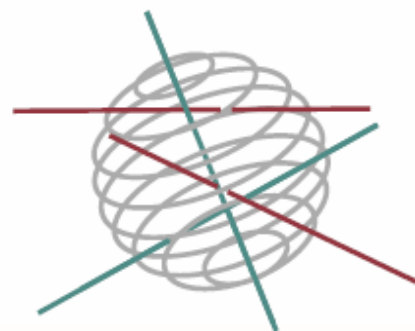


SSD

SCIENCE FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT



**QUANTIFICATION DES SCHEMAS D'ÉROSION ET DE
SEDIMENTATION EN VUE DE TRACER LA
DYNAMIQUE NATURELLE ET ANTHROPOGENIQUE DES
SEDIMENTS
«QUEST4D»**

Van Lancker V, Du Four I, Degraer S, Fettweis M, Francken F, Van den Eynde D,
Devolder M, Luyten P, Monbaliu J, Toorman E, Portilla J, Ullmann A, Verwaest,
T, Janssens J, Vanlede J, Vincx, M, Rabaut M, Houziaux J.-S, Mallaerts T,
Vandenberghé H, Zeelmaekers, E, & Goffin A



ENERGY 

TRANSPORT AND MOBILITY 

AGRO-FOOD 

HEALTH AND ENVIRONMENT 

CLIMATE 

BIODIVERSITY 

ATMOSPHERE AND TERRESTRIAL AND MARINE ECOSYSTEMS 

TRANSVERSAL ACTIONS 

SCIENCE FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT
(SSD)



Mer du Nord

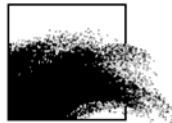


RAPPORT FINAL PHASE 1
RESUME

QUANTIFICATION DES SCHEMAS D'EROSION ET DE
SEDIMENTATION EN VUE DE TRACER LA DYNAMIQUE NATURELLE
ET ANTHROPOGENIQUE DES SEDIMENTS
"QUEST4D"

SD/NS/06A

Van Lancker V, Du Four I, Degraer S, Fettweis M, Francken F,
Van den Eynde D, Devolder M, Luyten P, Monbaliu J, Toorman E,
Portilla J, Ullmann A, Verwaest, T, Janssens J, Vanlede J, Vincx M,
Rabaut M, Houziaux J.-S, Mallaerts T, Vandenberghe H,
Zeelmaekers E, Goffin A



KATHOLIEKE UNIVERSITEIT
LEUVEN

flanders
HYDRAULICS RESEARCH



museum





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 :

Van Lancker V, Du Four I, Degraer S, Fettweis M, Francken F, Van den Eynde D, Devolder M, Luyten P, Monbaliu J, Toorman E, Portilla J, Ullmann A, Verwaest, T, Janssens J, Vanlede J, Vincx M, Rabaut M, Houziaux J.-S, Mallaerts T, Vandenberghe H, Zeelmaekers E, Goffin A, ***Quantification des schémas d'érosion et de sédimentation en vue de tracer la dynamique naturelle et anthropogénique des sédiments "QUEST4D"***. Rapport Final Phase 1 Résumé. Bruxelles :Politique scientifique fédérale 2009 – 8 p. (Programme de recherche « La science pour un Développement Durable »)

Le développement durable requiert une quantification des activités humaines à l'égard de la valeur écologique des fonds marins. Des études d'impact récentes révèlent des effets locaux seulement ; néanmoins, des indications existent d'une dégradation physique de plus grande envergure des fonds marins à plus long terme. Il pourrait s'agir d'un effet cumulatif induit par l'homme, cependant, l'évolution naturelle et la réponse des fonds marins aux changements climatiques sont à peine connues. Différents schémas d'érosion et de sédimentation, consécutifs de changements du climat des vagues et de l'accroissement de l'intensité des tempêtes, sont cependant probables. Il convient de considérer cette évolution par rapport aux influences à long terme du dragage, de l'extraction d'agrégats, de la pêche et du remblayage des plages, à savoir les activités qui perturbent le plus le fonctionnement physique de l'écosystème.

