

SYNTHÈSE DES RESULTATS DE MONITORING

Marc ROCHE¹, Koen Degrendele¹, Robert Milano², Patrik Schotte¹ & Helga Vandenreyken¹

¹:Service Public Fédéral Economie, P.M.E, Classes moyennes et Énergie, Qualité et Innovation,
Service Plateau continental, WTC III - 6 ème Etage - Bureau 31, Avenue Simon Bolivar 30, B-1000 Bruxelles.

Contact : Marc.Roche@economie.fgov.be

²:Service Public Fédéral Economie, P.M.E, Classes moyennes et Énergie, Statistique et Information économique,
Service Méthodologie, rue de Louvain, 44, B-1000 Bruxelles

Contact : Robert.Milano@economie.fgov.be

Introduction

Conformément à la loi du 13 janvier 1969 (article 3, § 2, 3°) qui stipule que « l'exploration et l'exploitation sont soumises à un examen continu de l'influence des activités concernées sur les déplacements de sédiments et sur le milieu marin », le Service Plateau continental effectue depuis novembre 1999 un monitoring de l'extraction de sable et de gravier sur le Plateau continental belge. Ce monitoring s'appuie sur différents types de données : les statistiques d'extraction établies à partir des registres, les données issues des boîtes-noires installées à bord des navires de dragage, les mesures bathymétriques successives effectuées avec le sondeur multifaisceaux EM1002 installé sur le Belgica sur des zones de référence et à travers les bancs le long des lignes « DECCA » et les données bathymétriques acquises en sondeur monofaisceau dans le cadre des projets Westbank II et III (De Moor & Lanckneus, 1994 et Vernemmen & Degrendele, 2000). L'analyse et la combinaison de ces différents types de données permettent d'obtenir une image détaillée de l'évolution volumétrique et spatiale de l'extraction et d'évaluer son incidence sur la bathymétrie et la morphologie du fond marin à l'échelle des zones de monitoring et temporelle d'une décennie.

Etat des connaissances relatives à l'impact de l'extraction sur le fonds marin

Un premier rapport interne fait la synthèse des données acquises de 1999 à 2001 quant à l'incidence des extractions sur le Kwintebank (Degrendele et al., 2002). Les données acquises en sondeur multifaisceaux mettent en évidence une dépression dans la partie centrale du banc. La superposition de la carte bathymétrique avec la carte des volumes extraits révèle la corrélation spatiale entre l'intensité de l'extraction et la dépression de la partie centrale du banc et démontre une incidence directe de l'extraction sur la morphologie du banc. La comparaison du modèle de terrain issu des données acquises par sondeur multifaisceaux avec des profils acquis en 1994 par sondeur monofaisceau confirme l'importance de l'incidence de l'extraction. Conformément à la législation qui limite les effets cumulés de l'extraction à une profondeur de 5 m, ce rapport conduit à interdire l'extraction dans la partie centrale du Kwintebank en février 2003. Depuis lors, afin d'évaluer le potentiel de restauration de cette partie du banc, la dépression centrale du Kwintebank continue de faire l'objet d'une cartographie régulière par sondeur multifaisceaux.

Depuis 2002, les nombreuses questions relatives à l'impact de l'extraction de sable et de gravier sur l'environnement marin ont été abordées dans le cadre de projets scientifiques multidisciplinaires : projet international EUMARSAND (01/11/2002-31/01/2006) financé par l'UE et projets nationaux MAREBASSE

(01/02/2002-30/04/2006), SPEEK (15/12/2003-30/04/2006) et QUEST4D (01/01/2007-31/01/2011) financés par la Politique scientifique fédérale (Belspo).

Du point de vue de la gestion durable des bancs et, par conséquence directe, de la mission du Service Plateau continental en charge de cette gestion durable, les enseignements issus du projet européen EUMARSAND et les recommandations qui en découlent (Van Lancker et al.) sont de première importance.

L'analyse sédimentologique et morphologique basée sur les données acquises de 1999 à 2005, avant et après la fin de l'extraction met en évidence la stabilité de la dépression après l'arrêt de l'extraction. Les données « de terrain » démontrent que l'extraction a un impact local non cumulatif et que le potentiel de restauration est inexistant (Bellec et al. et Degrendele et al.). Cependant, les modélisations de la dynamique sédimentaire suggèrent une stabilité du banc à court et à long terme pour différents niveaux d'extraction avec même une tendance à la restauration et à la création d'un nouvel état d'équilibre (Brière et al. et Van den Eynde et al.).

