



HAL
open science

Dynamiques et évolutions morpho-sédimentaires de l'avant-plage du secteur littoral de Combrit – Île-Tudy entre le XIXe et le XXIe siècle

Marie Jabbar, Alain Hénaff, Anne Deschamps

► To cite this version:

Marie Jabbar, Alain Hénaff, Anne Deschamps. Dynamiques et évolutions morpho-sédimentaires de l'avant-plage du secteur littoral de Combrit – Île-Tudy entre le XIXe et le XXIe siècle. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 2015, 21 (1), pp.45-56. 10.4000/geomorphologie.10849 . hal-01514328

HAL Id: hal-01514328

<https://hal.science/hal-01514328v1>

Submitted on 31 Oct 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Dynamiques et évolutions morpho-sédimentaires de l'avant-plage du secteur littoral de Combrit – Île-Tudy entre le XIX^e et le XXI^e siècle

Dynamics and morphological evolution of the nearshore in Combrit – Île-Tudy between the XIXth and XXIth century

Marie Jabbar, Alain Hénaff et Anne Deschamps

Géomorphologie. pp. 45-56

[vol. 21 – n° 1 | 2015 : Actes des 15^e Journées des Jeunes Géomorphologues](#)

Résumés

Au sein des systèmes littoraux, les avant-plages font partie intégrante des accumulations littorales, comprenant également les plages et les accumulations de haut de plage. Néanmoins, pour des raisons d'accessibilité limitée pour les observations scientifiques, les avant-plages et leur morphologie restent peu étudiées comparativement à la partie émergée du système. Notre travail s'appuie sur l'étude de l'avant-plage du secteur de Combrit – Île-Tudy (France), dans le sud du Finistère. Les objectifs de cette étude sont dans un premier temps de développer une méthode d'analyse des levés bathymétriques anciens (fournis par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) en prenant en compte toutes les imprécisions inhérentes à ce type de données. Dans un deuxième temps, il s'agit de mettre en évidence des évolutions morphologiques de l'avant-plage par la comparaison des données anciennes fournies par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM ; XIX^e et XX^e siècles) et récentes (2012). La comparaison de Modèles Numériques de Terrain (MNT) permet d'identifier au moins trois tendances d'évolution distinctes entre 1818 et 2012 : une situation d'érosion de l'avant-plage entre 1818 et 1903, suivie d'un exhaussement généralisé entre 1903 et 1971, puis d'un nouvel abaissement des fonds entre 1971 et 2012. À la suite de ces résultats, les causes de ces modifications sont abordées au travers de différentes hypothèses. En effet, plusieurs facteurs sont susceptibles d'avoir une action directe ou indirecte sur la morphologie de l'avant-plage. Parmi ceux-ci, des forçages naturels (modification du régime de houle, impacts des évènements météo-marins majeurs) auxquels s'associent, sans doute, des pressions humaines (extractions de sable et poldérisation, notamment).

Abstract

Nearshore is an integrated part of the coastal zone, as well as beaches and coastal dunes. However, they remain poorly studied compared to the emerged part of the system, because of the limited access for scientific monitoring. The nearshore of Combrit – Île-Tudy (south Brittany, France), addressed in this paper, is a good example. The first aim of this study is to present a methodology for the interpretation of old bathymetric surveys (supplied by the French naval hydrographic and oceanographic service – SHOM) which considers all the inaccuracies related to this type of data. Then, this method is implemented in order to depict the morphological evolution of the nearshore by comparing the ancient bathymetric surveys (19th and 20th centuries) and the recent ones of the nearshore (2012). Our results indicate different trends of evolution depending upon the period considered: between 1818 and 1903 the nearshore is considerably eroding; between 1903 and 1971 the situation has reversed; the recent period 1971-2012 is submitted to erosion. These results let us to consider the origins of such variability and formulate several hypothesis implying natural factors such as wave climate modification, extreme meteorological events and also anthropogenic factors such as sand extraction and polder establishment.

Mots-clés : [avant-plage](#), [morphologie sous-marine](#), [dynamique morpho-sédimentaire](#), [levés bathymétriques multi-temporels](#), [Bretagne](#)

Keywords : [nearshore](#), [submarine morphology](#), [dynamic morphosedimentary](#), [multitemporal bathymetric surveys](#), [Brittany](#)

Cette étude a bénéficié du programme des campagnes à la mer INSU. Les sondages bathymétriques récents ont pu être réalisés à l'aide du navire Haliotis de l'Ifremer et de son équipage de Génavir, que nous tenons à remercier. Nous adressons également nos remerciements au Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) pour leur contribution à ce travail, notamment pour la préparation des jeux de données utilisés dans cet article ainsi que pour les informations apportées sur les métadonnées. Les relecteurs sont également remerciés pour leurs remarques constructives qui ont permis d'améliorer cet article.

Introduction

1 Au sein des systèmes littoraux, les avant-plages font partie intégrante des accumulations littorales, dans la continuité des plages et des dunes (Pinot, 1998). L'étude morphodynamique de chacun de ces compartiments littoraux est donc indispensable pour comprendre les évolutions du système sédimentaire dans son ensemble. Les interactions entre l'avant-plage, les fonds marins du large et la plage ainsi que les échanges sédimentaires entre ces différents compartiments déterminent, en effet, les dynamiques morphologiques littorales et les évolutions des rivages qui en résultent (Short, 1999). Dorénavant, ce type d'étude semble également fondamental pour améliorer les stratégies de gestion des évolutions littorales, en s'appuyant notamment sur une meilleure connaissance des stocks sédimentaires littoraux et de leurs dynamiques (Pinot, 1998 ; Costa *et al.*, 2005 ; Aernouts et Héquette, 2006 ; Horillo-Caraballo et Reeve, 2008). Une gestion raisonnée de ces stocks pourrait offrir, dans certains cas tout au moins, des perspectives intéressantes vis-à-vis des problèmes d'érosion côtière qui s'inscrivent désormais dans un contexte sédimentaire contemporain largement déficitaire pour les littoraux d'accumulation des régions tempérées (*e.g.*, Bird, 1985 ; Paskoff, 1998 ; EuroSION database, 2004 ; Suanez, 2009 ; Ministère de l'écologie, de l'énergie du Développement durable et de la mer, 2010) et, parfois également, dans un contexte de pressions liées à des projets d'extractions de sédiments marins sur les avant-plages (Latteux, 2008).

2 Contrairement aux plages et aux dunes qui font l'objet de nombreuses études et de suivis dans le temps (Costa et Suanez, 2013), les avant-plages restent encore relativement peu étudiées, notamment en raison de leur accessibilité limitée pour la mesure et l'observation (faibles profondeurs, conditions météo-marines, capteurs...).

3 Cependant, les évolutions récentes des méthodes et des techniques d'étude des petits fonds rendent maintenant possible l'analyse morphologique des avant-plages et des processus d'érosion ou d'accumulation qui les affectent afin d'identifier leurs impacts sur les parties intertidales et subaériennes des accumulations littorales. Néanmoins, à l'image des plages et des massifs dunaires, les dynamiques actuelles examinées grâce à ces techniques récentes ne peuvent se comprendre qu'en tenant compte de leurs évolutions aux échelles de temps géologique, historique, décennale et instantanée (événement extrême) nécessairement emboîtées (Hénaff *et al.*, 2013). L'analyse diachronique de données bathymétriques constitue par conséquent, une étape indispensable pour évaluer et comprendre l'évolution de ces avant-plages (Jaud, 2011 ; Brunel, 2012).

4 Dans ce sens, l'étude proposée s'appuie sur une analyse diachronique de la morphologie de l'avant-plage du littoral allant de Combrit à l'Île-Tudy dans le sud du Finistère. Depuis plusieurs décennies, ce secteur de côte est menacé de submersion du fait de l'érosion continue d'un cordon littoral protégeant un polder partiellement urbanisé. Après que de multiples techniques de protection contre l'érosion aient été tentées, le recours aux stocks sableux de l'avant-plage pour compenser les déperditions de volume du cordon littoral est actuellement envisagé par les gestionnaires. Pour autant, la connaissance de cette avant-plage est des plus fragmentaires.