La partie belge de la mer du Nord est étudiée afin de reconstituer les changements de l'écosystème des fonds marins ces 150 dernières années. Des ensembles de données considérables ont été obtenus permettant d'étudier différents composants de l'écosystème dans l'espace, le temps et la profondeur. En particulier, les processus de sédimentation et de transport des sédiments ont été étudiés, étant donné leur rôle central dans l'étude d'écosystèmes. Des changements à long terme des écosystèmes ont été étudiés, en prenant pour point de départ un ensemble de données historiques de benthos et de sédiments, datant de la première décennie du XX^e siècle (la « collection Gilson »). Conjointement à des ensembles de données à long terme de la période 1866-2008, les changements de bathymétrie, de sédiments et de macrobenthos ont été étudiés. Les approximations de modélisation ont été affinées pour pouvoir être utilisées ultérieurement pour des études de cas. Les changements naturels ont été étudiés, sur la base d'observations et de modèles de changement climatique. La quantification de l'influence humaine a été réalisée dans des zones où des ensembles de données à long terme étaient disponibles.

La stratégie de recherche consistait en des analyses GIS étendues, des observations/prélèvements d'échantillons (RV Belgica), des expériences et des modélisations avancées dans l'espace, le temps et la profondeur (4D). Un tripode de mesure à détecteurs multiples, enregistrant notamment la turbidité, les courants et la taille des particules in-situ, a été déployé de manière quasi-permanente. Les paramètres ont été mesurés en fonction d'améliorations de modèles, et des observations ont été faites pour tester des hypothèses sur la nature et la dynamique des fonds marins, en majeure partie dans un contexte multidisciplinaire.

L'écosystème dans l'espace, le temps et la profondeur

La partie belge de la mer du Nord est un environnement typique de chenaux de bancs de sable ; néanmoins, la zone côtière comprend de grandes zones vaseuses, ainsi que des eaux à forte turbidité. Les sédiments mélangés y sont présents avec une grande variabilité de composition ; cette donnée, y compris l'effet des vagues sur le échouement de fonds vaseux consolidés, et les effets de l'érosion du sable au-dessus de la vase consolidée, sont dès lors les facteurs directeurs du transport de sédiments dans la zone côtière. La formation de suspensions vaseuses à haute concentration (SVHC), au cours des périodes de tempête, influence probablement le transport de matériau particulaire en suspension (MPS) et le dépôt de vase (essentiellement) dans les chenaux de navigation et les ports ; ce phénomène n'a jusqu'à présent jamais été étudié.

Les activités humaines sont éminemment présentes dans la zone côtière (par ex. les travaux d'extension portuaire, le dragage et le déversement de matériau dragué, le creusement de chenaux de navigation et l'extraction d'agrégats) ; une bonne connaissance est dès lors nécessaire en ce qui concerne la dynamique non cohésive et cohésive des sédiments et leur interaction mutuelle (érosion et dépôt). La floculation est un processus important nécessitant un étaiement constant par des mesures, ainsi que des étalonnages afin d'améliorer les modèles mathématiques pour le transport de sédiments. L'érodabilité de sédiments est un paramètre

important, étant donné que la zone côtière contient de la vase en des degrés variés de consolidation, laquelle est érodée et déposée en fonction des facteurs météorologiques dominant. Des mesures ont démontré que la contrainte tangentielle critique pour l'érosion augmente fortement avec la profondeur ; c'est pourquoi l'érosion de la vase est généralement un phénomène se produisant seulement à la surface ; lors de conditions de tempête, les couches de vase consolidées sont également érodées.

