



n° 18613

THESE

Présentée à l'Université de Metz en vue de l'obtention du grade de:

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE METZ**

Mention: Sciences de la vie  
Spécialité: Hydrobiologie

**Paf**

**Marc GIGLEUX**

Titre

**Le développement phytoplanctonique dans  
la Moselle en aval de Metz et dans la Seille:**

**Mesure de la production primaire.**

Soutenue le 17 décembre 1992 devant la commission d'examen:

Président:	Jean-Claude PIHAN	Professeur à l'Université de Metz
Rapporteurs:	Alain DAUTA	Chargé de recherche au CNRS Université Paul Sabatier à Toulouse
	Jean-Pierre DESCY	Professeur à l'Université de Namur
Examinateurs:	Michel NOURISSON	Professeur émérite à l'Université de Metz Directeur de thèse
	Jean-Claude MORETEAU	Professeur à l'Université de Metz
	Freddy LANGENFELD	Sous-directeur de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse

## SOMMAIRE

SOMMAIRE .....	1
LISTE DES ABREVIATIONS <b>UTILISEES</b> DANS CETTE ETUDE .....	5
<b>PRESENTATION GENERALE</b> .....	<b>6</b>
<b>PLAN DE THESE</b> .....	<b>8</b>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>9</b>
1.1 L'eutrophisation: définition, causes et effets. ....	<b>9</b>
1.2 Choix des paramètres et localisation des stations .....	10
1.2.1 Choix des paramètres. ....	10
<b>1.2.2.-</b> Choix des stations.. ....	10
<b>2. PRESENTATION DES DEUX RIVIERES</b> .....	<b>13</b>
2.1. La Moselle .....	13
2.1.1. Caractéristiques hydrauliques .....	13
2.1.2. Caractéristiques physico-chimiques .....	13
3.1.2.1. Température.. ....	13
2.1.2.2. Oxygène dissous .....	14
2.1.2.3. pH.. ....	14
2.1.2.4. Minéralisation.. ....	14
2.2. La Seille.. ....	15
2.2.1. Caractéristiques hydrauliques .....	15
2.2.2. Caractéristiques physico-chimiques .....	15
2.2.2.1. Température.. ....	15
2.2.2.2. Oxygène dissous.. ....	17
2.2.2.3. pH .....	17
2.2.2.4. Minéralisation .....	17
<b>3. LES ELEMENTS NUTRITIFS</b> .....	<b>20</b>
3.1. Synthèse bibliographique .....	<b>20</b>
3.1.1. L'azote .....	<b>20</b>
3.1.2. Le phosphore .....	<b>22</b>
3.1.3. Le rapport <b>N/P</b> .....	24
3.1.4. La silice .....	<b>25</b>
3.2. Résultats des mesures dans la <b>Moselle</b> et la Seille .....	<b>25</b>
3.2.1. <b>L'Azote</b> .....	25
3.2.1.1. Les nitrates .....	25
3.2.1.2. Les nitrites.. ....	27
3.2.1.3. L'ammonium.. ....	<b>29</b>
3.2.1.4. Bilan des éléments azotés .....	30

3.22. Le phosphore .....	3
3.23 Le rapport <b>N/P</b> .....	3
3.2.4. La silice. ....	3
3.2.5. Profils longitudinaux de nutriments dans la Seille .....	<b>3</b>
3.2.5.1. L'azote .....	3
3.2.5.1.1. Les nitrates .....	3
3.2.5.1.2. L'ammonium .....	3
3.2.5.2. Le phosphore .....	3
3.2.5.3. La silice .....	41
3.2.5.4. Bilan. ....	42
3.3. Conclusions .....	42
<b>4. ETUDE DE L'ENERGIE LUMINEUSE DANS LE MILIEU AQUATIQUE .....</b>	<b>44</b>
4.1. Rappels bibliographiques .....	44
4.2. Résultats .....	45
4.3. Analyse des données. ....	47
4.3.1. La Moselle .....	<b>47</b>
4.3.2. La Seille .....	48
4.4. Bilan de l'étude du coefficient d'extinction .....	49
<b>5. BIOMASSE PHYTOPLANCTONIQUE .....</b>	<b>51</b>
5.1. Matériel et méthode .....	51
5.2. Résultats .....	52
5.2.1. Rivière Moselle. ....	<b>52</b>
5.2.1.1. Evolution saisonnière .....	52
5.2.1.2. Comparaison interstation .....	53
5.2.2. Rivière Seille .....	<b>54</b>
5.2.2.1. Evolution saisonnière .....	<b>54</b>
5.2.2.2. Profils longitudinaux de biomasse dans la Seille .....	54
5.2.3. Etude de la confluence Seille-Moselle .....	56
5.2.3.1. Objectif et méthode .....	56
5.2.3.2. Résultats .....	57
5.2.3.3. Bilan .....	57
5.2.3.4. Comparaison des résultats obtenus par deux méthodes d'estimation de la <b>biomasse</b> : le comptage cellulaire et le dosage de la chlorophylle .....	<b>60</b>