5 Dans ce contexte, les objectifs de notre étude sont d'analyser l'évolution bathymétrique de l'avant-plage entre le niveau moyen de la mer et des profondeurs d'une vingtaine de mètres sur différents intervalles de temps afin d'en déduire les tendances évolutives à moyen terme et à court terme. Dans la mesure du possible, il s'agira également d'en expliquer les origines. Pour se faire, on dispose, pour la période historique des deux cents dernières années, des levés effectués successivement pour l'établissement des cartes marines du SHOM depuis

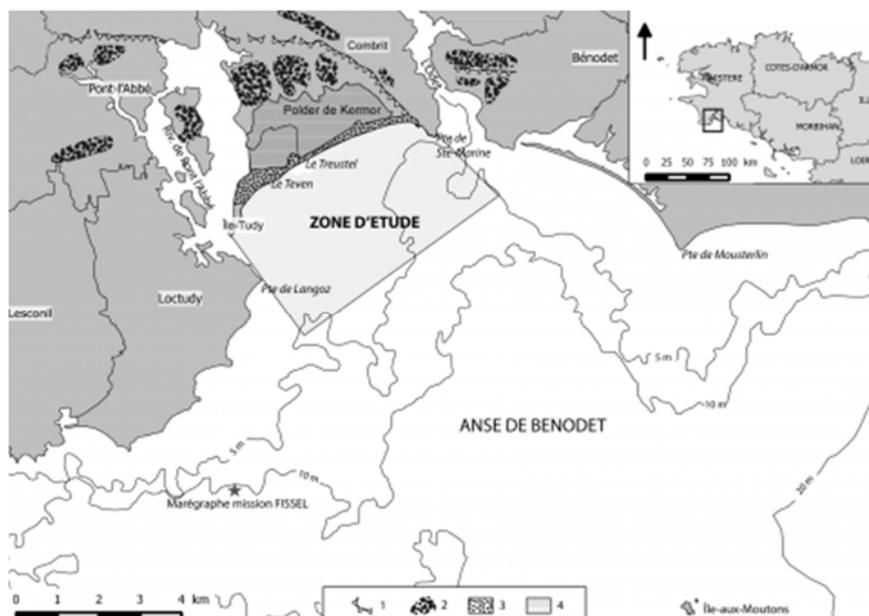
le début du XIX^e siècle (1818-1819, puis 1903 et 1971) et des mesures bathymétriques récentes (2012) acquises lors de la campagne Fissel à bord du N/O l'Haliotis (Génavir/Ifremer). A partir de ces données multi-temporelles que l'on cherche à comparer, on propose une méthodologie permettant l'utilisation des mesures bathymétriques acquises à différentes époques et par des techniques différentes depuis le début du XIX^e siècle. La méthode proposée s'appuie sur un contrôle préalable de la qualité des données, la détermination des incertitudes verticale (profondeur) et spatiale (localisation) des mesures bathymétriques. Elle prend également en compte la différence de résolution des lots de données employés.

Présentation du site

6 Située dans le sud du Finistère, dans l'anse de Bénodet, la zone d'étude s'étend en avant de la plage des communes de Combrit et l'Île-Tudy, entre l'estuaire de l'Odet à l'est et l'estuaire de la rivière de Pont-l'Abbé à l'ouest (fig. 1). Avec une orientation vers le sud-est et une position plutôt en retrait par rapport à la ligne générale de rivage, la côte est en situation d'abri relatif par rapport aux houles dominantes d'ouest. En effet, ces dernières n'atteignent le rivage qu'après diffraction sur l'avant-côte entre Penmarch et Loctudy. Le littoral, entre la pointe de Sainte-Marine et l'Île-Tudy, est, par contre, exposé aux houles et aux vagues de secteur sud-sud-ouest, sud et sud-est.

Fig. 1 – Localisation du secteur d'étude.

Fig. 1 – Location map of the study area.



[Agrandir Original \(png, 949k\)](#)

1 : Falaise morte ; 2 : Accumulations littorales de galets pléistocènes ; 3 : Cordon littoral sableux actuel ; 4 : Ancienne lagune de Kernmor.

1: Abandoned cliff; 2: Pleistocene shingles accumulation; 3: Actual longshore bar; 4: old coastal lagoon of Kernmor.

Sources : IGN, SHOM.

7 Dans ce secteur, la dynamique de la partie terrestre de l'accumulation littorale, à savoir la plage et le cordon dunaire, a fait l'objet de plusieurs études (Guilcher, 1948 ; Bodéré *et al.*, 1992 ; Hénaff, 1998 ; Hallégouët et Hénaff, 2006 ; Bouffort *et al.*, 2011). Un étroit cordon dunaire relie les deux pointes granitiques (granit de Pont-l'Abbé) de l'Île-Tudy et de Sainte-Marine à Combrit isolant de la mer une dépression arrière-littorale submersible. Au vu des documents iconographiques anciens disponibles, la formation de l'accumulation littorale actuelle semble récente et s'inscrirait dans la période historique. Elle débute par la construction naturelle, depuis l'ancienne île Tudy au sud-ouest et la pointe de Sainte-Marine au nord-est, de deux flèches

sableuses progressant en sens opposé qui, sur les cartes anciennes du secteur, n'apparaissent qu'à partir de la seconde moitié du XVII^e siècle (document daté de 1670 ; Bouffort *et al.*, 2011). Depuis la fin du XVII^e siècle, ces deux accumulations tendent à se rejoindre et à isoler progressivement de la mer l'anse de Kermor localisée en avant d'une falaise morte et reliée à la rivière de Pont-l'Abbé sans toutefois y aboutir naturellement. Les graus qui persistaient dans le cordon ont été complètement fermés au cours du XIX^e siècle lors des travaux de poldérisation des terrains en arrière réalisés en 1852-1853 (Guilcher, 1948 ; Hénaff, 1998 ; Bouffort *et al.*, 2011 ; Hallégouët et Hénaff, 2006). L'artificialisation de la côte a alors complètement modifié la dynamique hydro-sédimentaire du système (Bouffort *et al.*, 2011). Les processus littoraux agissant dans ces nouvelles conditions ont, en effet, accentué l'érosion du cordon littoral entre le Téven et la pointe de Sainte-Marine, en s'exerçant alternativement sur les différentes parties du cordon, la partie comprise entre Kermor et le Téven étant plus fréquemment affectée. Depuis sa fermeture, le cordon dunaire montre, en effet, des signes de fragilité : des surverses et des brèches ont été observées à de nombreuses reprises jusqu'à ces dernières années, lors de coups de vents ou de tempêtes associés à des surcotes (Bodéré *et al.*, 1992 ; Bouffort *et al.*, 2011 ; Jabbar et Pétré, 2012). L'extension de l'urbanisation (résidences secondaires dans un premier temps puis principales depuis quelques décennies), y compris dans le polder, associée à la vulnérabilité du cordon dunaire accroît considérablement les risques côtiers d'érosion et de submersion. Ce secteur à risque est, de ce fait, placé sous surveillance et de nombreux aménagements ont déjà été effectués pour tenter de contrer le recul du trait de côte : remblais successifs dans les brèches et au sommet du cordon (tout au long des XIX^e et XX^e siècles et jusqu'à nos jours), plantations d'oyats (dans les années 1980 ; en 2012), brise-vents (plusieurs opérations depuis 1980), mise en place de modules géotextiles (1981), construction d'enrochements au Téven (1995) et d'un épi au Treustel (fin des années 1990). Mis à part l'enrochement qui a joué son rôle de stabilisation définitive d'une partie du trait de côte, les autres travaux n'ont pas inversé la tendance, mais ont contribué à un certain ralentissement de l'érosion (Bouffort *et al.*, 2011). Néanmoins, la situation reste toujours délicate et d'autres solutions pour pallier ce problème sont également réalisées actuellement (en 2008, en 2012 et durant l'hiver 2012-2013), tels que les rechargements sédimentaires du haut de plage, ou encore le rehaussement du cordon par des apports de sable. Dans le même temps, les plages de l'ancienne Île-Tudy situées en aval-dérive bénéficiaient d'apports sédimentaires volumineux qui ont conduit à une avancée de la ligne de rivage de plus d'une centaine de mètres en leur centre depuis le début du XX^e siècle.

8 C'est dans ce contexte qu'une analyse de la partie sous-marine du système s'avère importante. Plusieurs études ont déjà contribué à la description de la partie marine et à une première analyse du fonctionnement morphodynamique (Pinot, 1974 ; Vanney, 1977 ; Hénaff, 1998 ; Bouffort *et al.*, 2011). Les profondeurs maximales de l'anse de Bénodet, qui s'étend sur une centaine de kilomètres carrés (fig. 1), sont comprises entre 10 et 20 m. La zone se caractérise par un vaste platier rocheux recouvert partiellement d'une étendue de sédiments fins (Pinot, 1974), tandis que les petits fonds entre Penmarch et Loctudy sont principalement rocheux, avec une couverture sédimentaire éparse (Chassé et Glémarec, 1976). En effet, cette côte est très exposée à la houle. Dès lors que le littoral se trouve en position plus abritée (anse de Combrit et de Concarneau) le sable s'y dépose et la couverture sédimentaire s'épaissit (Hénaff, 1998). J.-R. Vanney (1977) met en évidence une rampe sédimentaire qui s'est formée dans le chenal de l'Odet (fig. 1) et ses affluents, appelé le « chenal de l'île-aux-Moutons » qui contribuerait aux apports sableux des petits fonds de l'anse de Combrit.

9 L'avant-plage est large, peu profonde et faiblement pentue (de l'ordre de 0,25 %). L'isobathe des trois mètres est très proche de la plage à l'est (~300 m), tandis qu'à l'ouest, elle s'en écarte (~2 000 m), ce qui suppose une zone propice aux dépôts sableux. Les vallées submergées de l'Odet et de la rivière de Pont-l'Abbé, qui ne sont pas entièrement comblées, se rejoignent au niveau de l'Île-aux-Moutons (fig. 1).

