



n° 1159

# LES MECANISMES DE L'EUTROPHISATION

## EN RIVIERE

Etude méthodologique d'une rivière canalisée :

le secteur aval de la Moselle

## S O M M A I R E

INTRODUCTION GENERALE P.1

lère Partie : Approche bibliographique du phénomène de l'eutrophisation en rivière

- A. Choix d'un estimateur de la biomasse phytoplanctonique P.3
- B. Méthodes d'analyse de la chlorophylle dans l'eau P.3
  - 1. Méthode directe P.3
  - 2. Methodes indirectes P.4
    - 2.1. Principe
    - 2.2. Procédure
- C. Paramètres régulateurs de la dynamique phytoplanctonique P.8
  - 1. Facteurs climatiques P.9
    - 1.1. Intensité lumineuse
    - 1.2. Température
    - 1.3. Pluviosité
  - 2. Facteurs hydroliques P.12
  - 3. Paramètres physico-chimiques P.13
    - 3.1. Nutriments
      - 3.1.1. Le phosphore
      - 3.1.2. L'azote
      - 3.1.3. La silice
    - 3.2. Le coefficient d'extinction et la transparence de l'eau
      - 3.2.1. Méthode directe
        - a- Coefficient d'extinction moyen
        - b- Méthode des ajustements
      - 3.2.2. Méthodes indirectes
        - a- Transparence au disque de Secchi
        - b- Poids des matières en suspension dans l'eau
    - 3.3. Toxicité de l'eau
    - 3.4. Paramètres complémentaires
      - 3.4.1. Le pH
      - 3.4.2. L'oxygène dissous
  - 4. Facteurs biologiques P.21
    - 4.1. Le zooplancton
    - 4.2. Les macrophytes
  - 5. Conclusion P.21

2ème Partie : Exploitation des données d'un réseau de mesure de l'eutrophisation en 1983 et 1984, sur la Moselle aval

Introduction	P.23
I. Méthodologie	P.23
A. Localisation des stations	P.23
II. Résultats	P.25
A. Conditions climatiques	P.25
1. Ensoleillement - rayonnement global	P.25
2. Températures	P.26
B. Conditions hydrauliques	P.26
C. Nutriments	P.28
1. Orthophosphates et phosphore total	P.28
a- Orthophosphates	
b- Phosphore total	
2. Les nitrates	P.29
3. Les silicates	P.30
4. Conclusion	P.30
D. Coefficient d'extinction	P.30
1. mesure du pourcentage de transmission	P.31
a- Calcul d'un coefficient d'extinction moyen	
b- Méthode des ajustements	
2. Mesure au disque de Secchi	P.33
3. Estimation du coefficient d'extinction par les matières en suspension	P.34
E. Pigments chlorophylliens	P.35
1. Variations interstations	P.36
2. Variations saisonnières	P.37
3. Variations interannuelles	P.40
F. Paramètres complémentaires	P.40
III. Conclusions	P.41

-----

3ème partie : L'eutrophisation de la Moselle au niveau de Metz et la mise au point d'une méthodologie de mesure de la production primaire phytoplanctonique

Introduction	P.45
I. Estimation des apports de biomasse d'un affluent	P.45
A. Protocole expérimental	P.46
1. Conditions climatiques et hydrauliques rencontrées en 1985	P.46

- 1.1. Données climatiques
  - 1.1.1. Le rayonnement global
  - 1.1.2. Les températures
- 1.2. Les débits
- 2. Evolution saisonnière de la biomasse P.47
- 3. Profil en long de la Moselle à Metz P.49
  - 3.1. Présentation du profil
  - 3.2. Conditions d'environnement
  - 3.3. Résultats
  - 3.4. Conclusions
- 4. Etude sommaire de l'eutrophisation de la Seille P.53
  - 4.1. Résultats
    - 4.1.1. Facteurs climatiques
      - a- Ensoleillement
      - b- Température
        - 4.1.2. Les débits
        - 4.1.3. Les nutriments
          - a- Le phosphore
          - b- L'azote
          - c- La silice
        - 4.1.4. La biomasse phytoplanctonique
        - 4.1.5. Enregistrement en continu
        - 4.1.6. Conclusion
- 5. Conclusion P.57

