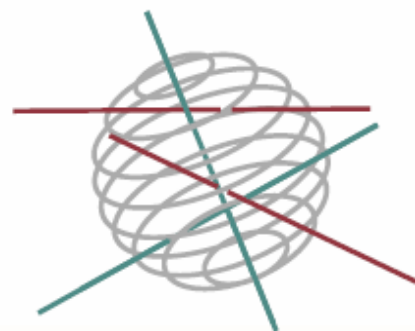


SSD

SCIENCE FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT



**GECOMBINEERDE EFFECTEN VAN
HYDROKLIMAATSVERANDERINGEN EN MENSELIJKE
ACTIVITEITEN OP HET KUSTECOSYSTEEM
“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 

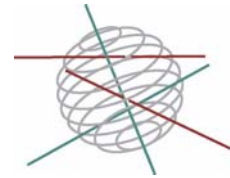
HEALTH AND ENVIRONMENT 

CLIMATE 

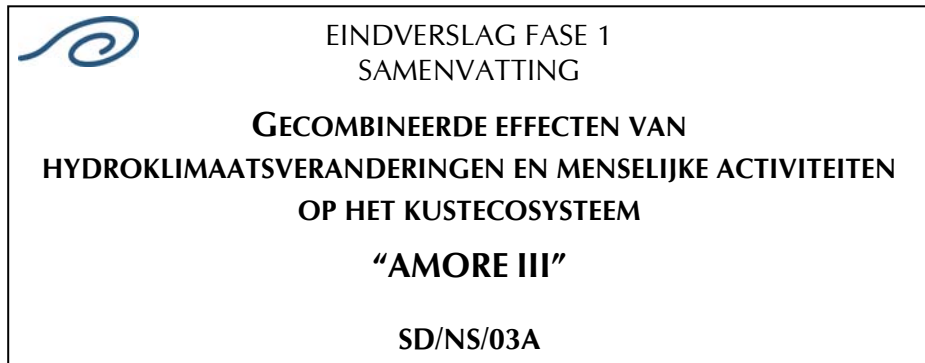
BIODIVERSITY   

ATMOSPHERE AND TERRESTRIAL AND MARINE ECOSYSTEMS   

TRANSVERSAL ACTIONS 



Noordzee



Promotoren

Lancelot C

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



Ruddick K

Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN)
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. ***Gecombineerde effecten van hydroklimaatsveranderingen en menselijke activiteiten op het kustecosysteem "AMORE III"***. Eindverslag Fase 1 Samenvatting : Federale Wetenschapsbeleid 2009 – 6 p. (Onderzoeksprogramma "Wetenschap voor een Duurzame Ontwikkeling")

AMORE (Advanced Modeling and Research on Eutrophication) is een interdisciplinair consortium bestaande uit biologen, bioingenieurs, biostatistici en fysische en ecologische modelleerders, dat bijdraagt de aan de Wetenschap voor een Duurzame Ontwikkeling van de kustzones in het Kanaal en de zuidelijke bocht van de Noordzee met een focus op de Belgische kustzone (BKZ).

De resultaten die sinds 1997 door het AMORE consortium bereikt werden, tonen aan dat de BKZ een sleutelrol speelt in het onderzoek naar de oorzaken van natuurlijke variatie en effecten van menselijke activiteiten op kusteutrofiëring en de duurzaam beheer van economische activiteiten. De BKZ wordt onderworpen aan antropogene nutriënten aangevoerd door lokale (Schelde en IJzer) en buitenlandse (Seine, Somme, Rijn/Maas) rivieren, die de N:P:Si nutriëntenbalans en de ecosysteemstructuur van het kustgebied beïnvloeden in het voordeel van de bloei van ongewenste *Phaeocystis* kolonies tegenover diatomeën. Er dient echter opgemerkt te worden dat de huidige bijdrage van rivieren aan de eutrofiëring van de BKZ en de gerelateerde geografische spreiding van *Phaeocystis* vooral bepaald worden door grootschalige klimaatfenomenen, zoals de NAO (Noord Atlantische Oscilatie), die de weersomstandigheden in Noordwest Europa bepaalt.

