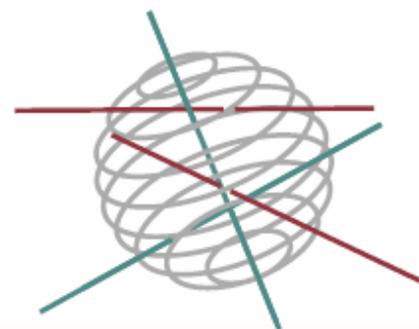


SSD

SCIENCE FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT



**EFFETS COMBINÉS DES CHANGEMENTS
HYDROCLIMATIQUES ET DES ACTIVITÉS HUMAINES SUR
L'ÉCOSYSTÈME CÔTIER
"AMORE III"**

LANCELOT C, ROUSSEAU V, LACROIX G, DENIS K, GYPENS N, GROSJEAN P,
VAN NIEUWENHOVE K, PARENT J-Y, RUDDICK K, DELBARE D



ENERGY



TRANSPORT AND MOBILITY



AGRO-FOOD



HEALTH AND ENVIRONMENT



CLIMATE



BIODIVERSITY

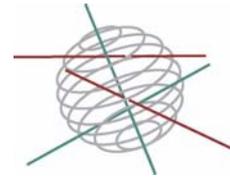


ATMOSPHERE AND TERRESTRIAL AND MARINE ECOSYSTEMS

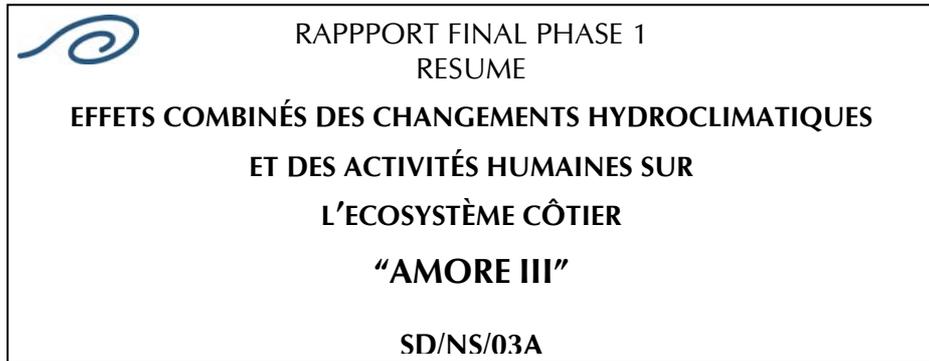


TRANSVERSAL ACTIONS





Mer du Nord



Promoteurs

Lancelot C

Université Libre de Bruxelles (ULB)
Ecologie des Systèmes Aquatiques,
Boulevard du Triomphe, CP 221, B-1050 Bruxelles



Ruddick K

Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique (IRSNB)
Management Unit of the North Sea Mathematical Models
Gulledelle, 100, B-1200 Bruxelles



Delbare D

Instituut voor Landbouw en Visserijonderzoek (ILVO)
Ankerstraat 1, B-8400 Oostend



Grosjean P

Université de Mons-Hainaut
Ecologie Numérique des Milieux Aquatiques (UMH)
8, avenue du Champ de Mars, B-7000 Mons

Auteurs

Lancelot C, Rousseau V, Gypens N, Parent J-Y (ULB)
Lacroix G, Ruddick K (IRSNB)
Van Nieuwenhove K, Delbare D (ILVO)
Denis K, Grosjean P (UMH)



Rue de la Science 8
Wetenschapsstraat 8
B-1000 Brussels
Belgium
Tel: +32 (0)2 238 34 11 – Fax: +32 (0)2 230 59 12
<http://www.belspo.be>

Contact person: David Cox
+32 (0)2 238 34 03

Neither the Belgian Science Policy nor any person acting on behalf of the Belgian Science Policy is responsible for the use which might be made of the following information. The authors are responsible for the content.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without indicating the reference :

Lancelot C , Rousseau V, Lacroix G, Denis K, Gypens N, Grosjean P, Van Nieuwenhove K, Parent J-Y, Ruddick K and D Delbare. ***Effets combinés des changements hydroclimatiques et des activités humaines sur l'écosystème côtier. "AMORE III"***. Rapport Final Phase 1 Résumé : Politique scientifique fédérale 2009 – 6 p. (Programme de recherche « La science pour un Développement Durable »)