Le projet EUMARSAND démontre qu'à l'échelle décennale, le sable extrait sur le Kwintebank doit être considéré comme une ressource non-renouvelable dont l'extraction a un impact local non cumulatif.

Les données acquises en sondeur multifaisceaux de 1999 à 2005 dans la partie centrale du Kwintebank et qui montrent la stabilité de cette zone depuis l'arrêt de l'extraction en février 2003 s'opposent aux résultats obtenus à l'échelle du banc par Norro et al. (2006). Selon ces auteurs, sur la base d'une analyse des données acquises en sondeur monofaisceau entre 1987 et 2000, le volume du Kwintebank diminue annuellement de l'ordre de 1.5 %. Toutefois, également sur la base d'une analyse des données acquises en sondeur monofaisceau, De Moor (2002) montre qu'entre 1987 et 1994, l'ensemble des bancs de Flandre présentent une tendance à l'érosion qu'ils soient sujets à une extraction ou non.

Par rapport à ces travaux principalement basées sur des données antérieures à 2005, l'objet de notre contribution à cette journée d'étude est de présenter une synthèse des statistiques d'extraction et des données de monitoring acquises depuis lors par le Service Plateau Continental. L'accent est mis également sur certaines innovations introduites durant ces trois dernières années : création de nouvelles zones de monitoring afin de suivre au mieux l'impact de l'extraction, estimation de l'erreur associée aux mesures effectuées avec le sondeur multifaisceaux EM1002 et innovation dans la procédure d'acquisition et de traitement des données issues du sondeur multifaisceaux EM1002 qui sera également d'application pour le nouveau sondeur EM3002D.

Evolution récente de l'extraction

L'extraction montre une nette croissance ces deux dernières années. Après une baisse à une moyenne de 1 550 000 m³ entre 2002 et 2005, la production approchait à nouveau les 1 900 000 m³ en 2007. Le premier semestre 2008 totalise un volume extrait de 1 200 000 m³. La barre des 2 000 000 m³ pourrait être franchie pour la première fois cette année.

La figure 1 établie à partir des données des registres d'extraction montre que depuis 6 ans la géographie de l'extraction change. Entre 2001 et 2007 la part du volume extrait sur la Kwintebank diminue de 98 % à

48 % au profit du Buiten Ratel qui voit sa contribution passer de 0 à 35 %. Le Thorntonbank montre également une augmentation de 0 à 13 %.