Het project AMORE III onderzoekt het dubbele effect van een veranderende menselijke activiteit in een veranderend klimaat op eutrofiëringsprocessen in de BKZ en het teruggekoppelde effect van eutrofiëring op goederen en diensten geleverd door de BKZ. Als dienst focust AMORE III zich op de atmosferische CO₂ absorptiecapaciteit van de BKZ, terwijl de recent ontwikkelde offshore mosselkweek wordt beschouwd als een goed. Mosselkweek is een nieuwe economische activiteit in de BKZ in 3 offshore gebieden (Nieuwpoort, Oostdijk en Westhinder) met variërend voorkomen van *Phaeocystis* kolonies. Alhoewel er reeds negatieve effecten van *Phaeocystis* kolonies op mosselbedden (bodemmosselen) werden gerapporteerd, is de impact op mosselkweek op drijvende kooien nog niet gekend en zal deze waarschijnlijk afhankelijk zijn van de koloniegrootte en de koloniaantallen.

AMORE III voorziet nieuwe ecologische kennis, technologische ontwikkelingen en ecologische modellen als bijdrage tot het duurzame gebruik van de BKZ om:

- De dubbele rol van een veranderend hydroklimaat (windsterkte en -richting, temperatuur) en de nutriëntenlading van rivieren in het bepalen van de geografische spreiding en de sterkte van *Phaeocystis* bloei in de BKZ in te schatten, alsook de rol van het kustgebied als buffer voor toegenomen atmosferische CO₂; voorspellen hoe deze in de nabije toekomst (2015) kunnen veranderen, gebaseerd op realistische scenario's met een veranderd klimaat en een veranderende nutriëntenladingen in rivieren;
- De impact van *Phaeocystis* kolonies op offshore mosselkweek in te schatten en het maken van aanbevelingen voor een geoptimaliseerd beheer;
- De ecologische kwaliteitscriteria vast te leggen voor het meten van ecosysteemverandering en de effectiviteit van beheers- en beleidstoepassingen te definiëren.

De onderzoeksmethodologie omvat en combineert (i) laboratorium-gecontroleerde process-level experimenten, (ii) verzamelen van historische en nieuwe veldgegevens, (iii) opzetten van (bijna-)real-time monitoring van fytoplankton distributies en (iv) numerische hulpmiddelen (statistische en dynamische modellen). Bij de methodologie speelt het bestaande MIRO&CO-3D ecologisch model een centrale rol als integrator van nieuwe kennis, die werd opgedaan door experimentele studies en als hulpmiddel voor het inschatten en

voorspellen van eutrofiëring, alsook voor beleidsondersteuning. Complementair wordt van de (bijna-)real-time fytoplankton monitoring verwacht om een quasi synoptisch overzicht aan te leveren van de fytoplanktonbiodiversiteit in de BKZ en aangrenzende waters. Alsook het ontwikkelen van een krachtig hulpmiddel voor modelvalidatie in de gebieden waar monitoringsstations afwezig zijn en voor de indentificatie van regio's die beïnvloed worden door ongewenste *Phaeocystis* bloei. Uit toepassing van multivariabele statische methodes op deze nieuwe dataset, wordt verwacht dat de model-gevoelige-gebaseerde formulering van ecologische kwaliteitscriteria ondersteund wordt en dat vroege waarschuwingen bij ecosysteemveranderingen kunnen geleverd worden. De bereikte vooruitgang wordt gedetailleerd beschreven in het rapport.

Fytoplankton ecologie

De focus van de op fytoplankton gerichte ecofysiologische studies lag op de mechanismen, die de *Phaeocystis* kolonievorming controlleren, wat vooralsnog een zwak element was in het bestaande MIRO&CO-3D. De resultaten suggereren dat *P. globosa* kolonievorming gerelateerd is aan de groeidynamiek van de haploide populatie die aanwezig is in het water. In het bijzonder is een lichtsterkte van ongeveer $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ licht en nutriëntenaanrijking nodig voor het intitiëren van syngamie en kolonievorming. Naast licht en nutriënten kan de mogelijke rol van *Chaetoceros* spp. in het tot stand brengen van kolonievorming niet uitgesloten worden.

