

2.3. Eutrofiëring (D5)

Xavier Desmit, Dimitry Van der Zande, Wendy Bonne, Karien De Cauwer en Geneviève Lacroix

De relevante indicatoren van eutrofiëring tonen aan dat voor zo'n 30% van de Belgische mariene zone de goede milieutoestand niet werd bereikt. De Belgische kustwateren (1^{ste} zeemijl) verkeren niet in goede toestand, de territoriale wateren (binnen 12 zeemijl) evolueren richting goede milieutoestand (die wellicht tegen 2020 zal worden bereikt), en verder op zee werd de goede milieutoestand reeds bereikt (voorbij twaalfmijlszone).

2.3.1. Inleiding

De goede milieutoestand wordt bereikt wanneer de door de mens teweeggebrachte eutrofiëring tot een minimum beperkt is, vooral wat de schadelijke effecten ervan betreft, nl. verlies van de biodiversiteit, aantasting van het ecosysteem, schadelijke algenbloei en zuurstofgebrek in de bodemwateren.

De chlorofyl *a*-concentratie (Chl) is een indicator van de biomassa van het fytoplankton dat zorgt voor fotosynthese in het mariene milieu. Het jaarlijks maximum aan Chl wordt statistisch goed beschreven door het 90-percentiel Chl (Chl P90) gedurende de groeiperiode (maart-oktober). Dit maximale Chl wordt elk jaar waargenomen in april-mei en komt in hoofdzaak overeen met de bloei en accumulatie van kolonies van *Phaeocystis globosa*. Het Chl P90 is ook sterk gekoppeld aan de winterconcentraties van voedingsstoffen eraan ten grondslag liggen (Desmit et al., 2015a).

Het Chl P90 en de winterconcentraties aan voedingsstoffen (stikstof N en fosfor P) zijn de relevante indicatoren van eutrofiëring voor de beoordeling van de goede milieutoestand in het BDNZ. De abundantie van *P. globosa* wordt beschouwd als een redundante indicator zolang de Chl P90-indicator boven de drempelwaarde blijft. Er is sprake van een goede staat voor eutrofiëring wanneer:

- het 90-percentiel van chlorophyl *a*-concentratie (berekend van maart tot oktober en over 6 jaar) lager is dan 15 µg/l
- de winterconcentratie van opgelost anorganisch stikstof (DIN) lager is dan 22,5 µmol/l. De drempelwaarde werd aangepast ten opzichte van eerdere rapporten en is beter afgestemd op de Chl P90 drempelwaarde (cf. annex D5). De vorige drempelwaarde was 15 µmol/l.
- de winterconcentratie van opgelost anorganisch fosfor (DIP) lager is dan 0,8 µmol/l.

Wegens hoofdzakelijk fysieke redenen zijn de indicatoren met betrekking tot opgeloste zuurstof, transparantie van de waterkolom of fotosynthetische macro-organismen niet relevant voor het vaststellen van een diagnose van eutrofiëring in de Belgische wateren (zie rapport GMT en milieudoelen, 2018).

2.3.2. Achtergrond

Menselijke activiteiten in stroomgebieden (landbouw, verstedelijking, industrie) en atmosferische depositie (Dulière et al., 2017) zijn verantwoordelijk voor een aanzienlijke export van nutriënten (stikstof N en fosfor P) van het land naar de kustgebieden. De aanvoer van nutriënten via rivieren zorgt voor een teveel aan N en P ten opzichte van het opgelost silicium. De eutrofiëring van de Belgische wateren wordt toegeschreven aan deze aanvoer, die een overmatige productie van fytoplankton stimuleert. In het bijzonder bevordert de overmaat aan N ten opzichte van silicium de vorming van *Phaeocystis globosa* kolonies (Prymnesiophyceae) na het einde van de eerstediatoemieënbloei in het voorjaar (Lancelot et al., 1987, Rousseau et al., 2013). Volgens de huidige stand van kennis, zijn de nadelige effecten van eutrofiëring in de Belgische mariene wateren gerelateerd aan de overmatige groei van *P. globosa* waarvan het voorkomen in het voorjaar vervijfvoudigd is sinds de jaren 1970-1980 (Jickells 1998). Bij eutrofiëring kunnen de *P. globosa* kolonies zo groot worden dat ze niet meer eetbaar zijn voor het copepoden zoöplankton (Rousseau et al., 2000). Dit aspect, in combinatie met de slechte voedingswaarde van *P. globosa*, remt waarschijnlijk de productie van eieren van het copepoden zoöplankton aan het einde van de lente (Daro et al., 2006). Door het wegvallen van de druk door copepoden, stimuleert het organisch materiaal dat geaccumuleerd is in de *P. globosa* kolonies, het microbiële netwerk in plaats van de hogere niveaus van de voedselketen, wat de trofische efficiëntie van het systeem vermindert (Lancelot et al., 2009).



