en liaison avec les activités industrielles et urbaines à l'aval de METZ. Contrairement au potassium, la situation s'aggrave entre les bilans 65-74 et 65-78. Nous reprendrons ce point particulier ci-dessous en liaison avec l'étude de l'impact possible du développement du drainage agricole associé à l'accroissement très important des épandages d'engrais.

Les données des orthophosphates sont plus fragmentaires (fig. 27 F) mais vont dans le même sens que celles des nitrates.

Les ABS (fig. 27 G) présentent un bilan plus favorable dans la série 71-78 que dans la série 71-74.

B. Evolution des fréquences de valeurs par classes et par stations (1965-1974 et 1965-1978) (fig. 28, 30,31,33,35,36 : E et fig. 29,32,34 : E-F, tab. XVI de 1 à 9)

La lecture des bilans comparés des fréquences de valeurs mensuelles par classes au niveau des deux périodes considérées montre, pour le potassium, que la régulation des rejets salins bénéficie à la classe moyenne (classe 3) à l'aval de la confluence de la MEURTHE.

Pour les nitrates, il y a par contre aggravation avec régression de la fréquence des valeurs appartenant aux classes 1 et 2 et apparition plus fréquente des classes 3, 4 et parfois 5 (HAUCONCOURT - MANOM - SIERCK).

Pour les orthophosphates, les données sont incomplètes ; les bilans, commençant en 1971 et concernant les stations de VELLE, BLENOD, UCKANGE, montrent une tendance identique à l'aggravation des teneurs avec accroissement de la fréquence des valeurs appartenant à la classe 5.

Les ABS régressent dans le deuxième bilan (1971-1978) ; ceci en liaison avec une modification des molécules tensioactives des nouveaux détergents.

III. ORIGINES PROBABLES DE L'ACCROISSEMENT DES TENEURS EN NUTRIENTS N-P-K. Eléments de solutions

De nombreux travaux récents (S.R.A.E.L., 1979; MARTIN, 1981) ont prouvé la mobilité de l'azote nitrique du fait des techniques de drainage et également des techniques culturales qui favorisent la mobilisation des nutrients :

- *de moins en moins d'assolement et de rotation des cultures (diminution des cultures fourragères),*
- *augmentation des sols nus en hiver alors que l'épandage des engrais à l'automne est suivi d'un lessivage important, accru par le drainage ; durant cette période hivernale, alors que le sol est, rappelons le, souvent nu, s'exerce aussi, de façon optimale, le ruissellement ; le rôle de ce dernier dans le transport d'éléments minéraux est tout aussi important que celui du drainage. Le rapport du S.R.A.E.L. "Entraînement d'éléments fertilisants et d'herbicides par les eaux de drainage", 1979 mentionne en effet, à partir d'expériences menées au niveau de la ferme expérimentale de la BOUZULE, que les eaux de ruissellement sont plus riches en éléments liés au sol (K^+, NH_4^+, PO_4^{---}) tandis que les eaux de drainage sont plus riches en éléments solubles (Ca^{++}, SO_4^{--}, NO_3^-), comme le montrent les 2 tableaux suivants (S.R.A.E.L., 1979) :*

éléments / sols	Ca^{++}	K^{+}	SO_4^{--}	NH_4^{+}	NO_3^{-}	PO_4^{---}
Pelosol	21,3	4,6	21,6	2,7	16,9	0,45
Sol brun lessivé	15,3	4,3	22,3	4,6	28,8	0,62

Composition moyenne des eaux de ruissellement superficiel en mg/l (mai 1974 - avril 1975)

éléments / sols	Ca^{++}	K^{+}	SO_4^{--}	NH_4^{+}	NO_3^{-}	PO_4^{---}
Pelosol	170,9	3,88	220,2	0,84	56,0	0,32
Sol brun lessivé	92,5	5,05	63,1	1,13	87,7	0,31

Composition moyenne des eaux de drainage en mg/l (mai 74 - avril 75)

Dans d'autres régions s'ajoute le fait d'une irrigation intensive entraînant les nitrates (culture intensive de maïs en BEAUCE et GATINAIS; MARTIN, 1981).

Les eaux de la MOSELLE représentent peut-être un cas particulier du fait de la présence conjointe de K^{+}. L'exploitation des données de la D.D.A. concernant l'évolution du drainage (fig. g1 et g2 ci-jointes) et celle de la consommation d'engrais N-P-K déjà étudiée dans la première partie de ce travail (tableau IX), montre que le drainage s'intensifie notamment dans les zones humides et que la consommation d'engrais va croissant.

Il faut également mentionner, d'après le rapport du S.R.A.E.L. "Entraînement d'éléments fertilisants et d'herbicides par les eaux de drainage", 1979, que les apports "agricoles" de potassium peuvent fort bien provenir non seulement des épandages d'engrais potassiques, mais également des épandages de lisier au cours de l'hiver. Or, les régions du bassin de la MOSELLE pratiquant l'élevage du porc coïncident assez curieusement avec des secteurs dont les rivières ont des eaux précisément riches en K^{+} : bassins du MADON, de la SEILLE, de l'ORNE, de la MOSELLE en aval de METZ. Beaucoup de ces secteurs ont également connu, de 1970 à 1980, un fort développement du drainage (fig. g2 ci-jointe).

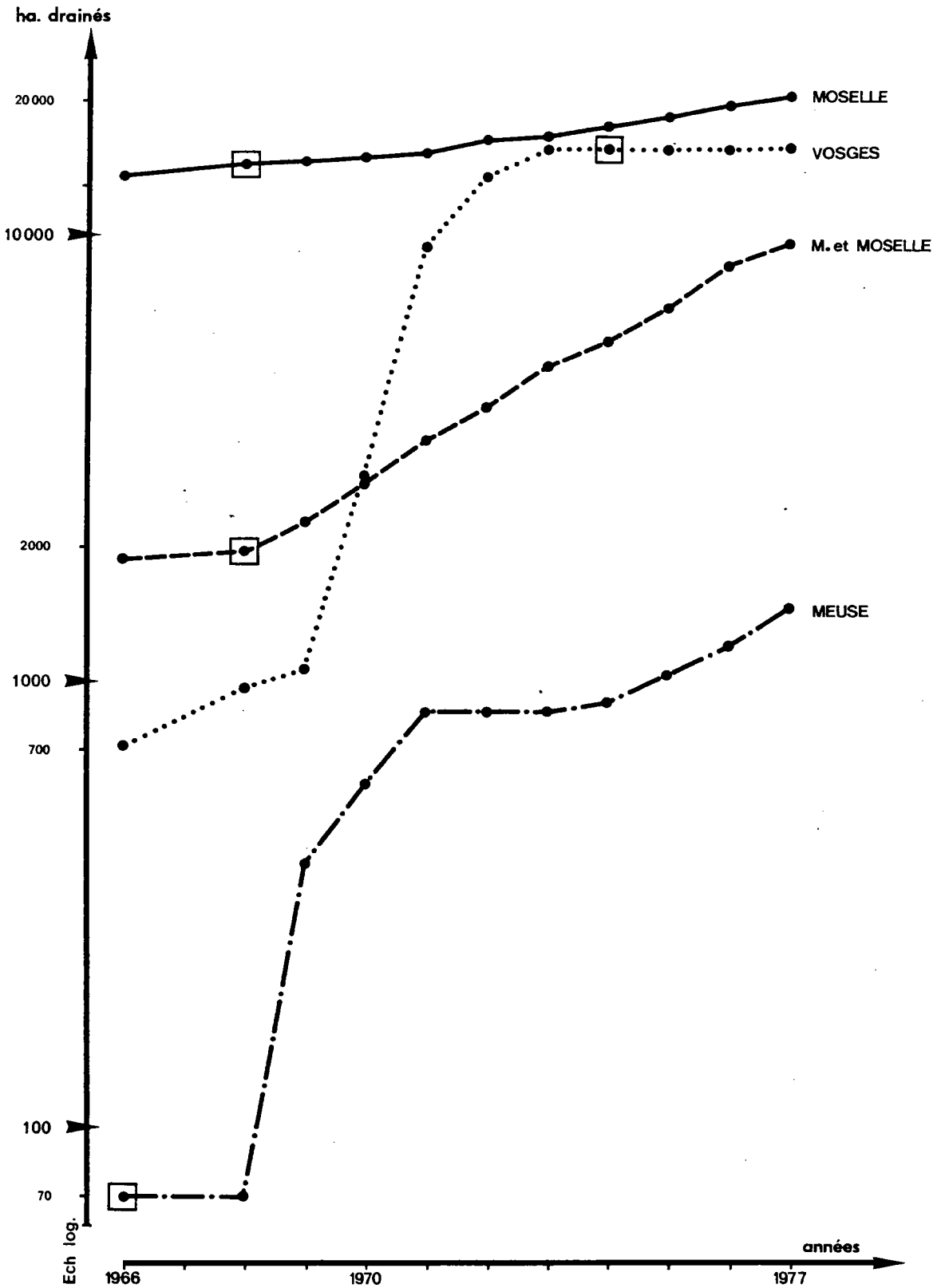
En effet, ce dernier s'est particulièrement intensifié dans la haute vallée de la MOSELLE, la vallée de la SEILLE, la basse vallée de la MEURTHE, la vallée de l 'ORNE.

Précisons, par ailleurs, que si la pollution azotée trouve une de ses origines dans l' entraînement de nitrates, directement à partir de terres cultivées (par ruissellement ou drainage), elle peut aussi emprunter des voies détournées en contaminant d'abord les nappes, lesquelles réalimentent par la suite les rivières.

Fig. g 1 Evolution du drainage agricole effectué dans le cadre d'opérations collectives en LORRAINE (4 départements) 1966-1977

Dates d'abandon du drainage par fossés et drains-poterie

S.ce : S.R.A.E.L.



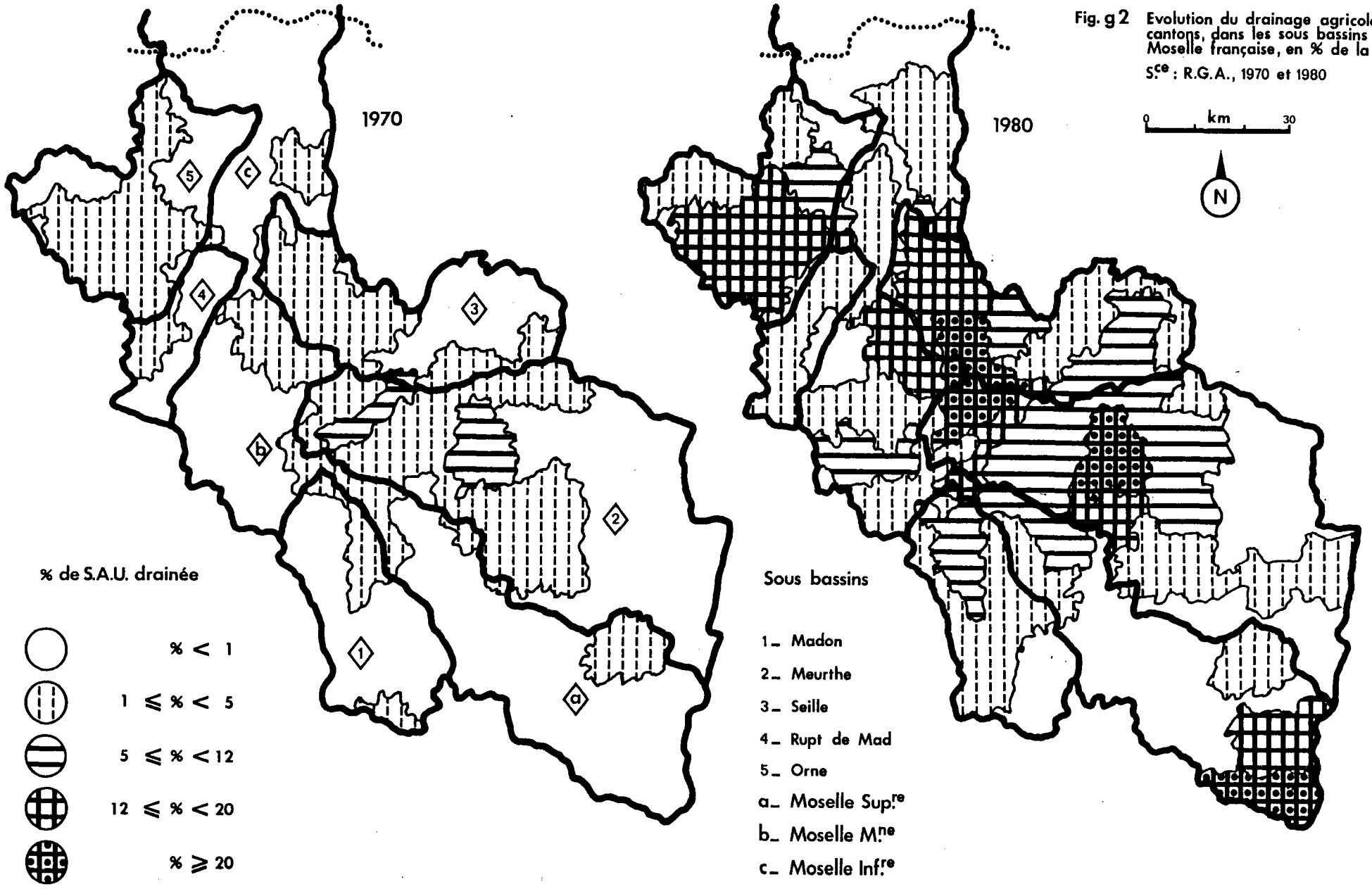


Fig. g 2 Evolution du drainage agricole, par cantons, dans les sous bassins de la Moselle française, en % de la S.A.U.

S.ce : R.G.A., 1970 et 1980

Actuellement, des remèdes sont proposés (DAVID, 1977 ; MARTIN, 1981), d'une part en modifiant les pratiques culturales (utilisation d'un supplément de N par des cultures dérobées et spécialement des engrais verts crucifères, graminées...) d'autre part en ralentissant la nitrification. Le maintien d'une couche humifère est, dans ce sens, favorable. Ainsi, l'emploi des apports organiques entraîne une fixation de N par un supplément de carbone qui peut provenir de l'enfouissement de matière végétale (paille, par exemple).

La part respective entre l'apport nitrique dû à l'épandage des divers engrais et celui dû à la nitrification varie selon les régions. En règle générale, on peut estimer qu'en cas de drainage, un contrôle plus efficace des épandages d'engrais soit fait car les quantités de nutrients évacués (azotés notamment) dépendent directement de la dose appliquée (P. CROS, in le Géomètre, n° 5, mai 1978) et de la saison d'épandage (développer les apports de N au printemps et limiter ceux d'automne). Il convient aussi de favoriser le maintien des forêts et des prairies permanentes moins polluantes.