10 Un schéma de la circulation générale des sédiments le long du cordon a été proposé dans le rapport de J.-M. Bouffort *et al.* (2011) à partir de l'observation de terrain et de l'interprétation des photographies aériennes verticales de l'IGN. Entre la pointe de Sainte-Marine et l'Île-Tudy, le transit sédimentaire généré a priori par une dérive littorale orientée nord-est – sud-ouest apparaît, en réalité, scindé en cinq sous-cellules hydrosédimentaires également réparties le long du cordon. Aux extrémités de ces sous-cellules qui régissent le déplacement des sédiments sur la côte entre Combrit et l'Île-Tudy, des courants de retour dirigent les sédiments en direction de l'avant-plage avec une efficacité accrue en période d'agitation marine.

11 L'examen et la comparaison des cartes marines du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) de 1909 et 1977 tend à montrer que le recul du cordon littoral qui s'est produit depuis sa fermeture artificielle au milieu du XIX^e siècle (1853) a pu s'accompagner d'un exhaussement de l'avant-plage proche (Bouffort *et al.*, 2011).

Les données et leurs traitements

Techniques d'acquisition et qualité des données

12 Le SHOM a mis à notre disposition l'ensemble des données bathymétriques existant sur le secteur d'étude au sein de la Base de Données Bathymétriques du SHOM (BDBS). Les levés des années 1818/1819, 1903 et 1971 couvrent complètement la zone. Ces données se présentent sous la forme de minutes de sonde au format ascii. Il s'agit de fichiers de points de coordonnées géographiques (x et y) avec les valeurs de bathymétrie associées (z : en valeurs positives vers le bas à partir du zéro hydrographique). L'utilisation des minutes de sondes offre l'avantage de réduire la marge d'erreur par rapport aux sondes indiquées sur les cartes marines en fournissant une densité de points beaucoup plus importante (Maron et Rihouey, 2003). En effet, sur les cartes marines, seuls les points les plus superficiels sont sélectionnés pour des raisons de navigation auxquelles sont destinées ces cartes.

Les données historiques obtenues au fil à plomb

13 Les techniques d'acquisition sont différentes suivant les années. Les données de 1818/1819 et 1903 ont été levées au plomb de sonde. Il est évident que la densité des points levés est beaucoup plus faible que pour les levés ultérieurs puisque la technique est entièrement manuelle et donc très lente par rapport aux méthodes de sondages acoustiques modernes. Par ailleurs, le positionnement est fondé sur le principe de la triangulation pour laquelle un cercle à réflexion (hydrographique) sert à mesurer une distance angulaire entre deux amers à terre. Parallèlement, la boussole est utilisée pour comparer le relèvement vrai (cercle à réflexion) du relèvement magnétique (Chapuis, 1999).

14 Les données acquises, auprès du SHOM, de 1818/1819 et 1903 ont été corrigées par le SHOM sur la base des données du marégraphe installé au port de Concarneau. Les mouvements du bateau (pilonnement, cap, roulis, tangage) n'étaient à l'époque pas pris en compte. Il est donc difficile d'estimer leur impact sur la précision verticale et horizontale. On peut supposer cependant que les levés ont été effectués préférentiellement en condition de mer calme, ce qui limite les imprécisions.

15 Nous nous baserons sur les estimations du SHOM qui prédisent une erreur verticale inférieure à un mètre et qui est largement utilisée dans les études utilisant ce type de données. Celle-ci sera doublée dans le cas de la comparaison de deux Modèles Numériques de Terrain (MNT).

16 La précision horizontale est par ailleurs faible (de l'ordre d'une trentaine de mètres) car la position sur le plan d'eau était estimée à partir de repères à terre. Celle-ci a été contrôlée lors de cette étude en mesurant la distance entre des points de référence (sommet des pics rocheux) repérés sur la bathymétrie de 2012 et celles de 1818/1819 et 1903. Les écarts maximum observés sont compris entre 25 et 60 m.

17 Cette imprécision horizontale n'impacte que très peu la précision verticale. En effet, la pente moyenne de la zone d'étude est de 0,25 %. Par exemple, en supposant une imprécision horizontale de 30 m, la précision verticale liée à cette incertitude de positionnement, équivaut à 7,5 cm, ce qui est négligeable. La forte imprécision horizontale n'a donc pas d'influence notable sur la marge d'erreur verticale.

18 L'imprécision verticale σ_z équivaut à : $\sigma_z = \sigma_x \cdot y \cdot h$

Dans le cas d'une pente d'avant-plage de 0,25%, $\sigma_z = 30 \cdot 0,25\% = 0,075$ m

Avec σ_z : incertitude verticale ; σ_x , y = incertitude horizontale (30 m) et h : pente (0,25 %).

19 Enfin, la zone d'étude s'étend sur une surface d'environ 22,42 km² (fig. 1). Les levés bathymétriques de 1818 et 1819 comprennent 2 009 points, soit environ un point tous les 110 mètres en moyenne. C'est en 1903 que la couverture spatiale est la plus dense. Il y a 12 726 points, soit environ un point tous les 17 mètres (tab. 1).

Acquisition de données par sondeur monofaisceau : données de 1971

20 Le type de sondeur utilisé pour réaliser le levé bathymétrique de 1971 n'est pas connu. Néanmoins, nous disposons d'informations sur la précision de positionnement horizontale et verticale. Le SHOM a estimé une erreur de positionnement probable inférieure à 30 m, ainsi qu'une erreur verticale de 0,30 m maximum. Ne connaissant pas les méthodes employées pour estimer cette imprécision, nous emploierons 0,50 m comme marge d'erreur verticale. La précision horizontale a pu être vérifiée à l'aide de la même méthode que pour les sondes à plomb (cf. para. précédent). Les écarts mesurés entre les pics rocheux de 1971 et 2012 sont au maximum de 20 à 30 m. Pour ces levés, la densité est d'un point tous les 52 m, puisque le levé bathymétrique de 1971 comporte 4 258 points (tab. 1).

Tab. 1 – Caractéristiques des différentes méthodes d'acquisition bathymétrique.

Tab. 1 – Characteristics of the different methods of acquiring.

	Précision		Densité de mesures (nombre de points / km ²)
	Horizontale	Verticale	
Fil à plomb	25-60 m	1 m	89 (1818) / 567 (1903)
Sondeur monofaisceau	20-30 m	0,5 m	189
Sonar latéral	10 cm	10 cm	125.10 ⁵

Acquisition de données par sonar latéral interférométrique : données de 2012

21 Un levé bathymétrique a été réalisé en 2012 lors de la campagne de recherche FISSEL, à bord du navire l'Haliotis (Génavir/Ifremer). Cette vedette est équipée d'un sonar latéral interférométrique (GeoAcoustics Geoswath, 250 kHz), d'un sondeur de sédiments (chirp 1,8 à 5,3 kHz) et d'un sondeur monofaisceau (Simrad ER60, 120 kHz) associé à un système de caractérisation des fonds (RoxAnn). Le sonar Geoswath est un modèle de sonar latéral interférométrique qui fournit des données de qualité semblable à un sondeur multifaisceaux. Avec une fauchée d'environ cinq fois la profondeur, la résolution des données est généralement de 5 % par rapport à la profondeur (soit 25 cm pour une profondeur de 5 m). À 5 m de profondeur, l'échantillonnage longitudinal se fait tous les 20 cm et l'échantillonnage transversal est de 8 cm sous le navire et de 40 cm en bord de fauchée (<http://flotte.ifremer.fr/flotte/Presentation-de-la-flotte/Navires/Navires-cotiers/Haliotis/Equipements-scientifiques>). Le positionnement sur le plan d'eau est assuré par un système de navigation GPS Aquarius Thalès avec une station RTK (Real Time Kinematic) d'une précision centimétrique. Un marégraphe, installé spécialement pour la mission au sud de Loctudy (fig. 1), permet d'effectuer une correction de la marée. De plus, les mouvements du bateau sont corrigés par la centrale inertielle du navire qui enregistre son attitude (cap, roulis et tangage). Ces corrections associées au positionnement RTK apportent une précision centimétrique en horizontal et en vertical. Les résultats de cette campagne utilisés dans cette étude sont donc : une carte bathymétrique issue des mesures bathymétriques du sonar interférométrique, maillée à un mètre et une carte du fond rocheux (bed rock) déduite des données de sismique du sondeur de sédiments, maillée à 20 mètres.

22 La densité du levé de 2012 n'est pas du tout comparable aux levés plus anciens. Simplement à titre informatif, pour une superficie plus restreinte d'environ 10 km² par rapport aux données du SHOM, le nombre de points est de l'ordre de 125*10⁶ points, soit 12,5 points par m² (tab. 1).

Les corrections à apporter

Variations historiques du niveau marin

23 Pour une comparaison rigoureuse des données bathymétriques multi-temporelles, l'élévation du niveau de la mer survenue entre les différentes dates des levés constitue a priori un paramètre à prendre en compte. Au-delà des données du GIEC qui propose une élévation du niveau marin de l'ordre de 0,1 à 0,2 cm/an sur le dernier siècle, le marégraphe de Brest peut être pris pour référence car il est le plus proche de notre site d'étude et il fournit des mesures quasi continues du niveau marin depuis environ trois cent ans (Pouvreau, 2008). Ces données sont téléchargeables sur le site du Service permanent du niveau moyen de la mer (PSMSL Permanent Service for Mean Sea Level : <http://www.psmsl.org/>).