AMORE (Advanced Modeling and Research on Eutrophication) est un consortium interdisciplinaire composé de biologistes, bioingénieurs, biostatisticiens et de modélisateurs physiciens et écologistes contribuant à la Science pour un Développement Durable des zones côtières de la Manche et de la Baie Sud de la mer du Nord en se focalisant sur la zone côtière belge (BCZ). Les résultats acquis depuis 1997 par le consortium AMORE montrent que la BCZ est une zone pilote pour étudier les causes de la variabilité naturelle et les effets de l'activité humaine sur l'eutrophisation côtière ainsi que la gestion durable de l'activité économique. La BCZ est en effet soumise aux apports de nutriments anthropogéniques locaux (Escaut, Yser) et transfrontaliers (Seine, Somme, Rhine/Meuse). Ces apports modifient le bilan nutritif N:P:Si et la structure de l'écosystème de la BCZ, favorisant les efflorescences indésirables des colonies de *Phaeocystis*. Cependant la contribution réelle des apports locaux des rivières à l'eutrophisation de la BCZ et l'étendue géographique des colonies de *Phaeocystis* sont largement déterminées par des phénomènes climatiques à grande échelle tel que l'Oscillation Nord Atlantique qui détermine les conditions météorologiques de l'Europe Nord-Occidentale.

Le projet de recherche AMORE III se focalise plus particulièrement sur le double contrôle des processus d'eutrophisation de la BCZ par les changements d'activité humaine et du climat et leurs conséquences sur les biens (fermes mytilicoles nouvellement déployées au large) et services (absorption de CO₂ atmosphérique) fournis par la BCZ.

La mytiliculture est une activité économique nouvelle dont le développement est prévu dans trois zones de la BCZ (Nieuwpoort, Oostdijck et Westhinder) où les colonies de *Phaeocystis* prolifèrent de manière variable. Certains effets négatifs des colonies de *Phaeocystis* ont été rapportés dans les parcs à moules. L'impact des colonies de *Phaeocystis* sur les cultures de moules en cages flottantes est inconnu et dépend probablement de l'intensité des efflorescences (taille et nombre des colonies).

En tant que contribution scientifique pour l'utilisation durable de la BCZ, AMORE III fournit des connaissances écologiques nouvelles, des développements technologiques et de modélisation écologique afin:

- D'évaluer le double rôle des changements hydro-climatiques (force et direction du vent, température) et des apports de nutriments continentaux en déterminant l'étendue géographique et l'intensité des efflorescences de *Phaeocystis* dans BCZ ainsi que le rôle-tampon de la zone côtière vis-à-vis du CO₂ atmosphérique ; de prédire comment ceux-ci peuvent changer dans un futur proche (2015) sur base de scénarios réalistes de changements climatiques et d'apports de nutriments par les rivières.
- D'estimer l'impact de l'étendue des efflorescences de *Phaeocystis* sur les activités mytilicoles et de faire des recommandations pour en assurer une gestion optimisée.
- De définir des objectifs de qualité écologique afin de mesurer les modifications de l'écosystème et l'efficacité des mesures de gestion prises.

La méthodologie de recherche combine (i) des études de processus en laboratoire, (ii) la collecte de données historiques et nouvelles, (iii) la surveillance en temps quasi-réel du phytoplancton et (iv) des outils numériques (modèles statistiques et dynamiques). Dans cette méthodologie, le modèle écologique MIRO&CO-3D joue un rôle central d'intégration des nouvelles connaissances acquises lors des études expérimentales mais aussi d'outil d'évaluation de l'état d'eutrophisation, de prédiction et de support à la décision. De manière complémentaire, la surveillance en temps quasi-réel du phytoplancton devrait fournir une vue

synoptique de la biodiversité du phytoplancton dans la BCZ et les eaux côtières adjacentes et un outil puissant pour la validation du modèle dans des zones où les données de surveillance n'existent pas ainsi que pour identifier les régions affectées par les efflorescences indésirables de *Phaeocystis*. L'analyse statistique multivariée de ce jeu de données permet de supporter la formulation de critères de qualité écologique et de fournir des signes avant-coureurs des modifications de l'écosystème.

Ecologie du phytoplancton

L'étude éco-physiologique du phytoplancton a été focalisée sur les mécanismes de contrôle de formation des colonies de *Phaeocystis*, dont la paramétrisation est peu contraignante dans le modèle existant MIRO&CO-3D bien que cruciale pour en déterminer l'occurrence. Les résultats obtenus suggèrent que la formation des colonies de *Phaeocystis* est liée à la dynamique de croissance des cellules haploïdes présentes dans la colonne d'eau. Plus particulièrement, un seuil de lumière de $50 \mu\text{mole m}^{-2} \text{s}^{-1}$ et un enrichissement nutritif sont nécessaires pour que la syngamie et la formation des colonies aient lieu. En plus de l'intensité lumineuse et des nutriments, il n'est pas exclu que la diatomée *Chaetoceros* spp. joue un rôle dans la formation des colonies..