La pollution azotée est également à considérer pour une grande part car il faut souligner que les rejets des stations d'épuration domestiques sont très riches en nitrates. On admet un rejet de 15 g de N par habitant et par jour. Il est actuellement reconnu que l'eutrophisation préoccupante de nos rivières ne sera combattue que par un plan d'ensemble concernant le traitement des eaux usées et les techniques agricoles.

Nous avons particulièrement insisté sur le bien fondé d'études ultérieures sur l'impact des teneurs en K^+ dans la MOSELLE, bien que ce facteur ne soit pas actuellement pris en considération dans les modèles d'eutrophisation en rivière, mis au point par exemple par le Centre des Etudes et Recherches de l'E.D.F. à CHATOU.

L'eutrophisation dans le bassin de la MOSELLE constitue le problème à résoudre dans l'avenir, et ce, d'autant plus que la poursuite des assainissements collectifs continuera à diriger les effluents domestiques sur les cours d'eau. Jusqu'à présent, masqués par la pollution organique ordinaire, les effets des composés azotés (ammonium et nitrates) et du phosphore, du potassium, se traduisent par ce phénomène complexe qu'est l'eutrophisation.

Outre les méthodes préventives préconisées au niveau agricole, il en existe d'autres au niveau urbain et industriel qui consistent en une réduction des rejets, laquelle ne peut conduire qu'à une amélioration de la qualité des cours d'eau. Il existe des technologies de nitrification-dénitrification des effluents industriels et collectifs par boues activées, pour éliminer l'azote. Ces technologies devraient permettre de résoudre les problèmes de rejets d'azote ammoniacal dans les cours d'eau au niveau des grandes agglomérations et de certaines industries telles que les cokeries par exemple.

Enfin, la réduction de l'eutrophisation est capitale dans la mesure où elle permet de lutter contre la toxicité de l'ammonium pour le poisson et, du même coup, d'améliorer la qualité permanente de l'eau pour d'autres usages.

SECTION III : ÉTUDE DE LA POLLUTION ORGANIQUE

Evolution des facteurs de pollution organique : DBO_5, oxydabilité au $KMnO_4$, NH_4^+ et teneur en O_2 dissous (% de saturation).

L'eau d'une rivière recevant les effluents est un lieu d'équilibre entre l'apport de matières organiques d'origines diverses (naturelle, industrielle ou urbaine) et leur disparition sous l'action de micro-organismes épurateurs.

Normalement, l'eau parvient à éliminer, par une série de transformations (physiques, chimiques, biologiques) les éléments nocifs qu'elle contient (phénomène d' autoépuration). Mais ceci n'est possible que si la pollution arrivant dans le milieu reste en-dessous d'un seuil critique.

En général, les matières organiques sont détruites par minérali - sation donnant naissance à des produits oxygénés (H_2O, CO_2, ou NO_3). Cette destruction dépendra de nombreux facteurs, tels que la richesse du milieu en O_2, la température, qui règlent l'activité microbienne.

Dans les eaux usées, l'évolution des matières organiques passe schématiquement par 2 phases pour ce qui est de la consommation d'oxygène :

- *la demande première en O_2 : les composés carbonés sont détruits les premiers en un laps de temps d'autant plus bref que la température de l'eau est élevée (une semaine à 30°C ; 3 semaines à 20°C ; 4 semaines à 10°C). Parallèlement, la décomposition des protéines s'amorce (au bout de 10 jours à 20°C) pour ensuite dominer et s'étendre sur une longue période.*

- *la demande seconde en O_2 ; c'est la phase de la minéralisation de l'azote organique. Celle-ci ne peut se dérouler que lorsque la dégradation des protéines est suffisamment avancée, et à condition que le milieu soit alimenté en permanence par d'importants apports d'oxygène. Elle débute après 20 jours, sans se superposer à la première phase. La minéralisation de l'azote organique se fait en deux stades :*

  . action des bactéries nitrosantes qui oxydent l'azote organique (ammoniacal) en nitrites:

  $$2\ NH_3 + 3\ O_2 \rightarrow 2\ NO_2H + 2\ H_2O$$

  . action des bactéries nitrifiantes qui oxydent les nitrites en nitrates:

  $$2\ NO_2H + O_2 \rightarrow 2\ NO_3H$$

Les pertes en oxygène de la rivière à la suite de cette minéralisation en milieu aérobie sont compensées :

. *par la teneur en O_2 du milieu,*
. *par l'assimilation chlorophyllienne,*
. *par la capacité d'absorption par la surface et la réaération de l'eau par les chutes (l'agitation de l'eau favorisant son oxygénation).*

La quantité d'oxygène dissous dans l'eau définira donc la qualité biologique de celle-ci :

. *les salmonidés exigent au moins 5 mg/l d'O_2;*
. *les cyprinidés se contentent de 4 mg/l d'O_2.*

Un apport **intense** de substances organiques entraîne progressivement en cas d'aération insuffisante un appauvrissement de la teneur en O_2 des couches profondes de l'eau ; cela provoque la mort par asphyxie de nombreux êtres vivants (poissons).

Toutefois, si dans le type d'évolution des matières organiques que nous venons d'évoquer n'apparaissent à aucun moment des substances toxiques, il importe de signaler un cas particulier :

lorsque des déchets alimentaires, des protéines se décomposent dans le fond d'une rivière lente, ces dépôts peuvent connaître en été un processus de décomposition anaérobie donnant naissance à des composés réducteurs, sulfurés ou phosphorés qui rendent le milieu toxique pour la vie aquatique : la rivière meurt.

Les facteurs qui modifient la consommation d'O_2 dissous et la réaération ou réoxygénation, par dissolution de l'oxygène atmosphérique, des eaux d'une rivière déterminent le pouvoir auto-épurant de celle-ci.

I. EVOLUTION DE LA POLLUTION ORGANIQUE SELON LES TABLEAUX CARTOGRAPHIQUES : 1965-1974 (voir également tableau XI de 1 à 35)

• Secteur amont, de la source à VELLE

La pollution organique se signale dès la Haute MOSELLE avec fréquemment des teneurs minima et maxima en NH_4^+ en classe 2, avec passage en classe 3 à SAULX (1974) qui dénote un état de pollution insidieuse. L'oxygénation reste cependant satisfaisante. Toutefois, en 1974, à CHATEL-NOMEXY, le taux de saturation en O_2 descend en-dessous du mimimum admissible. La DBO_5 et l'oxydabilité sont déjà excessives avec apparition des classes 2 et 3. La situation de la VOLOGNE (JARMENIL) est à ce titre très révélatrice. Un rapport du S.R.A.E.L., en 1972, concernant la qualité des eaux de cette rivère, signalait l'impact, sur celle-ci, des industries spécifiques de la région vosgienne (papeteries, textiles, alimentaires) (fig. 20 E).

Le rapport technique de l'opération pilote Haute MOSELLE (A.F. B.R.M., 1979) met l'accent également sur l'incidence des activités humaines (domestiques, agricoles, industrielles) au niveau du bassin supérieur de la MOSELLE :

. Les rejets des agglomérations : LE THILLOT, BUSSANG, REMIREMONT, GERARDMER; ou des industries agricoles telles que les laiteries et fromageries (à ROCHESSON, THOLY, CORCIEUX) influent sur la demande en O_2 et sur le cycle de l'azote. Mais ces pollutions sont facilement assimilables par le milieu même si les rejets d'agglomérations à activités touristiques saisonnières (la BRESSE, GERARDMER) posent divers problèmes.

. Les valeurs de DBO_5 et d'oxydabilité sont, elles, surtout influencées par les rejets des nombreuses papeteries et industries textiles (blanchiments) comme nous l'avons précisé plus haut.

• Secteur VELLE-FROUARD

Dans la région de VELLE, la DBO_5 revient à une valeur acceptable (classe 2) tandis que NH_4^+ se maintient également en classe 2, tout au long de l'année, de 71 à 74.

Le MADON amène des eaux de qualité douteuse avec une DBO5 toujours en classe 3 et un certain déficit en oxygène. NH_4^+ atteint la classe 3 en 1973 . Cette situation a pour origines :

. *une activité agricole importante comme le montrent les cartes 18 D et 18 G, basée sur l'élevage bovin et porcin mais également ovin,*

. *des rejets domestiques dans une rivière à faible débit (MIRECOURT notamment),*

. *des rejets industriels : laiteries et séchage de lacto-sérum à MIRECOURT.*

A **MARON** puis à DOMMARTIN-LES-TOUL, NH_4^+ et DBO5 atteignent la classe 3.

A LIVERDUN, la situation s'améliore avec un retour aux classes 2 pour les maxima et ce pour l'ensemble des paramètres.

Le secteur amont du cours de la MOSELLE subit l'influence d'agglomérations et d'industries. Parmi les agglomérations, les plus importantes sont : EPINAL, GOLBEY, THAON-LES-VOSGES, CHARMES, NEUVES-MAISONS, TOUL, LIVERDUN.

Les industries se signalent encore par les secteurs textile (THAON, NOMEXY) et alimentaire : conserverie (GRIPPORT, LIVERDUN) ; abattoirs (CHARMES) ainsi que par la sidérurgie (NEUVES-MAISONS) et la zone industrielle de TOUL.

Ces sources de perturbation expliquent les classes observées pour la DBO5, l'oxydabilité et NH_4^+ . La teneur en cet élément (classe 3 à MARON et DOMMARTIN-LES-TOUL) est à mettre en liaison avec les activités sidérurgiques du secteur de NEUVES-MAISONS.

• Secteur FROUARD-METZ

La MEURTHE apporte des eaux de qualité douteuse à médiocre pour tous les paramètres avec un important déficit en oxygène; l'année 71, sèche, est particulièrement critique avec NH_4^+ en classe 4. Cet état est dû principalement à l'influence de l'agglomération nancéienne. La mise en fonctionnement de la station d'épuration de MAXEVILLE, en décembre 1970, ne se traduit, elle, que par une légère amélioration des teneurs en oxygène dissous en 73 et 74.

A CUSTINES, MILLERY, BLENOD, NH_4^+ persiste en classe 3, l'oxygénation s'améliore progressivement vers l'aval, la DBO5 domine en classe 3 pour les maxima et les minima s'élèvent en classe 2.

Le RUPT-de-MAD apporte une pollution modérée.

La station de METZ, en amont de l'agglomération, révèle un état douteux, classe 3 en NH_4^+, DBO5 et oxydabilité.

• Secteur confluence de la SEILLE-BERTRANGE

La SEILLE apporte des eaux très chargées avec une classe 4 pour la DBO_5 en 72-73, et une oxydabilité en classe 3. NH_4^+ se maintient entre les classes 2 et 3. L'oxygénation est déficiente dans la période 70-73 avec 34 % de saturation seulement en 1972.

Selon le rapport du S.R.A.E.L. (1972) consacré à la pollution des eaux dans le bassin de la SEILLE, la charge organique de cette rivière a trois causes :

- *l'activité urbaine : principalement DIEUZE et METZ,*
- *l'activité industrielle : 2 laiteries-fromageries,*
- *l'activité agricole: en 1970, 13 680 porcs recensés (fig. 18E) utilisation d'engrais chimiques et organiques. La pratique de l'épandage de lisiers et purins sur les prairies afin d'éviter le rejet direct dans la rivière ou dans les réseaux d'assainissement communaux, de même que l'épuration des rejets des plus grosses porcheries du bassin figuraient dès 1972 parmi les remèdes proposés par le S.R.A.E.L. pour réduire la pollution organique de la rivière.*

Toutefois, à la station de METZ, l'état de la SEILLE traduit avant tout une pollution urbaine intense.

A HAUCONCOURT, les périodes de déficience en oxygène sont plus importantes (65-66 puis 69-73).

NH_4^+ et la DBO5, se maintiennent en classe 3 en maxima. Le secteur aval de METZ est influencé par les eaux de la SEILLE et les rejets de l'agglomération urbaine de METZ qui se répartissent d'ailleurs à cette époque entre la SEILLE et la MOSELLE. La station d'épuration de l'agglomération messine n'a été mise en service qu'en 1975.

L'ORNE apporte des eaux très chargées et déficientes en oxygène, à une exception près (1967). NH_4^+ évolue entre les classes 3 et 5. La DBO5 atteint fréquemment la classe 4. Les teneurs élevées en NH_4^+ sont liées aux rejets des cokeries et des stations d'épuration. La cokerie d'HOMECOURT rejettait 1,4 kg/T de coke; **elle** n'a interrompu ses activités qu'en juillet 1980.

Compte tenu des classes retenues on ne perçoit pas d'influence de la qualité des eaux de l'ORNE sur la MOSELLE à UCKANGE et BERTRANGE. L'oxygénation est par exemple meilleure qu'à HAUCONCOURT.

- Secteur confluence de la FENSCH-SIERCK-LES-BAINS

Les eaux de la FENSCH représentent, pour tout le bassin, la qualité la plus mauvaise. Il s'agit d'un exutoire industriel (cokerie de SERREMANGE, sidérurgie) et urbain. Depuis 1980, l'arrêt des cokeries doit diminuer sensiblement le niveau de pollution en NH_4^+. L'asphyxie peut être totale. La classe 5 est atteinte simultanément, dans certains cas, pour tous les facteurs (65-66; 71-72).

La station de THIONVILLE et pour les seules données de 1971 est influencée par un déficit en oxygène et une classe 4 en NH_4^+.

A MANOM, il y a déficit permanent en O2, sauf en 70. NH_4^+ régresse en classe 3 ainsi que la DBO5.

Cet état se maintient jusqu'à SIERCK avec cependant une légère amélioration des teneurs en oxygène.

II. BILANS COMPARES 1965-1974 ET 1965-1978

A. Evolution amont-aval (fig. 27 : I.J.K.L. ; tableau XV de 1 à 9)

La DBO5 évolue en s'accroissant d'amont en aval dans les deux périodes étudiées qui ne présentent pas significativement de différence. Il convient de souligner que les stations de VELLE, BLENOD et UCKANGE ne comportent pas de relevés pour les années 65-70. La même constatation peut être faite pour l'oxydabilité mais pour ce facteur, il faut indiquer qu'un changement de technique analytique est survenu au cours des années 73 à 78. L'oxydation se faisant soit à froid soit à chaud.

NH_4^+ croît nettement d'amont en aval et présente un niveau supérieur pendant la période 65-78 par rapport à 65-74.

L'oxygène dissous diminue d'amont en aval.