3.2.2. Le phosphore.....	3
3.2.3 Le rapport N/P.....	3
3.2.4. La silice.....	3
<b>3.2.5. Profils longitudinaux de nutriments dans la Seille .....</b>	<b>3</b>
<b>3.2.5.1. L'azote .....</b>	<b>3</b>
<b>3.2.5.1.1. Les nitrates .....</b>	<b>3</b>
3.2.5.1.2. L'ammonium .....	35
<b>3.2.5.2. Le phosphore .....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.5.3. La silice .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.5.4. Bilan .....</b>	<b>42</b>
3.3. Conclusions .....	42
<b>4. ETUDE DE L'ENERGIE LUMINEUSE DANS LE MILIEU AQUATIQUE .....</b>	<b>44</b>
4.1. Rappels bibliographiques .....	44
4.2. Résultats .....	45
<b>4.3. Analyse des données, .....</b>	<b>47</b>
4.3.1. La Moselle .....	47
<b>4.3.2. La Seille .....</b>	<b>48</b>
4.4. Bilan de l'étude du coefficient d'extinction .....	49
<b>5. BIOMASSE PHYTOPLANCTONIQUE .....</b>	<b>51</b>
5.1. Matériel et méthode .....	51
5.2. Résultats .....	52
<b>5.2.1. Rivière Moselle.....</b>	<b>52</b>
<b>5.2.1.1. Evolution saisonnière .....</b>	<b>52</b>
5.2.1.2. Comparaison interstation .....	53
5.2.2. Rivière Seille .....	54
5.2.2.1. Evolution saisonnière .....	54
5.2.2.2. Profils longitudinaux de biomasse dans la Seille .....	54
5.2.3. Etude de la confluence Seille-Moselle .....	56
5.2.3.1. Objectif et méthode .....	56
5.2.3.2. Résultats .....	57
<b>5.2.3.3. Bilan .....</b>	<b>57</b>
5.2.3.4. Comparaison des résultats obtenus par deux méthodes d'estimation de la biomasse : le comptage cellulaire et le dosage de la chlorophylle .....	60

<b>6. LE PHYTOPLANCTON DE LA MOSELLE ET DE LA SEILLE</b> .....	<b>62</b>
6.1. Objectif de cette étude:.....	62
6.2. Populations phytoplanctoniques.....	62
6.2.1. Moselle.....	<b>62</b>
6.2.2. Seille.....	<b>63</b>
6.2.3. La confluence Seille / Moselle.....	<b>65</b>
6.4. Conclusion.....	65
<b>7.MESURE DE LA PRODUCTION PRIMAIRE</b> .....	<b>67</b>
7.1. Introduction.....	67
7.2. Mesures et méthodes.....	67
7.2.1. Campagnes de mesure.....	<b>68</b>
7.2.2. Protocole de mesure.....	68
7.2.2.1. Méthode du $^{14}\text{C}$ .....	69
7.2.2.1.1. Principe.....	<b>69</b>
7.2.2.1.2. Protocole de mesure.....	<b>69</b>
7.2.2.1.3. Mesure du “quenching”.....	<b>70</b>
7.2.2.1.4. Calcul de l’assimilation de carbone.....	<b>71</b>
7.2.3. Estimation du paramètre $I_k$ .....	<b>71</b>
7.2.4. Calcul de la production primaire journalière.....	<b>72</b>
7.2.5. Mesures dans les bouteilles sombres.....	<b>73</b>
7.2.5.1. Incubations par la méthode du <b><math>^{14}\text{C}</math></b> .....	<b>73</b>
7.2.5.2. Incubations par la méthode de l’oxygène.....	<b>74</b>
7.2.6. Mesures dans les bouteilles claires.....	75
7.2.6.1. Méthode du $^{14}\text{C}$ .....	<b>75</b>
7.2.6.2. Méthode de l’oxygène.....	<b>76</b>
<b>7.2.6.3. Conclusion</b> .....	<b>76</b>
7.3. Résultats des mesures de production primaire.....	<b>77</b>
7.3.1. Remarques préliminaires.....	77
7.3.1.1. <b>Remarque</b> concernant la mesure au <b><math>^{14}\text{C}</math></b> .....	<b>77</b>
7.3.1.2. Concernant les mesures à l’oxygène.....	<b>77</b>
7.3.2. Mesures en bouteilles sombres.....	78
7.3.2.1. Résultat des mesures au $^{14}\text{C}$ .....	<b>78</b>
7.3.2.2. Mesures de la consommation d’oxygène dans les bouteilles sombres.....	<b>79</b>
7.3.3. Résultat des mesures en bouteilles claires.....	<b>84</b>

7.3.3.1. Incubations simultanées par les méthodes de l'oxygène et du <b>14C</b> .....	14C.....
7.3.3.2. Profils verticaux de production . . . . .	{
- 7.3.3.3. Productions brutes maximales horaires ...	8
<b>7.3.3.3.1.</b> Variations inter-stations .....	8
<b>7.3.3.3.2.</b> Evolution saisonnière . . . . . *	8
<b>7.3.3.3.3.</b> Relation entre les valeurs de P <sub>max</sub> et de biomasse. . . . .	91
<b>7.3.3.4.</b> Etude de la productivité planctonique par unité de biomasse . . . . .	96
7.3.3.4.1. Relation entre les valeurs de K <sub>max</sub> et la température de l'eau. . . . .	97
7.3.3.5. Conclusion sur les valeurs de production maximales . . . . .	99
7.3.4. Le paramètre I <sub>k</sub> .....	102
7.3.4.1. Résultats.. .....	102
7.3.4.2. Estimations du paramètre I <sub>k</sub> .. . . . .	104
7.3.4.2.1. Données Moselle .....	104
<b>7.3.4.2.2.</b> Données Seille.....	106
<b>7.3.5.</b> Calcul des productions primaires journalières. . . . .	107
7.3.5.1 <b>Méthode</b> de calcul .....	108
<b>7.3.5.2.</b> Résultats.. .....	108
7.3.6. Simulations de la production primaire dans la Moselle et la Seille.....	114
7.3.7. Présentation sommaire des termes de disparition du phytoplancton .....	118
7.3.7.1. La sédimentation.. .....	118
<b>7.3.7.2.</b> Le broutage par le zooplancton .....	119