Figuur 2.6. Schuim van *Phaeocystis globosa*. Bron: C. Lancelot.



Figuur 2.7. De traditionele landbouw draagt in grote mate bij aan de eutrofiëring in zee.

2.3.3. Geografisch gebied

Het zuidelijk bekken van de Noordzee ontvangt nutriënten (N en P) afkomstig van de Seine, Somme, Theems, Schelde, Rijn en Maas en van de Atlantische Oceaan. Deze voedingsstoffen stapelen zich op in de zee in minerale en organische vorm en het residuele transport vindt plaats van het zuidwesten naar het noordoosten (Ruddick en Lacroix, 2006). In het Belgische gebied vermengen de oceaanwateren die via het Kanaal binnenstromen zich met het zoet water van de rivieren onder invloed van de getijden. Afhankelijk van het jaar varieert het relatieve

belang van zoet en zout water in de kustgebieden naargelang de hydrologische en meteorologische omstandigheden (Lacroix et al., 2004). De windpatronen dragen bij aan de verplaatsing van waterlichamen en leiden tot een variabele spreiding van voedingsstoffen die de productie van fytoplankton en de ruimtelijke verdeling van Chl beïnvloeden (Desmit et al., 2015a en cf. annex D5). In het algemeen worden de Belgische wateren gekenmerkt door een permanente gradiënt van nutriënten en Chl, waarbij de waarden het hoogst zijn aan de kust, en vervolgens verder zeewaarts afnemen (Rousseau et al., 2006). Deze evaluatie heeft betrekking op het gehele BDNZ met bovendien een verdere onderverdeling (Figuur 1.2):

- het kustgebied (eerste zeemijl, identiek aan de kustwateren volgens de KRW)
- het territoriale gebied (eerste twaalf zeemijlen, kustgebied niet inbegrepen)
- offshore, het open zeegebied (de rest van het BDNZ).

2.3.4. Methodologie

De analyse van winterconcentraties (januari - februari) van nutriënten (N en P) wordt verzekerd door het nationale monitoringprogramma op tien bemonsteringslocaties (cf. annex. D5) die representatief zijn voor de omringende watermassa's. Op basis van alle resultaten 2011-2016 werd de relatie met het zoutgehalte berekend en, voor elk jaar, de waarde afgeleid die overeenkomt met een zoutgehalte van 33,5. De oppervlakte van het gebied waarin de nutriëntenconcentraties de respectieve drempels overschrijden, werd berekend op basis van de relatie met het winterzoutgehalte en een klimatologie van de ruimtelijke verspreiding van het zoutgehalte (cf. annex D5). De hieruit resulterende kaarten geven een goed overzicht van nutriëntenconcentraties in de Belgische zone. Om rekening te houden met de kust-zee-gradiënt en om de tijdsgebonden tendensen in detail te illustreren, werden bovendien de concentraties geëvalueerd in drie verschillende gebieden van het BDNZ: de kustzone, de territoriale zone en open-zeezone. De lange termijntrends van nutriëntenconcentraties in de drie zones werden statistisch beoordeeld (cf. annex D5).