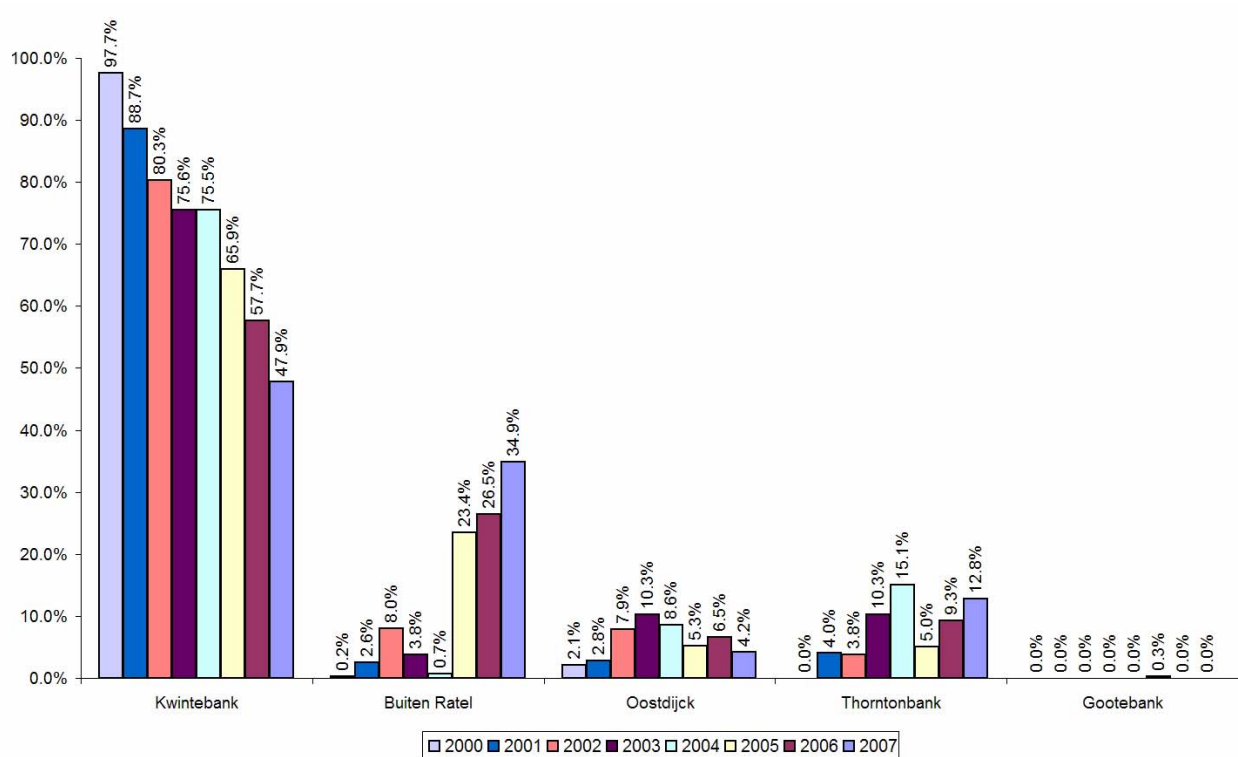


Figure 1 : Pourcentage du volume extrait annuellement dans les bancs.

Ce changement dans la géographie des aires d'extractions peut être également suivi en détail par la cartographie des données des boîtes-noires. La carte des volumes extraits établie à partir de la combinaison de l'ensemble des données des boîtes-noires disponibles et contrôlées depuis 2002 avec les capacités d'extraction moyenne des navires de dragage (Van den Branden et al., 2005, 2006 et 2007) est présentée à la figure 2 page suivante. Cette carte révèle les nouvelles aires préférentielles d'extraction : flancs SE et NW du Buiten Ratel, flanc SE de l'Oostdyck.

Aires de monitoring

La position des aires de monitoring est présentée à la figure 2 superposée à la carte des volumes extraits. On reconnaîtra les aires KBMA et R2 dont les mesures avec le sondeur multifaisceaux EM1002 ont débutées en novembre 1999. Située en dehors des zones d'extraction la zone R2 a été choisie comme zone de référence pour évaluer la variance « naturelle » dans une région en principe non affectée par l'extraction. Les mesures du Service Plateau continental sur cette zone R2 continuent les mesures effectuées par le Service hydrographique avant 1996 (Van Cauwenberghe, 1996). Le monitoring de la zone KBMB débute plus tardivement, en mars 2003.