<b>8. CONCLUSIONS</b> .....	124
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	129

## PRESENTATION GENERALE

Le Bassin Rhin-Meuse a longtemps été classé parmi les bassins hydrographiques qui présentaient les plus fortes pollutions des eaux de surface par les métaux lourds. Ceux-ci étaient rejetés par la sidérurgie lorraine alors en pleine activité et qui n'avait pas encore le souci de préserver l'environnement.

L'activité sidérurgique ayant progressivement mis en place le traitement d'épuration de ses rejets toxiques, la toxicité des eaux de surface vis-à-vis de la faune et de la flore aquatique s'est fortement atténuée. La situation s'est encore plus nettement améliorée avec la disparition quasi totale de la sidérurgie lorraine.

C'est à partir de ce moment que sont apparus les premiers phénomènes d'eutrophisation dans la Moselle. Les premières études, réalisées dans les années 1975, ont affirmé l'existence de ce phénomène jusque-là inhibé par la toxicité des eaux polluées. De nouvelles études ont été entreprises et on a commencé à amasser une certaine quantité de données sur ce phénomène qui, pensait-on, était jusque-là limité aux eaux stagnantes.

En 1984 et 1985, ont débuté des études sur les niveaux de biomasse phytoplanctonique atteints dans la rivière Moselle. La réalisation de profils longitudinaux en 1985 et en 1986, de la source de la Moselle jusqu'à la frontière Luxembourgeoise, à **Apach** ont mis en évidence deux points singuliers ( figure 1 et 2 ):

- la zone de confluence Moselle et Meurthe
- la zone de confluence Moselle et Seille.

L'Agence de l'Eau Rhin-Meuse disposant d'un modèle mathématique de simulation du développement phytoplanctonique dans la Moselle et ses affluents, réalisé par le groupe de recherche scientifique **d'EDF**, nous avons pu comparer les résultats fournis par ce modèle et les mesures dont nous disposions.

On s'est rendu compte qu'il ne donnait pas de bons résultats, en particulier au niveau de la confluence de la Moselle et de la Seille où les valeurs de biomasses étaient sous-estimées. **D'importants** écarts sont également apparus dans le secteur aval de la Moselle où les biomasses étaient sous-estimées ou sur-estimées par le modèle.

Nous avons donc repris l'étude du développement phytoplanctonique dans la Moselle en nous intéressant plus particulièrement à la confluence de la Seille et au secteur aval de la Moselle.

L'étude de 1985 (GIGLEUX, D.E.A.), a mis en évidence la présence de biomasses **phytoplanctoniques** très élevées dans la Seille ainsi que dans la Moselle, en aval de la confluence **de la** Seille et du plan d'eau de la centrale EDF de La Maxe. Elle n'a cependant pas permis **de** déterminer **avec** précision l'origine des importantes biomasses phytoplanctoniques que l'on mesurait en aval **de** Metz.

Ce rapport présente le résultat de trois **années** d'études de terrain menées sur les rivières Moselle et Seille. Les plus importantes biomasses étant mesurées dans le secteur compris entre Metz et la frontière **franco-germano-luxembourgeoise**, nous avons **limité** le secteur d'étude à ce tronçon de cours d'eau.

Afin qu'il soit possible de d'utiliser ces résultats pour une modélisation de l'eutrophisation de la Moselle et de ses affluents, nous avons recherché systématiquement les relations les plus significatives entre les paramètres que nous avons étudiés spécifiquement pour ce travail et les paramètres mesurés systématiquement sur les réseaux de mesure de l'Agence de l'Eau, de manière à essayer de transposer partiellement les résultats obtenus sur d'autres secteurs de la Moselle.

Dans un premier temps seront **présentés** les résultats du suivi physico-chimique des eaux. Nous pourrons alors tenter de déterminer les paramètres physico-chimiques qui seraient susceptibles de contrôler le développement phytoplanctonique dans **ces deux** rivières.

Le suivi de la biomasse permettra d'établir les cycles annuels de croissance et de déterminer les niveaux d'eutrophisation des cours d'eau. Nous nous attacherons également à comprendre le rôle que joue la Seille sur le développement du phytoplancton dans la Moselle. Les peuplements phytoplanctoniques seront sommairement présentés.

Cependant, ces éléments restant du domaine du constat, il nous est apparu indispensable de parvenir à acquérir des éléments **prédictifs**. Pour cela, nous avons réalisé des mesures de la production primaire phytoplanctonique dans les deux rivières Moselle et Seille, au cours de trois années, dans une gamme aussi large que possible de débits, de températures et d'ensoleillement.