## II. Méthodologie de mesure de la production primaire phytoplanctonique P.58

### A. Introduction P.58

### B. Approche bibliographique P.59

- 1. Méthodologie P.59
  - 1.1. Méthodes directes
    - 1.1.1. Echantillons isolés
      - 1.1.1.a- Méthodes au C<sup>14</sup>
      - 1.1.1.b- Méthode de l'oxygène
        - 1.1.2. Mesures dans le milieu
    - 1.2. Méthodes indirectes
- 2. Les facteurs de production P.61
  - 2.1. L'intensité lumineuse
  - 2.2. Durée du jour
  - 2.3. La température
  - 2.4. Les débits
  - 2.5. Les nutriments

### C. Choix de la méthode P.62

- 1. Principe P.63
- 2. Facteurs P.63
  - 2.1. Facteurs liés aux conditions d'expérience in situ
  - 2.2. Conditions opératoires
- 3. Exploitation des résultats P.65
  - 3.1. Principe
  - 3.2. Méthodes d'exploitation des résultats

D. Protocole expérimental mis en oeuvre sur la Moselle	P.69
1. Description du matériel	P.69
1.1. Incubateur	
1.2. Matériel	
2. Protocole expérimental	P.70
E. Incubation réalisées en 1985	P.71
1. Présentation et localisation	P.71
2. Résultats	P.71
2.1. Incubation du 19 juin 1985	
2.1.1. présentation et conditions d'environnement	
2.1.2. Résultats	
2.1.2.a- Production brute	
2.1.2.b- Bilan global de l'oxygène dissous	
2.1.2.c- Evolution de la biomasse pendant l'incubation	
2.2. Incubation du 25 juillet 1985	
2.2.1. Présentation de l'expérimentation	
2.2.2. Conditions d'environnement	
2.2.3. Résultats	
2.2.3.a- Calcul de la production brute	
2.2.3.b- productivité	
2.2.3.c- Evolution de la biomasse	
2.3. Incubation du 26 août 1985	
2.3.1. Présentation et conditions d'environnement	
2.3.2. Résultats	
2.3.2.a- Production brute	
2.3.2.b- Profils verticaux complémentaires	
3. Conclusions générales sur les incubations	P.87

4ème Partie : Conclusions générales P.90

BIBLIOGRAPHIE P.93

ANNEXES

## I.- INTRODUCTION GENERALE

Dans le milieu aquatique, le phytoplancton ou plancton végétal, constitue la base de toute pyramide alimentaire aquatique, et détermine l'équilibre de l'écosystème.

La surabondance de phytoplancton, voire le développement excessif de la biomasse algale peut porter atteinte aux caractéristiques biologiques, aux valeurs économiques (approvisionnement en eau potable et en eau d'industrie) et esthétiques (tourisme) des milieux aquatiques d'eau douce. Ce déséquilibre et ses conséquences regroupés, sous le terme d'eutrophisation se sont limités jusqu'aux années 1970, aux eaux stagnantes. Le rapport OCDE (1974) donnait la définition suivante du Terme Eutrophisation "Accumulation à température élevée de débris organiques putrescibles dans les eaux profondes". Depuis, ce phénomène s'est étendu aux eaux courantes où "le développement excessif du phytoplancton provoque un flux de matière organique qui se comporte comme une véritable pollution" (Crouzet Ph. 1982). L'Est de la France a été le siège depuis quelques années de manifestations visibles de ce phénomène d'eutrophisation :

- en juillet 1976 sur la Moselle aval, apparition de fleurs d'eau dues à la prolifération d'une cyanophycée : Microcystis aeruginosa ;
- en 1975 et 1976, une mortalité piscicole importante dans la Semois (AFBRM 1979) ;
- la Meuse présente régulièrement depuis quelques années une coloration verte de ses eaux (CSP 1983).