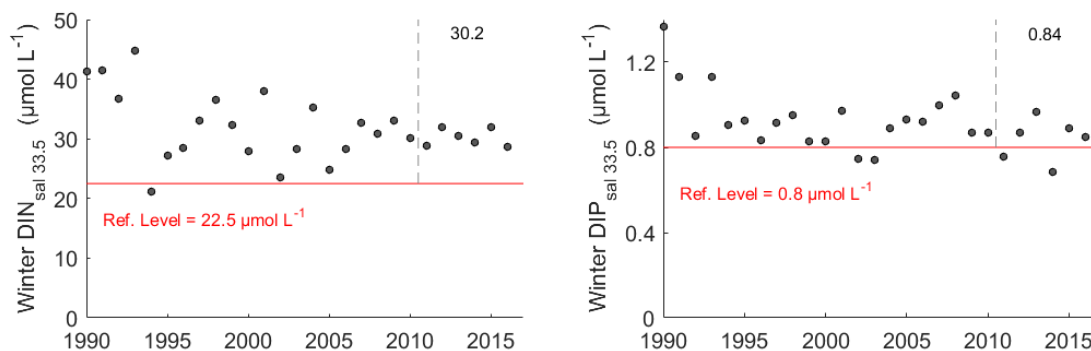
Chlorofyl wordt opgevolgd via remote sensing (ENVISAT-MERIS) gevalideerd op basis van in-situ metingen. Dit laat toe om chlorofyl te beoordelen met een hoge temporele en ruimtelijke resolutie. Dankzij het COPERNICUS program (www.copernicus.eu) ontstaan uit de samenwerking tussen de European Commission (EC) en European Space Agency (ESA) wordt er ocean colour data gegarandeerd tot 2036. RBINS/OD Nature heeft als doel om Sentinel-3 ocean colour data te integreren in het monitoringsprogramma voor de volgende beoordelingsperioden.

Voor deze oefening werd voor de integratie van de indicatoren in het overeenkomstige criterium en de verschillende criteria in de globale beoordeling de methode van de KRW gebruikt voor de kustwateren, *One Out All Out* (OOAO), en die van OSPAR (OSPAR 2013) verder zeewaarts. Daarnaast worden nieuwe evaluatiemethoden ontwikkeld die nauwkeuriger rekening houden met de ruimtelijke dimensie. Er wordt bijvoorbeeld voorgesteld om een vooraf gedefinieerde isolijn voor Chl P90 te gebruiken met een waarde van 15 µg/l overeenkomstig de goede milieutoestand. De isolijn bepaalt de grens tussen het deel in goede en niet-goede toestand en de verplaatsing van de isolijn in de loop van de tijd toont de bereikte vooruitgang. Deze benadering is consistent met het toenemend gebruik van satellietbeelden en -modellen.