Les facteurs de contrôle potentiels de la succession récurrente diatomées/*Phaeocystis*/diatomées dans la BCZ ont été abordés sur base de l'analyse statistique des données de phytoplancton disponibles pendant 13 ans à la Stn 330 en BCZ centrale. Contrairement à l'attente, cette analyse statistique n'explique pas la régulation des successions de communautés de diatomées et de *Phaeocystis* par la température, les nutriments et le climat lumineux. Les petites diatomées néritiques et les *Chaetoceros* semblent cependant plus adaptées aux faibles températures de fin d'hiver-début de printemps que les *Guinardia*. Une résistance différente des différentes communautés de diatomées et des colonies de *Phaeocystis* à la pression de broutage pourrait constituer un facteur expliquant la succession saisonnière de phytoplancton.

Surveillance du phytoplancton

AMORE III a fait l'acquisition d'un nouvel équipement combinant la technologie d'un cytomètre de flux (FlowCAM) et l'analyse d'image (PhytoImage). Les expériences de laboratoire avec des cultures pures de phytoplancton ont permis de définir les conditions sous lesquelles le FlowCAM et PhytoImage constituent un outil performant pour la surveillance du phytoplancton en mer du Nord. Premièrement, nous avons montré qu'une cellule de mesure de $800\mu\text{m}$ avec un agrandissement $2x$, ou une cellule de $300\mu\text{m}$ combinée à un agrandissement de $4x$, tous deux utilisés en mode Fluorescence, sont les réglages les plus appropriés pour l'utilisation du FlowCAM. Deuxièmement, des training sets spécifiques et des algorithmes de reconnaissance ont été conçus dans PhytoImage non seulement pour une région particulière mais aussi pour chaque saison. Troisièmement, notre système peut être actuellement utilisé pour la détection d'abondance relative dans les échantillons numérisés. La détermination des abondances et biomasses absolues nécessite encore une calibration du nombre de particules énumérés par le FlowCAM/PhytoImage en fonction de la densité de ces particules dans les échantillons et de leur flux dans la cellule de mesure. Finalement, la combinaison actuelle du FlowCAM et de PhytoImage a été testée avec succès en mer (jusqu'à 4-5 Beaufort), et est capable de fournir des données en temps (quasi)-réel avec un procédé rapide mais simplifié. Si nécessaire, ces données peuvent être réanalysées ultérieurement avec le procédé complet.

Effet préjudiciable (ou bénéfique) des colonies de *Phaeocystis* sur l'alimentation des moules

L'impact des colonies de *Phaeocystis* sur la production des fermes de moules (*Mytilus edulis*) a été évalué sur base d'expériences en laboratoire où les moules ont été nourries avec différentes concentrations et tailles de colonies de *Phaeocystis* ainsi que sur base de mesures de terrain d'indicateurs de l'état physiologique des moules avant, pendant et après les efflorescences de *Phaeocystis*. L'état physiologique des moules, défini par leur composition biochimique (protéine, glycogène et lipides), montre, au printemps et en été, des variations qui pourraient être attribuées soit à un effet négatif des colonies de *Phaeocystis* ou au frai des moules ou à la combinaison de ces deux facteurs. L'impact des efflorescences de *Phaeocystis* ne pourra donc être estimé qu'en couplant les expériences en laboratoire et des observations de terrain supplémentaires réalisées à la fin de l'été et au début de l'automne quand une seconde efflorescence de *Phaeocystis* est parfois observée.

Les premières expériences en laboratoire avec des cellules d'*Isochrysis* ont montré que les vitesses de filtration normalisées par rapport à la taille de la moule était un bon paramètre pour comparer les capacités d'alimentation des moules. Ces expériences ont également montré qu'*Isochrysis* était une nourriture de référence. Sur base de ces résultats, les moules de 30 à 40 mm ont été choisies pour réaliser les expériences avec les colonies de *Phaeocystis*. Celles-ci montrent qu'une relation positive existe entre la vitesse de filtration des colonies de *Phaeocystis* et la taille moyenne des colonies et ce, jusqu'à une taille de 300 μm . Puisque les efflorescences de *Phaeocystis* en BCZ sont dominées par des colonies plus grandes (500 - >1000 μm), des bio-assays supplémentaires impliquant des colonies dont la taille dominante est >500 μm , sont nécessaires pour confirmer cette tendance et éventuellement déterminer une taille seuil au-dessus de laquelle les colonies sont préjudiciables pour la croissance des moules.