Dans le dernier chapitre de cette thèse, nous apporterons des éléments qui devraient permettre une modélisation élaborée de la production primaire dans la Moselle et dans la Seille. Ces éléments seront intégrés dans un nouveau modèle mathématique qui devrait être réalisé prochainement, grâce à un financement de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse.

## PLAN DE THESE

Après quelques rappels sur **"l'eutrophisation"** et une rapide présentation des rivières Seille et Moselle, nous nous attacherons à déterminer leurs niveaux de richesse nutritive

L'étude des facteurs de contrôle du développement algal se poursuivra par la caractérisation du climat lumineux dans ces eaux courantes. L'étude des corrélations entre les différents paramètres devant permettre une estimation du coefficient d'extinction de la lumière dans l'eau, nécessaire à une bonne modélisation mathématique.

Les niveaux d'eutrophisation phytoplanctonique seront déterminés à partir des dosages de **chlorophylle a**. Nous nous attarderons plus longuement sur la confluence de la Seille et de la **Moselle**.

Les espèces planctoniques rencontrées dans les deux rivières seront rapidement présentées, et nous porterons notre attention sur la succession des espèces plutôt que sur la caractérisation du milieu par ces algues.

Le dernier chapitre sera consacré à l'étude de la production primaire phytoplanctonique. L'essentiel de ce travail portera sur les termes d'assimilation de **carbone** et de perte par respiration. Les autres termes de disparition de biomasse feront l'objet d'une recherche bibliographique et seront simplement abordés.



# 1. INTRODUCTION

## 1.1 L'eutrophisation: définition, causes et effets.

L'eutrophisation, phénomène **connu** depuis plusieurs décennies, est un enrichissement excessif en matières nutritives, qui se traduit le plus souvent dans le milieu aquatique, par un **développement** anarchique de végétaux.

L'eutrophisation, terme **qui** indique un dysfonctionnement de l'écosystème, atteint aussi bien les **eaux** stagnantes que les eaux courantes.

Ce phénomène a tout d'abord été mis en évidence **dans** les lacs où les eaux se régénèrent lentement et dans lesquels l'apport en excès de substances nutritives entraînait l'apparition de grandes quantités d'algues macrophytiques, filamenteuses ou planctoniques .

On s'est également rendu compte que ces végétaux avaient tendance à envahir nos cours d'eau, **plus** particulièrement ceux qui avaient subi un aménagement hydraulique ( barrage, recalibrage ,... ): en amont des barrages, les eaux calmes et profondes sont le siège d'une intense activité phytoplanctonique, alors qu'en aval, les zones peu profondes sont colonisés par les végétaux fixés. Ce phénomène s'observe également dans les petits cours d'eau peu profonds, riches en substances nutritives .

Dans les grandes rivières comme la Moselle, la majeure partie de la biomasse végétale est constituée par les algues planctoniques, aussi l'étude que nous avons entreprise depuis 1985 sera consacrée uniquement à cette forme de vie végétale aquatique .

Le plancton est constitué d'organismes pélagiques pouvant éventuellement se fixer, et dont certains sont capables de mouvements propres ( **Dinoflagellés**,... ). On considère que le **tychoplancton**, algues benthiques détachées de leur substrat et entraînées par le courant, appartiennent au phytoplancton .

Les conséquences du développement anarchique de ces algues planctoniques sont multiples et ont fait l'objet de nombreux articles scientifiques dont PAERL (1988) a élaboré une synthèse En voici les principales :

- coloration de l'eau, diminution de la transparence
- désoxygénation, goût et odeur de l'eau
- présence d'hydrogène sulfuré, d'ammonium et de méthane liée à la décomposition anaérobie de la matière organique
- modification de la flore, diminution de la diversité
- changement dans la faune, disparition des salmonidés
- présence de toxines dans l'eau, sécrétées essentiellement par des **Cyanophycées** et des **Dinophycées**, qui peuvent provoquer des désordres intestinaux chez **l'Homme**, des réactions allergiques et la mort d'animaux . Ainsi, la toxicité de **Microcystis** **Aeruginosa** est liée à la présence de deux composés hépatotoxiques, isolés par CARMICHAEL et **al.**, (1988) .

La présence d'une grande quantité de matières organiques favorise le développement de bactéries et de micro-organismes qui peuvent se révéler nuisibles pour les hommes et les animaux, rendant toute utilisation de l'eau impossible, sinon dangereuse .

Pour les plans d'eau, en plus des conséquences déjà énoncées, les répercussions peuvent être encore plus dramatiques **car** on assiste à un vieillissement accéléré de ces milieux stagnants : le milieu devient anoxique, toute **forme, de** vie supérieure disparaît, le plan d'eau se comble progressivement jusqu'à être totalement colonisé par la végétation, avant de disparaître .

Etant donné l'importance du phénomène et des **enjeux** qui y sont rattachés, de grands programmes de recherche ont été menés ,**aussi** bien sur les lacs (lac du Bourget, lac de Nantua, lac **Leman**, lac d'Annecy, . . .) que sur les rivières et les grands fleuves français (le Doubs, la Moselle, le Lot, la Loire, la Seine,..) . La France n'étant pas le seul pays concerné, des études similaires ont été menées dans l'ensemble des pays industrialisés et sur tous les continents .

