

Communauté Européenne (Programme InterRegII)
&
Commissions Internationales pour la Protection
de la Moselle et de la Sarre contre la Pollution.

Modélisation du bilan d'oxygène
et des processus biologiques
dans les rivières régulées Moselle et Sarre.

J. Garnier (1), G. Billen (1,2) & L. Palfner (2)

- (1) UMR 7916 Sisyphé, Laboratoire de Géologie **Appliquée**, Tour 26, 5ème étage, 4, Place Jussieu, 75005 Paris
- (2) GMMA, **Université Libre de Bruxelles**, Campus de la Plaine, Boulevard du Triomphe, CP 21, 1050 Bruxelles
- (3) NANCIE, 149 rue Gabriel Peri, BP 290, 54 5 15 Vandoeuvre cedex.



Rapport final : II. Intercomparaison de modèles

Octobre 1997

Sommaire



1. Introduction	1
2. Les modèles écologiques de la Moselle et de la Sarre	3
2.1. Conception des modèles et champs d'application	3
2.1.1. Le modèle de la BfG	4
2.1.2. Le modèle de l'ULG-FUNDPN	5
2.1.3. Le modèle RIVERSTRAHLER	5
2.1.4. Les spécificités des différents modèles	7
2.2. Base de données de la qualité de l'eau pour la validation des modèles	8
2.3. Intercalibration des contraintes	8
2.3.1. Morphologie	11
2.3.2. Les apports ponctuels	11
2.4. Apports des mesures de processus à la modélisation	12
2.4.1. Activité phytoplanctonique	12
2.4.2. Broutage zooplanctonique	14
2.4.3. Activité benthique	15
2.4.4. Activités bactériennes autotrophe et hétérotrophe	15
3. Modélisation du fonctionnement écologique de la Moselle et de la Sarre	19
3.1. Validation des 3 modèles en 1993, 1994 et 1995	19
3.1.1. Simulation des variations saisonnières des principales variables	19
3.1.2. Estimation des bilan d'oxygène	19
3.2. Analyse des facteurs responsables du déficit en oxygène	21
3.2.1. Rôle du phytoplancton	21
3.2.2. Rôle de la matière organique	21
3.2.3. Rôle de la morphologie	21
3.2.4. Rôle des consommateurs du phytoplancton	21
3.3. Scénarios d'exploratoires d'assainissement	22
3.3.1. Réduction du phosphore	22
3.3.2. Réduction de la matière organique	22
3.3.3. Réduction du phosphore et de la matière organique	23
3.3.4. Nitrification	23
4. Oxygénation et variations de l'équilibre autotrophie-hétérotrophie	25
4.1. Equilibre autotrophie-hétérotrophie dans les conditions actuelles	25
4.2. Equilibre autotrophie-hétérotrophie dans les scénarios de traitement	27
5. Discussions	30
6. Conclusions	32
7. Références bibliographiques	33
8. Rapports de la coordination scientifique dans le cadre du programme	35

1. Introduction

Les secteurs canalisés de la Moselle et de la Sarre présentent souvent en situation **critique** des déficits importants en oxygène, qui compromettent gravement la valeur **écologique** de ces rivières. En vue de définir les mesures à prendre pour la réhabilitation de la qualité de l'eau, un programme de recherche a été mis en place par les CIPMS, visant à **identifier** les causes de ces désoxygénations. On sait en effet que la teneur en oxygène de la rivière dépend du bilan des processus de photosynthèse, de respiration **-algale, bactérienne, zooplanctonique et benthique-**, de nitrification et de réaération. Les rejets **d'affluents** organiques ou d'ammonium, qui stimulent les activités hétérotrophes et la nitrification, mais aussi les processus de consommation ou de dégradation de la biomasse **algale** produite plus en amont dans le réseau hydrographique, peuvent conduire au **déséquilibre** du bilan d'oxygène. L'objectif du programme de recherche était donc de **identifier** les mécanismes responsables de l'altération du bilan d'oxygène de la Moselle et de la Sarre, et d'élaborer les outils de modélisation permettant de mieux comprendre ces **mécanismes**.

Lors de la **première phase** de ce programme, **en 1993**, deux modèles existants de **qualité** de l'eau des rivières ont été appliqués de manière préliminaire, celui de la Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) et celui de l'Université de Liège et de Namur (ULG-FUNDPN). Les résultats suggéraient que les déficits d'oxygène observés pouvaient être dus, au moins en partie, à un déclin abrupt du phytoplancton provoqué par le broutage **zooplanctonique**. La nitrification et l'activité bactérienne hétérotrophe apparaissaient **également** comme des processus susceptibles d'influencer significativement le bilan **d'oxygène** de la Moselle et de la Sarre. Ces processus n'avaient pas été étudiés dans la **première** phase du programme. Il existe en effet peu d'études sur les rivières prenant **explicitement** en compte simultanément l'ensemble de ces processus pour appréhender le **fonctionnement** écologique des rivières, à l'échelle de leur bassin.