Mogelijke factoren die de diatomee/*Phaeocystis*/diatomee opvolging in de BKZ controlleren, werden gebaseerd op een statistische analyse van de gedurende 13 jaren verzamelde fytoplanktongegevens op Station 330, in de centrale BKZ. De statistische analyse van de fytoplanktongegevens bood jammer genoeg geen stevige ondersteuning aan de regulatie van de geobserveerde seizoenale opvolging van diatomeegemeenschappen en *Phaeocystis* door temperatuur, nutriënten en omgevingslicht. De kleine neretische diatomeën en *Chaetoceros* lijken namelijk beter aangepast te zijn aan lagere temperaturen in de late winter/vroege lente dan *Guinardia*. Daarnaast is een verschillende resistentie van de diatomeëngemeenschappen en de *Phaeocystis* kolonies aan grazen een bijkomende mogelijke factor die de fytoplanktonsuccessie vorm geeft.

Fytoplankton monitoring

AMORE III gebruikte een nieuw toestel dat de technologie van flow-cytometrie (FlowCAM) en beeldanalyse (PhytoImage) combineert. Laboratoriumexperimenten met zuivere culturen van fytoplaktonsoorten lieten toe specifieke omstandigheden te definiëren, waarbij de combinatie van de FlowCAM en PhytoImage een nuttig hulpmiddel is om fytoplankton in de Noordzee te monitoren. Eerst werd aangetoond dat een cel van $800\mu\text{m}$ met een 2x vergroting of een cel van $300\mu\text{m}$ met een 4x vergroting, beide gebruikt in combinatie met een fluorescentie-triggering-modus, de beste instellingen zijn voor de FlowCam. Ten tweede werden voor een gegeven gebied en voor elk seizoen specifieke trainingssets en herkenningsalgoritmen ontworpen in PhytoImage. Ten derde kan het systeem momenteel enkel gebruikt worden om relatieve abundanties in het gedigitaliseerde staal te detecteren. Absolute abundanties, biomassa's, e.d. hebben nog nood aan een voorzichtige calibratie van het aantal kolonies of deeltjes geteld door de FlowCAM/PhytoImage in functie van de densiteit van deze deeltjes in de stalen en de stroomsnelheid in de meetcel.

Uiteindelijk werd de huidige combinatie van FlowCAM en PhytoImage succesvol getest op zee (tot 4-5 Beaufort) en kan deze op een snelle en eenvoudige manier (bijna-)real-time data produceren. Indien nodig kan de serie nog steeds hergeanalyseerd worden met het volledige proces in het laboratorium.

Nadelige (of voordelige) effecten van *Phaeocystis* kolonies op mosselen

Het potentiële effect van *Phaeocystis* kolonies op de productie van offshore mosselkweek (*Mytilus edulis*) werd onderzocht op basis van laboratorium bio-assays met mosselen, die gevoed werden met verschillende concentraties en afmetingen van *Phaeocystis* kolonies en op basis van veldmetingen op indicatoren van fysiologische staat voor, tijdens en na de *Phaeocystis* bloei. De fysiologische status van offshore mosselen (biochemische samenstelling: proteïnen, glycogeen en lipiden) toonde een seizoenale variatie in lente/zomer die mogelijk te wijten kan zijn aan een negatieve invloed van *Phaeocystis* kolonies, het paaien of een combinatie van beide. Het gecombineerde gebruik van voedingsproeven in het laboratorium en aanvullende veldobservaties op het einde van de zomer moet toelaten verdere conclusies te trekken over het effect van *Phaeocystis*.

De eerste voedingsexperimenten met *Isochrysis*-cellen toonden aan dat de opnamesnelheid gecorrigeerd voor mosselgrootte een goede parameter is om de voedingscapaciteiten van mosselen te vergelijken. Tevens kon worden aangetoond dat *Isochrysis* een goede voedselsoort is voor mosselen en als referentiesoort kan dienen voor het voederexperimenten met *Phaeocystis*. Op basis van deze resultaten werd een mosselgrootte tussen 30 en 40 mm gekozen om voedingsexperimenten met *Phaeocystis* kolonies uit te voeren. Uit de beschikbare experimenten werd een positieve relatie waargenomen tussen de gemiddelde opnamesnelheid van *Phaeocystis* kolonies en de gemiddelde grootte van de aangeboden *Phaeocystis* kolonies tot 300µm. Aangezien een *Phaeocystis* bloei in de BKZ echter gedomineerd wordt door grotere kolonies (500-1000 µm) zijn meer bio-assays met een dominantie van kolonies >500 µm noodzakelijk om deze trend te bevestigen en om eventueel een koloniegrootte te bepalen, die een nadelig effect hebben op de mosselgroei.