24 Une première difficulté d'utilisation des observations issues de ce marégraphe résulte de leur traitement préalable au calcul d'élévation du niveau de la mer. Selon les auteurs et les périodes de référence prises en compte, ces variations du plan d'eau diffèrent. En tenant compte, des niveaux marins moyens (MSL), l'élévation pour la période 1846-2007 est de $1,18 \pm 0,06$ mm/an (Pouvreau, 2008). L'élévation est de 100 mm entre 1818 et 1903, de 80 mm entre 1903 et 1971, de 48 mm entre 1971 et 2012 et l'élévation totale est de 23 cm entre 1818 et 2012. Selon le Centre d'Etude Technique Maritime et Fluvial (CETMEF) qui s'est intéressé à la correction des données bathymétriques en fonction de différents niveaux d'eau extrêmes et avec plusieurs méthodes de traitement (Andrewsky *et al.*, 2014), l'élévation est d'environ 15 cm entre 1850 et 2010.

25 La seconde difficulté d'utilisation de ces données marégraphiques provient de la variabilité spatiale de la vitesse d'élévation du niveau marin. P.-A. Pirazzoli (2008), qui s'est attaché à analyser toutes les données des marégraphes de la côte atlantique française, entre Saint-Jean-de-Luz et Brest, a mis en évidence des vitesses d'élévation du niveau marin plus ou moins rapides suivant les sites d'observation qu'il explique par des phénomènes de subsidence locale. Ainsi, dans le port du Conquet, distant d'une vingtaine de kilomètres à l'ouest de Brest, l'élévation du niveau marin est de $+0,31 \pm 0,04$ cm/an, valeur singulièrement différente de celle proposée pour Brest. Des résultats si discordants localement et même, plus généralement, à l'échelle de la façade atlantique française, laissent supposer que les tendances d'évolution du niveau marin issues des données du marégraphe de Brest ne sont pas directement applicables pour la correction des données bathymétriques du sud du département, en particulier pour notre site d'étude. Elles n'indiquent finalement qu'une tendance générale.

26 Si malgré ces incertitudes, on applique néanmoins une correction au niveau moyen de la mer sur notre site d'étude pour comparer les différents levés bathymétriques, l'élévation a été de 23 cm entre 1818 et 2012. Elle représente alors plus d'un cinquième de la marge d'erreur d'un mètre que l'on s'est accordée. Deux MNT bathymétriques ont été alors produits, l'un qui tient compte de cette élévation et l'autre où elle est négligée. La comparaison de ces deux MNT ne permet finalement pas de conclure à un réel impact de la variation du niveau du plan d'eau sur les résultats obtenus. En effet, lors de la comparaison des deux MNT, avec puis sans correction, les volumes sédimentaires diffèrent en 1971 de 2,19 % et de 1,31 % en 1903, ce qui peut être considéré comme négligeable.

Système de projection

27 Les données de base ont été récupérées dans le système géodésique de positionnement WGS84 en degrés décimaux. C'est dans cette projection qu'elles ont été utilisées pour créer des MNT afin de ne pas ajouter une imprécision horizontale supplémentaire liée à une transformation dans un système de projection métrique.

28 Dans un deuxième temps, les données brutes ont été projetées dans un système métrique, le Lambert 93, uniquement pour calculer des volumes sédimentaires. L'imprécision engendrée par cette projection effectuée par le logiciel Circé de l'Institut Géographique National (IGN) est de l'ordre de 2 à 6 m (IGN, 2013). Afin de transformer les coordonnées exprimées en WGS84 vers le Lambert 93, le logiciel impose un passage en NTF (Lambert II étendu). C'est cette première transformation qui engendre un décalage. Il se vérifie sur nos données avec un écart correspondant à une simple translation de 4,5 mètres mesurable à l'aide du Système d'Information Géographique (SIG) piloté par QGIS. Le décalage est constant en tout point de la carte et

identique sur toutes les données utilisées dans cette étude. Ceci nous permet donc de réaliser des calculs de volume sans ajouter d'erreur.

La représentation cartographique des données

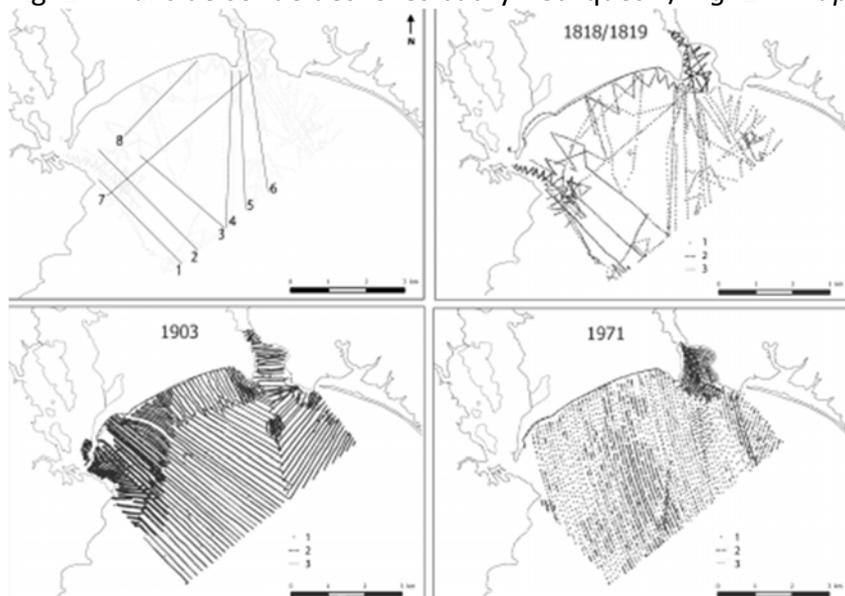
Le choix du logiciel et d'une méthode d'interpolation

29 Les données bathymétriques sont traitées avec le logiciel Surfer®. Pour simplifier leur utilisation, les profondeurs fournies positivement par le SHOM sont converties en valeurs négatives. Les grilles d'interpolation calculées à partir des fichiers de points doivent être strictement les mêmes (limites et espacement dans les grilles de calcul) pour que la comparaison des données soit possible.

30 La couverture du levé de 1818/1819 est trop hétérogène pour être maillée. Cependant, il est possible d'utiliser des profils complets de la côte vers le large pour les comparer avec les mêmes profils issus des MNT des autres années.

31 Le levé de 1971 est moins dense que celui de 1903, c'est donc lui qui sert de base pour définir le pas des grilles successivement calculées (fig. 2B-D).

Fig. 2 – Plans de sonde des levés bathymétriques. / Fig. 2 – Maps of the bathymetric surveys.



[Agrandir Original \(png, 4,6M\)](#)

A – Profils longitudinaux et transversaux. B – 1818/1819. 1 : Points de sonde ; 2 : Trait de côte en 1848 ; 3 : Trait de côte Histolitt. C – 1903. 1 : Points de sonde ; 2 : Trait de côte en 1903 ; 3 : Trait de côte Histolitt. D – 1971. 1 : Points de sonde ; 2 : Trait de côte en 1967 ; 3 : Trait de côte Histolitt.

A – Longitudinal and tranverse profile. B – 1818/1819. 1: spot sounding; 2: 1848 shoreline; 3: Histolitt shoreline. C – 1903. 1: spot sounding; 2: 1903 shoreline; 3: Histolitt shoreline. D – 1971. 1: spot sounding; 2: 1967 shoreline; 3: Histolitt shoreline.

32 La densité est d'environ un point tous les 52 m, néanmoins, la couverture n'est pas non plus homogène car les mesures ont été faites le long de plusieurs profils longitudinaux espacés chacun d'une centaine de mètres environ. Nous avons donc créé deux MNT diachroniques (1903 et 1971) avec une grille d'un pas de 110 m. Ce choix de pas de grille engendre inévitablement des incertitudes. Néanmoins, les variations morphologiques sur le secteur d'étude sont de faible envergure, la pente moyenne étant de 0,25 %. Ces faibles variations topographiques nous permettent d'envisager l'utilisation d'un maillage large. De plus, une approche complémentaire est proposée ici. Il s'agit de raisonner par comparaison de profils. Il est bien entendu que l'utilisation de ces MNT, même avec l'application d'une marge d'erreur adaptée, ne permet ici que de proposer des tendances générales d'évolution.

33 Il existe plusieurs méthodes d'interpolation proposées par le logiciel Surfer®. La plus couramment utilisée est le krigeage qui est recommandé dans la plupart des cas (Gratton, 2002), notamment pour les jeux de données supérieurs à 1 000 points car c'est une des méthodes les plus flexibles et les plus efficaces pour obtenir les meilleures cartes (General Gridding Recommendations, Surfer®). Le principe est de créer, par interpolation de données irrégulièrement réparties, une grille avec un pas défini. La méthode du krigeage consiste en l'utilisation de variogrammes (courbes donnant le poids à affecter aux points de données en fonction de leurs distances par rapport au point à interpoler), afin de respecter au mieux la topographie du secteur étudié (Maron et Rihouey, 2003).