En faisant abstraction des stations non étudiées de 65 à 70, on peut constater une très légère amélioration dans la période 65-78 par rapport à 65-74.

B. Evolution des fréquences de valeurs par classes et par stations (1965-1974 et 1965-1978 - fig. 28 à 36 A-B ; tableau XVI de 1 à 9)

On ne tiendra pas compte des stations de VELLE, BLENOD et UCKANGE dont les données portent sur une période plus courte.

Dans la partie amont, jusqu'à METZ, on ne voit pas d'amélioration dans la fréquence d'apparition des classes de meilleure qualité.

La station d'HAUCONCOURT (fig. 33 : A-B) présente par contre une amélioration pour tous les paramètres de pollution organique. Ceci s'explique par la mise en fonctionnement de la station d'épuration de METZ en mai 1975 (capacité de 322 000 Eq.H).

. Une légère amélioration est constatée également dans la région en aval de MANOM (fig. 35 : A-B) sauf pour NH_4^+, ceci en liaison avec un programme d'épuration domestique qui n'intéresse pas les rejets industriels favorisant NH_4^+. Vers la frontière (SIERCK) seule l'oxygénation s'améliore après 1974 (fig. 36 : A-B).

Il est admis que, malgré un programme important d'épuration, de gros efforts restent à faire en ce qui concerne le fonctionnement des stations d'épuration, leur exploitation et l'efficacité des réseaux de raccordement (RHIN-MEUSE information n° 11, 15, 16).

III. LA LUTTE CONTRE LA POLLUTION ORGANIQUE ET SES LIMITES

A. Au niveau des collectivités locales

La capacité d'épuration des stations d'épuration des collectivités locales en service dans le bassin versant de la MOSELLE française s'élevait à 1 527 105 eq. h. en 1978 contre 113 510 eq. h. au 1.1.68 (multiplication par 13,5 en 11 ans). Dans le même temps, le nombre de stations mises en service passait de 56 à 202, sur le même espace géographique (fig. h page suivante).

Si l'efficacité d'ensemble des stations d'épuration s'établit à 82% d'élimination de la pollution reçue (M.E.S.T. et M.ox), elle varie assez fortement selon la taille de l'ouvrage :

. en-dessous de 1000 h. eq. de capacité : 55 %
. de 1000 à 5000 h. eq. de capacité : 70 %

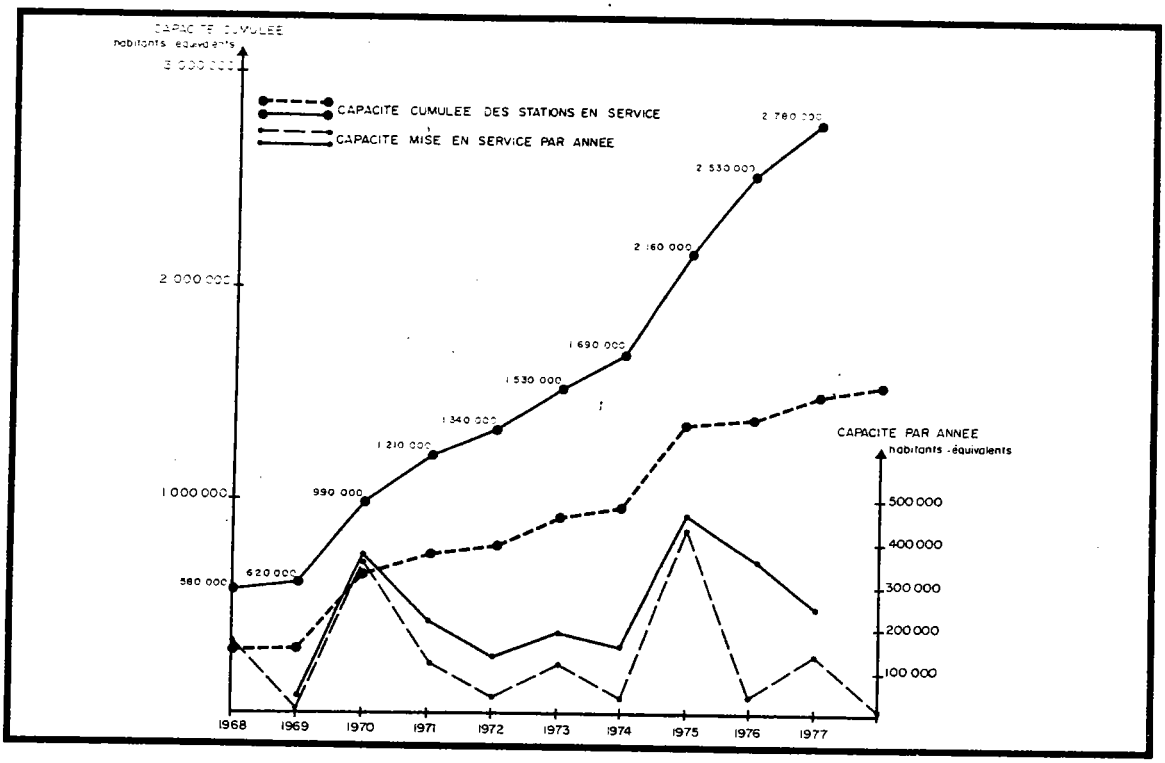
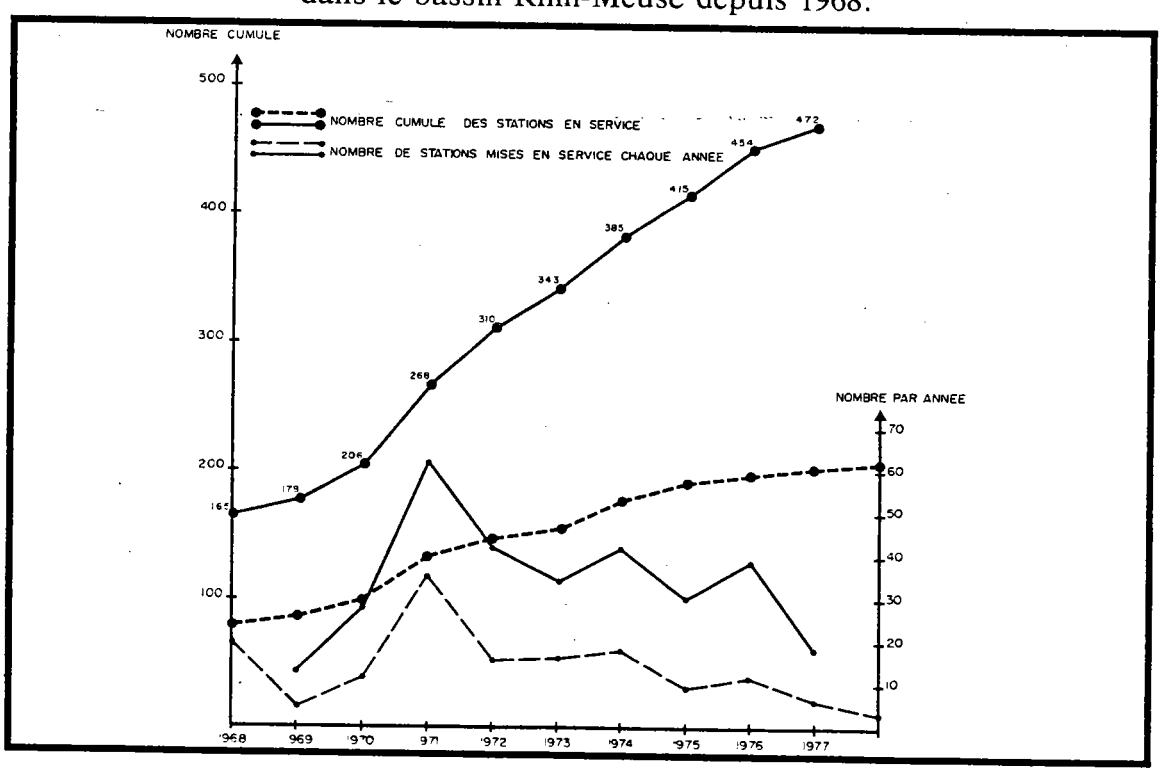


fig. h : Comment a évolué le parc des stations d'épuration des collectivités locales dans le bassin Rhin-Meuse depuis 1968.



●——● ——— Bassin Rhin-Meuse.
●---● ---- Bassin de la Moselle française.

S.ce : Rhin-Meuse Informations n° 16 (août-septembre 78) modifié.

. de 5000 à 50000 h. eq. de capacité : 80 %
. plus de 100000 h. eq. de capacité : 85 %

Si les conditions d'exploitation se sont améliorées depuis quelque années, beaucoup reste à faire au niveau des stations et des réseaux.

1. Les problèmes de fonctionnement des ouvrages d'épuration des collectivités locales (RHIN-MEUSE, informations n°11 : mars avril 1976)

Les causes de mauvais fonctionnement des stations d'épuration des collectivités sont multiples et concernent :

- *la conception même de l'ouvrage dans les domaines de la technologie, du dimensionnement, de la façon,*
- *l'exploitation et l'entretien qui influent directement sur les résultats de l'ouvrage.*

Si ces deux causes semblent reculer de nos jours, il en existe une troisième, plus insidieuse :

- *les déficiences du réseau d'assainissement du fait de l'importance des réseaux unitaires. Ces perturbations ont diverses origines dont :*

- *l'apport excessif d'eau du fait du branchement sur les réseaux :*
  - *de ruisseaux et fossés (problèmes lors de fortes pluies),*
  - *de réservoirs d'eau potable (qui déversent leur trop plein) et de fontaines de villages ; ceci provoque une dilution constante de l'effluent).*

Il faut également ajouter des causes liées aux travaux de pose des canalisations des réseaux qui touchent la nappe phréatique. Ces canalisations, rarement étanches, drainent ainsi l'eau de la nappe vers la station d'épuration.

- *l'arrivée de pollutions incompatibles avec le fonctionnement de la station, qui pose le problème de l'autorisation de raccordement à la station de la collectivité, accordée ou refusée à un "producteur" de pollution. Ceci concerne, en effet, les activités industrielles et, en ce domaine, il s'agit d'interdire le rejet dans le réseau communal de toutes les eaux, soit non polluées (pour éviter toute dilution), soit chargées de pollution non biologiquement traitables, lesquelles perturberaient le fonctionnement de la station.*

  Même en milieu rural, le développement des réseaux d'assainissement est l'occasion pour les agriculteurs de se défaire des déchets de leur exploitation (purin notamment). Il importe, à ce sujet, que les fermes soient équipées de fosses de rétention

car le purin, du fait d'un rapport DCO/DB05 élevé et de ses fortes teneurs en substances polluantes ($NH4^+$), perturbe le fonctionnement des stations.

Les particuliers sont également en cause car nombre de rejets domestiques transitent par une fosse septique avant d'accéder au réseau communal. Ces rejets putrides ne sont pas conformes à la règle qui veut que l'effluent doit arriver le plus "frais" possible à la station.

Seuls peuvent être raccordés à une station d'épuration communale, sous certaines conditions de prétraitement, les rejets d'activités présentant une nature et une biodégradabilité comparables à celles d'un effluent urbain. Entrent dans cette catégorie les eaux de laiteries - fromageries, d'abattoirs, de tanneries.

- *la sous charge en pollution qui fait que la station n'est pas utilisée dans les conditions optimales du fait :*
  - *des mauvais branchements des rejets des particuliers (inversion dans le cas de réseaux séparatifs),*
  - *du non raccordement ou du raccordement partiel de certaines habitations (coût trop élevé des travaux de déconnection de l'ancienne fosse septique),*
  - *du mauvais état du réseau (ruptures de canalisations, mauvaise étanchéité qui provoquent une perte d'effluents),*
  - *de l'inefficacité des déversoirs d'orage surtout s'il s'agit de déversoirs à lame non réglable ; dans ce cas, un volume excessif d'eau accède à la station à la suite de fortes pluies mais par temps sec, une partie de l'effluent peut être court-circuitée et échapper au traitement.*

2. Vers de nouvelles orientations

Malgré l'effort très notable de développement des stations d'épuration des collectivités (x 13,5 en 11 ans), les résultats obtenus ne sont pas, il faut le dire, à la mesure des investissements. En effet, dans le bassin de la MOSELLE française, le rendement moyen des stations d'épuration des collectivités était en 1976 de 75 % ; de plus, celles-ci ne reçoivent que 50 à 55 % de la pollution domestique qu'elles pourraient traiter si la collecte des eaux usées était satisfaisante. Nous venons de préciser enfin que la majorité de ces stations voient leur fonctionnement perturbé par toutes sortes de facteurs (voir précédemment).

Au début, la lutte antipollution a surtout porté sur l'épuration des effluents des agglomérations les plus importantes, lesquels ne pouvaient être traités que collectivement. Mais l'assainissement collectif

n'est pas une solution qu'il convient de généraliser d'autant qu'il peut s'avérer extrèmement coûteux pour les petites communes. Mais il existe deux alternatives possibles (RHIN-MEUSE informations n° 19, avril 1980 et n° 21, avril 1981) :

a) *le lagunage naturel : (fig. i ci-dessous). C'est une des techniques les mieux adaptées pour épurer les effluents des petites collectivités. De plus, il élimine mieux que les stations classiques les germes pathogènes. Il consiste à faire séjourner plusieurs mois les eaux usées d'une agglomération dans des lagunes artificiellement aménagées, de faible profondeur.*

Sous l'effet des échanges avec l'atmosphère et du rayonnement solaire, se développe une flore qui absorbe CO2 et fournit O2. L'oxygène créé favorise le développement des bactéries qui transforment la pollution organique en éléments minéraux, lesquels se déposent sur le fond de la lagune sous forme de boues

Si la mise en oeuvre de la lagune ne pose guère de problèmes, cette solution n'est pas le remède miracle car elle nécessite, comme les stations classiques, un réseau d'égoût satisfaisant, des études préalables et un entretien régulier même si les contraintes d'exploitation sont moins astreignantes :

- *élimination mensuelle des flottants,*
- *surveillance des digues en maîtrisant la végétation et en luttant contre les rongeurs,*
- *curage tous les 5 ans pour ôter les boues septiques.*

Exemple de lagune naturelle. Commune de Brécé (Ille-et-Vilaine).