Ecologische referentie voor *Phaeocystis* verstoring

Op basis van microscopische observatie van het aantal begraasbare *Phaeocystis* kolonies en historische simulaties met het MIRO-model, werd een celreferentie van $4 \cdot 10^6$ cellen l^{-1} gedefinieerd als een goed-gebalanceerd (gezond) *Phaeocystis* ecosysteem en werd een nutriëntendrempel voor *Phaeocystis* verstoring bepaald op $60 \text{ kT N } y^{-1}$ in de BKZ. Deze waarden kunnen gebruikt worden voor de implementatie van nutriëntreducerende maatregelen. Daarnaast kan de *Phaeocystis*-referentie gebruikt worden om *Phaeocystis*-probleemgebieden en –probleemloze gebieden in de BKZ aan te duiden, gebaseerd op real-time monitoring door de FlowCam/PhytoImage of op MIRO&CO-3D simulaties (voor hedendaagse en nutriëntreducerende scenarios).

Ontwikkeling van een ecologisch model

Nieuwe numerische ontwikkelingen steunden ofwel op MIRO of op de ontwikkeling, implementatie en parameterisatie van MIRO&CO-3D.

Gevoeligheidstesten op het complexe ecologische model MIRO hebben het aantal fytoplanktoncelvariabelen van 3 naar 2 gereduceerd zonder verandering van de fytoplanktondynamiek. De fytoplanktonmodule kan vervangen worden door deze nieuwe versie, wanneer MIRO gebruikt wordt op basis van hoog-geresolveerde fysische modellen. De reductie van de “microbial loop complexity” (van 5 naar 3 variabelen) is nog in ontwikkeling, waarbij de behaalde resultaten nog niet toevredening stemmen.

De CO₂ module werd succesvol geïmplementeerd in het bestaande MIRO&CO-3D model en de resulterende zeeoppervlakte pCO₂ simulatie werd gevalideerd door vergelijking met

bestaande data. Analyse van de resultaten wijzen op de rol van rivierladingen en bijgevolg eutroficatie bij het bepalen van de atmosferische CO₂ absorberende capaciteit van kustzones.

De implementatie van het MIRO&CO-3D model in het BKZ raster liet toe simulaties met een betere resolutie (750m x 750m) en bijgevolg een betere inschatting van de rol van Belgische rivieren op de eutrofiëring van de BKZ te maken. Preliminair resultaten werden bekomen en gevalideerd. Dit is veelbelovend voor toekomstige toepassingen (nutriëntreductiescenario's in de BKZ).

Gegevens over Totaal Opgeloste Materie (TOM) werden met hoge frequentie bekomen via remote sensing beelden (MODIS, met dank aan het STEREO-RECOLOUR project) en werden gebruikt als input voor de kPARv1 module voor de berekening van PAR. Het belang van TOM variabiliteit op PAR attenuatie werd aangetoond door vergelijking van MIRO&CO-3D resultaten met *in situ* data. Modelsimulaties bekomen met deze nieuwe TOM-gegevens tonen dat de ruimtelijke variatie in fytoplanktonbloeitijd nauw gerelateerd is met de hoeveelheid opgeloste materie. Verder is de interjaarlijkse variabiliteit van de bloeitijd afhankelijk van de combinatie van factoren zoals TOM, oppervlakte PAR en beschikbare nutriënten.

Reactie van de BKZ op nutriëntreductie

Scenario's die het effect van nutriëntreducties (fosfor en/of stikstof) op de nutriënt/*Phaeocystis* distributie en op de eutrofiëring van Belgische wateren onderzoeken zijn uitgevoerd met het MIRO&CO-3D model, steunend op de nieuwe criteria voor *Phaeocystis* verstoring. Resultaten bevestigen de nood om een prioriteit te maken van de stikstofreductie om de kans op ongewenste *Phaeocystis* bloei te verminderen.

Verder werd een module voor het berekenen van grensoverschrijdende fluxen in het MIRO&CO-3D domein verder geïmplementeerd op het C&SNS raster en werden er nutriëntentransporten berekend voor de jaren 1993-2004. Resultaten van deze scenario's worden verder geanalyseerd en de preliminaire resultaten van grensoverschrijdende nutriëntentransporten werden gerapporteerd aan OSPAR.