La création de Modèles Numériques de Terrain

34 Pour les données de 1903 et 1971, des MNT ont été réalisés. La comparaison entre deux levés est ensuite possible en réalisant un MNT combinant deux dates, c'est-à-dire en soustrayant le plus récent au plus ancien pour obtenir une carte d'évolution des fonds. Cette opération permet notamment la caractérisation du stock de sédiments et son évolution dans le temps.

35 Pour compléter ces premières analyses, sont ajoutées :

36 Des profils créés à partir des données de 1818/1819. Ils permettent une comparaison spatio-temporelle avec les données trop éparées pour réaliser un MNT. Afin d'exploiter au mieux les données du levé de 1818 nous avons ainsi travaillé avec des profils longitudinaux et transversaux (fig. 2A). Les huit profils retenus sont comparés avec les levés de 1903 et 1971 ;

37 Des estimations de volumes de sédiments érodés ou déposés sur l'avant-plage. Dans un premier temps, un calcul est réalisé pour comparer les années 1818, 1903 et 1971 par rapport à un niveau bathymétrique commun. La profondeur de référence est choisie à -13 m, correspondant à la profondeur maximale rencontrée au large de la zone d'intérêt et en excluant les deux estuaires. En effet, leur profondeur atteint -20 m ce qui entraîne une exagération des résultats. La comparaison de ces trois volumes relatifs permet de quantifier les gains et les pertes de sédiments sur l'avant-plage entre deux dates. Dans un second temps, le calcul du volume réel de sédiment est réalisé pour les données de 2012 en comparant la bathymétrie (*i.e.*, le toit de la couverture sédimentaire) au fond rocheux connu grâce aux données chirp de la sismique. La surface du fond rocheux étant supposée constante au cours du temps, la même opération est réalisée sur les données bathymétriques de 1971.

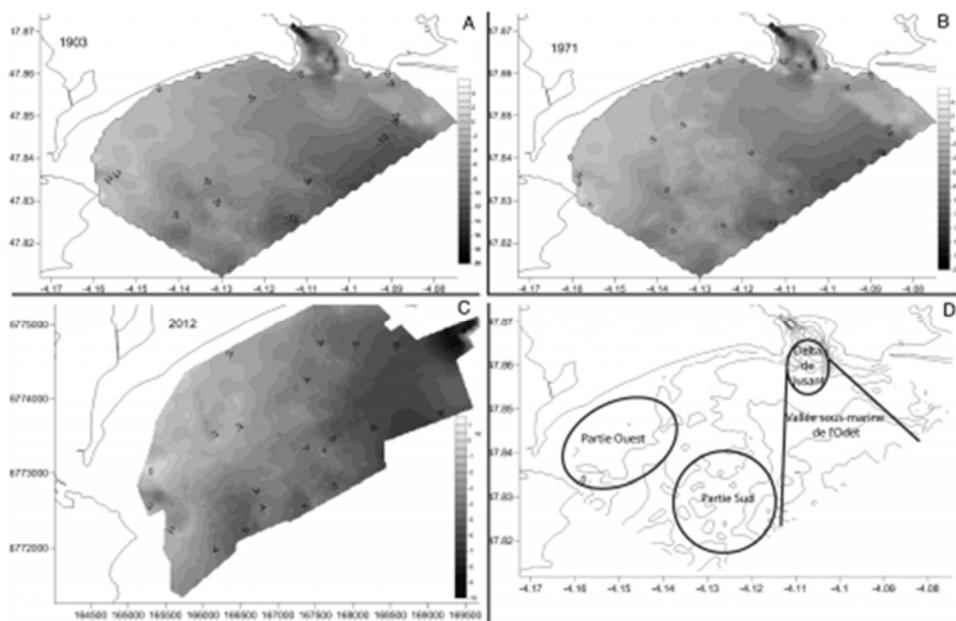
Mise en évidence de différentes tendances d'évolution

Modèles Numériques de Terrain

38 Dans un premier temps, les MNT obtenus pour chaque date d'acquisition (fig. 3A, B et C) présentent une morphologie commune et permettent une description morphologique générale. L'avant-plage présente de faibles profondeurs et une pente moyenne de 0,25 %.

Fig. 3 – Modèle Numérique de Terrain (MNT).

Fig. 3 –*Digital Elevation Model (DEM).*



[Agrandir Original \(png, 1,3M\)](#)

A-C : MNT de 1903, 1971 et 2012. D : schéma des principales figures morphologiques.

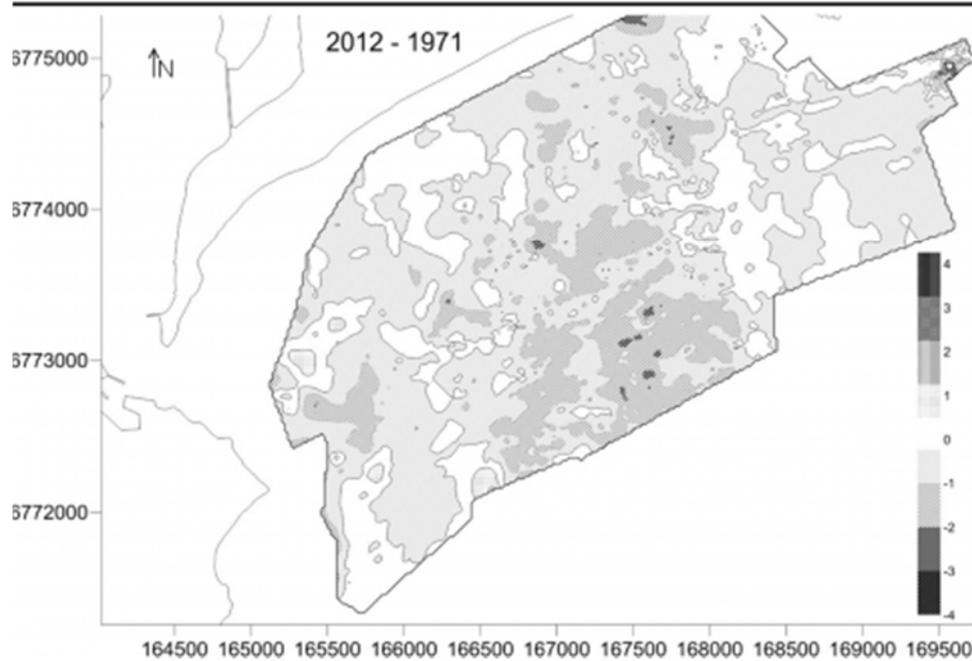
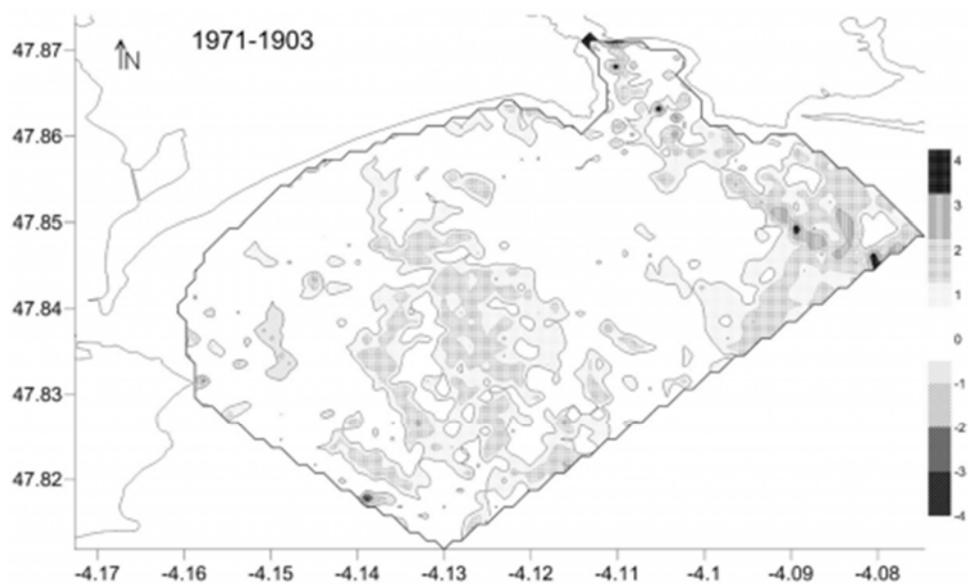
A-C: 1903, 1971 and 2012 DEM. D: diagram of the main geomorphological shapes.