2.3.5. Resultaten en trends

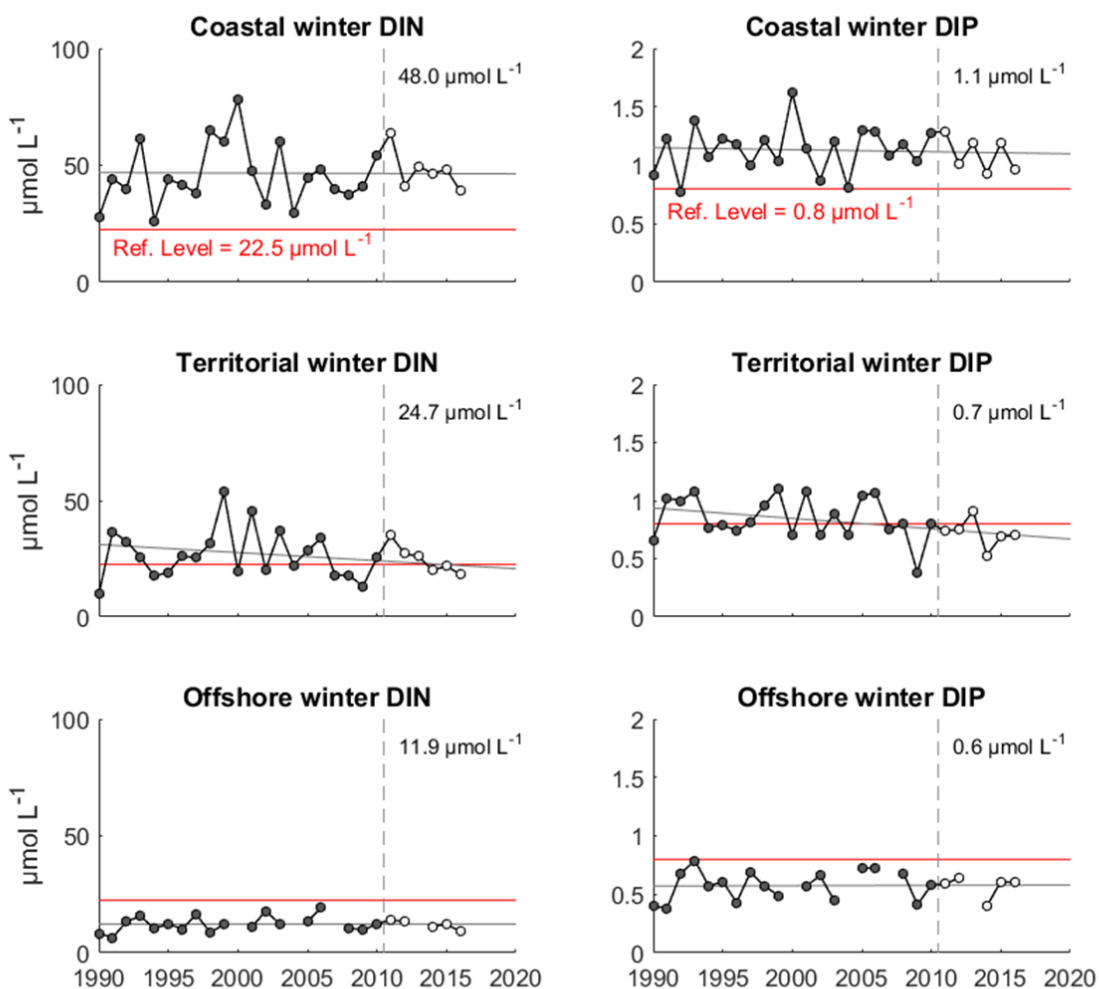
Nutriënten

De gemiddelde winterconcentratie aan opgeloste anorganische stikstof (DIN) en opgeloste anorganische fosfor (DIP), voor de periode 2011-2016 en genormaliseerd naar zoutgehalte 33,5, is respectievelijk 30,2 $\mu\text{mol/l}$ en 0,84 $\mu\text{mol/l}$ (Figuur 2.8).



Figuur 2.8. Evolutie van DIN- en DIP-concentraties genormaliseerd naar zoutgehalte 33,5. Rode lijn: drempelwaarde. Het meerjarige gemiddelde van winterconcentraties aan nutriënten in de periode 2011-2016 wordt rechtsboven getoond. De verticale grijze lijn geeft het begin van de referentieperiode weer voor deze evaluatiecyclus.

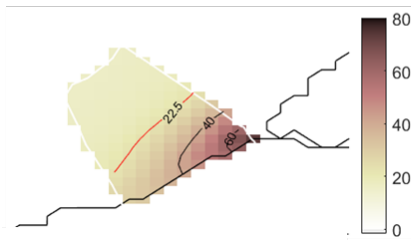
In de kustzone is de gemiddelde waarde voor de twee nutriënten over de periode 2011-2016 groter dan de respectieve drempelwaarden voor de goede toestand (cf. Figuur 2.9). De tendens op lange termijn wijst op een zeer langzame verbetering voor beide nutriënten. In de territoriale zone blijft de gemiddelde winterstikstofconcentratie boven de drempelwaarde, maar de trend wijst op verbetering, zodanig dat de goede toestand tegen 2020 zou bereikt kunnen worden. Wat de winterfosforconcentratie in de territoriale zone betreft: deze daalde tot onder de drempelwaarde gedurende de referentieperiode. Dit betekent dat, voor wat betreft de fosfor-indicator, de goede toestand is bereikt en dat deze positieve trend blijft aanhouden. In open zee wijzen de stikstof- en fosforindicatoren op een goede toestand. De tendens op lange termijn blijft stabiel.



