Utilisation des outils géomatiques (SIG) pour évaluer la dynamique sédimentaire post-exploitation d'un ancien site d'extraction de granulats marins à partir de données acoustiques et sédimentologiques

Simplet L. [(1)], Rieux A. [(1)], Lengronne A. [(2)], Texier D. [(3)], Goslin J. [(1)]

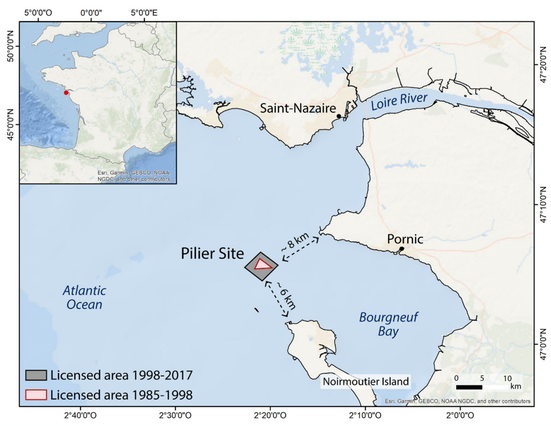
[(1)] Ifremer, Univ Brest, CNRS, UBS, Geo-Ocean, UMR 6538, Technopôle Brest Iroise, Plouzané, 29280, France.

[(2)] Normandie Université, UNIROUEN, UNICAEN, CNRS, M2C, UMR 6143, 76000 Rouen, France.

[(3)] La Rochelle Université, CNRS, LIENSs, UMR 7266, La Rochelle CEDEX F-17000, France

ZONE D'ÉTUDE ET MÉTHODOLOGIE

- Site industriel d'extraction d'anciens dépôts sableux (paléochenaux de la Loire) de 1986 à 2017
- Superficie de la concession minière : 8,2 km²
- Volume total de sédiments extraits : 40 Millions de m³
- Secteur avec transport des sédiments par charriage de l'ouest vers l'est, transport résiduel par suspension vers le nord-est et apport de sédiments par le fleuve Loire (SOGREAH, 2011 & Artélia, 2014)



6 Modèles Numériques de Terrain (MNT) bathymétriques
(août 2017, oct. 2020, avr. 2021, nov. 2021, avr. 2022, août 2022)

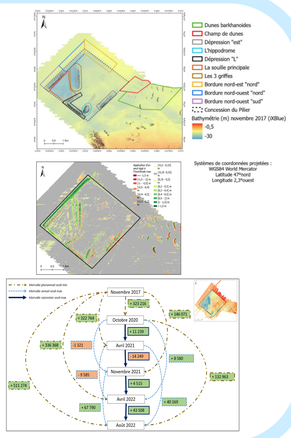
↓

Méthode des différentiels de MNT bathymétriques
(calcul des incertitudes)

↓

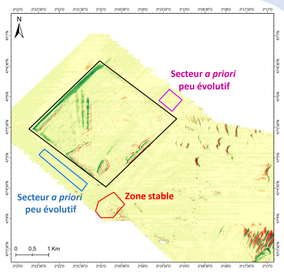
Calculs des bilans sédimentaires à plusieurs échelles spatio-temporelles
(application de seuils ou minimum Level of Detection « LOD » (Lane *et al.*, 2003))

- 11 zones (Concession, champs de dunes et sous-secteurs de la concession)
- Echelles saisonnière, annuelle et pluriannuelle (15 différentiels par zones)



ANALYSE DES ÉCARTS EN Z ENTRE MNT BATHYMETRIQUES

- Identification d'une zone stable (affleurements rocheux) sur laquelle aucune évolution en Z n'est supposée être mesurée
- Détermination de 2 autres secteurs jugés *a priori* peu évolutifs (car la zone d'affleurements rocheux n'était pas présente sur le MNT d'octobre 2020)
- **Extension « statistiques de zones » dans QGIS** (« Image Analyst Tool - Statistical – Zonal Statistics dans la suite ArcGIS-ESRI)
- Correction en Z de chaque MNT via l'outil **QGIS « Calculatrice raster »** (« Image Analyst Tool – Map Algebra – Raster Calculator » dans la suite ArcGIS-ESRI)