39 Les isobathes ne sont pas parallèles au trait de côte mais obliques, la partie ouest est très peu profonde, la profondeur maximale n'est que de 7 m, à quatre kilomètres au large. La partie sud du MNT apparaît très perturbée et laisse entrevoir la présence d'écueils rocheux submergés. L'Odet et la rivière de Pont-l'Abbé ont une influence majeure sur la morphologie de l'avant-plage : le chenal de la rivière de Pont-l'Abbé, entre Loctudy et l'Île-Tudy, est surcreusé à sa sortie, avant que, vers le sud-est, la bathymétrie ne remonte aux alentours de -4 m pour former un large delta de jusant. La vallée sous-marine de l'Odet est également bien visible. La bathymétrie de l'estuaire est très perturbée par les flux de marée entrant et sortant et les forts courants engendrés à la sortie du chenal. À sa sortie, un large delta de jusant se développe et culmine à -5 m (Pinot, 1974). Au sud, la bathymétrie laisse apparaître le début d'une vaste vallée sous-marine qui se prolonge bien plus au large (fig. 3D).

40 Dans un second temps, les MNT comparés deux-à-deux apportent une vision évolutive des fonds. En effet, deux tendances évolutives se dégagent. Tout d'abord, un engraissement se produit entre 1903 et 1971 avec une élévation du fond de 1 à 4 m (fig. 4). Entre 1971 et 2012 la situation s'inverse, laissant place à un démaigrissement généralisé des fonds. Les variations observées sont de l'ordre de 1 à 2 m, jusqu'à 5 m d'érosion dans certaines zones (fig. 4).

Fig. 4 – Modèles Numériques de Terrain (MNT) différentiels entre 1903 et 1971 et entre 1971 et 2012.

Fig. 4 – Digital Elevation Model (DEM) comparison between 1903 and 1971 and between 1971 and 2012.



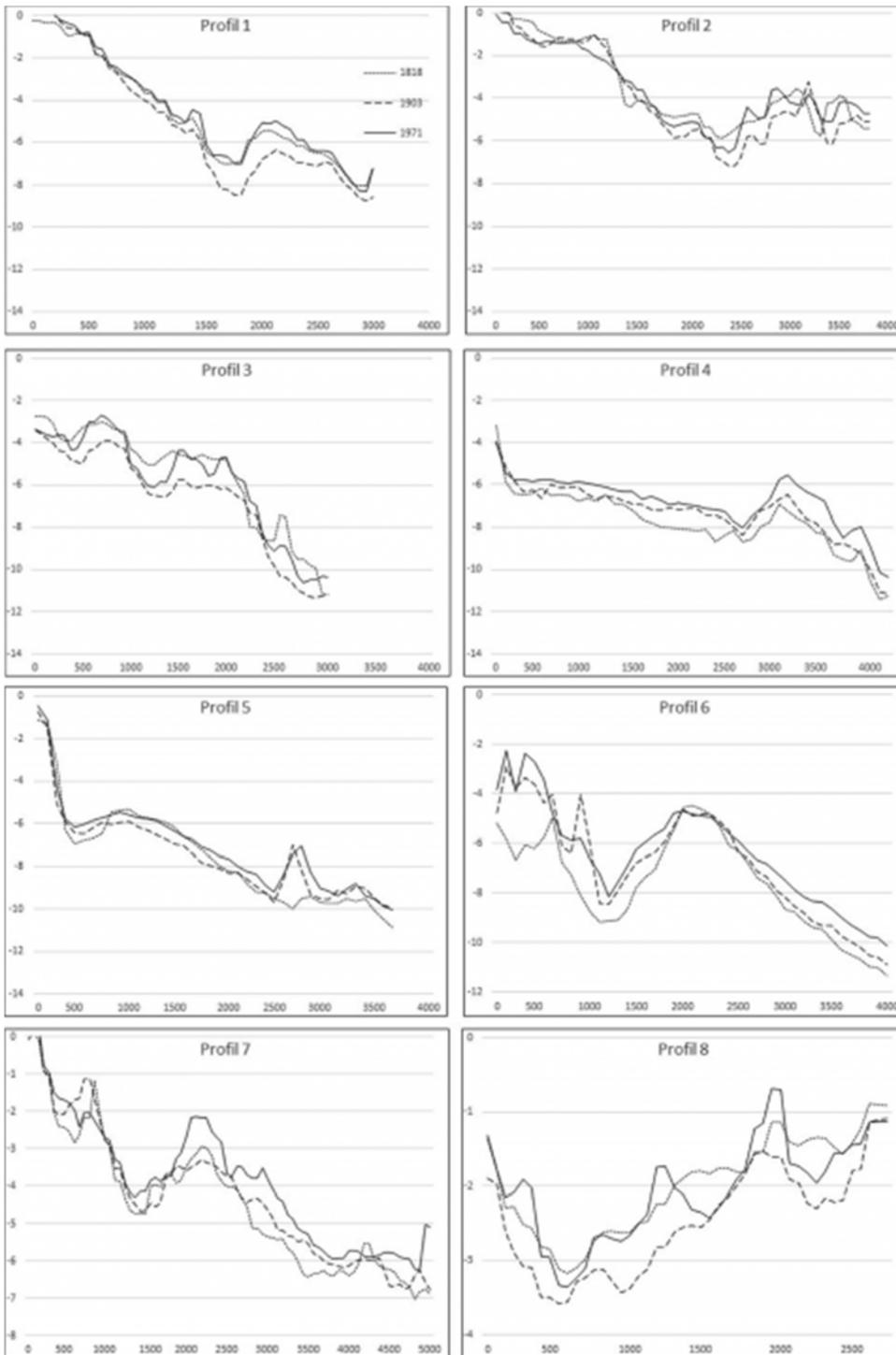
[Agrandir Original \(png, 1,8M\)](#)

Profils

41 L'évolution des huit profils (fig. 2A) met en évidence une évolution non linéaire entre 1918 et 1971 (fig. 5). Un premier scénario s'établit entre 1818 et 1903, date à laquelle l'avant-plage est largement déficitaire en sédiments comme en témoignent les profils n° 1, 2, 3, une partie du profil n° 5 et le profil n° 8, sur lesquels le profil de 1818 est moins profond qu'en 1903. Les profils n° 4 (longitudinal) et n° 5 (transversal) présentent un exhaussement d'environ un mètre tout au long de la période d'étude. De 1903 à 1971, cette situation d'accumulation se confirme sur les huit profils.

Fig. 5 – Évolution des profils 1 à 8 entre 1818 et 1971.

Fig. 5 – Profiles evolution between 1818 and 1971.



[Agrandir Original \(png, 1011k\)](#)

Distance longshore (m) en abscisse et profondeur (m) en ordonnée.

Abscissa: longshore distance (m), ordinate: depth (m).

Budgets sédimentaires

42 Pour estimer les budgets sédimentaires, on calcule les volumes des MNT de 1818, 1903, 1971 et 2012. Ces volumes sont mesurés entre un plan de référence à -13 m et en surface du MNT. En 1818, 1903 et 1971, les volumes, par rapport au plan de référence, sont respectivement de $171 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, $164 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ et $177 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Les résultats montrent des évolutions de grands volumes :

- de 1818 à 1903, la perte totale est de $7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$,
- qui est suivie d'un gain de $13 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ entre 1903 et 1971.
- La perte de sédiments entre 1971 et 2012 est évaluée à environ $5,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

43 La situation générale entre 1818 et 1971 est donc bénéficiaire avec une accumulation sédimentaire positive d'environ $6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Par contre, elle est déficitaire sur les dernières décennies.

Bilan des évolutions perceptibles

44 Des différences de morphologie générale de l'avant-plage sont observables sur les MNT successifs. En effet, on observe que l'avant-plage possède une dynamique particulière, non linéaire, les fonds se modifiant au fil du temps, avec des approfondissements ou des comblements selon les périodes. Ces résultats confirment les hypothèses émises déjà par J.-P. Pinot (1974) et le rapport de J.-M. Bouffort *et al.* (2011) qui présentent l'avant-plage de ce secteur littoral comme une zone dynamique et fortement évolutive.

45 Les profils et les MNT mettent en évidence trois situations distinctes. Tout d'abord, entre 1818 et 1903, la tendance est plutôt à l'érosion de l'avant-plage. C'est principalement dans la partie méridionale, la partie orientale et dans le chenal de l'Odet que ce démaigrissement est observé. Dans ces secteurs, l'abaissement est compris entre 1 et 4 m et de 2 m en moyenne. Entre 1903 et 1971, la situation s'inverse, laissant place majoritairement à un engraissement des zones précédemment en érosion. L'exhaussement est alors compris entre 1 et 4 m (généralement 1,5 à 2 m). Enfin, entre 1971 et 2012, un retour à l'abaissement généralisé des petits fonds se produit, en général entre 0,5 et 2 m. Le volume de sédiments perdu est évalué à environ $5,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ entre 1971 et 2012.

Discussion

46 Les résultats obtenus mettent en évidence des évolutions de l'ordre de quelques mètres d'épaisseur de l'avant-plage sur différentes périodes de temps. Les données anciennes, même si elles sont peu précises par rapport aux données actuelles, permettent d'appréhender la dynamique de l'avant-plage. La marge d'erreur calculée (2 m lors de la comparaison des levés bathymétriques) est importante par rapport à l'amplitude des variations (1 à 5 m). Ce qui doit conduire à beaucoup de prudence dans l'interprétation. Il convient également d'être prudent quant à l'utilisation des MNT. En effet, pour un lot de données avec une densité trop faible de mesures et une répartition trop hétérogène, il est recommandé d'utiliser les profils existants plutôt que d'interpoler afin d'éviter de produire un MNT éloigné de la réalité. C'est, par exemple, le cas du jeu de données trop hétérogènes établi en 1818. Pourtant, les grandes tendances évolutives se dégagent, avec la mise en évidence de zones d'apparence « stable », et de secteurs d'érosion et d'accumulation qui s'inversent au cours du temps.