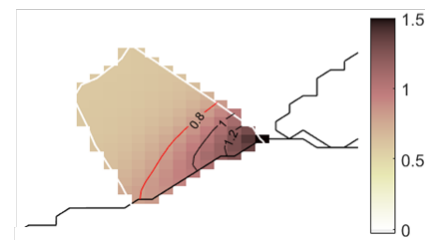
Figuur 2.9. Lange tijdsreeksen aan DIN winterconcentraties (links) en DIP winterconcentraties (rechts) in de drie zones van het BDNZ. De rode lijnen geven de drempelwaarden voor de goede toestand weer; de grijze lijnen geven de trends weer. Het meerjarige gemiddelde van winterconcentraties van nutriënten voor de periode 2011-2016 wordt rechtsboven getoond. De verticale grijze lijn geeft het begin van de referentieperiode weer voor deze evaluatiecyclus.

De oppervlakte van het BDNZ die nog niet de goede milieutoestand bereikte tijdens de referentieperiode werd berekend: 48% van de Belgische wateren heeft volgens de stikstofindicator nog niet de goede toestand bereikt; volgens de fosforindicator bedraagt dit percentage 31%. Het betreft de kustwateren en een deel van de territoriale wateren, d.w.z. het deel van de Belgische wateren dat het meest wordt beïnvloed door aanvoer via rivieren (cf. Figuur 2.10).

Winter DIN ($\mu\text{mol L}^{-1}$; rebuilt)

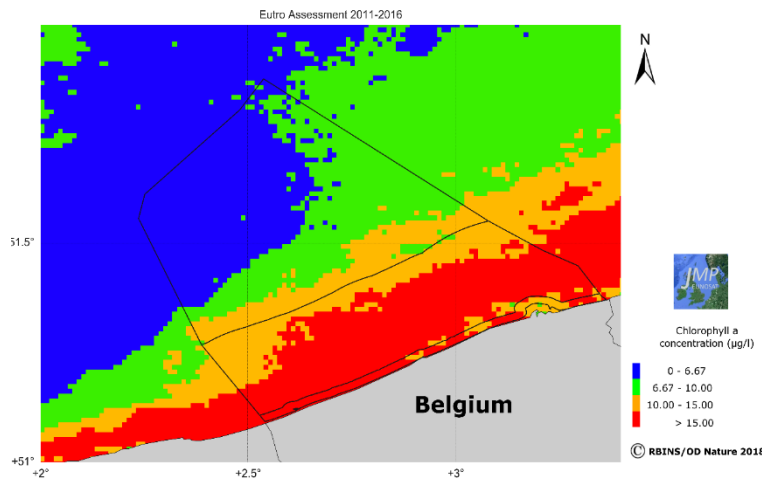


Winter DIP ($\mu\text{mol L}^{-1}$; rebuilt)



Figuur 2.10. Links: winterconcentratie DIN ($\mu\text{mol/l}$). Rechts: winterconcentratie DIP ($\mu\text{mol/l}$). De isolijnen tonen de nutriëntconcentraties en de rode isolijnen komen overeen met de specifieke concentraties die de goede toestand aangeven (drempelwaarde). Met een verminderde nutriëntenaanvoer naar zee in de toekomst, wordt verwacht dat de rode lijn zich richting kust verplaatst (zie annex D5).

Chlorofyl a

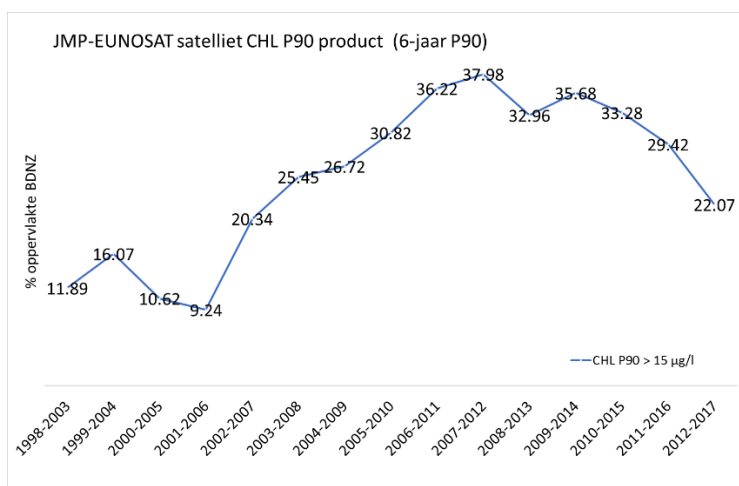


Figuur 2.11. Classificatie van Chl P90 op basis van satellietbeelden (2011-2016) in het BDNZ. De rode zone geeft een Chl P90 > 15 $\mu\text{g/l}$ weer.