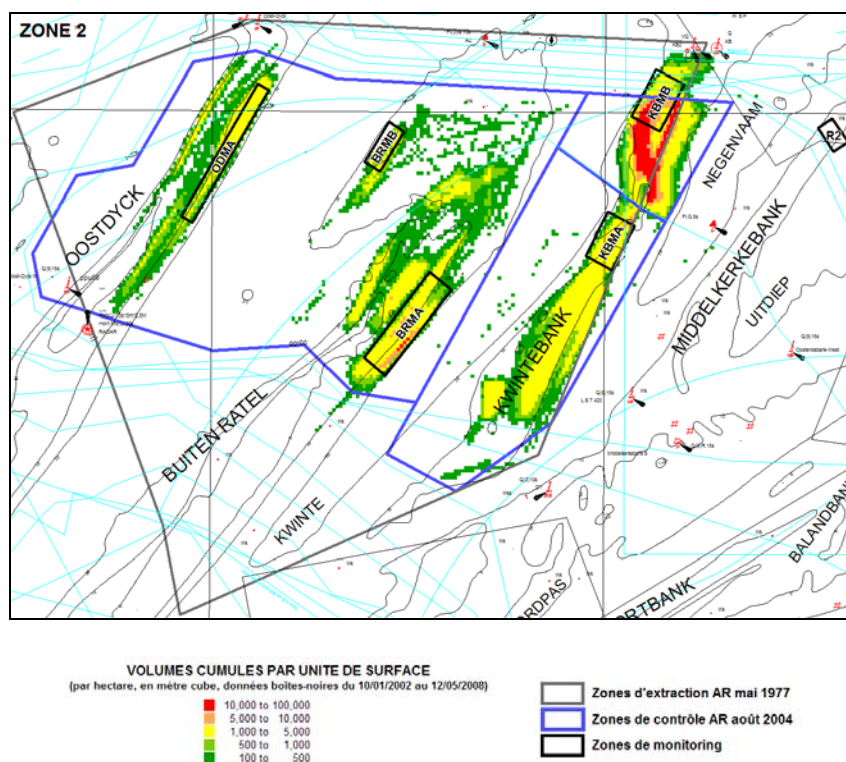


Figure 2 : Cartes des volumes extraits dans la zone de contrôle 2 et situation des zones de monitoring.

En réponse à la dispersion de l'extraction dans la zone de contrôle 2, des nouvelles aires de monitoring ont été définies sur le Buiten Ratel (BRMA et BRMB) et sur le Oostdyck (ODMA). Les mesures sur ces nouvelles aires ont débutées en octobre 2007.

Erreur verticale inhérente au sondeur multifaisceaux EM1002 et erreurs systématiques

Les séries temporelles de modèles de terrain établies à partir de données issues de sondeurs multifaisceaux permettent d'évaluer quantitativement les changements qui affectent le fonds marin. Ces séries constituent la base du monitoring de l'impact de l'extraction. Afin de déterminer si les mesures recueillies par les sondeurs multifaisceaux révèlent des variations significatives de la bathymétrie, il importe d'estimer l'erreur verticale associée à ces mesures bathymétriques. Différentes approches pour évaluer cette erreur sont publiées (voir Schmitt et al., 2008).

L'estimation présentée dans cette contribution concerne les mesures effectuées avec le sondeur multifaisceaux EM1002. Cette estimation se base sur une série de mesures enregistrées en effectuant des lignes de navigation aller-retour durant ~ 9 h sur la même zone (campagne 0508, 05/03/2008). La morpho-bathymétrie de la zone est supposée constante durant l'intervalle de temps couvert par les mesures.

La résolution des modèles de terrain utilisés pour le monitoring étant de 1x1m, l'estimation de l'erreur de mesure est effectuée sur la base d'une grille de même résolution. Elle comprend trois étapes:

1. Estimation de l'erreur associée à la mesure d'une sonde bathymétrique.
2. Estimation de l'erreur associée à la mesure de la profondeur d'une maille du modèle de terrain.

3. Estimation de l'erreur associée à la moyenne des profondeurs de toutes les mailles du modèle de terrain. Cette valeur moyenne est utilisée pour évaluer les variations bathymétriques à partir des mesures successives effectuées sur les zones de monitoring.

Une simulation montre que la distribution des sondes bathymétriques incluses dans une maille donnée supposée parfaitement plane est celle d'une double exponentielle.

Estimation de l'écart-type associée à la mesure d'une sonde bathymétrique

La démarche consiste à déceler les mailles délimitant une portion de fond marin relativement plane en partant du principe que la distribution des mesures pour une telle maille est proche d'une double exponentielle. Les écarts-types des mesures prises dans de telles mailles sont alors considérés comme provenant des erreurs de mesures inhérentes au sondeur. Cette approche nous conduit à estimer que l'écart-type associé à la mesure d'une profondeur d'une vingtaine de mètres est comprise dans l'intervalle [0.08 m ; 0.14 m] avec une probabilité de 90%. En clair, à chaque sonde bathymétrique d'une vingtaine de mètre est associé un écart-type moyen de 0.11 m.

Estimation de l'écart-type associée au calcul de la profondeur d'une maille du modèle de terrain