L'origine de la vase dans la zone côtière est toujours restée énigmatique. Une zone de turbidité maximale s'étend grosso modo entre l'estuaire de l'Escaut occidental et Ostende. C'est surtout dans cette zone que nous trouvons différents types de vase d'âge varié ; à cet endroit affleurent fréquemment des couches de vase holocènes et plus anciennes. L'origine de la vase a été étudiée au moyen d'analyses qualitatives et quantitatives détaillées de la minéralogie de masse et des argiles et de leurs zones sources potentielles. Les résultats attestent que la minéralogie des argiles de la vase et du MPS holocène, moderne et récent est identique. Une composition argileuse relativement comparable se retrouve dans l'Escaut (estuaire et en amont) et le Rupel. Ces résultats indiquent une parenté étroite entre la partie belge de la mer du Nord et les sédiments transportés par l'Escaut. Les zones sources potentielles suivantes ont été exclues : (1) le pas de Calais ; (2) des dépôts glaciaires affleurants de l'éocène et du pléistocène ; et (3) du matériau en suspension issu de l'océan Atlantique. Une minéralogie des argiles comparable à pratiquement identique a été observée pour, respectivement, les dépôts de slikke et de schorre holocènes et les dépôts interglaciaires eémiens, échantillonnés à proximité du littoral actuel ; cela suggère qu'en termes d'origine, une relation entre la vase de la partie belge de la mer du Nord et le système scaldien a existé en alternance depuis le pléistocène supérieur.

Des modèles de sédimentation/érosion ont également été étudiés. Les suivis diachroniques de bathymétrie multifaisceaux à haute résolution révèlent des variations à court et moyen terme dans la dynamique des fonds marins. Surtout à proximité des principales zones de déversement de matériau dragué, des processus complexes de transport de sédiment interviennent. Un transport de sol et une migration considérables de dunes de sable ont été observés, en opposition complète aux courants résiduels et au transport en suspension. Ces observations sont importantes dans le cadre de la recirculation de matériau dragué et permettront donc une optimisation future des activités de dragage/déversement. À proximité des sites de déversement, dans les synclinaux des dunes, des points chauds de biodiversité ont été trouvés. Des agrégations du polychète '*Owenia fusiformis*' s'y rencontrent ; dans ces zones, les formes de sol ne migrent pas, ailleurs, des vitesses de migration de dune de 20 m sont constatées. Nous ne savons pas encore clairement si ces biohermes peuvent être associés aux sites de déversement ou à un apport en nutriments supérieur provenant de l'estuaire de l'Escaut occidental.

Modifications à long terme de l'écosystème

La collection Gilson (1899-1908) constitue une chance unique d'étudier comment les paramètres physiques et biologiques ont évolué depuis le début du XX^e siècle, d'autant plus que les données de sédiment et de benthos ont été échantillonnées sur une grille dense. L'ensemble de données a été reconstruit et permet maintenant d'établir des cadres de référence tant de la répartition des sédiments qu'en ce qui concerne le benthos. L'attention nécessaire a été consacrée à la différence de procédures de prélèvement d'échantillons et à la qualité des données, ce qui a permis d'obtenir un ensemble de données solide autorisant une analyse ultérieure.

Des cartes historiques de types de sédiments ont été établies, sur la base des descriptions de sédiments de Gilson. En complément à une numérisation antérieure, l'archive benthique de Gilson a maintenant été complétée avec les bivalves, les polychètes et les amphipodes. Des cadres de référence de composition du benthos (diversité des espèces, abondance totale) ont été établis et offrent une image cohérente de la distribution antérieure de la biodiversité benthique

le long de la zone côtière belge et néerlandaise et dans les environs du banc de sable du Westhinder. La mise en relation des données macrobenthiques et de sédiments permettra de déterminer si une structure écologique donnée peut être retrouvée dans cette composition d'espèces séculaires.