Figuur 2.11 toont het Chl P90 product op basis van satellietbeelden en ingedeeld in concentratieklassen in de Belgische wateren voor de periode 2011-2016. Het deel van het Belgische gebied met een Chl P90 groter dan 15 $\mu\text{g/l}$, is in het rood weergegeven en bedekt 29% van de oppervlakte van het BDNZ. Deze oppervlakte bevindt zich in de territoriale wateren langs de kust.

De gemiddelde Chl P90 voor heel het BDNZ bedraagt 11,8 $\mu\text{g/l}$; voor de kustwateren is dit 19,3 $\mu\text{g/l}$, voor de zone van 1 tot 12 zeemijl 17,6 $\mu\text{g/l}$ en offshore 7,6 $\mu\text{g/l}$

In het Europese JMP-EUNOSAT project werden soortgelijke producten aangemaakt op basis van 20 jaar beschikbare satellietdata. Deze tijdsreeks (zie Figuur 2.12) toont een sterke toename in het gebied met een Chl P90 groter dan 15 $\mu\text{g/l}$ voor het product 2002-2007 tot 2007-2012 waarna een geleidelijke afname kan waargenomen worden tot het laatste product voor de periode 2012-2017. De evolutie in de tijd van het Chl P90 product is gedeeltelijk te wijten aan natuurlijke processen. Chl P90 vertoont een sterke jaarlijkse variabiliteit en wordt ook beïnvloed door hydroklimatologische cycli op lange termijn (zie annex D5).



Figuur 2.12. Tijdsreeks van oppervlakte van de BDNZ (%) geclassificeerd als zone waar de Chl P90 > 15 µg/l gebaseerd op satelliet data beschikbaar sinds 1998.

2.3.6. Conclusies

Op basis van de beschikbare gegevens, hebben we vastgesteld dat:

- In de kustzone overschrijden de drie indicatoren (winter N en P en Chl P90) hun respectieve drempelwaarde. De concentraties dalen zeer langzaam en het is onwaarschijnlijk dat het kustgebied tegen 2020 de goede milieutoestand zal bereiken.
- In het territoriale gebied blijven twee van de drie indicatoren boven hun respectieve drempelwaarde. Een dalende trend werd opgemerkt en waarschijnlijk zal de territoriale zone tegen 2020 de goede milieutoestand bereiken.
- Offshore blijven de drie indicatoren onder hun respectieve drempelwaarde. De tendens is stabiel en het is erg waarschijnlijk dat deze zone in goede toestand blijft in 2020.
- Zo'n 30% van de oppervlakte van het BDNZ bereikt de goede milieutoestand niet. Dit is gebaseerd op de chlorofyl-indicator (cfr. OSPAR procedure). Voor stikstof en fosfor overschrijden respectievelijk 48% en 31% van de oppervlakte van het BDNZ de norm.

Het is belangrijk om erop te wijzen dat het niet bereiken van de goede toestand in bepaalde delen van de Belgische wateren, niet noodzakelijk de klassieke eutrofiëringsgebonden aantasting met zich meebrengt, zoals zuurstofgebrek of proliferatie van opportunistische macroalgen. Niettemin is het zeer waarschijnlijk dat eutrofiëring verstoring van de voedselketen veroorzaakt door overmatige groei van *P. globosa*.