47 Il existe une différence de précision entre les premiers levés réalisés par le SHOM avec des techniques manuelles et les données de 2012 à haute résolution où les imprécisions verticales et planimétriques sont minimales. La méthode consistant à évaluer la précision horizontale des levés anciens du SHOM par la comparaison des localisations des têtes de roches qui affleurent est assez empirique, mais simple à mettre en œuvre et efficace. Elle a permis ainsi de mettre en évidence des décalages de l'ordre de 25 à 60 m sur les levés de 1818 et 1903 et de 20 à 30 m en 1971 par rapport au levé de 2012. À la suite de ces premiers résultats, les incertitudes verticales pourraient faire l'objet d'une étude plus poussée, avec par exemple la comparaison, sur un même lot, de profils de croisement.

48 La prise en compte ou non de l'élévation du niveau marin reste discutable, étant donné que le secteur étudié se situe à une soixantaine de kilomètres de Brest et que des études antérieures montrent des variations d'environ 0,19 cm/an sur des sites éloignés de seulement 20 km. Ce sont des variations relativement importantes par rapport à l'élévation du niveau marin de 15-23 cm (Pirazzoli, 2008). Mais ces écarts ne peuvent pas être considérés comme significatifs entre les données corrigées ou non corrigées, car cette élévation reste largement inférieure à notre marge d'erreur de deux mètres.

49 Seules les grandes tendances d'évolution peuvent être dégagées puisque nous ne disposons que de quatre dates de levés bathymétriques sur deux siècles. Comme nous avons pu le voir, le domaine de l'avant-plage de

Combrit – Île-Tudy évolue fortement de 1818 à 2012, avec des situations qui s'inversent dans le temps. Cependant, les moments d'inversion des tendances ne peuvent être connus précisément car d'autres inversions ont pu survenir entre deux dates de levés. Il est donc difficile d'en expliquer toutes les causes. Néanmoins des pistes peuvent être avancées qu'il conviendra d'étudier en détail pour évaluer plus précisément leurs impacts potentiels. Parmi les forçages naturels qui ont pu avoir une action sur les petits fonds, les variations de direction des houles dominantes, l'impact des événements météo-marins extrêmes, une modification des apports de sédiments par les rivières ou encore l'élévation du niveau marin peuvent déjà être évoqués. Si on ne peut être exhaustif sur ces paramètres naturels, les forçages anthropiques sont mieux identifiés et viennent s'ajouter à cette liste. Il s'agit principalement des extractions de sédiments qui ont eu lieu sur la plage et sur l'avant-plage jusqu'au début des années 1980, ainsi que de la modification de l'hydrodynamisme générée lors de la poldérisation de l'anse de Kermor et de la fermeture artificielle du cordon littoral.

Conclusion

50 L'approche conduite sur les évolutions de l'avant-plage de Combrit – Île-Tudy pose les bases indispensables au traitement de données bathymétriques multi-temporelles acquises par diverses méthodes au cours des deux derniers siècles. Elle permet également de mettre en évidence des évolutions d'une partie de l'avant-plage sur une longue période de temps ce qui conduit à rechercher les facteurs d'explication de ces changements, qu'ils soient naturels (événements extrêmes, élévation du niveau marin) ou d'origine anthropique (artificialisation du trait de côte, extraction de granulats marins).

51 Le traitement de données bathymétriques anciennes et récentes apporte des résultats probants, mais nécessite certaines précautions. La première est une marge d'erreur suffisamment large, à la fois horizontale et verticale, qui, au minimum englobe les imprécisions du calcul pour les acquisitions les plus anciennes (1818 et 1903). La deuxième précaution consiste à préférer, pour les comparaisons, l'usage des profils existants plutôt que le maillage afin d'éviter une interpolation incertaine de la réalité lorsque la densité des données est insuffisante. Enfin, une dernière précaution serait de tenir compte des variations du niveau marin, notamment pour des séries de mesures éloignées dans le temps. Il semble cependant que celles-ci ne peuvent être considérées qu'à la condition de disposer d'enregistrements effectués à proximité du site d'étude.

52 À la suite du rapport de J.-M. Bouffort *et al.* (2011) qui a mis en évidence le caractère évolutif de l'avant-plage, en relevant une période d'exhaussement entre 1909 et 1977, nos résultats apportent plus d'informations sur cette dynamique complexe. En effet, l'analyse des levés bathymétriques anciens et récents permet de mettre en évidence trois phases d'évolution morphodynamique majeures. Une première période entre 1818 et 1903 est caractérisée par un abaissement de la couverture sédimentaire ; elle est suivie d'une phase d'exhaussement important (généralement 2 m) entre 1903 et 1971. Les résultats du levé bathymétrique de 2012 comparé à celui de 1971 permettent de constater une nouvelle tendance à l'érosion, du moins pour la proche avant-plage (c'est-à-dire la partie la plus proche de la plage). Ces résultats seront précisés et confirmés avec une analyse très fine de la bathymétrie levée en 2012, 2013 et les prochaines mesures prévues en 2014.

Bibliographie

Aernouts D., Hequette A. (2006) – Évolution du rivage et des petits fonds en baie de Wissant. *Géomorphologie*, 1, 49-63.

Andrewsky M., Kergadallan X., Bernadara P., Benoit M., Gaufres P. et Trmal C. (2014) – Comparaison de différentes méthodes d'estimation des niveaux extrêmes en site à fort et à faible marnage, *La Houille Blanche*, 4, 26-36.

Bird E.C.F. (1985) – *Coastline changes. A global review*. Wiley-Interscience publication, 219 p.

- Bodéré J. C., Hallégouët B., Yoni C. (1992)** – Erosion et protection des côtes entre Penmarch et l’Odet. In : *Le pays bigouden à la croisée des chemins*. Pont-l’Abbé, 95-306.
- Bouffort J.-M., Ferrand J.-P., Le Cornec E., Hénaff A. (2011)** – *Défense côtière du polder de Combrit. Schéma de confortement à court, moyen et long terme du cordon dunaire*. Rapport d’étude pour le SIVOM de Combrit-Île-Tudy, 46 p.
- Brunel C. (2012)** – *Tempêtes et élévation marine sur les plages françaises de méditerranée*. L’Harmattan (Ed.), Coll. Milieux Naturels et Sociétés. Paris, 285 p.
- Chapuis O. (1999)** – *A la mer comme au ciel. Beautemps-Beaupré et la naissance de l’hydrographie moderne (1700-1850)*. Coll. Histoire maritime, Presses de l’Université de Paris-Sorbonne, Paris, 1060 p.
- Chassé C., Glémarec M. (1976)** – *Atlas des fonds meubles du plateau continental du golfe de Gascogne : cartes biosédimentaires*. Laboratoire d’océanographie biologique, Université de Bretagne Occidentale avec le concours du CNEXO, 16 p.
- Costa S., Gourmelon F., Augris C., Clabaut P., Latteux B. (2005)** – Apport de l’approche systémique et pluridisciplinaire dans l’étude du domaine littoral et marin de la Seine-Maritime (France), *Norois*, 196, 3, 91-108.
- Costa S., Suanez S. (2013)** – Géomorphologie des littoraux français (Chap. 6). In D. Mercier (dir.), *Géomorphologie de la France*, Paris, Dunod, coll. Sciences Sup., 65-77.
- Erosion Database (2004)** – Fiche ONML [WWW Document]. URL http://www.onml.fr/onml_f/Erosion-cotiere-sur-le-littoral-metropolitain (accessed 12.16.13).
- Gratton Y. (2002)** – Le krigeage : la méthode optimale d’interpolation spatiale. *Artic. Inst. Anal. Géographique*, 4 p.
- Guilcher A. (1948)** – *Le relief de la Bretagne méridionale, de la baie de Douarnenez à la Vilaine*. Potier, La Roche-sur-Yon, 682 p.
- Hallégouët B., Hénaff A. (2006)** – Évolution récente et gestion des espaces littoraux de l’Ouest-Cornouaille. In Les Actes Des Rencontres de l’Ouest-Cornouaille. *Quelles pistes de développement pour le territoire ?*, Association Ouest-Cornouaille Promotion, 20-34.
- Hénaff A. (1998)** – *Morphologie dynamique et budgets sédimentaires des estrans meubles de la presqu’île de Crozon, de l’anse de Combrit et de l’anse du Pouldu*. Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale, UBO-IUEM, 2 vol., 441 p.
- Hénaff A., Meur-Férec C., Lageat Y. (2013)** – Changement climatique et dynamique géomorphologique des côtes bretonnes. Leçons pour une gestion responsable de l’imbrication des échelles spatio-temporelles. *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 654, mis en ligne le 27 septembre 2013, consulté le 03 mars 2014. URL : <http://cybergeo.revues.org/26058>.
- Horillo-Caraballo J.M., Reeve D.E. (2008)** – Morphodynamic behaviour of a nearshore sandbank system: The Great Yarmouth Sandbanks, UK. *Marine Geology* 254, 1, 91-106.
- Jabbar M., Pétré A. (2012)** – *Atlas des évènements tempétueux dommageables dans le Finistère depuis le XVIII^e siècle*. Mémoire de stage, Laboratoire LETG-Brest Géomer, 240 p.
- Jaud M. (2011)** – *Techniques d’observation et de mesure haute résolution des transferts sédimentaires dans la frange littorale*. Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale-Brest, 245 p.