## 1.2 Choix des paramètres et localisation des stations .

### 1.2.1 Choix des paramètres.

La justification du choix des paramètres a fait l'objet d'une étude en 1985, lors du D.E.A. Nous utiliserons les résultats de cette étude et donc nous suivront les éléments suivants:

Mesures de terrain: oxygène dissous, pH, conductivité, transparence au disque de **Secchi**, température

Dosages de laboratoire: Titre alcalimétrique complet, **Chlorures**, sodium, calcium, magnésium, nitrates, **nitrites**, **ammonium**, azote Kjeldhal, orthophosphates, phosphore total, silice **dissoute**, **chlorophylle** a et phéopigments.

En plus de ces dosages, nous avons réalisé des mesures de production primaire par la méthode de l'oxygène dans un premier temps, puis par la technique du carbone 14. Un suivi allégé des peuplements phytoplanctoniques et zooplanctonique a été mis en place sur une durée déterminée et à une fréquence moins élevée que pour les mesures.

Toutes les mesures et les dosages ont été réalisés suivant les protocoles définis dans les normes AFNOR.

### 1.2.2.- Choix des stations

De 1986 à 1988, les paramètres précédemment définis ont été suivis sur:

- une station de la **Moselle** en amont de Metz : WADRINEAU
- une station sur la **Moselle** en aval de Metz ,de la confluence de la Seille et du plan d'eau de La Maxe : ARGANCY
- une station dans le plan d'eau de la **Maxe**, ouvert sur la **Moselle** .

- **deux** stations dans la partie la plus aval de la Moselle française : KOENIGSMACKER et **APACH** (frontière franco-luxembourgeoise). Les études entreprises depuis 1985 pour le suivi de l'impact des rejets de la centrale nucléaire de Cattenom sur la qualité des eaux de la Moselle, **ont fourni les données** de physico-chimie, production primaire et biomasse de cette partie aval. **Ces données** ont une fréquence mensuelle d'octobre à avril et bimensuelle de mai à septembre.

- une station sur la **Seille**, au niveau du pont Lothaire à Metz. La Seille, affluent rive droite de la Moselle, serait susceptible, d'après les données recueillies précédemment (GIGLEUX, 1985), **d'être** responsable de l'importante biomasse phytoplanctonique rencontrée dans la Moselle en aval de la confluence.

Nos connaissances sur la Seille ont été enrichies par des profils longitudinaux, réalisés de sa source à sa **confluence** avec la Moselle.

### - Localisation des points de prélèvement.

Une carte de **localisation** des stations est présentée sur la figure 3.

Point kilométrique	nom de la station	abréviation
<b>704,8</b>	Wadrineau	Wd
<b>712,2</b>	Argancy	<b>AY</b>
<b>742,1</b>	Koenigsmacker	Ko
<b>757,8</b>	<b>Apach</b>	AP
<b>706,6*</b>	Seille Lothaire	Se

• : PK de la **confluence** de la Seille et de la Moselle

**La** numérotation des PK utilisée dans cette étude est celle de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse :

PK = 1000 au niveau de la confluence de la Moselle avec le Rhin

PK = **464,7** au niveau de la source de la Moselle

## 8. CONCLUSIONS

Cette étude du développement **phytoplanktonique** en rivière nous a permis de comprendre de quantifier les phénomènes de développement **phytoplanktoniques**. On a ainsi mis en évidence l'existence de paramètres de contrôle de "eutrophisation" des rivières **Seille et Moselle**.

Les **conclusions** peuvent s'écrire sous forme d'un **bilan**.

### **La Moselle.**

**La Moselle** est une **rivière fortement** minéralisée, les **eaux sont le pH légèrement basique**, sont **généralement bien oxygénées**, excepté en période **estivale** où on mesure **d'importants déficits** tôt le matin.

Dans **cette rivière**, on met en évidence la présence d'une pollution **excessive** en ce qui concerne **le phosphore** dont les concentrations minimales ne peuvent contrôler la croissance **algale**. Les rejets urbains sont importants et continus, aussi, les variations de concentrations en **phosphore** ne peuvent être corrélées à aucune autre variable étudiée.

La pollution azotée se cantonne à un niveau faible au regard des concentrations mesurées dans certains cours d'eau **ou** dans les nappes souterraines. L'origine essentiellement **diffuse** de cet élément nutritif, facilement lessivable, est caractérisé par une relation positive entre ses concentrations et le débit. Les nitrates constituent l'essentiel de ces **apports alors que la pollution ammoniacale**, qui s'est fortement réduite depuis plusieurs années, se résorbe rapidement dans le milieu par oxydation et assimilation végétale.

Les eaux de la Moselle présentent une turbidité élevée qui **limite la** pénétration du rayonnement solaire aux deux premiers mètres de profondeur. Cette turbidité a pour origine principale les matières en suspensions minérales et dans une moindre mesure les matériaux organiques dans lesquelles le phytoplancton prend une part négligeable. Ces matières **solides** véhiculées dans la masse d'eau ont des origines multiples: érosion, travaux de curages; rejets urbains ou industriels, remise en suspension de sédiment par les bateaux, micro-organismes morts **ou** vivants, . . .