Ces perturbations ont amené les organismes responsables et les utilisateurs à une prise de conscience du danger encouru pour certaines de nos rivières. L'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse (AFBRM) a établi un "bilan de santé" des différents cours d'eau en 1979. Il est apparu nécessaire de compléter ces données par d'autres éléments qualitatifs et quantitatifs afin de comprendre les mécanismes du développement planctonique. L'ensemble de ces études devant servir à la mise au point d'une stratégie d'ensemble de maîtrise de l'eutrophisation au niveau du bassin. Cette politique passe par la mise au point d'outils appropriés et notamment mathématiques. Une première campagne de recueil de données a eu lieu durant la période estivale de 1983. Un réseau de mesures a été mis en place sur la Moselle aval par le laboratoire d'Ecologie de l'Université de Metz, en liaison avec l'AFBRM. Ce réseau avait pour but de préciser les niveaux réels d'eutrophisation sur ce tronçon de rivière et d'apporter les premiers éléments de compréhension sur la dynamique phytoplanctonique en Moselle. Il a en outre, mis en évidence une importante différence dans le degré d'eutrophisation entre les stations amont et aval de

Metz. Sur la base de ces résultats, un nouveau programme a débuté en 1984, mais seules deux stations représentatives du développement phytoplanctonique de ce tronçon de la Moselle ont été conservées.

L'objectif était double :

- comprendre la différence entre l'amont et l'aval de Metz ;
- acquérir de nouvelles informations sur la dynamique de la biomasse phytoplanctonique.

Le premier objectif n'a pas été tout à fait atteint en 1984 ; il a donc été nécessaire de reprendre une étude de ces stations en prenant comme hypothèses de travail : la différence entre l'amont et l'aval de Metz est due

1. à un apport de phytoplancton entre ces deux stations ;
2. à une croissance de biomasse au cours de son transit.

J'ai ainsi continué le suivi des deux stations de 1984 en y ajoutant une station sur la Seille, affluent rive droite qui se jette dans la Moselle au niveau de Metz. Un profil longitudinal a confirmé nos observations et à montré la nécessité d'une étude détaillée de ce petit cours d'eau. La compréhension de la dynamique phytoplanctonique et de ses relations avec les composantes du milieu nécessitait la mise au point d'une méthodologie de mesures de la production primaire planctonique.

Des incubations in situ réalisées dans la Moselle ont servi de tests à cette nouvelle méthode de mesure, et viennent apporter de nouveaux éléments sur la dynamique planctonique, la balance de l'oxygène dissous et la production photosynthétique de cette rivière.

## CONCLUSIONS GENERALES

Le réseau de mesures mis en place sur la Moselle aval depuis 1983 a permis de cerner les principales caractéristiques de la dynamique phytoplanctonique de cette rivière eutrophe.

La Moselle offre des conditions extrêmement favorables du point de vue nutritionnel.

Parmi les facteurs contrôlant la croissance algale, l'ensoleillement, le débit et la température conditionnent le cycle saisonnier de la biomasse. De fortes concentrations en pigments chlorophylliens, plus particulièrement en chlorophylle "a" active, ne se rencontrent qu'en période estivale lorsque les conditions climatiques et hydrauliques suivantes sont réunies :

- faibles débits proches du DME de fréquence 1/2 impliquant un temps de résidence hydraulique important ;
- une température supérieure à 20°C; les maximum planctoniques étant observés lorsque les 25°C sont atteints ;
- un ensoleillement moyen journalier exprimé par le rayonnement global supérieur à 2000J/cm<sup>2</sup>.

La stabilité de ces paramètres conditionne fortement l'allure du cycle saisonnier : des crues ou des variations importantes de température et d'ensoleillement entraînent une mortalité élevée de phytoplancton.

