



HAL
open science

Tempêtes historiques détectées à la Belle-Henriette dans un environnement changeant

Pierre Pouzet

► **To cite this version:**

Pierre Pouzet. Tempêtes historiques détectées à la Belle-Henriette dans un environnement changeant. [Rapport de recherche] Observatoire Régional des Risques Côtiers (OR2C). 2021, pp.22. hal-03449904

HAL Id: hal-03449904

<https://hal.science/hal-03449904>

Submitted on 19 Jan 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.

Tempêtes historiques détectées à la Belle-Henriette dans un environnement changeant

*Pierre Pouzet
OR2C, mai 2021*

A. Site étudié

Le Marais poitevin est un espace très sensible et d'un grand intérêt écologique, disposant d'une biodiversité très riche, à l'image de nombreuses zones humides mondiales (Wolanski et al., 2009). Cet espace, seconde plus vaste zone humide de France, a pourtant profondément muté au cours des derniers siècles. Le Marais est un ancien golfe où débouchaient les rivières dont la Sèvre niortaise et l'actuel Lay, anciennement appelé Saint Benoist (Pouzet et al., 2021). Sur la bordure occidentale de ce marais le long de l'océan Atlantique, la lagune de la Belle-Henriette est une lagune récente de quatre kilomètres de long couvrant près de 200 hectares dans un environnement très dynamique (Figure 1).

Nous avons choisi de carotter précisément l'anse des Rouillères, car c'est la partie la plus ancienne de la lagune selon les cartographies historiques, et donc le site le plus pertinent pour discuter de son évolution paléoenvironnementale. Cette anse est composée d'une vasière colonisée par une végétation de schorre située entre 0 et 2 m NGF selon le Litto3D de 2011 de l'IGN (Institut national de l'information géographique et forestière) et du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine). La lagune est bordée de part et d'autre de deux cordons dunaires culminant à près de 10 m NGF, l'isolant de l'océan situé à son sud-ouest et des marais anthropisés et de l'estuaire du Lay à son nord-est (Figure 1). Sur la côte atlantique, l'élévation du niveau de la mer a été ralentie depuis que la dernière transgression marine a pris fin près de 7500 BP. Dans cette région, un point d'inflexion notable est observé dans les courbes du niveau de la mer entre 7000 et 6000 BP (2,6 mm/an d'augmentation du niveau de la mer avant et 0,8 mm/an après), ce qui témoigne d'une stabilisation relative du littoral (Stéphan & Goslin, 2014). Si ce secteur a profondément muté au cours des siècles (Pouzet et al., 2021), cette étude montre que malgré ces profonds changements géomorphologiques, la méthode proposée par l'OR2C pour détecter des tempêtes historiques reste efficace.

B. Méthodologie

B.1. Prélèvements sédimentologiques

Cinq carottes de sédiments ont été prélevées durant deux campagnes de carottages sédimentologiques réalisées en octobre 2018 et 2019, suivant un transect allant du sud vers le nord (Figure 1). Deux méthodes différentes ont été employées selon le type d'environnement analysé dans l'anse des Rouillères (Pouzet & Maanan, 2020b). La première

campagne datant d'octobre 2018 a permis le prélèvement de deux carottes BH-A et BH-B sur le cordon dunaire protecteur séparant la lagune de l'océan. Un carottier motorisé à percussion « vibracore » Eijkelkamp © a été utilisé pour pouvoir faire pénétrer la carotte dans des sols compacts (Pouzet & Maanan, 2020a). La carotte BH-A a une longueur de 170 cm et la carotte BH-B de 100 cm. La seconde campagne réalisée en octobre 2019 a permis le prélèvement de trois carottes extraites au cœur de la lagune (BH-C, BH-D et BH-E), à l'aide d'un carottier gravitaire « Beeker » Eijkelkamp ©, efficace pour échantillonner dans un sol argileux ou limoneux humide (Pouzet et al., 2019).