Fig. i : Source Rhin-Meuse information n° 19, Avril 1980

■ LA FOSSE SEPTIQUE

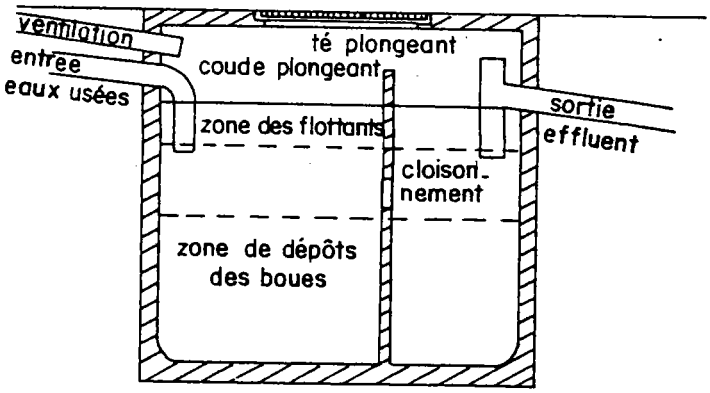


fig. j 1 : La fosse septique principe.

Deux types de processus sont mis en jeu dans une fosse :

- la décantation qui permet de séparer les particules dont la densité est différente de celle de l'eau ;
- la fermentation des matières décantées et accessoirement, du liquide qui conduit à une destruction et à une liquéfaction partielle des composés organiques dégradables et donc à une diminution de la matière organique contenue dans les eaux usées.

La fosse recevra l'ensemble des eaux usées domestiques. Sa capacité sera de 3 m³ pour 4 usagers plus 750 litres par chambre supplémentaire, elle sera cloisonnée.

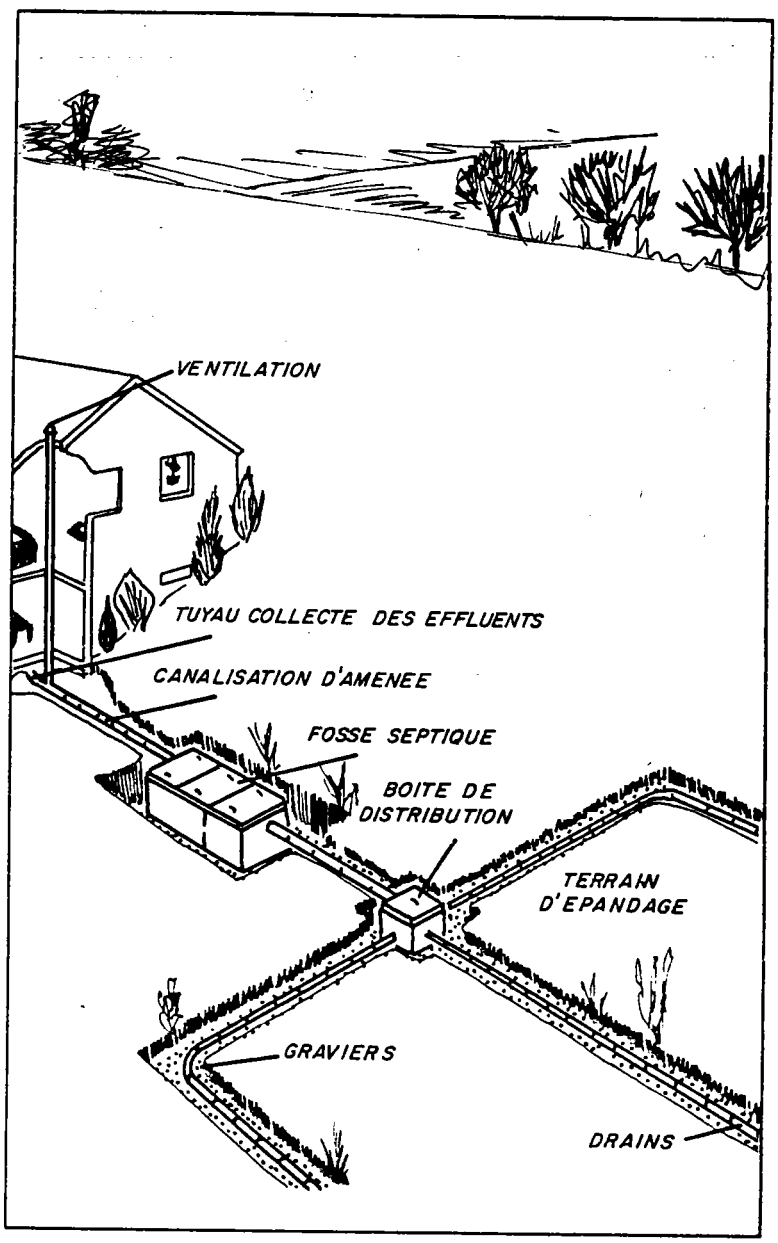


fig. j 2 : Le principe d'épandage à partir d'une fosse septique.

Source Rhin-Meuse information n° 21, Avril 1981.

b) la réhabilitation de l'assainissement individuel

C'est une solution qui convient à un habitat dispersé :

- *quand le sol permet l'évacuation de l'eau épurée sans risque de contamination de nappes ,*
- *quand certains cours d'eau ne peuvent s'accomoder d'un rejet de station d'épuration (zones de reproduction salmonicole ; rivières à faible débit d'étiage où la vie piscicole peut être menacée par de faibles teneurs d'ammoniaque),*
- *quand des terrains fissurés ne constituent pas une protection efficace pour la qualité des nappes souterraines contre les rejets d'eaux usées collectées par les réseaux d'assainissement.*

L'assainissement individuel suppose que le milieu récepteur des eaux usées (sous-sol) soit en mesure d'infiltrer ces eaux en permanence tout en les épurant avant qu'elles atteignent les eaux contenues dans les couches profondes.

Il s'agit donc de soumettre les eaux usées à un traitement préalable avant de les rejeter dans le sol. Pour ce faire, le moyen le plus classique réside dans la fosse septique.

Une fois prétraitées dans la fosse septique, les eaux usées sont l'objet d'un épandage souterrain quand les caractéristiques du sol le permettent ; dans le cas contraire, il faut avoir recours à d'autres techniques telles que le tertre d'infiltration ou le filtre de sable (fig. j1 et j2 ci-après).

La réhabilitation de l'assainissement individuel doit se faire au niveau d'habitations neuves ou non encore pourvues d'un tel dispositif ; toutefois, il s'agit aussi d'améliorer ce qui existe. C'est pourquoi, il importe d'aborder les problèmes d'entretien et de maintenance de ces ouvrages . A cet effet, la mise en place de structures collectives d'exploitation de l'assainissement individuel, de type communal ou intercommunal, parait toute indiquée.

Ces alternatives à l'aissainissement collectif peuvent constituer une réponse nouvelle aux problèmes posés par le développement du phénomène eutrophisation.

B. Au niveau des industries

Pour ce qui est des ouvrages d'épuration industrelle, les efforts de l'A.F.B.R.M. n'ont pas été moindres puisque le total des ouvrages mis en service est passé de 34 au début de 1974 à 88 au début de 1979. Toutefois comme il a été précisé à la fin de la section IV de la première partie, ces stations industrielles ont surtout eu un impact sur les M.E.S.T. et les M.ox. et ont privilégié certaines branches industrielles (sidérurgie, papeteries). En fait, l'effort de l'A.F.B.R.M., dans le domaine industriel, tend actuellement à porter sur les activités accusant un certain

retard (sidérurgie, chimie, textile, traitement de surface), activités qui, par ailleurs, engendrent souvent une pollution toxique.

Cette action de l'A.F.B.R.M. débouche sur les PROGRAMMES de BRANCHES dont l'exemple le plus caractéristique concerne l'industrie textile et tout particulièrement les activités touchant à l'ennoblissement textile. Ces dernières se situant, à l'échelle du bassin RHIN-MEUSE, au cinquième rang, **pour** la pollution organique engendrée, après la papèterie, l'industrie chimique, l'industrie alimentaire et la sidérurgie (RHIN-MEUSE informations n°9, juin 1975 et n° 12, août 1976).

L'ennoblissement met en oeuvre une série de traitements chimiques en vue de la teinture et de l'impression.

Les traitements, préalables à l'application des colorants, visent l'élimination des impuretés naturelles des fibres auxquelles il faut ajouter les produits mis en oeuvre à l'occasion des traitements mécaniques de tissage et tricotage (produits d'encollage notamment).

Ce prétraitement rejette l'essentiel de la pollution organique (50 à 80 %) de l'usine.

Après ces opérations de préparation de la fibre, se déroulent les opérations de teinture et d'impression ; celles-ci sont responsables de la pollution par les colorants, laquelle provient notamment :

- *des bains de traitement en fin d'utilisation (blanchiment, teinture...),*
- *des lavages successifs après chaque opération,*
- *des lavages des machines.*

L'ennoblissement textile consomme beaucoup de réactifs chimiques (mouillants, détergents, savons, soude, colorants...). La dilution importante des effluents est un obstacle à un bon rapport coût-efficacité de la dépollution.

La politique de lutte contre la pollution dans l'industrie consiste à considérer la station d'épuration comme le remède ultime et souvent, le moins bon et le plus coûteux. Elle préviligie par contre la lutte contre la pollution à la source, au niveau de la production. L'industrie de l'ennoblissement du textile ne fait pas exception à cette règle, tout comme celle des traitements de surfaces sur laquelle nous reviendrons par la suite. Cette démarche implique :

- *la réduction de la dilution des effluents à traiter,*
- *des interventions au sein de l'usine pour réduire la pollution entraînée (changements de produits, colorants...)*

Trois filières principales d'épuration sont proposées (RHIN-MEUSE informations n°12, août-septembre 1976) :

- *procédé à l'air ionisé précédé d'un prétraitement par floculation-flottation et suivi d'un post-traitement de filtration,*

- *procédé d'adsorption par adsorbants minéraux (charbon actif, coke),*
- *une filière biologique par boues activées et lit bactérien. Ce traitement biologique doit néanmoins être complété par des traitements physico-chimiques en vue d'éliminer la couleur.*

Ce programme-cadre a fait l'objet d'un contrat signé en 1975 par les syndicats représentatifs de la profession . Il s'agit d'un véritable programme régional de lutte contre la pollution des eaux dont l'objectif était d'aboutir à une réduction très sensible de la pollution par l'industrie textile pour 1980-1982.

SECTION IV : ÉTUDE DE LA POLLUTION TOXIQUE

Evolution de certains facteurs de pollution toxique : NH_3, NO_2^-, CN^-, composés phénoliques, substances extractibles au chloroforme (S.E.C.)

Qu'est-ce que la toxicité ?

Un toxique est une substance chimique capable d'agir sur un organisme vivant, d'en perturber gravement le métabolisme et pouvant aller jusqu'à l'annihilation complète de la vie.

Dans le domaine de la pollution des eaux, la toxicité peut se manifester de deux façons essentielles :

- *par action immédiate sur la vie de la rivière. C'est le cas par exemple de doses massives de cyanures parvenant dans le cours d'eau,*
- *par accumulation et concentration dans les différents maillons des chaînes alimentaires. Le cas le plus spectaculaire et dramatique est celui de la maladie mercurielle de MINAMATA.*

L'industrie est la source principale de cette pollution toxique. Mais il faut souligner que les effluents industriels présentent la plupart du temps un caractère mixte ; à côté de produits de nature toxique d'origine minérale ou organique (cyanures, phénols, ammoniaque, métaux lourds) ils contiennent souvent des substances minérales solubles et insolubles, des substances organiques biodégradables ou non.

Pour cette étude, nous avons retenu les facteurs de pollution toxique suivants : NH_3, NO_2^-, CN^-, composés phénoliques, substances extractibles au chloroforme.

I. EVOLUTION DE LA POLLUTION TOXIQUE SELON LES TABLEAUX CARTOGRAPHIQUES : 1965-1974 (voir également tableau XIV de 1 à 35)

• Secteur amont, de la source à VELLE

Un seul des facteurs pris en compte est à considérer, ce sont les composés phénoliques: classes 2 et 3 en maxima à SAULX, AUTRIVE (MOSELOTTE et JARMENIL (VOLOGNE). Il semble probable que ces composés aient pour origine l'activité textile ou papetière, avec utilisation de colorants ainsi que les tanneries. L'activité industrielle de traitement de surface n'est pas envisagée dans notre étude (chrome hexavalent, zinc, cuivre, aluminium, cyanures) car même si le dernier cité de ces facteurs a été retenu pour l'étude, il y a fréquemment absence de données analytiques.

NH_3 est présent à un taux acceptable pour les Salmonidés, tandis que NO_2^- peut atteindre en maxima des valeurs proposées pour la vie cyprinicole (SAULX, LA VOLOGNE, GOLBEY, NOMEXY, BAINVILLE, VELLE) dans un secteur typologiquement de première catégorie.

Le secteur de VELLE se dégrade en 1974 pour NH3 qui dépasse la qualité requise pour les Salmonidés. La présence de substances extractibles au chloroforme est, de même, préoccupante en 1973 et 1974, en laison sans doute avec les rejets des activités d'ennoblissement du textile car ces effluents contiennent souvent des détergents, des colorants.

• Secteur VELLE-FROUARD

Après une situation acceptable à MEREVILLE, hormis la présence de composés phénoliques, les eaux du MADON correspondent à une qualité cyprinicole pour NH_3 et NO_2^- avec, pour 1973, un état critique pour NH_3 (classe 2). Les composés phénoliques atteignent la classe 3 la même année (1973).

A MARON, la vocation cyprinicole s'affirme et est conforme au profil de la rivière. La présence des phénols est liée à l'activité sidérurgique de NEUVES-MAISONS. L'absence de données pour les cyanures cache une réalité connue, à savoir l'existence de lâchés de ces composés en liaison avec la sidérurgie. Jusqu'à FROUARD, la qualité des eaux correspond à la qualité cyprinicole.

• Secteur FROUARD-METZ

La MEURTHE (BOUXIERES) témoigne d'une perturbation du cycle de l'azote avec trop de NO_2^- et trop de NH3. Les S.E.C. sont présentes à un niveau préoccupant en 1974 (classes 3 et 5). Ceci est, selon toute vraisemblance, lié aux activités de l'agglomération nancéenne.

A CUSTINES, malgré les rejets sidérurgiques, les phénols n'augmentent pas (classe 3); de même, les cyanures ne traduisent pas un état préoccupant. En fait, il faut souligner que ces toxiques violents ont provoqué des pollutions aiguës et graves d'origine accidentelle. Par exemple, de CUSTINES à METZ, en juillet 1975, avec des teneurs supérieures à 0,3 mg/l à PONT-A-MOUSSON et une mortalité totale de toutes les espèces piscicoles, ce qui implique des teneurs beaucoup plus élevées plus près de la source de pollution, à savoir l'usine de POMPEY (fig. k page suivante).