La forte turbidité de la Moselle contrôle le développement planctonique en limitant la lumière disponible. Nous avons montré que le coefficient d'extinction du rayonnement solaire qui caractérise le climat lumineux du milieu aquatique étudié peut être mesuré ou estimé à partir de 3 méthodes :

- mesure photoélectrique qui est la méthode la plus précise ;
- mesure de la profondeur de disparition du Secchi ;
- estimation à partir des poids de matières en suspension totales.

Nous avons également mis en évidence, la part prise par la biomasse phytoplanctonique dans ce coefficient d'extinction. L'auto-ombrage lors de pics planctoniques contribue à limiter la biomasse.

Il n'a toutefois pas été possible compte-tenu des méthodes utilisées d'évaluer l'importance du facteur toxicité de l'eau de même que de dégager l'influence du broutage du zooplancton, dont l'impact sur la biomasse algale peut être élevé dans une rivière canalisée comme la Moselle aval.

Le réseau mis en place a montré également la très nette disparité des niveaux d'eutrophisation entre l'amont et l'aval de Metz.

Les travaux réalisés en 1985 ont permis d'apporter un certain nombre de réponses sur ces différences, sans toutefois expliquer totalement le phénomène.



- Les stations situées à l'amont de Metz, malgré des potentialités élevées, ne présentent jamais de fortes concentrations en pigments chlorophylliens ce qui témoigne de la présence de facteurs limitants autres que ceux étudiés. Il faut songer à l'action prédatrice du zooplancton où à l'éventuelle présence de facteurs toxiques. Des tests de fertilité potentielle tels que ceux développés par Crouzet Ph (1982) permettraient sans doute de mieux apprécier la présence d'effet toxique.
- Le caractère très eutrophe de la Seille, affluent rive droite aux faibles débits d'étiage, explique en partie l'augmentation de la biomasse observée à l'aval de Metz. Son suivi régulier a en effet permis d'établir le niveau des débits massiques de chlorophylle active transitant dans cet affluent. L'analyse de cycles journaliers de chlorophylle montre toutefois la difficulté d'interpréter la variation des concentrations en pigments chlorophylliens en l'absence de comptage cellulaire.
- Les résultats, bien que fragmentaires d'un profil longitudinal détaillé, réalisé entre Ars et Argancy, sur l'ensemble du réseau hydrographique traversant Metz, ont confirmé, le rôle de la Seille dans l'accroissement de la biomasse algale dans la Moselle. Ils ont également permis de préciser celui du plan d'eau de la centrale EDF de la Maxe dans le bilan global. Il serait intéressant de reconduire cette expérience en complétant à la fois le nombre de stations prospectées et les paramètres pris en compte.
- L'application à la rivière Moselle de la méthode de dosage de l'oxygène dissous sur des échantillons incubés in situ, pour estimer la production primaire, s'est révélée tout à fait positive. L'incubateur mis au point a permis d'établir lors de 3 expériences, un premier bilan global d'oxygène des stations étudiées.
- La généralisation de cette méthode à un suivi régulier des niveaux de production de la rivière peut maintenant être envisagée. Il serait également intéressant de développer au laboratoire une méthodologie équivalente permettant de contrôler précisément certains facteurs (éclairage, température, turbidité, toxicité ...) et d'évaluer ainsi leur impact sur la production en rivière.

Pour une bonne compréhension des mécanismes de l'eutrophisation de la rivière Moselle, il nous paraît nécessaire de poursuivre la recherche selon trois axes.

- Connaissance des niveaux de production de l'écosystème basée sur la généralisation de la méthodologie mise au point avec :
  - . intensification des points de mesures ;
  - . développement des incubations croisées ;
  - . exploitation de possibilités de préfiltrations (à 80  $\mu\text{m}$  et à 1,2  $\mu\text{m}$ ).

- Développement au laboratoire d'une expérimentation permettant de préciser le niveau de régulation des différents facteurs mis en évidence :
  - . application de tests de fertilité potentielle ;
  - . développement de la production primaire sous facteur contrôlé ;
  - . mesure de l'activité de broutage du zooplancton.
- Développement et applications d'outils mathématiques indispensables à la compréhension de la dynamique phytoplanctonique.