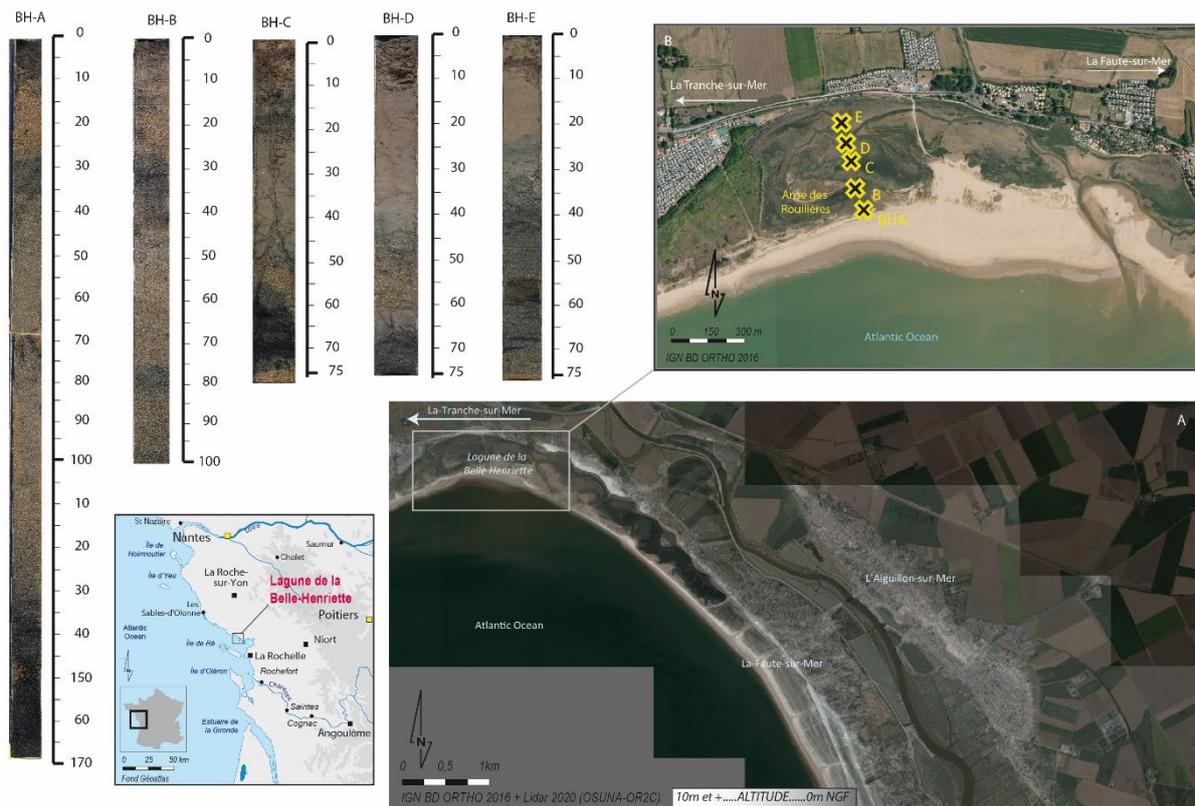


Figure 1 Présentation des sites carottés

B.2. Analyses en laboratoire

Les carottes ont été ouvertes longitudinalement et une photographie a été prise dès ouverture pour préserver les couleurs des sédiments. Un log stratigraphique a ensuite été construit pour décrire les différents faciès observés. Les sédiments sont caractérisés par une analyse visuelle lithostratigraphique, pour identifier les changements majeurs de faciès dans la structure sédimentaire. Des prélèvements ont été réalisés tous les centimètres dans les cinq carottes pour pouvoir étudier finement la granulométrie de l'ensemble des faciès au Malvern Mastersizer Hydro 2000G ©. Les sédiments calcinés sont au préalable placés dans une solution comprenant de l'eau distillée et de l'héxamétaphosphate de sodium ($\text{Na}_6\text{O}_{18}\text{P}_6$) à 5%, pendant 48h (Gee & Or, 2002; Kilmer & Alexander, 1949). Elle permet à l'ensemble des grains de se disperser, notamment pour que les argiles ne soient plus