Par le calcul du modèle de terrain, l'ensemble des sondes bathymétriques est remplacé par un autre ensemble de données : la profondeur calculée du centre de chaque maille du modèle. L'algorithme de modélisation utilisé actuellement par le Service Plateau continental est le « Seabed algorithm » de type « inverse distance weighted » implémenté dans le logiciel CFloor. Pour une maille fixée, seules les mesures situées dans un certain rayon du centre de cette maille sont reprises dans les calculs d'une régression quadratique ayant pour effet de lisser les données brutes. La valeur Z de cette régression au centre d'une maille sera, par définition, la profondeur de cette maille. La variance du résultat de la régression connaissant l'imprécision du sondeur peut être évaluée par simulation. L'utilisation d'un modèle légèrement simplifié par rapport à celui adopté par l'algorithme de modélisation montre que pour un écart-type de 0.11 m sur chaque mesure individuelle, l'écart-type associé à la profondeur d'une maille du modèle de terrain est du même ordre de grandeur que celui de la mesure individuelle pour des mailles comprenant une dizaine d'observations. Cet écart-type est réduit de moitié pour des mailles comprenant une centaine d'observations ce qui est en général le cas compte tenu la densité des mesures effectuées par l'EM1002 (2 sondes / m² en moyenne).

Estimation de l'écart-type sur la moyenne globale du modèle de terrain

La valeur maximale de cet écart-type est comprise dans l'intervalle $[0.08/N^{1/2} \text{ m}; 0.14/N^{1/2} \text{ m}]$ où N est le nombre de mailles du modèle de terrain impliquées dans la moyenne globale. Clairement, l'écart-type devient négligeable pour N élevé.

Importance des erreurs systématiques

Pourtant, dans le cas de 4 campagnes de mesures successives effectuées en octobre 2005 sur une même zone durant un même cycle de marée (campagne 0526, 26-27/10/2005), l'estimation de l'écart-type entre les valeurs bathymétriques moyennes des 4 modèles de terrain de 350 000 mailles donne une valeur de 0.03 m pour une profondeur moyenne de 16 m (soit erreur relative ~0.20 %).

Or, la valeur de l'écart-type attendue (sur base d'un écart-type moyen de 0.11 m inhérent au sondeur multifaisceaux EM1002) devrait être comprise dans l'intervalle [0.00013 m; 0.00024 m].

Un tel écart démontre la prépondérance des erreurs systématiques par rapport aux erreurs aléatoires propres au sondeur multifaisceaux. Ces erreurs systématiques sont à la source de biais d'une campagne de mesure à l'autre. Leurs origines sont les suivantes :

1. L'erreur sur la position de l'antenne de l'EM1002 par rapport au plan d'eau (tirant d'eau, aucune estimation de cette source d'erreur n'a encore été effectuée pour le Belgica).
2. Les variations dynamiques du tirant d'eau qui dépendent de l'accélération du navire et de son sens de navigation par rapport à la houle et aux vagues (aucune estimation de cette source d'erreur n'a encore été effectuée pour le Belgica).
3. L'erreur associée à la correction marégraphique qui est de l'ordre de 10 cm (Van Cauwenberghe et al., 1993).
4. L'erreur sur la vitesse du son. La vitesse du son reste le paramètre d'acquisition non contrôlé durant les mesures. A une profondeur moyenne de 20 m un biais de 1 m/s sur le profil de vitesse du son induit une erreur de l'ordre du cm. D'un chenal à l'autre la vitesse du son peut varier de 2 m/s en relation avec les différences de températures et de salinité des masses d'eau...

Compte tenu de ces résultats, il convient de considérer une valeur de $\pm 0.4 \%$ (2) pour définir l'intervalle de confiance (pour un degré de confiance de 95 %) associé aux moyennes des modèles de terrain, moyennes utilisées pour évaluer globalement les variations bathymétriques d'une campagne de mesure à l'autre.

Amélioration de la qualité de l'acquisition et du traitement des données

Différentes innovations sont en cours afin d'améliorer la qualité des données utilisées pour évaluer l'impact de l'extraction sur l'environnement marin.

1. Afin d'actualiser son système cartographique, le Service Plateau continental vient de faire l'acquisition d'un nouveau sondeur multifaisceaux haute fréquence Kongsberg EM3002D. Ce sondeur a été installé sur le Belgica durant l'été 2008. Par rapport au sondeur EM1002 utilisé depuis 1999, l'EM3002 Dual offre des avantages qui devraient permettre de mieux répondre à l'évolution de nos besoins en cartographie marine dans les 10 prochaines années : gain de temps d'un facteur 1.5 lors de l'acquisition des données en mer et gain en résolution et en précision d'un facteur 5.
2. Les mesures précises en temps réel du tirant d'eau et de la vitesse du son à l'aide d'un pressurimètre et d'une sonde de célérité installés à proximité des antennes de l'EM3002D devraient conduire à un meilleur contrôle de ces deux sources d'erreurs systématiques. Les variations dynamiques du tirant d'eau devraient faire l'objet d'une estimation spécifique.
3. L'utilisation de l'algorithme CUBE (Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator) pour le traitement des données est en cours d'évaluation. Cet algorithme tient compte de l'erreur spécifique à chacun des faisceaux pour le calcul du modèle de terrain (voir Calder & Mayer, 2003 pour une description approfondie de cette approche).