Référence écologique pour un écosystème *Phaeocystis*

Un valeur référence ($4 \cdot 10^6$ cellules L^{-1}) définissant un écosystème *Phaeocystis* équilibré ainsi qu'un seuil d'apport de nutriments dans la BCZ (60 kT N a^{-1}) ont été développés sur base (i) d'observations microscopiques du nombre de colonies (et de cellules correspondantes) de *Phaeocystis* qui peut être ingéré par les copépodes, et (ii) de simulations historiques du modèle MIRO en utilisant les simulations d'apports de nutriments du modèle RIVERSTRAHLER pour des conditions prêtes. Ce seuil d'apport en nutriments pourra être utilisé comme valeur cible pour la mise en œuvre des politiques de réduction de nutriments. De plus, la référence *Phaeocystis* peut être utilisée comme indicateur des zones à problèmes et non-problèmes dans la BCZ sur base soit du monitoring en temps réel réalisé par l'outil FlowCAM/PhytoImage, soit des simulations du modèle MIRO&CO-3D.

Développement du modèle écologique

Des améliorations ont été apportées au modèle écologique MIRO ainsi qu'à la mise en œuvre et la paramétrisation des forçages du modèle MIRO&CO-3D.

Des tests de sensibilité sur le modèle écologique complexe MIRO ont garantis la réduction des variables « cellules phytoplanctoniques » de 3 à 2 sans modification de la dynamique phytoplanctonique. Le module phytoplancton pourrait donc être remplacé par cette version agrégée dans le modèle MIRO&CO-3D. La réduction de la complexité de la boucle microbienne (de 5 à 3 variables d'état) est en cours mais les résultats obtenus ne sont pas encore satisfaisants.

Le module CO₂ a été mis en oeuvre avec succès dans le modèle existant MIRO&CO-3D et les simulations de pCO₂ à la surface de la mer ont été validées par comparaison avec des données existantes. L'analyse des résultats souligne l'importance des apports de nutriments par les rivières et donc de l'eutrophisation dans la capacité des zones côtières à absorber le CO₂ atmosphérique.

La mise en oeuvre du modèle MIRO&CO-3D dans la grille BCZ a permis des simulations de meilleure résolution (750m x 750m) et ainsi une meilleure estimation du rôle des fleuves belges dans l'eutrophisation de la BCZ. Des résultats préliminaires ont été obtenus et sont en cours d'analyse et de validation. Ceci semble prometteur pour les futures applications (scenarios de réduction de nutriments en BCZ).

Des données de matière en suspension totale (MST) à haute fréquence ont été obtenues à partir d'images satellitaires (MODIS) grâce au projet STEREO2-RECOLOUR et ont été utilisées comme entrées actualisées dans le module kPARv1 pour le calcul de l'atténuation de la lumière (PAR) dans la colonne d'eau. L'importance de la variabilité de la MST sur l'atténuation de la PAR a été démontrée par comparaison des résultats de MIRO&CO-3D avec des données *in situ*. Les simulations du modèle obtenues avec ce nouveau forçage MST montrent que la variabilité spatiale du démarrage des efflorescences de phytoplancton est étroitement liée à la charge en matière en suspension. De plus, la variabilité interannuelle du moment du démarrage des efflorescences dépend de la combinaison de facteurs tels la MST, la PAR incidente et les nutriments.

Réponse de la BCZ aux réductions de nutriments

Les tests de sensibilité de l'effet des réductions des nutriments (azote et/ou phosphore) apportés par les fleuves sur la distribution des nutriments/*Phaeocystis* et sur le status d'eutrophisation des eaux belges ont été réalisés avec le modèle MIRO&CO-3D en utilisant le nouveau critère définissant un écosystème *Phaeocystis* équilibré. Les résultats confirment la nécessité de réduire l'azote en priorité pour réduire les efflorescences indésirables de *Phaeocystis*. De plus, le module de calcul des flux transfrontaliers dans le domaine de MIRO&CO-3D a été mis en oeuvre à l'échelle de la grille C&SNS et les apports de nutriments ont été calculés pour les années 1993-2004. Les résultats de ces scenarios sont en cours d'analyse. Les résultats préliminaires de transport transfrontaliers de nutriments ont été présentés aux réunions OSPAR.