agrégées. Pour chacun des échantillons, le logiciel nous fournit une distribution selon cent classes de la taille de grains en pourcentage, allant de 0,02 à 2000 μm . La donnée est ensuite transférée dans le logiciel GRADISTAT V8 © qui permet de transformer la distribution granulométrique brute en une distribution ordonnée selon des classes de tailles de grains (argiles, limons, sables, éléments grossiers) (Blott & Pye, 2001). GRADISTAT calcule également de nombreux indicateurs statistiques selon plusieurs méthodes, nous avons retenu celle de Folk and Ward, étant la plus commune (Folk & Ward, 1957).

B.3. Datation

Les modèles d'âge des carottes BH-B, BH-C, BH-D et BH-E ont été établis à partir de la combinaison de deux radionucléides adaptés aux échelles de temps pluridécennales. D'une part, le ^{210}Pb ($t_{1/2}=22.2$ ans) est un radio-isotope naturel dont les apports atmosphériques s'incorporent rapidement dans le sédiment. Ce ^{210}Pb dit en excès décroît avec la profondeur dans les sédiments en fonction de sa période radioactive et de la vitesse de sédimentation. Les profils de ^{210}Pb dans les sédiments permettent ainsi d'estimer des taux de sédimentation et ainsi de dater les sédiments. Ces estimations peuvent être comparées avec celles dérivées du ^{137}Cs ($t_{1/2}=30$ ans), un radio-isotope artificiel qui a une fonction d'entrée pulsée : essais nucléaires atmosphériques (début 1950, maximum des retombées en 1963 pour l'hémisphère nord) et l'accident de Tchernobyl (1986).

La détermination des activités des radioéléments d'intérêt (^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{137}Cs) repose sur la mesure non destructive par spectrométrie gamma directe sur environ 2 g de sédiments secs. Le détecteur utilisé est un spectromètre gamma à bas bruit de fond de type Broad Energy (BeGETM, Mirion Technologies). La calibration du détecteur est effectuée au moyen de sédiments certifiés de l'IAEA (RGU, RGTh, IAEA-314). ^{210}Pb et ^{137}Cs sont directement déterminés à partir de leurs émissions γ à 46.5, 477.6 et 661.7 keV ; ^{226}Ra par la combinaison de trois raies sélectionnées de descendants radioactifs (295.2, 351.9 keV et 609.3 keV). Les activités sont exprimées en mBq g^{-1} ; le Plomb-210 en excès est calculé comme la différence des activités mesurées de ^{210}Pb et de ^{226}Ra . Les taux d'accumulation sédimentaires ont été calculés à partir des profils sédimentaires de ^{210}Pb avec la profondeur. L'âge de dépôt du sédiment a été obtenu en divisant la profondeur des couches sédimentaires par unité de surface par le SAR. L'année de dépôt de chaque couche de sédiments a ensuite été estimée en considérant que l'âge du sommet de la carotte correspondait à la date d'échantillonnage (2018 pour BH-A et BH-B et 2019 pour BH-C, BH-D et BH-E).

Enfin, pour estimer les âges des horizons les plus profonds où les activités du ^{210}Pb ne sont plus détectables, une coquille marine a été prélevée dans la carotte BH-C et a été datée au radiocarbone (^{14}C). Cette coquille permet la calibration des horizons sableux situés entre 50 et 80 cm de profondeur des trois carottes lagunaires BH-C, BH-D et BH-E, prélevées dans un environnement commun. L'élément extrait est une coquille de Coque commune

Cerastoderma edule identifiée au cm. 62 de la carotte BH-C, datée à 1810 \pm 30 ans par Spectrométrie de masse par accélérateur (AMS) (Zoppi, 2010).