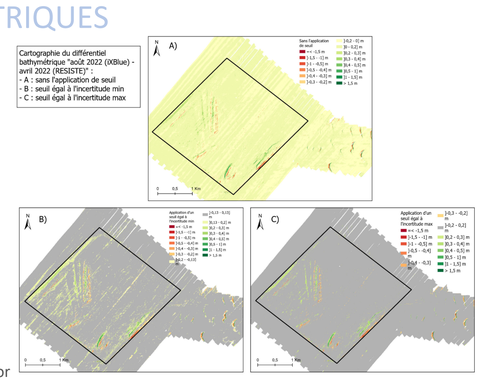


Levé récent	Levé ancien	Décalage polygone rocher (m)	Décalage polygone sud-ouest (m)	Décalage polygone nord-est (m)	Moyenne décalage polygone sud-ouest et nord-est	Correction appliquée (m)
Août 2022 (IXBlue)	Avril 2022 (RESISTE)	0,08	0,12	0,12	0,12	0,08
Août 2022 (IXBlue)	Novembre 2021 (RESISTE)	0,10	0,18	0,11	0,15	0,10
Août 2022 (IXBlue)	Avril 2021 (RESISTE)	0,13	0,19	0,12	0,16	0,13
Août 2022 (IXBlue)	Octobre 2020 (RESISTE)	Sans objet	0,17	0,12	0,14	0,14
Août 2022 (IXBlue)	Novembre 2017 (IXBlue)	0,04	0,12	0,03	0,08	0,04
Novembre 2022 (RESISTE)	Avril 2022 (RESISTE)	-0,04	-0,10	0,01	-0,04	-0,04
Novembre 2022 (RESISTE)	Novembre 2021 (RESISTE)	-0,02	-0,04	0,01	-0,01	-0,02
Novembre 2022 (RESISTE)	Avril 2021 (RESISTE)	-0,01	-0,03	0,02	0,00	-0,01
Novembre 2022 (RESISTE)	Octobre 2020 (RESISTE)	Sans objet	-0,04	0,01	-0,02	-0,02
Novembre 2022 (RESISTE)	Novembre 2017 (IXBlue)	-0,09	-0,10	-0,07	-0,08	-0,09

CALCULS DE DIFFÉRENTIELS DE MNT BATHYMÉTRIQUES

- Calcul de la gamme d'incertitude de chacun des MNT [différentes combinaisons de l'Incertitude Totale Propagée (ITP) (Mohammadloo et al., 2020), Méthode dite du « cross-check » (Shom, 2019) et Incertitude de représentation (Amante and Eakins, 2016)]
- Différentiel bathymétrique (ou « DEM of Difference (DoD) ») (Tomczyk and Ewertowski, 2013) :

  DoD= Levé le plus récent-Levé le plus ancien
- Création du MNT différentiel via l'outil **QGIS « Calculatrice raster »** (« Image Analyst Tool – Map Algebra – Raster Calculator » dans la suite ArcGIS-ESRI)



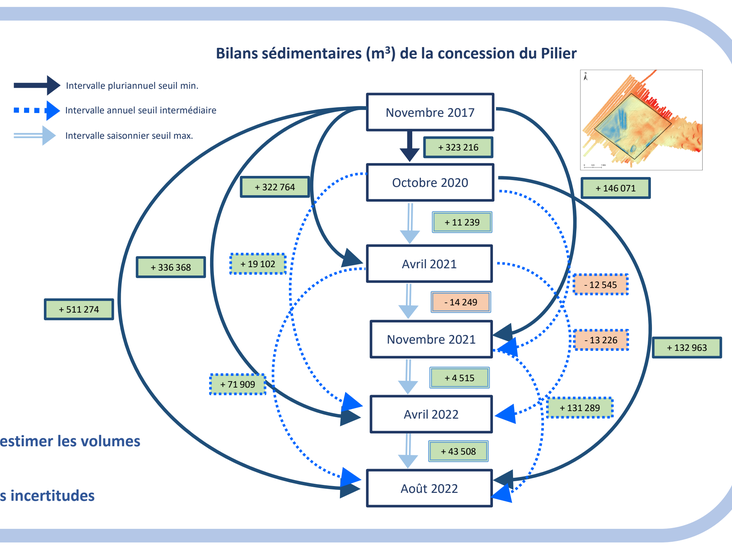
BILANS SÉDIMENTAIRES ET SEUILS APPLICABLES

- Incertitude du DoD correspond à la somme quadratique des incertitudes de chacun des MNT
- Incertitude attribuée au volume en érosion ou en accrétion [=surface en érosion ou en accrétion * Incertitude du DoD (Xu et al., 2008)]
- Une incertitude/un seuil pour chaque pas de temps (pluriannuel = Incertitude min. (Σ quadratique des ITP) ; annuel = Σ quadratique des Moy. quadratiques ITP & « Cross-check » ; saisonnier = incertitude maximum (Σ quadratique des Σ quadratiques « cross check » & incertitude de représentation)

Mise en œuvre de la méthode « manuelle »