Les conséquences de ces rejets accidentels de cyanures (vraisemblablement le 12 juillet alors que les premiers effets furent signalés le 13) furent aggravées par la faible teneur en oxygène des eaux de la MOSELLE à la suite du sévère étiage que connaissait la rivière. La dégradation du cyanure s'en trouva ralentie, ce qui provoqua une mortalité accrue pour la faune, confrontée à des conditions de milieu moins favorables. On estime la quantité de poissons perdus à 200-300 tonnes.

De plus, cette pollution chimique se doubla d'une pollution organique secondaire avec diminution conséquente de l'oxygène dissous de 7 à 3,2 mg/l.

POLLUTION DE LA MOSELLE PAR LES CYANURES

JUILLET 1975

Evolution des teneurs en cyanures de la Moselle lors de la pollution de juillet 1975

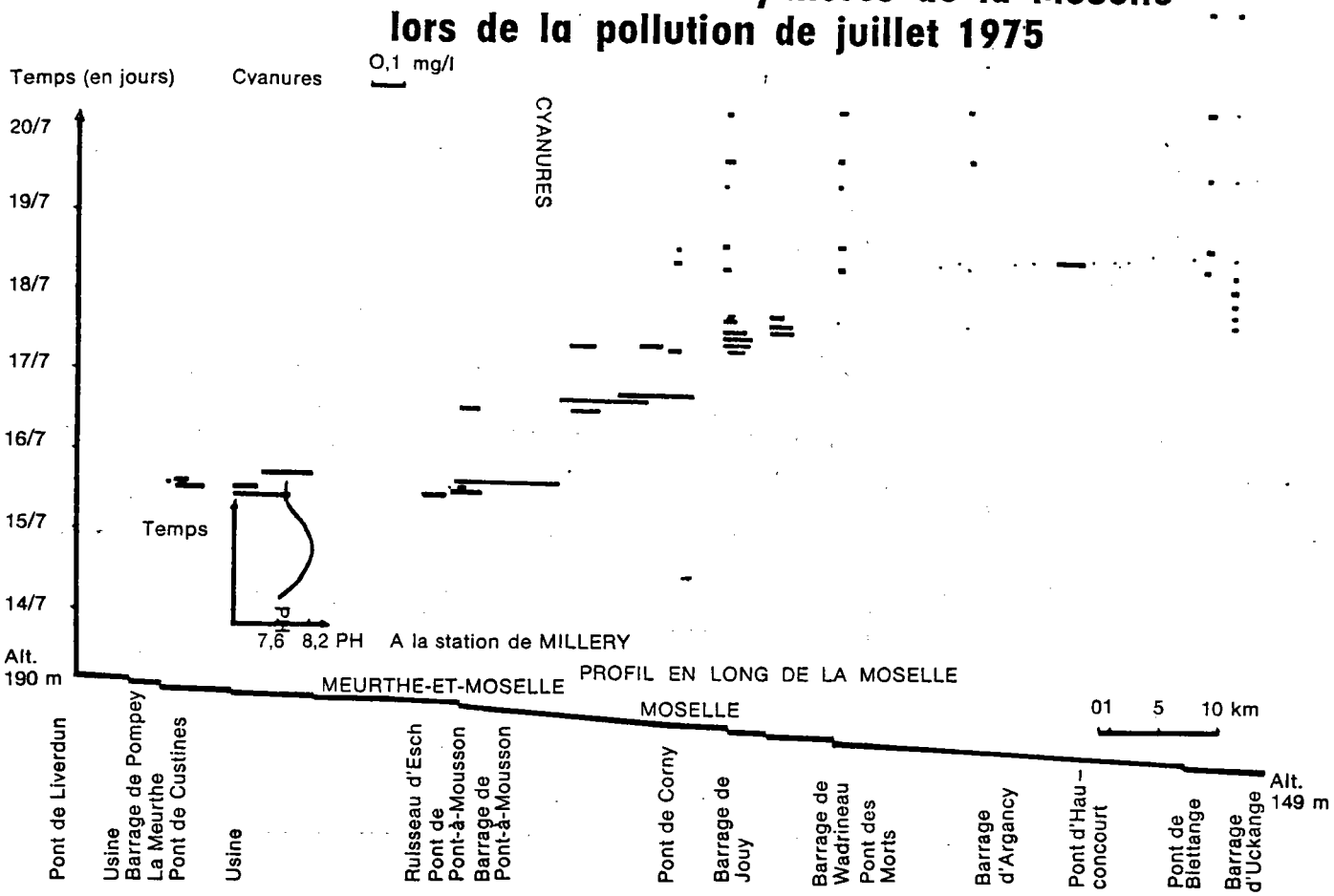


Fig. k : RHIN-MEUSE informations n° 10, novembre 1975

A MILLERY, on ne relève pas de problèmes liés aux composés azotés malgré la proximité des usines sidérurgiques.

A BLENOD, les nitrites atteignent la classe 2 et les SEC la classe 4. La station étant située sur le canal, nous proposons comme explication les rejets dus à l'activité fluviale.

Jusqu'à METZ, la qualité est conforme à la vie cyprinicole pour les composés azotés mais les phénols sont toujours présents au niveau de la classe 3.

Le RUPT-DE-MAD montre bien, en 1973, un trouble des substances azotées avec NH3 qui atteint la classe 3. Nous avons signalé pour cet affluent l'envahissement par les plantes, le ralentissement du courant, l'envasement et, au niveau de cette station, l'impact des rejets urbains de ONVILLE.

• Secteur confluence de la SEILLE-BERTRANGE

Parmi les données disponibles concernant les eaux de la SEILLE, NH3 est préoccupant avec l'apparition de classes 2 et 3, ceci en liaison avec les rejets de la zone urbaine de METZ.

A MALROY, la qualité est compatible avec la vie cyprinicole.

A HAUCONCOURT, l'année 1970 se singularise par une présence anormale de composés phénoliques (classe 5) ; la présence de ceux-ci s'explique difficilement car la station est en amont de la raffinerie.

A partir de l'ORNE, apparaissent nettement des toxiques liés à l'activité sidérurgique et des cokeries (NH_3, NO_2^-, CN^- et composés phénoliques).

Dans l'ORNE, on note la présence permanente de NH_3 en classe 3, sur l'ensemble des 10 années et de NO_2^- atteignant la classe 4 (1973 et 1974). Pour la première fois, dans cette étude, on signale la présence de cyanures à un niveau toxique.

A UCKANGE, l'influence de l'ORNE et de la zone urbaine sidérurgique est visible avec concordance de nouveaux rejets. Etat critique pour NH_3 , NO_2^- et SEC.

• Secteur confluence de la FENSCH-SIERCK-LES-BAINS

La FENSCH représente, par rapport à l'ORNE, un degré supplémentaire dans la pollution toxique, avec les mêmes origines (cokerie, sidérurgie, activités urbaines). L'absence de données sur les SEC, sauf en 1971, ne modifie pas le jugement global qui fait de cette eau un égoût industriel hautement toxique: classe 5 pour les phénols, classe 4 pour NH_3 et cyanures , classe 3 pour les nitrites.

Cet état se représente, à THIONVILLE, avec pour la première fois présence de cyanures (classe 2) à un niveau toxique dans la MOSELLE. NH_3 est

en classe 3, tout comme à BERTRANGE.

Jusqu'à MANOM, les composés azotés NH_3 et $NO2^-$ présentent des teneurs préoccupantes mais à SIERCK-LES-BAINS, on remarque une diminution de NH_3 et un accroissement de NO_2^-. Ceci peut être interprété comme le résulta d'un processus de nitrification dans le secteur aval de la MOSELLE.

II. BILANS COMPARES 1965-1974 et 1965-1978

A. Evolution amont-aval (fig. 27 : M.N.O.P.Q.R. tableau XV de 1 à 9)

NH_3 (fig. 27 M) croît nettement d'amont en aval et ce, qu'elles que soient les valeurs considérées dans les séries (qu'il s'agisse de la valeur occupant la position du 1er décile, de la médiane ou du 9° décile).

Par ailleurs, le bilan 1965-1978 traduit une aggravation par rapport à 1965-1974, sauf après MANOM, ce qui va dans le sens de l'observation faite plus haut, à ce niveau du cours de la rivière et concernant un processus de nitrification.

Les mêmes remarques valent pour NO_2^- ; la courbe des nitrites (fig. 27 N), toutefois se signale par un pic intermédiaire au nivau de BLENOD, pour les valeurs occupant la position du 9° décile. Nous avons déjà précisé antérieurement que les stations de BLENOD, VELLE et UCKANGE ne faisaient l'objet de relevés que depuis 1971. Néanmoins, pour les nitrites, il n'est point impossible qu'un processus de nitrification se produise entre BLENOD et HAUCONCOURT.

Enfin, nous constatons que les eaux de la MOSELLE, pour ce qui est des teneurs en NH_3, ne sont conformes aux normes requises pour les Salmonidés que jusqu'à VELLE, tandis que pour NO_2^-, la dégradation se produit plus tôt, puisque même à CHATEL-NOMEXY, les nitrites présentent des teneurs trop élevées pour les eaux salmonicoles.

La tendance cyprinicole est bien affirmée de VELLE à HAUCONOURT, tandis qu'à l'aval de cette station, apparaissent déjà des teneurs toxiques en ces deux éléments.

Les données trop fragmentaires en composés phénoliques, CN^- et S.E.C. rendent difficile toute interprétation. On peut cependant noter les observations suivantes (fig. 27 : O-P-Q) :

- *La présence fréquente de composés phénoliques à des teneurs déjà toxiques, mais il s'agit toujours des relevés concernant les 3 stations ayant précédemment fait l'objet de réserves : VELLE, BLENOD, UCKANGE.*

- *Les cyanures, quant à eux, n'atteignent pas des valeurs particulièrement critiques. Notons toutefois leur croissance de HAUCONCOURT à SIERCK, en liaison avec les activités économiques et urbaines spécifiques à cette zone.*

. *Quant aux S.E.C., les données ne portent que sur 3 stations et les bilans 1971-1974 et 1971-1978 ne permettent de retenir que ces observations :*

- *un accroissement amont aval allant de pair avec des valeurs assez élevées,*
- *une certaine amélioration traduite par le bilan 1971-1978.*

B. Evolution par station entre les bilans 1965-1974 et 1965-1978

(fig. 28, 30, 31 : E ; 33, 35,36 : F-G ; 29,32,34 : G-H ; tableau XVI de 1 à 9)

Au niveau de NH_3 et NO_2^-, la classe 1 a (relative à la qualité des eaux requise pour les Salmonidés) et le classe 1 b (relative à la qualité des eaux requise pour les Cyprinidés) restent les plus fréquentes d'amont en aval.

Toutefois, on note, dans tous les cas, une aggravation quand on considère le bilan 1965-1978 ; celle-ci se fait par un recul de la classe 1 a et l'apparition, avec une fréquence toujours plus importante en allant vers l'aval, des classes 2 et 3. Celles-ci figurent dans les bilans dès LIVERDUN pour NH_3, tandis que la classe 2 figure dans le bilan 1965-1978, dès MILLERY pour NO_2^- (la classe 3, pour cet élément, ne figure qu'à partir de MANOM).

Il faut aussi signaler qu'à MANOM et SIERCK, NH_3 connaît une relative amélioration pour le bilan 1965-1978, alors que, parallèlement, NO_2^- s'aggrave assez nettement; nous retrouvons ici l'observation faite lors de l'analyse du tableau cartographique relatif à cette portion de la rivière. L'explication proposée était celle d'un phénomène de nitrification.

Les bilans 1965-1974 et 1965-1978 montrent une stabilité quant à la répartition des valeurs de composés phénoliques à HAUCONCOURT, MANOM et SIERCK. Pour les stations de VELLE, BLENOD et UCKANGE (fig. 29,32,34), les bilans 1971-1974 et 1971-1978 fournissent des renseignements plus nuancés ; si l'on remarque en effet une relative amélioration de la situation pour le bilan 1971-1978, à VELLE et BLENOD, le cas d'UCKANGE est quelque peu différent avec, pour ce même bilan, l'apparition d'une classe 3 et d'un plus grand nombre de valeurs appartenant à la classe 2.

La situation des cyanures ne varie guère d'un bilan à l'autre, avec uniquement présence de valeurs appartenant à la classe 1, sauf à SIERCK où la classe 2 figure,mais pour de faibles fréquences.

Quant aux S.E.C., les bilans 1971-1974 et 1971-1978 montrent que cet élément est présent à des teneurs très contrastées dans chaque station où il fait l'objet de mesures (VELLE, BLENOD, UCKANGE). La situation reste stable même si l'on peut retenir un semblant d'amélioration du fait que dans le bilan 1971-1978 la classe de valeurs 2 prend plus d'importance en fréquence, mais aux dépens à la fois de la classe 1 et des autres classes.

III. LA LUTTE CONTRE LA POLLUTION TOXIQUE : SES CARACTERISTIQUES PROPRES

La Loi du 15.7.1975 concernant l'élimination des déchets rend les industriels responsables de celle-ci. Dès lors, se pose le problème du choix du procédé d'élimination. Les industriels se sont, semble-t-il, orientés vers les techniques d'élimination de la pollution toxique à la source.

La lutte contre la pollution toxique est un des maillons de la lutte contre la pollution industrielle en général. Le traitement des effluents industriels, en ce qui concerne leur toxicité, vient en fait en complément des procédés d'épuration classiques, lesquels traitent d'autres formes de pollution, notamment les matières organiques et les matières en suspension. Il ne faut donc pas perdre de vue ce fait : la lutte contre la toxicité des eaux résiduaires essentiellement industrielles, fait partie d'une action globale de lutte contre la pollution sous toutes ses formes, sauf dans certains cas particuliers que nous exposerons par la suite.

1. Les aspects techniques de la lutte contre la pollution toxique

Si dans certains cas, les substances toxiques (matières inhibitrices) contenues dans les eaux résiduaires industrielles peuvent être éliminées par les procédés d'épuration classiques, il faut, dans d'autres cas, appliquer des méthodes spécifiques :

- *soit avant les procédés classiques, avant l'épuration biologique, pour éviter l'action inhibitrice des matières toxiques sur ces procédés,*
- *soit, après ceuc-ci (épuration tertiaire, de finition),*
- *soit, seules, lorsque la pollution toxique est la seule forme de pollution contenue dans les eaux résiduaires (effluents de traitement de surface).*

L'élimination ou la réduction des matières inhibitrices fait appel à diverses techniques :

- les traitements chimiques : modification du pH, oxydation ou réduction (notamment oxydation des cyanures) ; floculation,
- les traitements physiques : décantation après plusieurs traitements chimiques ; filtration ; absorption sur charbon actif ou résines échangeuses d'ions. Ces dernières représentent une technique de choix pour lutter contre les ions minéraux toxiques, les cyanures et les métaux lourds. C'est une technique déjà ancienne qui permet de concentrer la pollution. Les échanges ioniques peuvent être assurés aussi bien par des résines anioniques que cationiques. Ces échanges d'ions déplacent la pollution d'un milieu liquide dilué (eaux résiduaires) dans un autre milieu liquide d'un volume plus réduit donc, de concentration supérieure. Lorsque l'ensemble des sites d'échanges d'ions est saturé, les résines sont régénérées. Les éluats de régénération sont alors stockés, détoxiqués sur place ou dirigés vers un centre spécialisé par camions ou wagons-citernes. Actuellement, il existe des colonnes d'échange

d'ions transportables et échangeables. Dans ce cas, les déchets ne sont plus transportés sous forme liquide mais solide.