La distribution de bivalves a été étudiée plus avant et comparée avec la distribution actuelle (1994-2008, base de données UG-ILVO). Des changements ont été attribués à des modèles à long terme de l'Oscillation nord-atlantique (ONA), étant donné que la plus grande partie des deux ensembles de données avait été obtenue dans des conditions ONA opposées. Tous les déplacements observés dans la distribution des espèces correspondent aux attentes de conditions physiographiques changeantes, imputables à l'ONA. Dans la partie belge de la mer du Nord, les processus, liés à la turbidité et à la sédimentation/resuspension, sont importants, et les eaux côtières à l'ouest subissent des schémas opposés de salinité, sous des épisodes prolongés de conditions ONA positives ou négatives. Cet effet, clairement perceptible dans les données benthiques euryhalines, reflète une augmentation des écoulements fluviaux (imputable à une augmentation induite par ONA des précipitations sur l'Europe du Nord-Ouest). Les deux effets sont superposés par des valeurs ONA positives élevées, surtout depuis le glissement de régime de 1988. Le schéma tout à fait différent dans l'ensemble de données historique, avant 1903, semble refléter 30 années de conditions ONA négatives poussées. Ces résultats plaident en faveur d'une nouvelle analyse des variations dans d'autres ensembles de données en fonction des cycles et glissements ONA. L'augmentation de la turbidité et de l'envasement dans les eaux belges, surtout, sera vérifiée en fonction des écoulements fluviaux induits par l'ONA.

Des analyses à long terme ont également été réalisées sur des ensembles de données bathymétriques de la période 1866-2007. Aucun glissement significatif de bancs de sable n'a été démontré, même si certains bancs présentaient des schémas variables d'érosion et de déposition. Les Vlaamse Banken (bancs flamands) présentent une accrétion le long de leurs extrémités sud-ouest et une érosion au nord-est. Les chenaux entre les bancs présentent surtout de l'érosion, avec pour conséquence des déclivités plus abruptes des bancs. Dans la zone côtière, la sédimentation domine, avec de l'accréditation de sédiments particulièrement dans le chenal du Grote Rede, vers la côte du Wenduine Bank (banc de Wenduine).

Sur la base de changements de sédiments à long terme, cela correspond à une accumulation de vase. En dehors des changements de sédiments clairement induits par l'homme (par ex. les sites de déversement de dragage), aucun changement largement répandu de la grosseur médiane des grains des sédiments n'a pu être démontré. Toutefois, un changement important a été observé dans le calibrage de la fraction de sable des sédiments au cours des 100 dernières années. Tous les prélèvements d'échantillons de Gilson qui ont fait l'objet d'une nouvelle analyse sont bien calibrés tandis que les échantillons récents présentent surtout un calibrage moyen à mauvais. La cause de cette dégradation du calibrage est associée à un enrichissement en matériel fin dans la fraction de sable ; cela est démontré par l'asymétrie des sédiments. La distribution spatiale de cette tendance est liée aux zones portuaires, aux sites de déversement de dragage et aux zones d'extraction d'agrégats ; elle vaut cependant également dans des systèmes dits 'naturels'. Une relation possible avec l'ONA ou d'autres éléments cycliques fera encore l'objet d'une étude plus approfondie.

Modélisation de processus

La modélisation est nécessaire en vue d'établir des prévisions et d'évaluer l'impact intégral. La complexité de la nature et de la dynamique des fonds marins de la partie belge de la mer du Nord exige toutefois des modèles affinés, de préférence calibrés et validés par des observations et des mesures. Des modèles de fonds améliorés ont été élaborés afin de calculer l'érosion de sédiments anciens (argiles holocènes et tertiaires affleurantes) et de distinguer de cette manière entre couches actives et couches tampons davantage passives. Il a en outre été démontré que les modèles de floculation classiques, selon une approche empirique, ne sont pas en mesure de

reproduire les résultats de mesure de manière suffisante ; cela nécessite une meilleure compréhension de la dynamique du MPS. Afin d'étudier les implications selon la morphodynamique côtière, des données sont nécessaires pour ce qui est de la fraction minérale et microbienne ; toutes deux sont en majeure partie spécifiques à un site et doivent être échantillonnées simultanément.