Wat de toekomst betreft, zal de verminderde aanvoer van nutriënten (N en P) vanaf de rivierbekkens naar de kustzone en de zee noodzakelijkerwijs een verandering in de menselijke activiteiten impliceren. Een recente modelstudie (Desmit et al., 2015b; Desmit et al., 2018) op schaal van de Atlantische kust van Europa toont aan dat de bestaande richtlijnen niet volstaan om een goede toestand van de Europese kustwateren te verzekeren. Een significante vooruitgang bij het herstel van het mariene milieu zal niet mogelijk zijn zonder ingrijpende

veranderingen in het landbouwproductiesysteem en bepaalde economische mechanismen, die zelfs culturele veranderingen zullen vereisen zoals halvering van de gemiddelde vleesconsumptie in West-Europa. Bovendien zullen dergelijke wijzigingen ook internationale samenwerking en gelijktijdige inspanningen van de lidstaten vergen omdat de aanvoer van voedingsstoffen via rivieren en atmosfeer een impact kunnen hebben tot ver in zee, ruim voorbij de grens van de nationale wateren (Dulière et al., 2017; Ménesguen et al., 2018).

2.3.7. Kwaliteitsaspecten

De in situ gegevens betreffende nutriënten (N en P) volstaan om eutrofiëring te beoordelen.

De in situ gegevens voor chlorofyl *a* zijn op dit moment ontoereikend, er zijn te weinig gegevens op jaarbasis om de seizoensdynamiek van chlorofyl *a* weer te geven. De monitoring werd aangepast naar maandelijkse staalname en analyse a.d.h.v. HPLC. Satellietgegevens van chlorofyl *a* dragen in belangrijke mate bij aan de eutrofiëringsbeoordeling in Belgische wateren, dankzij de volledige ruimtelijke dekking en hun hoge temporele frequentie waardoor het begin van de voorjaarsbloei preciezer kan worden gedetecteerd. In deze context evalueert het project JMP EUNOSAT, in regionale samenwerking, het gebruik van satellietbeelden voor het bepalen van het eutrofiëringsniveau in de Noordzee. Copernicus waarborgt de verwerving van satellietgegevens via Sentinel-3 tot 2036. De satellietbeelden en metingen van chlorofyl *a* met HPLC op in situ stalen vullen elkaar aan. Via satelliet kan inzicht verworven worden in de ruimtelijke verspreiding van de bloei op grotere geografische schaal. Maar enkel de processen aan de oppervlakte zijn zichtbaar en de chlorofyl *a* waarden zijn het resultaat van algoritmen die gecalibreerd moeten worden. De chlorofyl *a* metingen met HPLC kunnen, dankzij het nieuwe in situ monitoringsprogramma, bijdragen aan een beter begrip van de fytoplanktonische processen onder invloed van het getij en verticale processen tussen bodem en oppervlakte.

Chlorofyl *a*- is een veel gebruikte en gestandaardiseerde indicator voor de biomassa van fytoplankton. Het kan echter ook zeer nuttig zijn om regelmatig de fotosynthese van fytoplankton te meten, bijvoorbeeld met proxy's die afgeleid zijn van de Fast Repetition Rate Fluorimetry (FRRF). Dit zou ons helpen om het systeem beter te begrijpen, zoals bijvoorbeeld het proces van de druk van het zoöplankton op het fytoplankton. Het zou ook de algoritmen kunnen bevestigen die de productie van fytoplankton berekenen aan de hand van satellietbeelden.

Onze kennis van het mariene milieu is gebaseerd op in situ bemonstering. Doorgaans gebeurt de monsternamen evenwel zonder rekening te houden met het getij. De verschillende fasen van het getij hebben echter waarschijnlijk een significante invloed op de meting op een vast punt, vooral wat de zwevende deeltjes (organisch of anorganisch) betreft. Er wordt daarom aanbevolen om in de toekomst continu metingen uit te voeren over een getijdencyclus om op elke bemonsteringsplaats het getijeffect op de meting te evalueren.

2.3.8. Data

Data en metadata zijn ter beschikking op het BMDC (www.bmdc.be).