Malgré la faible transparence, la biomasse phytoplanktonique atteint des niveaux relativement élevés qui dépassent les 50 **µgA** de chlorophylle a. La croissance du **phytoplancton** se caractérise par une évolution **amont/aval** contrôlée par les temps de résidence hydraulique. Les fortes **biomasses** ne se rencontrent qu'en présence de débits moyens. Lorsque **le débit** est suffisamment faible, ce sont les paramètres lumière, température et mortalité qui **déterminent** les concentrations en phytoplancton. Les nutriments toujours dosés à de fortes valeurs ne **sont** jamais **limitants** pour la croissance des algues **planctoniques**.

**Le peuplement phytoplanktonique** est dominée par les Diatomées centriques dont la **densité plus élevée** rencontrée dans la Moselle atteignait 72000 **cellules** par ml. Les **Chlorophycées** **constituent la** deuxième famille la plus importante en densité. Les Cyanophycées **n'apparaissent qu'en période d'étiage** exceptionnel, avec la stratification de **la** masse d'eau.

La **production primaire** mesurée dans cette rivière atteint des niveaux **comparables à** ce obtenus dans les grands cours d'eaux français dont le caractère **eutrophe** a été démontré. Les valeurs de **production** maximale horaire sont déterminées par la biomasse **phytoplanktonique** présente au moment de **la** mesure. La relation établit sur **la** Moselle entre ces deux **param**

est de type linéaire lorsque les biomasses sont comprises entre 0 et 60 **mgCl<sub>a</sub>/m<sup>3</sup>**. Elle s'écrit ainsi:

$$P_{\max} = 0,0054 * Cl_a + 0,019$$

Cette équation englobe la totalité des données de la Moselle, cependant, on obtient de meilleures estimations en utilisant les équations spécifiques aux différentes stations, la pente de la droite de régression variant de **0,01** à **Argancy** à **0,0053** à **Apach**.

La productivité par unité de biomasse n'apparaît pas comme un facteur intéressant à utiliser dans la modélisation mathématique ~~des~~ phénomènes de production primaire, la distribution de ses valeurs ne présentant pas de relation facilement identifiable avec les différents paramètres du milieu.

Les incubations simultanées par la méthode de l'oxygène et du carbone 14 ont permis d'établir une relation entre les résultats de ces deux techniques de mesure. Cette relation, utilisée dans ce travail pour exprimer toutes les données en une même unité est la suivante:

$$O_2K = 4,72 \text{ mgO}_2/\text{mgC}$$

Le paramètre  $I_k$  qui représente une intensité lumineuse optimale pour la photosynthèse paraît évoluer indépendamment des autres paramètres du milieu. La dispersion des valeurs reste très importante quelle que soit la variable que l'on tente de corréliser. Seul le rapport du rayonnement journalier sur le coefficient d'extinction nous paraît décrire une partie plus importante des variations de  $I_k$ . Il paraît souhaitable de comparer les résultats obtenus en utilisant la relation:  $I_k = 0,02 * R_{y_j} / K_e + 11,85$  et une valeur constante égale à **18,5 J/cm<sup>2</sup>/h**.

La production primaire calculée sur la durée de l'incubation en utilisant l'équation de VOLLENWEIDER donne de très bons résultats, comparables à ceux obtenus lors des incubations **in-situ**. Cette équation devra donc être utilisée dans le modèle mathématique pour calculer les productions primaires phytoplanctoniques dans la Moselle

En l'état actuel de nos connaissances, seules la profondeur de la Moselle associée à une faible transparence des eaux qui réduit la quantité de lumière disponible, le débit et la température limitent la croissance du phytoplancton. Les éléments nutritifs sont présents à des concentrations trop élevées pour jouer un rôle de contrôle sur la production primaire phytoplanctonique.

D'autres paramètres caractérisant la perte de biomasse mériteraient d'être étudiés, on peut citer en particulier le broutage zooplanctonique, la sédimentation dans les zones amont de barrages ou même la filtration par les spongiaires et bivalves dont les populations peuvent atteindre d'importantes densités. Les mesures que nous avons réalisées dans la Moselle permettent de penser que la consommation d'algues planctoniques par le zooplancton est un des paramètres à **étudier plus** spécifiquement dans cette rivière.

## La Seille.

La Seille est une rivière typique de plaine, à écoulement lent, mais à régime hydrologique très fluctuant. Les eaux sont fortement minéralisées, basiques et bien oxygénées tout au long de l'année.

Dans cette rivière, les nutriments ont été dosés à de fortes concentrations tout au long des **trois**

années d'étude, et ceci, quelles que soient les-biomasses phytoplanctoniques présentes. Le phosphore est abondant et est retrouvé dans la Seille dès la sortie de l'étang du Lindre, source de la Seille. L'évolution **amont/aval** du rapport **PO<sub>4</sub>/Ptotal** donne un bon aperçu de l'activité des algues qui assimilent la forme minérale et font chuter la valeur de ce rapport.

L'azote est également dosé à des concentrations suffisantes pour permettre la croissance du phytoplancton sans **jamais** la limiter. Les nitrates représentent la forme azotée la plus abondante, alors que l'**ammonium** dosé à de faibles concentrations disparaît en période de croissance du phytoplancton.

La silice est le seul élément qui présente **d'importantes** baisses de concentrations en période d'étiage prolongé. Son origine essentiellement érosive et son assimilation par les Diatomées expliquent ces variations.