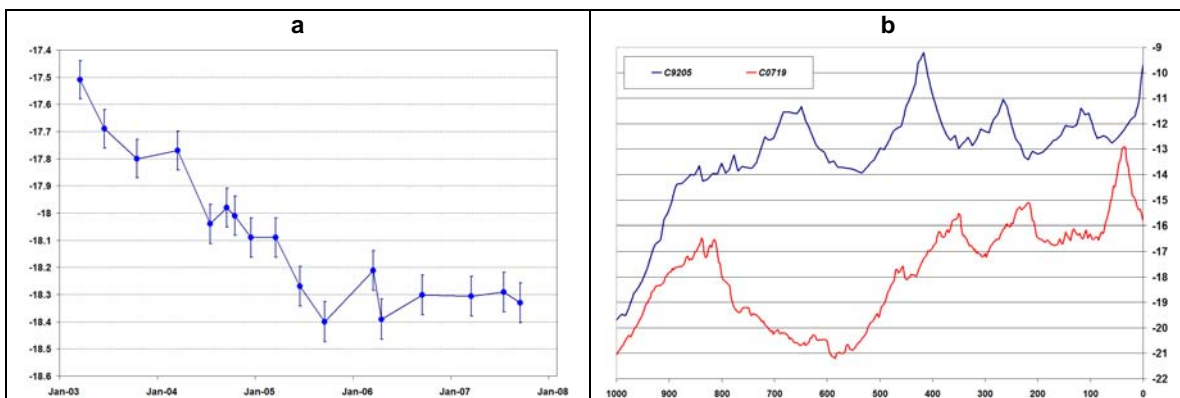
Résultats du monitoring sur les zones KBMA, R2 et KBMB

KBMA et R2 :

Les données acquises depuis 2005 jusque fin 2007 confirme la tendance observée précédemment : ces deux zones montrent une stabilité bathymétrique, les valeurs moyennes oscillent respectivement autour de 11.2 m pour R2 et 14.0 m pour KBMA. Sur KBMA, les données disponibles les plus récentes confirment les conclusions du projet EUMARSAND : l'extraction a un impact limité dans le temps mais il n'y a pas de restauration du banc.

KBMB :

La figure 3 a illustre l'évolution moyenne de la bathymétrie dans la zone KBMB. Cette évolution montre deux phases : une baisse significative de 0.9 m de la bathymétrie moyenne de mars 2003 à septembre 2005 suivi d'une période de stabilité à 18.3 m jusqu'en septembre 2007. Cette période de stabilité s'explique par l'arrêt presque total de l'extraction dans cette zone à partir de 2006. Les statistiques et la cartographie des boîtes-noires montre que loin de s'être arrêtée dans la sous-zone 2A, l'extraction s'est déplacé intensivement vers le SE sur le flanc du Kwintebank. En clair, les données de monitoring de la zone KBMB ne sont pas représentatives de l'impact l'extraction de l'ensemble de la sous-zone 2A.



A long-terme, sur une période de 16 ans, la comparaison du profil acquis en sondeur monofaisceau en mars 1992 avec les données en septembre 2007 met en évidence l'importance de l'impact d'une extraction concentrée sur la bathymétrie de cette partie du banc : une différence moyenne de 4.7 m est observée entre les deux profils, la différence atteint localement 9 m (figure 3 b).

Conformément à l'AR d'août 2004, la partie Nord du Kwintebank (sous-zone 2A) est fermée à l'extraction depuis le 01/01/2008 jusqu'au 31/12/2011. Dans les meilleurs délais, le Service Plateau continental projette d'effectuer un levé complet en sondeur multifaisceaux de la partie Nord du Kwintebank afin de circonscrire les aires trop affectées par l'extraction au sens de l'AR d'août 2004. Une procédure de fermeture de ces zones sera engagée, dans la même logique qui a justifié la fermeture de la dépression dans la partie centrale du Kwintebank en février 2003.