2.3.9. Referenties

Daro N., Breton E., Antajan E., Gasparini S. and V. Rousseau. 2006. Do Phaeocystis colony blooms affect

- zooplankton in the Belgian coastal zone? In: Current Status of Eutrophication in the Belgian Coastal Zone. V. Rousseau, C. Lancelot and D. Cox (Eds). Presses Universitaires de Bruxelles, Bruxelles, pp. 61-72
- Desmit X., Ruddick K., Lacroix G. 2015a. Salinity predicts the distribution of chlorophyll a spring peak in the southern North Sea continental waters. *Journal of Sea Research* 103:59-74 Doi: 10.1016/j.seares.2015.02.007.
- Desmit X., Lacroix G., Thieu V., Ménesguen A., Dulière V., Campuzano F., Billen G., Neves R., Lancelot C., Gypens N., Dussauze M., Garnier J., Silvestre M., Passy P., Lassaletta L., Guittard G., Théry S., Thouvenin B., Garcia C., Pinto L., Sobrinho J., Mateus M., Ascione Kenov I. (2015b). EMOSEM Final Report - Ecosystem Models as Support to Eutrophication Management In the North Atlantic Ocean. 174pp. Link: https://odnature.naturalsciences.be/downloads/publications/emosem_final_report.pdf
- Desmit X., Thieu V., Billen G., Campuzano F., Dulière V., Garnier J., Lassaletta L., Ménesguen A., Neves R., Pinto L., Silvestre M., Sobrinho J.L., Lacroix G. (2018, accepted). Reducing marine eutrophication may require a paradigmatic change. *Sci Total Environ*.
- Dulière V., Gypens N., Lancelot C., Luyten P., Lacroix G. Origin of nitrogen in the English Channel and Southern Bight of the North Sea ecosystems. *Hydrobiologia* (2017). <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3419-5>
- Jickells TD. (1998).) Nutrient Biogeochemistry of the Coastal Zone. *Science* 281:217–21
- Lacroix G., Ruddick K., Ozer J., Lancelot C. (2004). Modelling the impact of the Scheldt and Rhine/Meuse plumes on the salinity distribution in Belgian waters (Southern North Sea). *Journal of Sea Research*, 52: 149-163. doi: 10/1016/j.seares.2004.01.003.
- Lancelot C, Billen G, Sournia A, Weisse T, Colijn F, Veldhuis MJW, Davies A, Wassman P (1987) *Phaeocystis* Blooms and Nutrient Enrichment in the Continental Coastal Zones of the North Sea. *Ambio* 16:38–46.
- Lancelot C, Rousseau V, Gypens N (2009) Ecologically based indicators for *Phaeocystis* disturbance in eutrophied Belgian coastal waters (Southern North Sea) based on field observations and ecological modelling. *J Sea Res* 61:44–49.
- Ménesguen A, Desmit X, Dulière V, Lacroix G, Thouvenin B, Thieu V, Dussauze M (2018) How to avoid eutrophication in coastal seas? A new approach to derive river-specific combined nitrate and phosphate maximum concentrations. *Sci Total Environ* 628–629:400–414
- OSPAR (2013). Common Procedure for the Identification of the Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area. OSPAR Commission, 2013-8.
- Rousseau V, Becquevort S, Parent J-Y, Gasparini S, Daro M-H, Tackx M, Lancelot C (2000) Trophic efficiency of the planktonic food web in a coastal ecosystem dominated by *Phaeocystis* colonies. *J Sea Res* 43:357–372.
- Rousseau V, Park Y, Ruddick K, Vyverman W, Parent J-Y, Lancelot C (2006) Phytoplankton blooms in response to nutrient enrichment. In: Rousseau V, Lancelot C, Cox D (eds) Current status of eutrophication in the Belgian coastal zone. Presses Universitaires de Bruxelles, Brussels, p 45–59.
- Rousseau V, Lantoine F, Rodriguez F, LeGall F, Chrétiennot-Dinet M-J, Lancelot C (2013) Characterization of *Phaeocystis globosa* (Prymnesiophyceae), the blooming species in the Southern North Sea. *J Sea Res* 76:105–113.
- Ruddick K., Lacroix G., 2006. Hydrodynamics and meteorology of the Belgian Coastal zone. In Rousseau V., Lancelot C. and Cox D. (eds). *Current status of Eutrophication in the Belgian Coastal Zone*. Presses Universitaires de Bruxelles. Pp.1-15.