La transparence de l'eau est encore plus faible que dans la Moselle. Cependant, étant donné la faible profondeur moyenne de la rivière qui est de l'ordre du mètre, la zone euphotique englobe l'ensemble de la masse d'eau. Les fortes concentrations en matières minérales en suspension sont à l'origine d'une extinction rapide de la lumière dans l'eau.

La biomasse phytoplanctonique intervient pour une faible part dans le coefficient d'extinction, lorsque les débits sont inférieurs au module moyen annuel. La relation obtenue pour des débits inférieurs au module moyen annuel est la suivante:

$$K_e \equiv 0,0032 * C_{la} + 0,0818 * MEST + 1,198$$

Pour des débits plus élevés, le coefficient d'extinction dépend des concentrations en matières en suspension. La relation générale qui permet de l'estimer est alors:

$$K_e = 0,0288 * MEST + 3,63$$

Les biomasses phytoplanctoniques atteignent des valeurs extrêmement élevées en période estivale. La valeur maximale mesurée dépasse les 200 **µg/l** de chlorophylle a. L'évolution **amont/aval** apparaît nettement au cours des profils longitudinaux de la Seille; le développement de la biomasse débute réellement dans la seconde moitié du cours d'eau et atteint son maximum au niveau de la confluence avec la Moselle.

Les espèces phytoplanctoniques déterminées dans la Seille sont quasiment les mêmes que celles de la Moselle. Les espèces dominantes, responsables de la majorité des "**bloom**" appartiennent au groupe des Diatomées centriques. Les Cyanophycées, présentes à de fortes densités dans l'étang du Lindre, ne sont plus représentées dans la Seille que par une population relictuelle.

La **production** primaire brute journalière atteint des valeurs supérieures à celles mesurées dans la Moselle. On retrouve ici également la relation très forte qui relie la biomasse et la production maximale horaire. La relation obtenue est la suivante:

$$P_{max} = 0,0058 * C_{la} + 0,062$$

Cette relation est établie sur des valeurs de biomasses comprises entre 0 et 140 **mgCl<sub>a</sub>/m<sup>3</sup>**. Cependant, au-delà de 100 **mgCl<sub>a</sub>/m<sup>3</sup>**, il semble que l'on atteigne un **plateau** et que la production maximale ait tendance à diminuer, le phénomène d'auto-ombrage des **algues** pouvant intervenir.

années d'étude, et ceci, quelles que soient les **biomasses** phytoplanctoniques présentes. Le phosphore est abondant et est retrouvé dans la Seille dès la sortie de l'étang du Lindre, source de la Seille. L'évolution **amont/aval** du rapport **PO<sub>4</sub>Ptotal** donne un bon aperçu de l'activité des algues qui assimilent la forme minérale et font chuter la valeur de ce rapport.

L'azote est également dosé à des concentrations suffisantes pour permettre la croissance du phytoplancton sans jamais la limiter. Les nitrates représentent la forme azotée la plus abondante, alors que l'ammonium dosé à de faibles concentrations disparaît en période de croissance du phytoplancton.

La silice est le seul élément qui présente **d'importantes baisses** de concentrations en période d'étiage prolongé. Son origine essentiellement érosive et son assimilation par les Diatomées expliquent ces variations.

La transparence de l'eau est encore plus faible que dans la Moselle. Cependant, étant donné la faible profondeur moyenne de la rivière qui est de l'ordre du mètre, la zone euphotique englobe l'ensemble de la masse d'eau. Les fortes concentrations en matières minérales en suspension sont à l'origine d'une extinction rapide de la lumière dans l'eau.

La biomasse phytoplanctonique intervient pour une faible part dans le coefficient d'extinction, lorsque les débits sont inférieurs au module moyen annuel. La relation obtenue pour des débits inférieurs au module moyen annuel est la suivante:

$$K_e = 0,0032 * Cl_a + 0,0818 * MEST + 1,198$$

Pour des débits plus élevés, le coefficient d'extinction dépend des concentrations en matières en suspension. La relation générale qui permet de l'estimer est alors:

$$K_e = 0,0288 * MEST + 3,63$$

Les biomasses phytoplanctoniques atteignent des valeurs extrêmement élevées en période estivale. La valeur maximale mesurée dépasse les 200 **µg/l** de chlorophylle a. L'évolution **amont/aval** apparaît nettement au cours des **profils** longitudinaux de la Seille; le développement de la biomasse débute réellement dans la seconde moitié du cours d'eau et atteint son maximum au niveau de la confluence avec la Moselle.

Les espèces phytoplanctoniques déterminées dans la Seille sont quasiment les mêmes que celles de la Moselle. Les espèces dominantes, responsables de la majorité des "**bloom**" appartiennent au groupe des Diatomées centriques. Les Cyanophycées, présentes à de fortes densités dans l'étang du Lindre, ne sont plus représentées dans la Seille que par une population relictuelle.

La **production** primaire brute journalière atteint des valeurs supérieures à celles mesurées dans la Moselle. On retrouve ici également la relation très forte qui relie la biomasse et la production maximale horaire. La relation obtenue est la suivante:

$$P_{max} = 0,0058 * Cl_a + 0,0621$$

Cette relation est établie sur des valeurs de biomasses comprises entre 0 et 140 **mgCl<sub>a</sub>/m<sup>3</sup>**. Cependant, au-delà de 100 **mgCl<sub>a</sub>/m<sup>3</sup>**, il semble que l'on atteigne un plateau et que la production maximale ait tendance à diminuer, le phénomène d'auto-ombrage des algues pouvant intervenir.