- Outil **« Raster surface volume »** intégré dans la boîte à outil du logiciel **QGIS version 3.28.15** (« 3D Analyst Tool – Area and Volume - Surface – Volume » dans la suite ArcGIS-ESRI)
- Scripts MATLAB développés par Wheaton (2008)
- Méthode « manuelle », (1) transformer les DoD raster en entités ponctuelles via l'outil **QGIS « Pixels de raster en points »** (« Conversion Tool – From Raster – Raster to Point dans la suite ArcGIS-ESRI) (2) sélectionner dans la table attributaire les valeurs inférieures puis supérieures à la valeur de seuil choisie. (3) exporter les entités sélectionnées vers une nouvelle couche de points à partir de laquelle est appliquée l'outil **« statistiques basiques pour les champs »** (Pour un DoD au pas de 1 m, le nombre d'entités contenues dans la couche correspond à la surface en érosion ou en accrétion (m²) et le volume érodé ou accumulé correspond à la somme des valeurs des entités (m) multipliée par la surface (m²))

Bilans sédimentaires (m³) de la concession du Pilier



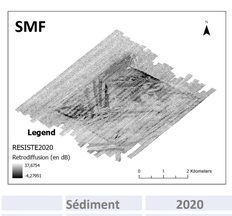
(1) **Les surfaces et les volumes obtenus à partir des scripts de Wheaton (2008) et de la méthode dite « manuelle » permettent d'obtenir les mêmes résultats ; ce qui n'est pas le cas de l'outil QGIS (et ArcGIS) tendance à sous-estimer les volumes lors de l'application des seuils. Aucune explication donnée par le support ESRI (sinon d'utiliser l'outil Remblais/Déblais (non testé dans cette étude)**

(2) **Résultats similaires entre la méthode de Wheaton et l'approche manuelle mais la méthode de Wheaton ne permet pas facilement l'extraction avec des surfaces d'érosion et d'accrétion indispensables pour déterminer les incertitudes associées aux volumes sédimentaires**

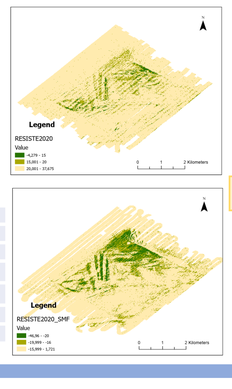
NATURE SÉDIMENTAIRE DES FONDS MARINS

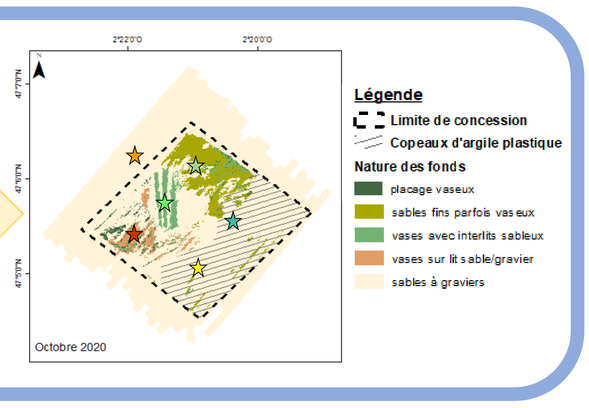
- Le sonar à balayage latéral (SBL) et le Sondeur multifiaisceau (SMF) n'ont pas la même réponse acoustique en fonction des différents levés (outil non calibré)

  ↳ plages de valeurs différentes définies pour chaque capteur et faciès acoustiques.
- Outil **Qgis Polygonize Raster to Polygon** («Conversion Tools - From Raster - Raster to Polygon» dans la suite ArcGIS-ESRI) pour extraire les faciès acoustiques (zones de réflectivité similaire).
- Nature sédimentaire de chaque polygone, correspondant à un faciès acoustique, calibrée et définie grâce aux prélèvements



	Sédiment	2020
SBL HF (en dB)	Vase	<15
	Sable et vase	15-20
	Sable	>20
SMF (en dB)	Vase	-20<
	Sable et vase	<-16,-20>
	Sable	>-16





ÉVOLUTIONS MORPHOSÉDIMENTAIRES DU SITE

La **concession est en accrétion depuis la fin des exploitations en 2017** (+ 511 274 m³ entre 2017 et 2022) .
Mais **cette accrétion n'est pas homogène en terme d'espace, de temps et de nature**. Les secteurs à l'ouest de la concession (bordure nord-ouest, souille principale et dépression des « 3 griffes ») représentent **les 4/5ème du volume des apports** sédimentaires (+ 414 598 m³) pour cette même période mais **ne correspondent qu'à 1/5ème de la surface** de la concession.
Les **dépôts associés à cette accrétion sont de deux types** : (1) des vases et des sables fins dans les secteurs les plus surcreusés et (2) des sables sur la bordure ouest.
La souille n'agit pas comme un piège (*s.s.*) à sédiments car des exports des sables sont possibles (en attestent les rubans sableux et petites dunes) mais semblent favorisés lors des évènements extrêmes.