Un aspect important demeure l'influence de l'estuaire de l'Escaut occidental sur la dynamique des sédiments et la morphodynamique de la partie belge de la mer du Nord, et vice versa. Le transport de vase aux frontières, surtout, est une matière sensible au plan international, qui a mené à différentes études. Les balances de vase, calculées au moyen de modèles, donnent pour résultat une exportation annuelle nette de 2 mégatonnes en provenance de l'estuaire de l'Escaut, ce qui, en ordre de grandeur, reste supérieur à l'importation nette, partant de balances de vase basées sur des observations. Les chiffres exacts tirés d'observations sont cependant sujets à de grandes incertitudes et ne sont pas bien connus : les estimations varient de 0,05 à 0,35 mégatonne d'importation annuelle nette. Étant donné que le gradient de concentration du modèle entre la zone de delta intérieure et extérieure de l'estuaire de l'Escaut est estimé de façon réaliste, l'exportation modélisée est peut-être imputable à une sous-estimation de la circulation estuarienne et à l'erreur de phase observée de la composante de marée M4. Celle-ci influence l'asymétrie de marée, ainsi que le transport de sédiments résiduel. Des vérifications supplémentaires sont nécessaires.

Enfin, des modèles ont été élaborés prenant en compte la turbulence des vagues et la dissipation d'énergie des vagues. Un modèle de courant de vagues couplé a été implémenté et testé avec des systèmes informatiques haute performance. Cela permet de mieux modéliser et interpréter le champ de courant (avec turbulence), et d'en vérifier les conséquences pour la modélisation MPS. Cette suite de modèles fera l'objet d'une utilisation ultérieure pour des études de cas spécifiques.

Évolution naturelle et changements climatiques

Afin d'évaluer sérieusement les changements dans l'environnement marin ou les influences humaines, des connaissances sont nécessaires en ce qui concerne la variabilité naturelle des processus des fonds marins. Les zones de banc de sable, principalement, sont sujettes à la variation des fonds marins, et les tempêtes, particulièrement, peuvent changer en profondeur les volumes de sédiments présents. Cet aspect a été étudié pour une zone de banc de sable dans laquelle aucune activité humaine n'est constatée et où des données bathymétriques suffisantes étaient disponibles. À partir d'une corrélation entre les changements de volume de sédiments et l'orientation et la force du vent, des vagues et du courant, il a été démontré que des conditions nord-est prolongées sont associées avec les budgets de sédiments les plus bas, tandis que celles provenant du sud-ouest apportent clairement des sédiments. La validité spatiale de ces résultats doit encore être étudiée ; néanmoins, les suivis diachroniques de données bathymétriques sont plutôt rares.

L'influence des tempêtes sur les concentrations de MPS a également été étudiée. Dans ce cadre, l'importance de la direction du vent, de la hauteur des vagues et de la disponibilité de sédiments cohésifs érodables a été établie. Outre les sources de vase principales, bien connues et acceptées de façon générale en provenance de la Manche anglaise, des sources de vase locales, comme la vase de fonds sablonneux ou de couches de vase consolidées, sont également responsables de MPS dans la colonne d'eau.

Pour l'étude du climat sur les changements des fonds marins, une analyse approfondie a été mise sur pied. Il a été démontré qu'une onde de tempête importante survient le long de la côte belge quand un système de basse pression reste stationnaire sur la mer Baltique et est associé à une zone de haute pression renforcée à hauteur des Açores. Le modèle de pression sur le niveau de la mer ('sea-level pressure', SLP) montre un fort gradient de pression SO-NE, ce qui apporte des vents venant du large le long de la côte belge. Les montées du niveau de l'eau consécutives

de tempêtes les plus élevées pendant les mois d'hiver (99^e percentile) à Ostende ont augmenté de +1 mm/an au cours de la période 1925 à 2000. Cette augmentation est associée à une augmentation de SLP à hauteur des Açores, laquelle entraîne une augmentation de la fréquence de gradients de pression liés à une forte montée du niveau de l'eau consécutive de tempêtes. Une méthode de 'downscaling' (conversion descendante) statistique a été utilisée pour établir un modèle afin de mettre en rapport le SLP avec la montée du niveau des eaux consécutive de tempêtes à Ostende. Une régression linéaire multiple a été trouvée pour mettre en rapport la hauteur quotidienne de la montée du niveau de l'eau consécutive de tempêtes à Ostende avec : (i) le SLP quotidien sur la mer Baltique ; et (ii) la valeur quotidienne du gradient de pression entre la mer Baltique et les Açores. Cette régression reproduit, d'une manière solide, la variabilité annuelle et à long terme de la hausse du niveau de l'eau consécutive de tempêtes à Ostende.