. les traitements biologiques : si les toxiques sont, dans l'ensemble des inhibiteurs de l'activité bactérienne, il existe certaines souches de bactéries résistantes qui permettent d'utiliser le traitement biologique dont un exemple est fourni par l'oxydation biologique des phénols contenus dans les effluents des cokeries.

Ces techniques sont applicables à différentes branches industrielles, notamment :

. les tanneries ; le tannage vise à rendre les peaux imputrescibles. Ceci implique certains traitements qui chargent les eaux résiduaires de cette industrie en de nombreuses substances toxiques et en grande quantité (sulfures, chrome, chaux...). Ces dernières doivent être éliminées (floculation) avant le traitement biologique final en vue de l'élimination des matières organiques.

. les cokeries : les eaux résiduaires de cette industrie, riches en ammoniaque, phénols, sulfures et cyanures, présentent donc une forte toxicité. Si le traitement biologique est relativement efficace sur les phénols, il faut des traitements spéciaux pour éliminer :

  . *l'ammoniaque : traitement chimique à la soude pour obtenir du sulfate d'ammonium, sous-produit commercialisable,*

  . *les sulfures : par précipitation au sulfate ferreux,*

. Les traitements de surface : à côté de la concentration de la pollution liée à cette activité par utilisation de résines échangeuses d'ions, les traitements chimiques sont la règle générale : neutralisation des effluents acides et alcalins, précipitation des ions métalliques, oxydation des cyanures, réduction du chrome exhavalent (RHIN-MEUSE informations n°8, avril 1975).

2. La lutte contre les pollutions toxiques : un moyen de rendre plus efficace la lutte contre les autres formes de pollution

Lutter contre la pollution toxique peut permettre simultanément d'agir à un niveau plus global dans la lutte anti-pollution. En effet, les toxiques, par leurs influences inhibitrices, empêchent le déroulement normal des différents processus biologiques dans les eaux des rivières. C'est tous les jours que se rencontrent les cas de toxicité suivants au niveau des cours d'eau :

. ralentissement de l'autoépuration des matières biodégradables dans les cours d'eau présentant des teneurs élevées en métaux lourds comme le cuivre,

. diminution de l'efficacité des stations d'épuration biologique des villes dont les réseaux d'assainissement reçoivent, par exemple des effluents provenant d'ateliers de traitements de surface sans détoxication préalable (inhibition de la vie),

. atteintes plus ou moins graves, portées à la qualité et aux possibilités de reproduction de la vie piscicole des cours d'eau.

On comprend dès lors comment l'action à l'échelle d'une composante de la pollution (toxiques) peut, en supprimant les effets inhibiteurs de ces derniers, faciliter le déroulement des processus d'autoépuration des cours d'eau et rendre par là même plus efficaces les luttes contre la pollution organique et l'eutrophisation.

3. L'action sur la toxicité dans le cadre de la lutte contre les autr formes de pollution

Agir sur le composant, sur la partie, peut avoir des répercussions positives sur les autres composants qui constituent le tout. Il faut insister sur l'interférence des divers types de pollution au niveau des effets sur le milieu.

Toutefois, il reste également vrai que dans certains cas de toxicité (ammoniaque, NH_3, NO_2^-) celle-ci peut efficacement être combattue dans le cadre de l'action contre l'eutrophisation. A ce sujet, nous l'avons déjà précisé , compte-tenu du fait que les sources d'azote organique et d'ammonium dans les rivières sont essentiellement ponctuelles, le problème peut être affronté par la réduction des rejets industriels (cokerie, chimie) et urbains (grandes agglomérations).

Au niveau des grandes agglomérations,il est possible de transformer les stations d'épuration déjà existantes en stations qui éliminent l'azote (nitrification - dénitrification des effluents par boues activées). Un problème cependant: les importantes surfaces nécessaires de bassins d'aération.

Dans le cas des industries, outre le strippage de l'ammoniaque en phase alcaline applicable aux eaux ammoniacales des cokeries, des technologies très performantes et moins exigeantes en surface que les procédés biologiques traditionnels, sont à développer. Des expériences concluantes ont été faites aux U.S.A. (technique des lits fluidisés) et permettent de porter les rendements d'élimination de la pollution classique, de l'ammonium et de la dénitrification à des taux supérieurs à 90 %.

4. Le cas particulier des pollutions accidentelles

Il convient enfin de mettre l'accent sur ce qu'il est convenu d'appeler les pollutions accidentelles, lesquelles font référence à deux réalités (RHIN-MEUSE, information n°6, octobre 1974) :

. les rejets ou déversements accidentels, dont l'impact sur le milieu peut être très variable (exemple du déversement de cyanures dans la MOSELLE en juillet 1975),

- les effets anormaux constatés dans le milieu naturel. Dans ce cas, l'aspect accidentel des pollutions provient des caractères exceptionnels des facteurs climatiques (sécheresse) aggravant les effets des pollutions chroniques :
  - *diminution des débits et réchauffement des eaux fluviales,*
  - *lessivage de fossés ou d'égoûts par les pluies à la suite d'une sécheresse prolongée,*
  - *débordement de fossés à lisier recevant les eaux de ruissellement.*

Actuellement, la pollution chronique des rivières tend à régresser du fait des efforts faits dans ce sens. Aussi, les cours d'eau deviendront-ils plus sensibles aux pollutions de type accidentel au fur et à mesure des progrès réalisés dans le domaine de la réduction des pollutions chroniques.

Ce type de pollution nécessite une action préventive et une efficacité accrue des plans d'alerte et d'intervention.

CONCLUSION DE LA TROISIÈME PARTIE

Dans cette approche des caractéristiques originales de la pollution des eaux superficielles dans le bassin de la MOSELLE française, nous n'avons pas abordé le problème spécifique représenté par la présence de métaux lourds.

Mais dans le cas de contrats passés avec le Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie et les Communautés Européennes, le Laboratoire d'Ecologie de l'Université de METZ s'est particulièrement intéressé à l'étude de la dynamique des micropolluants métalliques au niveau de la MOSELLE et de son affluent : l'ORNE (P. CORDEBAR et L. LEGLIZE, 1980 et 1981 ; P. CORDEBAR, L. LEGLIZE et M. NOURISSON, 1980).

Cette étude a porté sur les teneurs en zinc, cadmium et plomb sous leurs aspects dissous et liés aux matières en suspension. L'intérêt de l'étude, entre autre, a été de montrer que si l'on n'observait pas d'évolution sensible d'amont en aval de la MOSELLE quant à la teneur des eaux en ces 3 métaux lourds sous leur forme dissoute, il en allait tout autrement quand on considérait ces derniers sous leur forme associée aux matières en suspension. On peut ainsi distinguer sur la MOSELLE deux grands secteurs :

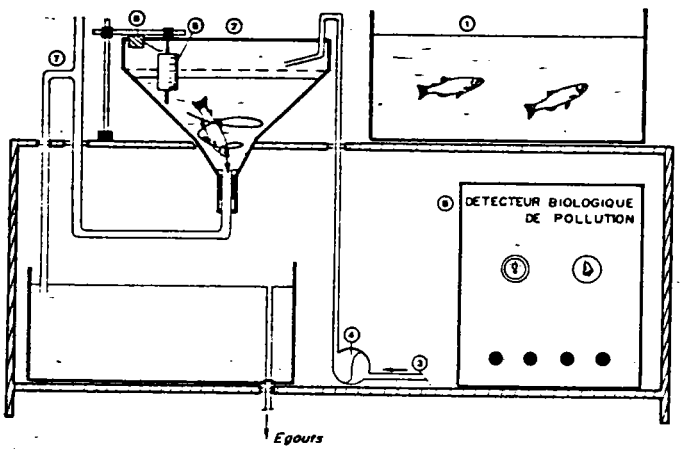
- à l'amont de la confluence de l'ORNE, la rivière est peu ou moyennement polluée en ces éléments,
- à l'aval de la confluence de l'ORNE, la MOSELLE présente une forte pollution surtout pour le zinc et le plomb. Cette pollution provient des activités de lavage des gaz de Hauts-fourneaux de la Vallée de l'ORNE. Les effluents n'étant pas recyclés et rejetés dans l'ORNE alors que les mêmes activités de la Vallée de la FENSCH, elles, recyclent leurs effluents. Ceci explique que les eaux de l'ORNE sont plus polluées en métaux lourds que les eaux de la FENSCH.

Dans le cadre de la surveillance de l'eau de la MOSELLE au niveau de la station automatique de MILLERY, celle-ci a été dotée par l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE d'un truitomètre (fig. 1 ci-après). Si pour connaître les effets de la toxicité de certaines substances sur l'homme, les scientifiques utilisent des cobayes, des

rats, des souris, pour détecter la toxicité d'une eau on utilise les poissons et souvent la truite.

Grâce au truitomètre, appareil très simple, il est possible de donner l'alerte en cas de pollution.

fig. 1



De nombreux appareils sont capables de mesurer la pollution mais ils présentent tous l'inconvénient de ne mesurer qu'un seul élément à la fois.

Le poisson, lui, est sensible à toutes les formes de pollution de l'eau. En cas de pollution dangereuse, le toxique va traverser rapidement les branchies (système respiratoire du poisson) et se répandre, par la circulation sanguine, dans l'ensemble du corps du poisson avec, comme effet, la maladie ou la mort. D'où l'intérêt d'utiliser le poisson comme détecteur de pollution.

La conception du truitomètre repose sur deux principes :

- une truite coule dès qu'elle meurt,
- si on la place dans un entonnoir, elle bouche le fond de celui-ci une fois morte.

Il suffit alors de doter l'entonnoir d'un flotteur qui, par contact, déclenchera une alarme lorsque le niveau d'eau montera dans l'entonnoir par suite de l'obstruction du fond.

De plus, cet appareil comporte un réservoir où se déverse l'eau sortant de l'entonnoir. Ceci permet de recueillir des échantillons, en cas de pollution, pour les analyser.

Il existe également un détecteur biologique de pollution à TOUL et l'on envisagerait d'en installer un autre à HAUCONCOURT.

Toutefois, le but de la station de MILLERY est de surveiller la salinité des eaux de la MOSELLE à l'aval des rejets des deux soudières: "SOLVAY" à DOMBASLE et "RHONE-POULENC" à LA MADELEINE. La station de MILLERY, en outre, permet à ces dernières, grâce à un réseau de transmission automatique des données, de moduler leurs rejets en sel dans la MOSELLE.

L'appareillage dont est équipée la station permet en outre d'établir des moyennes journalières des différents paramètres avec maxima et minima des courbes d'évolution de paramètres. De plus, actuellement, l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE procède à une étude des flux azote-phosphore qui transitent au niveau de la statio

Enfin, il convient d'attirer l'attention sur un fait que le public, sensibilisé par les problèmes de pollution de la MOSELLE, ne perçoit pas toujours. En effet, en ce qui concerne la pollution minérale, et notamment les rejets d'ions Cl^- dans la MEURTHE, il est important de ne pas oublier que l'arrêt hypothétique de ces rejets n'entraînerait pas automatiquement la fin du problème dans la mesure où pour Cl^-, tout comme pour SO_4^{--}, l'influence du milieu naturel reste importante. Il y a, en effet, une "pollution naturelle" de la MOSELLE par les sels, qu'il s'agisse des chlorures ou des sulfates ; "pollution naturelle" (l'expression ne manque pas d'ambiguité) apportée par les affluents principaux : MADON, MEURTHE, SEILLE pour Cl^- et SO_4^{--}) ORNE, pour SO_4^{--} surtout.
Mais il est important de prendre les dispositions pour limiter les rejets industriels, car c'est le seul moyen de permettre de multiples usages des eaux du RHIN.

Nous avons bien conscience que l'exploitation des données pourrait encore donner lieu à de multiples approches différentes. Il nous est apparu par exemple intéressant comme illustration de cette affirmation, de voir, à partir de la considération des valeurs de chaque paramètre de 1965 à 1974 au niveau des stations retenues prises dans leur ensemble, à quel moment de l'année s'observent les maximums et les minimums (fig. m de 1 à 17, pages suivantes).

Ainsi, la figure m1 montre bien l'action de la photosynthèse de juin à septembre avec un mois critique, le mois d'août qui pourrait être le siège de grands écarts.

Pour la DBO5 et l'oxydabilité, les valeurs maximales concernent les périodes d'étiage (fig. m2 et m3).

Pour l'ammonium, il faut souligner une caractéristique du mois de juin qui présente des valeurs maximales en fréquence importante .

Les teneurs relatives aux paramètres de pollution minérale sont nettement dépendantes des débits (la période d'observation n'est toutefois pas concernée par la régulation des rejets des soudières et salines qui est intervenue après 1974, fig. m5 à m8).

Parmi les paramètres du degré d'eutrophisation, le potassium se comporte indentiquement aux facteurs de pollution minérale dont il fait également partie. Mais il faut souligner son rôle majeur très probable en juillet, août et septembre comme facteur aggravant d'eutrophisation, en période d'étiage donc, par faibles débits, températures élevées, ensoleillement important. (fig. m10).

Les nitrates montrent bien un profil classique d'utilisation par les producteurs avec une plus forte fréquence des valeurs minimales en août (fig. m11).

La répartition des valeurs de PO_4^{3-} est moins nette avec un pic en automne pour les maximums.

Les teneurs en NH_3 et NO_2^- (fig. m13 et m14) montrent un problème de juin à septembre avec une plus grande fréquence des valeurs maximales lors de ces mois. Ceci témoigne d'une perturbation du cycle de l'azote à mettre en relation avec la courbe, inverse, observée pour NO_3^-.

Vu les données fragmentaires, les graphiques relatifs aux autres paramètres de la pollution toxique (fig. m16 à m18) ne sont pas très parlants.