Références :

- Bellec, V., Van Lancker, V., Degrendele, K., Roche, M. & Le Bot, S., in press. Geo-environmental characterization of the Kwinte Bank. *Journal of Coastal Research*.
- Brière, C., Roos, P., Garel, E. and Hulscher, S., in press. Modelling the morphodynamic effects of sand extraction from the Kwinte Bank, Southern North Sea. *Journal of Coastal Research*.
- Calder, B. R. & Mayer, L. A., 2003. Automatic processing of high-rate, high-density multibeam echosounder data, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 4(6), 1048, doi:10.1029/2002GC000486
- Degrendele, K., Roche, M. and Schotte, P., 2002. Synthèse des données acquises de novembre 1999 à avril 2001 quant à l'incidence des extractions sur le Kwintebank. Brussels, Belgium: Fonds pour l'extraction de sable. Ministère des affaires économiques de Belgique, 23 pp.
- Degrendele, K., Roche, M., Schotte, P., Van Lancker, V.R.M. & Bellec, V., in press. Morphological evolution of the Kwinte Bank central depression before and after the cessation of aggregate extraction. *Journal of Coastal Research*.
- De Moor, G., Lanckneus, J., De Schaepmeester, G. & De Winne, E., 1994. Project Westbank II – Eindverslag. Brussels, Belgium: Ministerie van Economische Zaken, Dienst der Mijnen, 168 pp.
- De Moor, G., 2002. Évaluation de la morphodynamique sous-marine en Mer du Nord méridionale au cours de la période 1985-1995 (Evaluation of the sea-floor sediment dynamics in the Flemish Banks (southern North Sea) between 1985 and 1995). *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*, 2, 135-150.
- Norro, A., Pichot, G., Pison, V., and Ozer, J., 2006. Bidimensional approach to the volumetric evolution of an exploited sandbank. *ICES Journal of Marine Science* 63(1), 176-186.
- Schmitt, T., Mitchell, N.C., Ramsay, A.T.S., 2008. Characterizing uncertainties for quantifying bathymetry change between time-separated multibeam echo-sounder surveys. *Continental Shelf Research*, 28, 1166-1176.
- Van Cauwenberghe, C., 1996. Multibeam Echosounder Technology: a Time Series Analysis of Sandbank Movement. *The Hydrographic Journal*, 81, 13-18.
- Van Cauwenberghe, C; Dekker, L. and Schuurman, A., 1993. M2 tidal reduction method for coastal zones. Oostende, Belgium: Ministerie van openbare werken, Bestuur der waterwegen, Dienst der kust, *Rapport nr. 33 van de Hydrografische Dienst der Kust*, 12 pp.
- Van den Branden, R., De Schepper, G. & Pollentier, A., 2005. ZAGRI: verspreiding van de zandwinningszones 1 en tijdens de jaren 2003 en 2004, BMM-MDO/2005-50, 15 pp.
- Van den Branden, R., De Schepper, G. & Pollentier, A., 2006. Verwerking van de gegevens van het jaar 2005 van de automatische registreersystemen geïnstalleerd aan boord van de zandwinningschepen, BMM-MDO/2006-31/ZAGRI, 16 pp.
- Van den Branden, R., De Schepper, G. & Pollentier, A., 2007. Statistieken en visualisatie van de gegevens van het jaar 2006 van de automatische registreersystemen geïnstalleerd aan boord van de zandwinningschepen, BMM-MDO/2007-32/ZAGRI, 23 pp.
- Van den Eynde, D., Giardino, A., Portilla, J., Fettweis, M., Francken F. & Monbaliu, J., in press. Modelling the effects of sand extraction on the sediment transport due to tides on the Kwintebank. *Journal of Coastal Research*.
- Van Lancker, V.R.M., Bonne, W., Garel, E., Degrendele, K., Roche, M., Van den Eynde, D., Bellec, V., Brière, C., Collins, M.B. & Velegakis, A.F., in press. Recommendations for the sustainable exploitation of tidal sandbanks. *Journal of Coastal Research*.
- Vernemmen, C & Degrendele, K., 2002. Project Zandwinnings, Evolutie exploitatie invloed. Brussels, Belgium: Ministerie van Economische Zaken, 106 pp.