IGN (2013) – *Manuel d'utilisation du logiciel Circé France 4.2*. INSPIRE – Infrastructure for Spatial Information in Europe, 25 p.

Latteux B. (2008) – *Exploitation de matériaux marins et stabilité du littoral*, Quae. ed, Savoir-faire, 162 p.

Maron P., Rihouey D. (2003) – Numérisation de cartes bathymétriques et optimisation de la représentation des fonds à l'aide de « Surfer ». *Rev. Fr. Génie Civ.*, 7, 1247-1264.

Ministère de l'écologie, de l'énergie du Développement durable et de la mer (2010) – *La gestion du trait de côte*. Quae. (Ed.), 290 p.

Paskoff R. (1998) – La crise des plages : pénurie de sédiments. *Mappemonde*, 52, 11-15.

Pinot J.-P. (1974) – *Le précontinent breton, entre Penmarc'h, Belle-Île et l'escarpement continental, étude géomorphologique*. Thèse de doctorat, Université de Nantes, Lannion, 256 p.

Pinot J.-P. (1998) – *La gestion du littoral. Tome 1 : Littoraux tempérés : côtes rocheuses et sableuses*. Paris, Institut Océanographique, vol. 2/1, 399 p.

Pirazzoli P.-A. (2008) – Tendances récentes des facteurs contribuant au risque de submersion sur les côtes atlantiques françaises. *La Houille Blanche*, 1, 72-77.

Pouvreau N. (2008) – *Trois cents ans de mesures marégraphiques en France: outils, méthodes et tendances des composantes du niveau de la mer au port de Brest*. Thèse de doctorat, Université de La Rochelle, 468 p.

Short A.D. (1999) – *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. Wiley-Blackwell, England, 379 p.

Suanez S. (2009) – *La question du bilan sédimentaire des côtes d'accumulation. Rôle des forçages naturels et anthropiques dans les processus morphodynamiques analysés à partir de quelques exemples pris en Méditerranée et en Bretagne*. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Caen, Vol. 1, 212 p.

Vanney J.-R. (1977) – *Géomorphologie de la marge continentale sud-armoricaine*. Société d'édition d'enseignement supérieur, Paris, 473 p.

Annexe

Abridged English version

This study aims to highlight morphological evolutions of a nearshore over the historical and multidecadal time scales. It is based on the establishment of a methodology for the interpretation of historical bathymetric data. The nearshore is an integrated part of the coastal zone, as well as beaches and coastal dunes. The understanding of the dynamic of each of these components is essential required to understand the evolutions of the complete sedimentary system. Yet, nearshores remain poorly studied compared to the emerged part of the system, because of the limited access for scientific monitoring. However, these processes are expected to be better understood to improve the coastal management and the marine sand extraction especially in a contemporary context of coastal sedimentary deficit (e.g., Bird, 1985; Eurosion database, 2004; Suanez, 2009; Ministère de l'écologie, de l'énergie, du Développement durable et de la mer, 2010).

The bathymetric data are the only source of available information about submarine morphology over the long term (the last two centuries). However, their utilization requires a strict methodology that avoids data

misinterpretation. The method that is developed here to compare ancient and recent bathymetric data thus takes into account the differences in data accuracy, resolution, and coverage due to technological evolutions between the beginning of the nineteenth century and nowadays.

The studied site is located in the south-western part of Brittany (France) off the coast of Combrit and l'Île-Tudy. This part of the coastline has been already studied by many authors (Guilcher, 1948; Bodéré *et al.*, 1992; Hénaff, 1998; Hallégouët et Hénaff, 2006; Bouffort *et al.*, 2011). The nearshore is large and shallow with a slope of 0.25%. The 3 meter isobath is very close from the eastern part of the shoreline (~300 m), and farther from the west side (~2000 m). This suggests that there is a significant sediment accumulation in this part of the nearshore despite an erosive context of the beach.

The bathymetric data set covers a long period, between 1818 and 2012, for which we have four complete surveys on the study area. The French naval hydrographic and oceanographic service (SHOM) provided us all the bathymetric data from their Bathymetric Data Base (BDBS), counting three complete surveys: 1818, 1903 and 1971. Furthermore, we have led in 2012 the oceanographic cruise FISSEL, aboard the N/O Haliotis (Génavir/Ifremer), to acquire a high resolution bathymetric data set over the same area. The first step in data processing consists in identifying the corrections required such as the contemporary sea level rise and the transformation in a common geodesic system. The second step consists in estimating the vertical and horizontal errors for each survey by taking into account the specificity of each method of acquisition used. The third step is the elaboration of the Digital Elevation Models (DEM) that is done with the Surfer® software. Based on these successive DEM it is possible to realize several operations such as cross-shore profiles and sand volume calculations.

Comparisons of DEM highlight sedimentary dynamic that results from erosion and accretion periods. Three tendencies appear: between 1818 and 1903 the nearshore had been considerably eroded; between 1903 and 1971 the situation reversed and the floor had globally raised; the recent period 1971-2012 is submitted to erosion. Those results reveal that the nearshore morphology is affected by direct and indirect factors. Regarding the origins of such variability, several hypotheses can be formulated that imply natural factors such as the wave climate modification, extreme meteorological events and also anthropogenic factors such as the creation of the polder of Combrit at the middle of the nineteenth century and more recent sand extraction in the nearshore.

Table des illustrations

Titre Fig. 1 – Localisation du secteur d'étude. *Fig. 1 – Location map of the study area.*



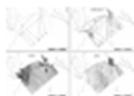
Légende 1 : Falaise morte ; 2 : Accumulations littorales de galets pléistocènes ; 3 : Cordon littoral sableux actuel ; 4 : Ancienne lagune de Kernmor. *1: Abandoned cliff; 2: Pleistocene shingles accumulation; 3: Actual longshore bar; 4: old coastal lagoon of Kernmor.*

Crédits Sources : IGN, SHOM.

URL <http://journals.openedition.org/geomorphologie/docannexe/image/10849/img-1.png>

Fichier image/png, 949k

Titre Fig. 2 – Plans de sonde des levés bathymétriques. *Fig. 2 – Maps of the bathymetric surveys.*

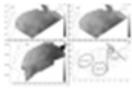


Légende A – Profils longitudinaux et transversaux. B – 1818/1819. 1 : Points de sonde ; 2 : Trait de côte en 1848 ; 3 : Trait de côte Histolitt. C – 1903. 1 : Points de sonde ; 2 : Trait de côte en 1903 ; 3 : Trait de côte Histolitt. D – 1971. 1 : Points de sonde ; 2 : Trait de côte en 1967 ; 3 : Trait de côte Histolitt. *A – Longitudinal and tranverse profile. B – 1818/1819. 1: spot sounding; 2: 1848 shoreline; 3: Histolitt shoreline. C – 1903. 1: spot sounding; 2: 1903 shoreline; 3: Histolitt shoreline. D – 1971. 1: spot sounding; 2: 1967 shoreline; 3: Histolitt shoreline.*

URL <http://journals.openedition.org/geomorphologie/docannexe/image/10849/img-2.png>

Fichier image/png, 4,6M

Titre Fig. 3 – Modèle Numérique de Terrain (MNT). *Fig. 3 –Digital Elevation Model (DEM).*

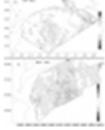


Légende A-C : MNT de 1903, 1971 et 2012. D : schéma des principales figures morphologiques. *A-C: 1903, 1971 and 2012 DEM. D: diagram of the main geomorphological shapes.*

URL <http://journals.openedition.org/geomorphologie/docannexe/image/10849/img-3.png>

Fichier image/png, 1,3M

Titre Fig. 4 – Modèles Numériques de Terrain (MNT) différentiels entre 1903 et 1971 et entre 1971 et 2012. *Fig. 4 – Digital Elevation Model (DEM) comparison between 1903 and 1971 and between 1971 and 2012.*



URL <http://journals.openedition.org/geomorphologie/docannexe/image/10849/img-4.png>

Fichier image/png, 1,8M

Titre Fig. 5 – Évolution des profils 1 à 8 entre 1818 et 1971. *Fig. 5 – Profiles evolution between 1818 and 1971.*



Légende Distance longshore (m) en abscisse et profondeur (m) en ordonnée. *Abscissa: longshore distance (m), ordinate: depth (m).*

URL <http://journals.openedition.org/geomorphologie/docannexe/image/10849/img-5.png>

Fichier image/png, 1011k