La régression a ensuite été utilisée avec des suivis diachroniques de SLP, simulés jusqu'en 2100 et tenant compte de scénarios de changement climatique. Les hausses du niveau de l'eau consécutives de tempêtes devraient rester stationnaires au cours du XXI^e siècle, sans changements significatifs de conditions SLP sur la mer Baltique et les Açores. On ne s'attend pas à ce que le changement climatique au XXI^e siècle modifie de manière significative la montée du niveau de l'eau consécutive de tempêtes et la circulation atmosphérique liée aux vagues. Néanmoins, la hausse moyenne du niveau de la mer, associée à la dilatation thermique et à la fonte de calottes glaciaires, fera augmenter l'amplitude des pics de niveaux de la mer pendant les tempêtes. Le long de la côte belge, les relations possibles entre les paramètres hydro-météorologiques (montée du niveau de l'eau consécutive de tempêtes, vagues) et les volumes de sédiments de la plage et de l'avant-rive seront étudiées plus avant.

Impact des activités humaines

Des études de cas d'influences humaines connues ont été sélectionnées, même si l'on a maintenant tenté de quantifier les changements à long terme.

Un bon exemple est l'étude des effets à long terme des travaux d'extension du port de Zeebrugge. La zone à l'est du môle, la 'Baai van Heist' (baie de Heist) connaît une forte sédimentation (sous mention d'un banc de sable), tout comme une zone parallèle au môle, jusqu'à 100 m en direction de l'est. La 'Baai van Heist' se trouve dans la partie abritée du môle, avec pour conséquence des courants de faible vitesse ; la sédimentation dans la zone située plus à l'est est peut-être imputable à des effets d'atténuation des vagues. Les tendances de sédimentation font l'objet de prévisions afin de soutenir une gestion future de cette zone.

La sédimentation naturelle versus la sédimentation anthropogénique a été étudiée dans la zone du plus important site de déversement de matériaux dragués (plaine du Raan, B&W S1). Des schémas de sédimentation clairement différents dominent les sites de déversement anciens et nouveaux, situés respectivement sur un banc de sable et dans un chenal. Cela démontre l'importance de l'environnement morphologique dans lequel les déversements sont effectués ; cette donnée et le type de matériau déversé, déterminent conjointement l'impact final du déversement de longue durée, ainsi que la période de rétablissement après la cessation de l'activité. Les processus de transport de sédiments dans cette zone sont très complexes ; une analyse approfondie est requise afin de mieux pouvoir estimer les conséquences d'un déversement prolongé dans les zones proches de la côte.

À plus grande échelle, les changements à long terme dans la distribution cohésive de sédiments dans la zone côtière belgo-néerlandaise ont été corrélés avec l'augmentation des travaux d'accès maritime. Les conclusions ont été basées sur des changements dans la distribution de couches de vase liquide et l'augmentation de matériaux en suspension au cours des 100 dernières années. Une interférence possible des cycles ONA doit faire l'objet d'un approfondissement d'étude.

Enfin, il était également nécessaire de quantifier la distribution spatiale de la pêche au filet dans la partie belge de la mer du Nord. Au point de vue spatial, cette pêche reste le plus grand élément perturbateur des fonds marins, bien que son importance en pourcentage n'ait encore jamais été étudiée à fond. La pêche est surtout pratiquée dans les chenaux des bancs de sable, avec la plus forte concentration à proximité du pied de la pente abrupte des bancs de sable. Pour la première fois, cette perturbation a été quantifiée et démontrée pour deux zones de banc de sable.

Une méthodologie a été élaborée afin d'évaluer l'impact de la pêche au filet à grande échelle et peut être appliquée lorsque des données de rétrodiffusion multifaisceaux à haute résolution de bonne qualité seront disponibles. Ces données sont cruciales pour l'évaluation de changements à long terme dans les habitats à substrat mou.