Le programme des CIPMS sur la Moselle et la Sarre (MOSAR), bénéficiant de l'expérience en cours sur les autres programmes s'est alors attaché au cours de la **deuxième phase (1994-1996)**, à acquérir les connaissances nécessaires sur la cinétique de ces processus et leur intensité dans le milieu afin d'identifier, quantifier et hiérarchiser les principaux facteurs responsables du déficit en oxygène. Parallèlement, un programme de surveillance portant sur une trentaine de stations échantillonnées à une fréquence mensuelle ou bi-mensuelle réalisé par les institutions allemandes, luxembourgeoises et françaises devait permettre de replacer les campagnes de mesure des processus dans le cadre des variations saisonnières et géographiques du fonctionnement écologique des deux rivières.

Dans une perspective de synthèse des résultats acquis dans le programme et de dialogue avec les équipes de recherche, la coordination du programme sur la Moselle et la Sarre a, **en 1994**, été d'emblée effectuée avec une approche de modélisation complémentaire, d'abord développée sur la Seine (programme CNRS, Billen **et al.**, 1994; Garnier **et al.**, 1995). Cette approche établit un lien entre le fonctionnement microscopique des principaux compartiments biologiques d'une rivière et les contraintes environnementales (hydro-morphologie, météorologique, apports ponctuels et diffus). Cette même démarche était en outre en cours d'application sur 7 rivières Européennes dans le cadre du programme BINOCULARS (DG XII, CE), (Garnier **et al.**, 1995) et sur le Danube dans le cadre du programme EROS (DG XII, CE), (Hannon **et al.**, 1996). Contrairement

aux deux autres modèles, le modèle RIVERSTRAHLER de la coordination scientifique permet d'appréhender le réseau hydrographique dans son ensemble, **du chevelu des rivières aux grands axes de rivières**, et était un outil plus adapté au rôle que devait jouer la coordination scientifique.

Le rapport final de l'étude, incluant les résultats scientifiques et ceux de la modélisation a été présenté en novembre 1996 (Garnier *et al.* 1996). La dynamique qui s'est créée au cours de ce programme entre les équipes scientifiques et la possibilité financière offerte par la CE (DGXI) pour poursuivre l'étude, nous a conduit en accord avec la commission des CIPMS à élaborer **une autre phase** en 1997 destinée à mieux cerner les champs d'application respectifs des 3 modèles, à appréhender les limites de leur validation et, au total, leur complémentarité. Il s'agissait d'explorer les réponses de ces modèles pour mieux comprendre les causes de la désoxygénation et enfin tester de manière exploratoire, des scénarios de traitement du phosphore et de l'azote en stations d'épuration dans une perspective de conformité aux directives européennes.

Au terme de cette étude, l'objet de ce présent rapport s'inscrit dans la parfaite continuité du rapport de synthèse de 1996, orienté sur les observations de terrain et les études **expérimentales**. Il analyse les validations des différentes approches de modélisation et les résultats des scénarios d'assainissement, qui n'étaient initialement pas prévus par le programme. Il s'agit bien par cette voie de montrer encore ce qu'a apporté le programme à la compréhension des déficits en oxygène dans la Moselle et la Sarre.

phytoplancton à produire de l'oxygène. L'oxygénation est évidemment d'autant plus faible que la biomasse phytoplanctonique est élevée -en présence d'eutrophisation- d'une part parce que la biomasse phytoplanctonique contribue à un phénomène d'auto-ombrage (diminue le coefficient d'extinction), d'autre part parce que la charge organique qu'elle constitue peut consommer plus d'oxygène qu'elle n'en produit (influence d'une augmentation de la profondeur) .

Nous disposons actuellement d'outils de modélisation adaptés et validés. L'exploration avec les modèles des conditions variées nous a réellement permis de pousser plus loin l'interprétation du déficit en oxygène.

Le cas de la Moselle et de la Sarre est tout à fait typique des perturbations rencontrées sur de nombreuses autres rivières canalisées d'Europe occidentale à forte densité de population (Billen *et al.*, 1995; Garnier & Billen, 1995).

6. Conclusions

1) Les déficits en oxygène sont clairement liés aux apports en matière organique. Leur réduction améliore considérablement l'oxygénation dans la Moselle et dans la Sarre.

2) Les déficits en oxygène dépendent aussi de la consommation d'une biomasse algale suffisamment élevées pour soutenir le développement des consommateurs quand les **conditions** sont, en raison de la canalisation, favorables à leur développement (augmentation du temps de séjour, création de substrats propice à la colonisation). Cette consommation, on l'a montré, provoque des déclin abrupts du phytoplancton à l'aval d'**Hauconcourt** et diminue l'oxygénation.

Les conséquences du déclin phytoplanctonique pourraient être sans gravité si l'apport en matière organique ne constituait pas, dans le même secteur géographique, une aggravation de la situation.

3) L'oxygénation est peu sensible à la **nitrification** tant dans la Moselle que dans la Sarre.

4) Il reste à explorer davantage par la modélisation le rôle d'une réduction du phosphore. Les effets montrés par les modèles par les scénarios étudiés jusqu'ici, sont encore décevants, probablement parce que, comme tous les cas des rivières européennes étudiées, les niveaux en phosphore sont tels, que l'effort à consentir est considérable. Il faut donc étudier le réalisme d'une réduction plus poussée du phosphore à plus de 80 % des intrants et d'une proposition de bannir complètement les phosphates dans les lessives.