Le paramètre  $I_k$  est difficile à estimer autrement que par les mesures de production primaire. Le meilleur estimateur paraît être le rapport du rayonnement journalier sur le coefficient d'extinction, ce paramètre traduisant assez bien le climat lumineux dans l'eau. Il serait intéressant dans le cadre de la modélisation, de comparer les résultats obtenus en utilisant la relation:

$$I_k = 0,069 * Ryj/ke + 3,08 \text{ et l'utilisation d'une valeur moyenne constante de } 15,6 \text{ J/cm}^2/\text{h}$$

Dans cette rivière tout comme dans la Moselle, l'équation de VOLLENWEIDER donne de très bons résultats pour le calcul de la ~~production~~ production primaire, et c'est également cette équation qu'il faudra utiliser dans la modélisation.

Les niveaux de production mesurés dans la Seille sont comparables à ceux de la Meuse en Belgique. L'évolution saisonnière est bien marquée: c'est en période estivale que l'on mesure les plus fortes productions alors qu'elles sont pratiquement nulles en hiver.

### Confluence de la Moselle et de la Seille.

La confluence des deux rivières marque l'apparition de biomasses plus productives dans la Moselle. Le phytoplancton de la Seille, même dilué dans la Moselle, continue son développement sans pour cela provoquer de "bloom" phytoplanctonique, la profondeur et la turbidité de la rivière limitant la croissance de la biomasse.

Les importantes concentrations en chlorophylle a mesurées sur la station aval de la confluence étaient dues à des apports d'eau, très riches en phytoplancton, qui provenaient du plan d'eau de la centrale thermique de La Maxe lorsque celle-ci était en fonctionnement en période estivale.

A ce bilan du travail réalisé sur la Seille et la Moselle, il faut ajouter une remarque qui concerne le choix des stations. En effet, ces stations situées en eaux courantes fournissent des résultats de dosages extrêmement variables en ce qui concerne les éléments chimiques. On arrive rarement à expliquer les variations observées par le débit ou d'autres paramètres physiques ou biologiques. En fait, ces points de mesure sont situés à proximité de rejets plus ou moins importants qui entraînent d'importantes variations dans les valeurs mesurées sur les échantillons d'eau. Ces rejets perturbent les processus chimiques et biologiques qui résorbent les polluants. Ainsi, on peut citer pour chaque station des éléments "perturbateurs".

Sur la station de Wadrineau, on peut citer le plan d'eau de la ville de Metz, alimenté par la Moselle en amont de Wadrineau, et pour lequel le sens d'écoulement des eaux dépend, en période estivale, de la hauteur d'eau dans la Moselle et du mouvement des écluses du canal des mines de fer.

Sur la station d'Argancy, on retrouve les effluents de la station d'épuration de la ville de Metz, la confluence de la Seille, le plan d'eau de La Maxe.

Sur la Seille à Metz, on recense d'importants rejets directs d'eaux usées dans l'agglomération messine, ainsi que des apports très élevés dans la rivière par les affluents et plus particulièrement le ruisseau Saint-Pierre à Magny dans lequel se déversent de nombreux rejets de stations d'épuration peu efficaces.

Au niveau des stations de Koenigsmacker et Apach, les constatations restent les mêmes, avec d'importants rejets urbains dont celui de la ville de Thionville.



Il est peu probable, en l'état actuel de l'assainissement dans la vallée de la Moselle, que l'on puisse trouver une station qui ne subisse pas l'influence de rejets et qui permettrait d'expliquer les variations des concentrations en éléments nutritifs dans la rivière par des paramètres biologiques, chimiques ou physiques tels que ceux utilisés dans les études sur le développement phytoplanctonique.

Les résultats obtenus par cette étude nous ~~amènent~~ à proposer une continuité à ce travail. Nous avons cerné avec une assez bonne précision les termes de ~~production~~ primaire, mais par contre, nous n'avons pas mesuré les termes de disparition de la biomasse, excepté la respiration. Il serait intéressant de quantifier ces paramètres par des études sur la mortalité du phytoplancton. Je pense en tout premier lieu à une quantification du broutage par le zooplancton et en particulier lors de l'essaimage des larves de *Dreissena polymorpha* dont nous l'avons vu, les densités peuvent être extrêmement élevées en été. Quel est réellement l'impact du zooplancton sur les populations de Diatomées de ces rivières?

Il serait également utile de déterminer le rôle exact que peuvent jouer les différents organismes benthiques filtreurs sur l'évolution des taux de disparition du phytoplancton (Dreissènes adultes, spongiaires, . . .).

Le second paramètre qui mériterait une étude plus approfondie concerne la sédimentation des algues planctoniques pour laquelle peu de données sont disponibles dans les cours d'eau. Pour cette étude, une recherche méthodologique serait nécessaire, elle ouvrirait de nouvelles perspectives intéressantes pour la compréhension des écosystèmes aquatiques d'eau courante.

Plus ponctuellement, il serait intéressant d'étudier la confluence de la Moselle et de la **Meurthe** et de vérifier l'hypothèse d'un choc osmotique subit par le phytoplancton. Cette étude permettrait d'étendre la connaissance du développement algal à la partie amont de la Moselle sur laquelle aucune mesure de production primaire n'est actuellement disponible.