Fréquences d'observation mensuelles des valeurs maximales et minimales pour les paramètres de pollution organique: période 1965-1974

Fig. n° 1 O_2^- (% sat.)

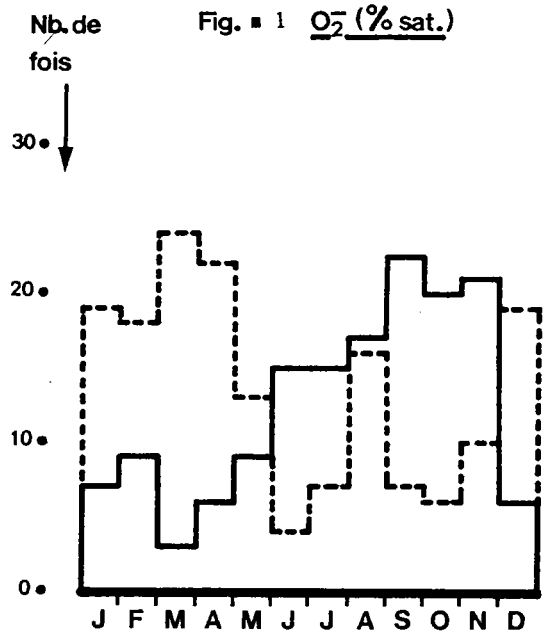


Fig. n° 2 D.B.O.$_5$

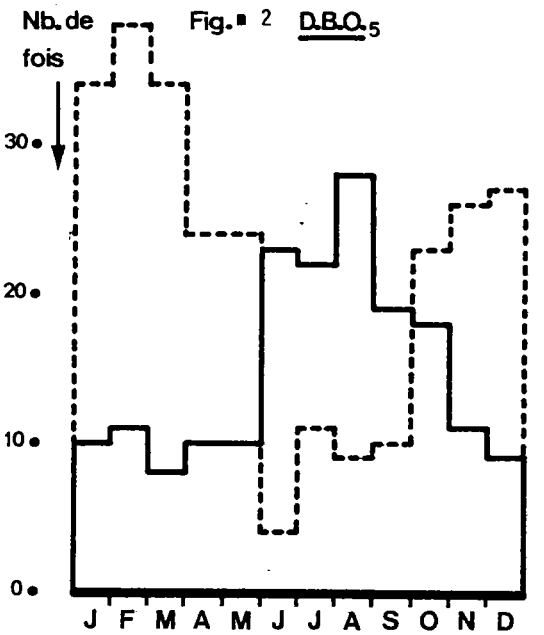


Fig. n° 3 Oxydabilité

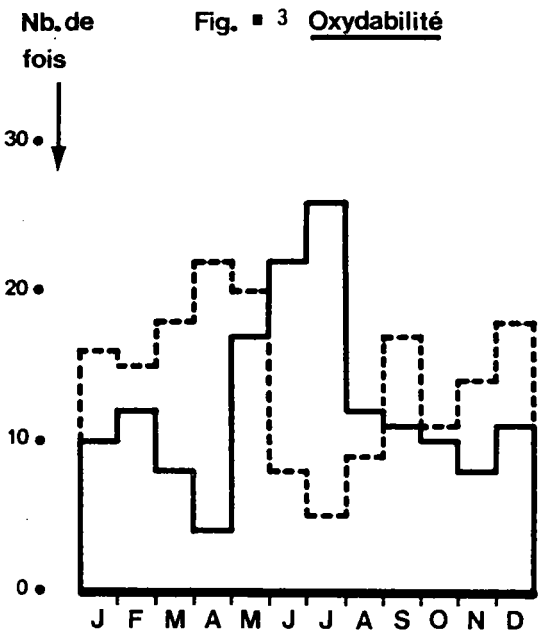
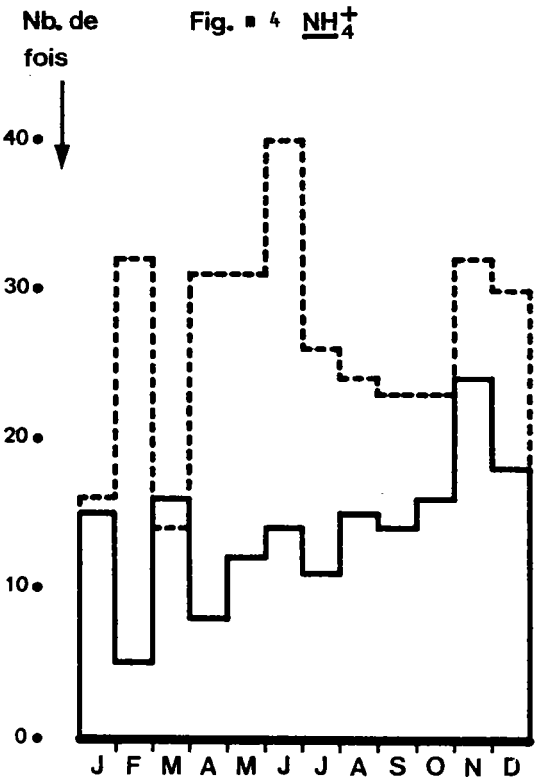


Fig. n° 4 NH_4^+



Fréquences d'observation mensuelles des valeurs maximales et minimales pour les paramètres de pollution minérale: période 1965-1974

Fig. ■ 5 Conductivité

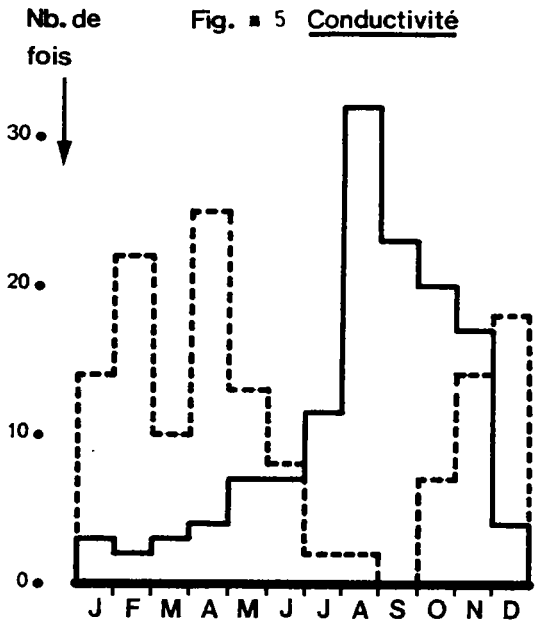


Fig. ■ 6 Dureté totale

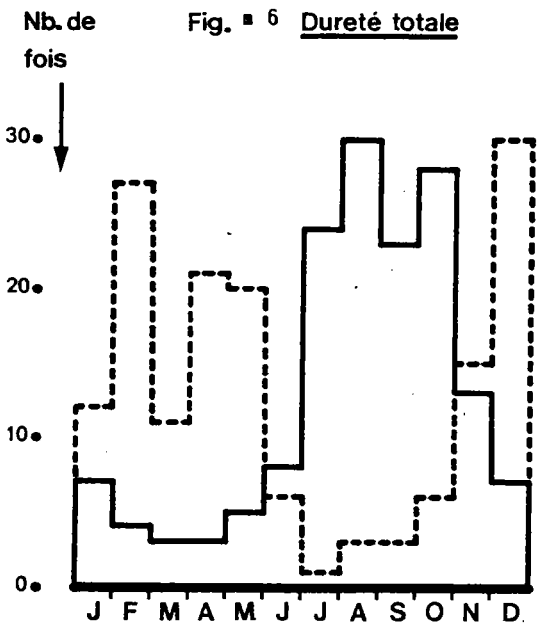


Fig. ■ 7 Cl^-

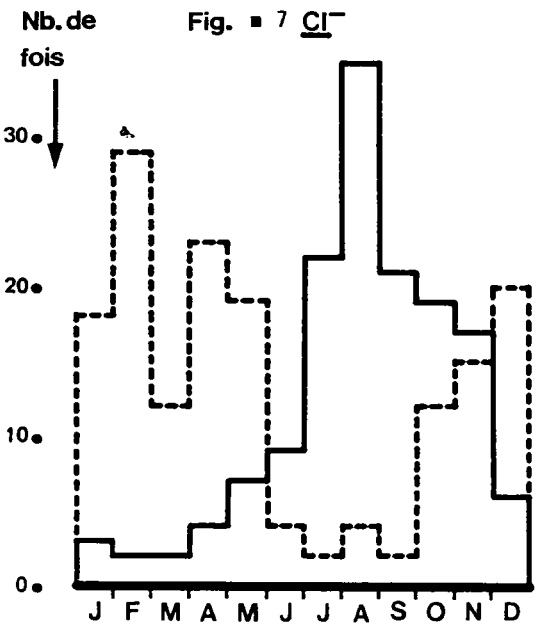
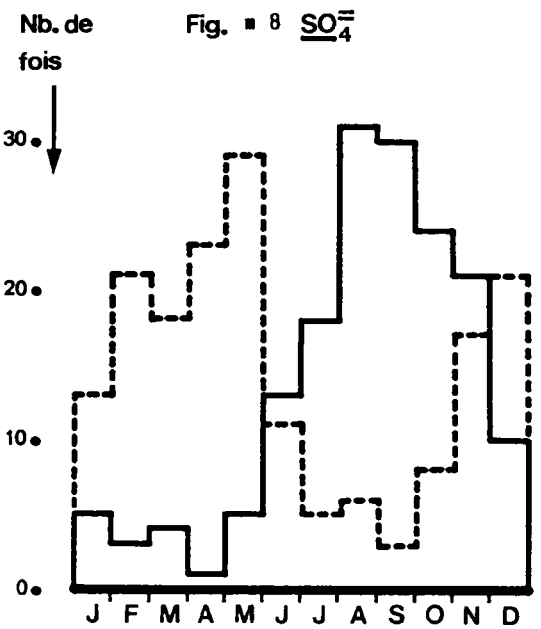


Fig. ■ 8 $SO_4^=$



Fréquences d'observation mensuelles des valeurs maximales et minimales pour les paramètres du degré d'eutrophisation: période 1965-1974

Fig. ■ 9 NO_3^-



Fig. ■ 10 K^+

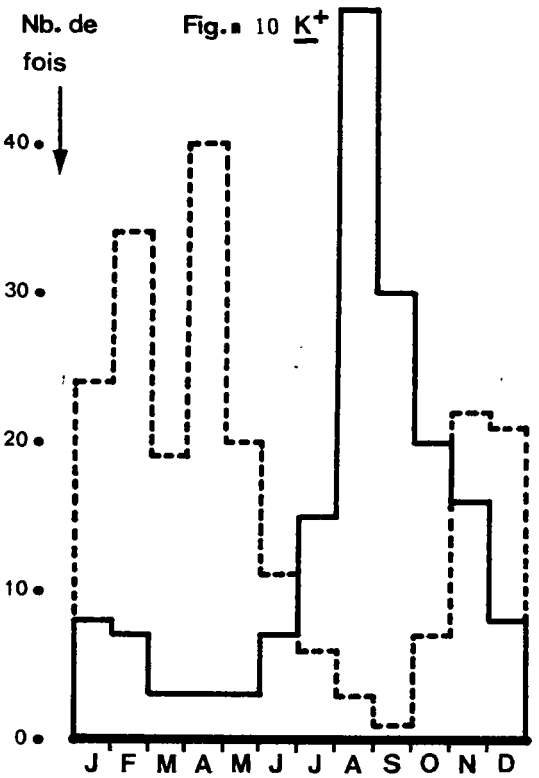


Fig. ■ 11 $PO_4^{\equiv}$

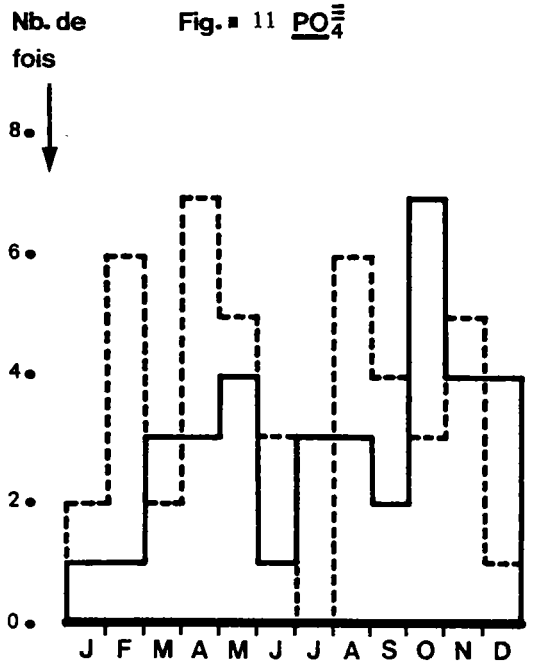
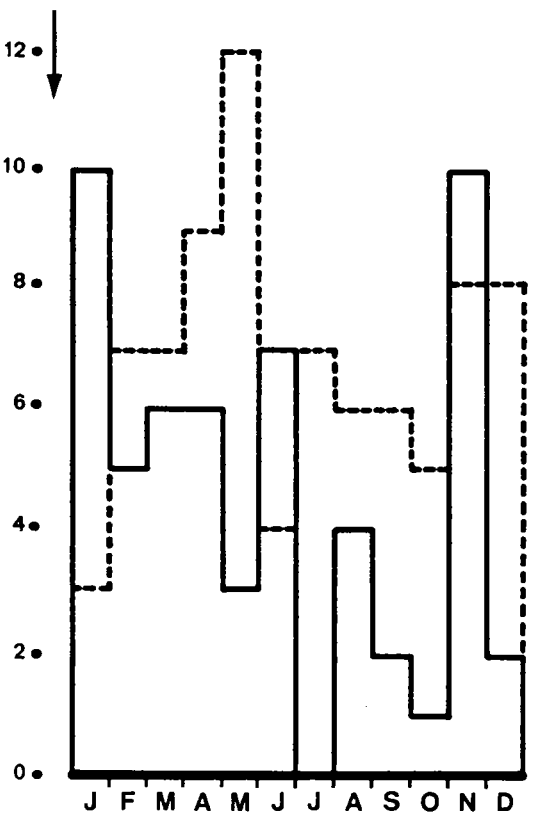


Fig. ■ 12 A.B.S.