L'évolution morpho-sédimentaire est dépendante :

- Des apports sédimentaires extérieurs (transport « large -> côte » et « côte -> large »)
- Du transport et de la redistribution interne des sables fins (moyens?)
- Des évènements extrêmes

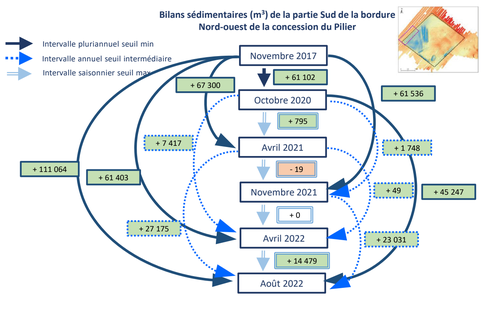
  4 tempêtes majeures entre 2017 et 2020 :

  ↳ **≈ 320 000 m³**

  1 tempête entre 2020 et 2022 :

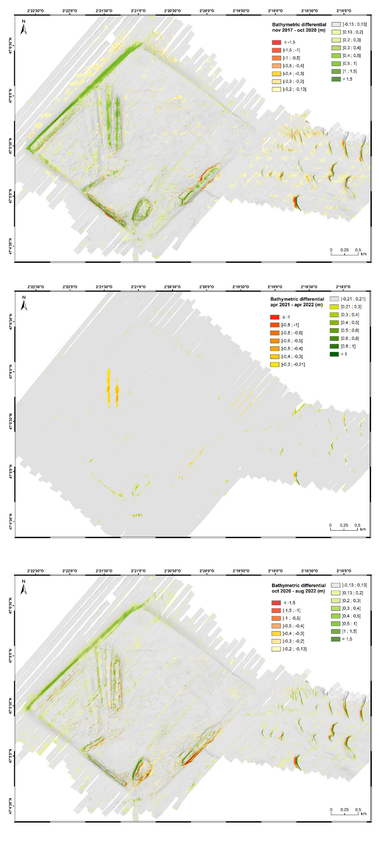
  ↳ **≈ 130 000 m³**

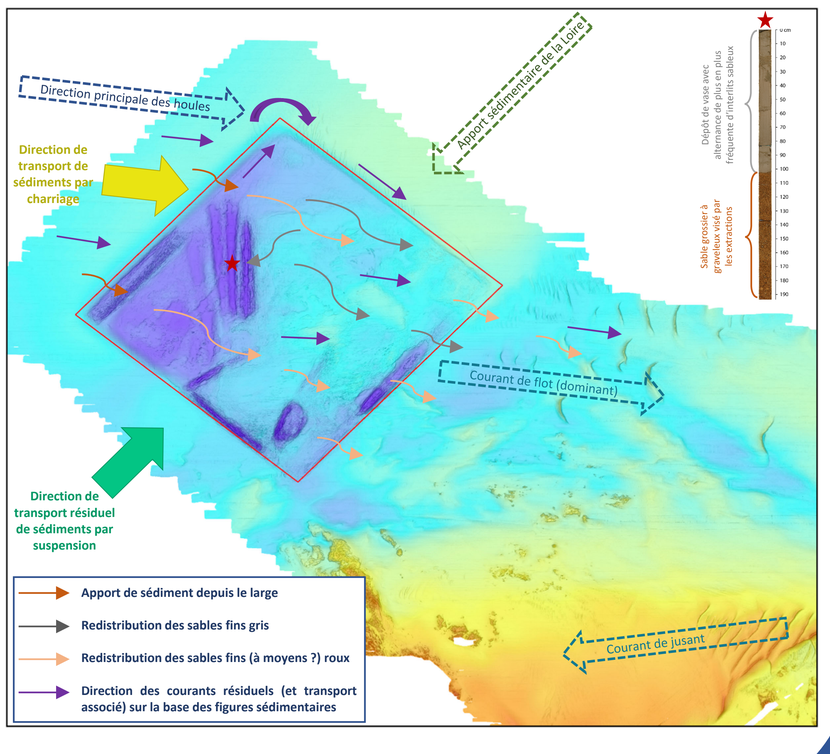
Bilans sédimentaires (m³) de la partie Sud de la bordure Nord-ouest de la concession du Pilier



Limites à la résilience morpho-sédimentaire (et donc biologique) du site :

- Perturbation locale des conditions hydrodynamiques et de la dynamique hydro-sédimentaire
- Affinement granulométrique





RESISTE Série de Campagnes océanographiques (FOF) : https://doi.org/10.18142/317

Les auteurs remercient toutes les personnes ayant contribué à ce projet (GIE Pilier, personnels Ifremer, GENAVIR, FOF) et plus particulièrement l'équipe cartographie du service ANTIPOD de l'unité GEO-OCEAN pour leur soutien sans faille.