Fréquences d'observation mensuelles des valeurs maximales et minimales pour les paramètres de pollution toxique: période 1965-1974

Fig. n° 13 NH_3

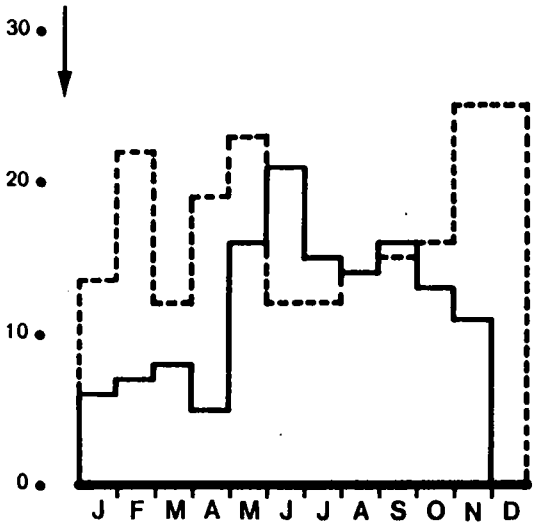


Fig. n° 14 NO_2^-

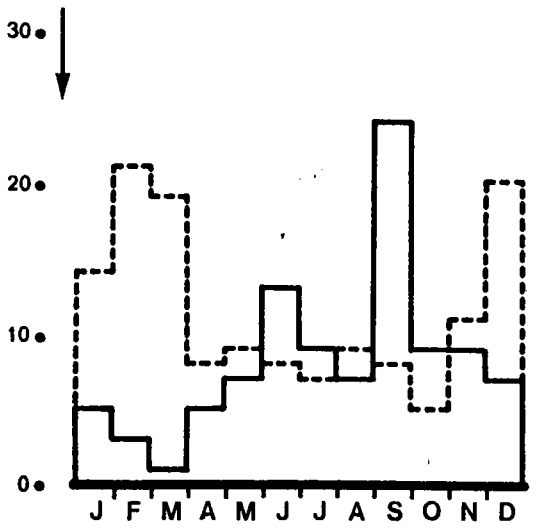


Fig. n° 15 Composés Phénoliques

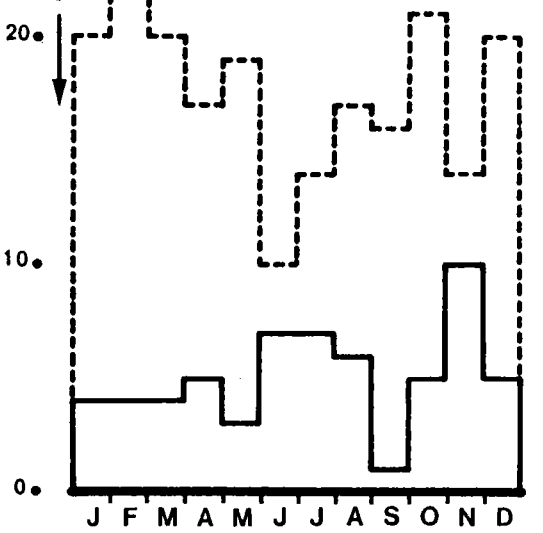


Fig. n° 16 CN^-

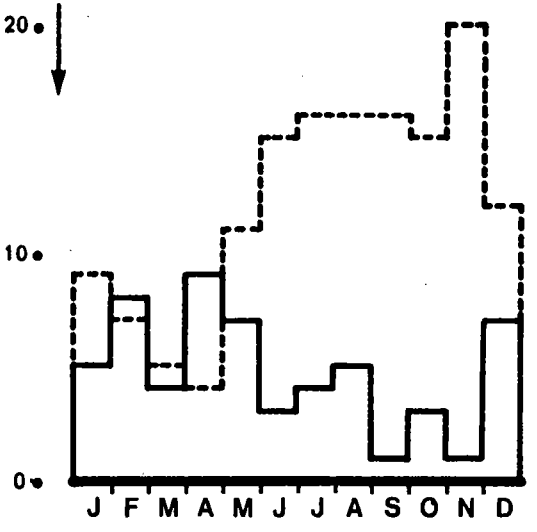
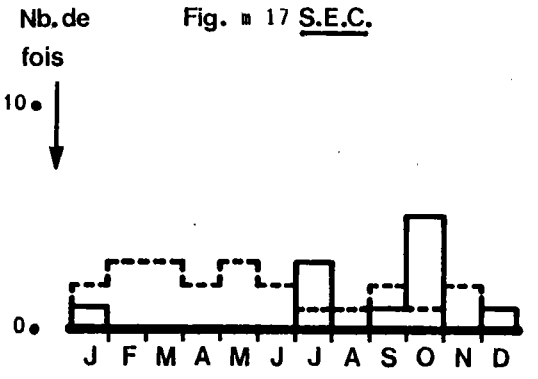


Fig. n° 17 S.E.C.



CONCLUSION GENERALE

La représentation cartographique que nous avons proposée ne permet pas, dans la mesure où elle traduit l'évolution de la pollution de la MOSELLE sur la période 1965-1974, de percevoir l'effet de l'action entreprise par l'Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE dans le cadre de la lutte anti-pollution notamment au niveau de la pollution minérale. Mais il s'agissait, à travers cette proposition de présenter avant tout une méthodologie en vue de l'expression par la carte (ici, le tableau cartographique) de l'évolution d'un phénomène.

Toutefois, l'étude des bilans 1965-1974 et 1965-1978 a permis de percevoir les premiers effets des mesures prises par l'A.F.B.R.M. en vue de la régulation des rejets des Soudières et Salines. Néanmoins, les efforts à fournir restent encore importants, notamment pour réduire le processus d'eutrophisation. Nous avons insisté dans ce dernier cas sur le rôle du développement des stations d'épuration et des réseaux d'assainissement collectifs qui dirigent les effluents domestique (riches en éléments eutrophisants) vers les cours d'eau.

Peut-être a-t-on trop systématisé le recours à la station d'épuration et aux réseaux collectifs pour résoudre les problèmes de pollution organique ? Ceci expliquerait la réhabilitation que connaissent actuellement (encore timidement toutefois) l'assainissement individuel et le lagunage, lesquels évitent le déversement des effluents dans les rivières. Mais si les stations d'épuration, moyen désormais classique, ne constituent pas la solution miracle dans toutes les circonstances, il en est de même du lagunage et de l'assainissement individuel, mieux adaptés à de petites collectivités (problèmes financiers) et à un habitat dispersé. Ici comme dans

bien d'autres domaines, il s'agit d'adapter aux circonstances la solution la plus adéquate et non de généraliser les solutions uniques.

Il serait également, nous semble-t-il opportun, de considérer dans l'approche de l'eutrophisation, des paramètres qui n'ont guère été jusqu'ici pris en compte dans les études relatives à ce phénomène. Nous pensons tout particulièrement au potassium dont nous avons souligné les teneurs importantes lors de l'analyse du niveau d'eutrophisation de la MOSELLE.

De même, si dans le domaine des pollutions toxiques, de gros progrès ont certes été réalisés, grâce à des techniques adaptées, il reste qu'un accident peut entraîner de véritables catastrophes sur l'environnement : l'exemple du déversement accidentel de cyanures dans la MOSELLE en juillet 1975 est, à ce sujet, tout à fait révélateur.

Si, dans sa tâche, l'A.F.B.R.M. oriente son action dans le sens d'une lutte "curative" contre la pollution en s'attaquant au phénomène lui-même dans ses manifestations, par tout un système bien connu de redevances et d'aides financières, elle ne néglige pas pour autant l'aspect préventif, en faisant appel à la responsabilité individuelle. Cet aspect de la lutte anti-pollution touche notamment les industriels, lesquels bien souvent, ne savent même pas ce qu'ils rejettent dans leurs effluents. Il s'agit pour l'Agence de susciter la pratique des auto-contrôles industriels qui pourrait améliorer notablement la gestion des ouvrages d'épuration et du milieu naturel.

Mais cet aspect préventif touche aussi, et peut-être surtout au domaine de l'éducation du citoyen, à l'information de celui-ci, au développement d'un civisme à l'égard du milieu naturel. Les responsables de l'Agence Financière de bassin RHIN-MEUSE sont conscients du problème ; c'est ce qui a abou à la parution de documents à usage scolaire tels que "L'eau en Lorraine", ou à usage du grand public sous la forme de différentes "plaquettes".

Les programmes scolaires intègrent également, désormais, cet aspect du problème de la protection de l'environnement que constitue la lutte contre la pollution des eaux superficielles.

Pour terminer, il faut signaler deux faits majeurs :

- l'évolution industrielle (sidérurgique notamment) dans le secteur aval du bassin de la Moselle française, si el présente des aspects économiques et sociaux souvent dramatiques, se traduit par des effets positifs sur la pollution de l'ORNE et accessoirement de la FENSCH. En particulier, pour ce qui concerne les toxiques, les cokeries ont toutes fermé depuis 1971, sauf celle de SEREMANGE.

- les conséquences du développement du drainage agricole restent mal connues, et ce problème mériterait, à lui seul, une étude très approfondie au niveau du bassin de la MOSELLE.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

BOEGLIN J.C., 1973.- Connaissances analytiques des eaux résiduaires. Critères d'évolution et d'identification de la pollution. I.R.H. NANCY, 83 p.

BRUNET R., 1967.- Le croquis de géographie régionale et cartographique. SEDES 255 p.

BREMOND R. et VUICHARD R., 1973.- Les paramètres de la qualité des eaux. Première édition.Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie.

BREMOND R. et PERRODON C., 1979.- Les paramètres de la qualité des eaux. Deuxième édition. Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie. 259 p.

CORDEBAR P., LEGLIZE L., NOURISSON M., 1980.- Impact de quelques polluants métalliques sur les principaux représentants de la faune malacologique de la MOSELLE. XXVème Congrès de l'A.F.L. PARIS, 19-22 mai, 1 p.

CORDEBAR P., LEGLIZE L., 1981.- La contamination métallique de la MOSELLE. Approche écotoxicologique de son impact sur la faune malacologique. XXVIème Congrès de l'A.F.L., ORLEANS, 1er au 4 juin 1981, 5 p.

CROS P., 1978.- Conséquences du drainage agricole sur l'environnement. Le Géomètre n°5, p. 79 à 89.

DAVID J.F., 1977 .- Le drainage en LORRAINE. Regardssur l'espace rural - région Lorraine. Sce de Presse, éd. Info. p. 317-322.

DI MARZIO L., 1976.- Incidences hydrobiologiques des apports d'un affluent à la pollution de type industriel sur une rivière de deuxième catégorie. D.E.A. d'écotoxicologie, Université de METZ. 95 p.

DUVIGNEAUD P., 1974.- La synthèse écologique. DOIN, 296 p.

FERARD J.F., 1974.- Contribution au recyclage des eaux piscicoles. Etude particulière de l'oxygénation et de la dégradation de l'ammoniaque. D.E.A. d'écotoxicologie, Université de METZ, 81 p.

FRECAUT R., 1971.- La MOSELLE et son bassin. Contribution à l'Hydrologie et à la dynamique fluviales en milieu tempéré océanique. Thèse d'Etat, BREST, 843 p.

HERVE D., 1978.- Origines de l'accroissement de la teneur en sulfates des eaux stockées dans les mines de fer. Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de Prospection minière, p. 3 à 30.

JUILLARD E., 1977.- L'ALSACE et la LORRAINE. Atlas et Géographie de la France moderne. Flammarion, 287 p.

MARTIN J.F., 1981.- Nitrates et environnement. L'expérimentation de CHAUSSY. Chambre départementale de l'Agriculture du LOIRET. XXVIème Congrès de l'A.F.L., ORLEANS, du 1er au 4 juin 81, 3 p.

NISBET M. et VERNEAUX J., 1970.- Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition de classes en tant que base d'interprétation des analyses chimiques. Annales de Limnologie, 6 (2), p. 161-190.

NOIRFALISE A., 1974.- Conséquences écologiques de l'application des techniques modernes de production en agriculture. Commission des Communautés Européennes.

PARDE M., 1968.- Fleuves et rivières. A. COLIN, U2, 5ème édition, 241 p.

PEGUY Ch. P., 1970.- Précis de climatologie, MASSON, PARIS, 468 p.

PIHAN J.C., 1980.- Le RHIN, fleuve pollué européen. Acte du XXVème Congrès de l'A.F.L., PARIS, 19-22 mai, p. 80-93.

RAMADE F., 1974.- Eléments d'écologie appliquée. Ediscience, PARIS, 522 p.

RAMADE F., 1977.- Ecotoxicologie. MASSON, 206 p.

RIMBERT S., 1968.- Leçons de cartographie thématique. SEDES, 139 p.

SADROLASCHRAFI D., 1980.- Contribution à l'étude des pigments chlorophylliens et de la production d'oxygène photosynthétique dans les grands cours d'eau du Nord-Est de la FRANCE. Thèse de Docteur Ingénieur, METZ, 226 p

SCHAUB G., 1975.- Nappes souterraines et eaux de surface. Atlas de l'Est, 3ème tranche.

RAPPORTS ET REVUES

Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE, 1977.- Opération pilote Haute-Moselle. Objectifs de qualité des eaux superficielles. Rapport technique, 219 p.

Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE - RHIN-MEUSE Informations n°1 à 21. de 1973 à 1981.

Agence Financière de Bassin RHIN-MEUSE, 1976.- Critères d'appréciation de la qualité générale de l'eau.

C.C.C.E. (Commission du Conseil des Communautés Européennes) 1976.- Proposition de directives concernant la qualité requise des eaux douces aptes la vie des poissons.

C.I.P.M.P. (Commission Internationale pour la Protection de la Moselle contre la pollution), 1973.- Rapport du groupe de Travail B sur la lutte contre la pollution des eaux de la MOSELLE pour la période 1964-1973, 55 p.

C.E.G.U.M. (Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de METZ). 1971.- MOSELLA, tome 1, n° 2.

Documentation Française, 1973.- Inventaire du degré de pollution des eaux superficielles. Rivières et canaux. Campagne 1971. Rapport Général, 151 p.

I.N.S.E.E., 1980.- Les dossiers de l'économie lorraine, 47 p.

Ministère de l'Agriculture et du Développement rural, 1972.- Recensement général de l'Agriculture, 1970-1971. Fascicules départementaux : MOSELLE, MEUSE, MEURTHE-et-MOSELLE, VOSGES. Service central des enquêtes et études statistiques.

S.R.A.E.L. - 1972 : La pollution des eaux dans le Bassin de la SEILLE, 41 p.

1972 : Le RUPT-de-MAD. Monographie sommaire et qualité des eaux 45 p.

1972 : Monographie sommaire et qualité des eaux du Bassin de la VOLOGNE, 67 p.

1973 : Monographie sommaire et qualité des eaux de la Haute-MOSELLE (à l'amont d'EPINAL), 57 p.

1979 : Entraînements d'éléments fertilisants et d'herbicides par les eaux de drainage de terres agricoles, 41 p.