B.4. Archives historiques

La reconstruction historique des tempêtes ayant affecté l'ouest de la France (Fig. 1, cercle gris) s'appuie également sur des sources primaires et secondaires anciennes issues d'archives historiques. Le premier aléa météo-marin relativement bien documenté par les sources écrites conservées étant celui de l'hiver 1351-1352 (n.st) AD (Sarrazin, 2012), cette reconstruction ne peut débuter qu'à partir de la seconde moitié du XIV^e siècle. Par ailleurs, dans le cadre de cette étude, la reconstruction à partir des sources historiques s'est arrêtée à la fin du XVIII^e siècle, soit avant l'essor et la généralisation du recours aux données instrumentales. Auparavant descriptives, les données tendent alors à devenir principalement quantitatives. Le travail de reconstruction historique des tempêtes et submersions marines dans l'ouest de la France du milieu du XIV^e à la fin du XVIII^e siècle a permis de confirmer la survenue de 128 événements à impacts (Athimon, 2021).

Ces 128 aléas ne représentent ni la réalité de l'activité tempétueuse sur le cadre spatio-temporel étudié ni la totalité des recensements effectués, ce pour plusieurs raisons :

1) les sources historiques enregistrent la survenue d'une tempête à la condition que, par son impact, cette dernière désorganise le prélèvement seigneurial, compromette les récoltes, entraîne des dépenses inattendues (réparations), rende susceptible l'obtention d'un dégrèvement fiscal, etc. (Sarrazin & Athimon, 2019). Lorsqu'elle ambitionne de reconstruire l'histoire des tempêtes et submersions marines sur un territoire, la recherche historique se consacre donc à récupérer des renseignements isolés dans des écrits n'ayant pas véritablement été produits et structurés à cet usage.

2) les lacunes documentaires majeures liées à des pertes et destructions d'archives (guerres de religion, Révolution française, Seconde Guerre Mondiale) ne permettent pas au chercheur de prétendre à l'exhaustivité.

3) des critères stricts comme la date (exclusion des événements non datés) ou encore la description des dommages (exclusion des événements avec mention de l'endommagement trop succincte) ont été appliqués en vue de reconstruire rigoureusement les événements (Athimon, 2021).

C. Résultats

C.1. Chronologies stratigraphiques

C.1.1. Datations des carottes BH-C, BH-D et BH-E prélevées au cœur de l'anse des Rouillères

Les trois carottes BH-C, BH-D et BH-E présentent un faciès superficiel limoneux d'environ x cm, ce qui a permis d'établir des profils détaillés du ²¹⁰Pb_{xs} et de ¹³⁷Cs. Des activités

significatives de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ont été mesurées jusqu'à 30 cm selon les sites, ce qui a permis de calculer des taux d'accumulation sédimentaire du même ordre de grandeur : 0,17 cm/an pour la carotte BH-C, 0,32 cm/an pour BH-D et 0,215 cm/an pour BH-E (Figure 2). Ceci a permis d'établir une datation pour les premiers décimètres de ces carottes, en assumant que l'âge du sommet des carottes est 2018, l'année de carottage. La datation basée sur le $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ est validée par les profils de ^{137}Cs . En effet l'application de l'échelle d'âge aux données de ^{137}Cs montre que cet élément présente le pic attendu à environ 1963, en lien avec le maximum des retombées des essais nucléaires, pour les trois carottes. Les activités de ^{137}Cs plus élevées dans la carotte BH-C permettent même d'identifier un pic secondaire à 1986, induit par l'accident nucléaire de Tchernobyl. Ce test basé sur ^{137}Cs permet de valider la datation des carottes BH-C, -D et -E.

La coquille marine extraite au cm. 62 de la carotte BH-C et datée par le ^{14}C à 1810 \pm 30 ans a été utilisée pour dater les horizons les plus profonds de ces trois carottes. Ceci conduit à un taux de sédimentation moyen de 0,45 cm/an entre la base des couches datées au moyen du $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ et le niveau où la coquille a été extraite dans la carotte BH-C. Ce taux de sédimentation est supérieur à celui du faciès superficiel, dû à la forte proportion de sables présents. Comme les trois carottes sont localisées dans le même environnement et présentent des taux de sédimentations comparables pour les horizons superficiels, nous avons utilisé ce taux de sédimentation moyen pour extrapoler la datation des horizons les plus profonds des carottes BH-D et BH-E (Figure 2).

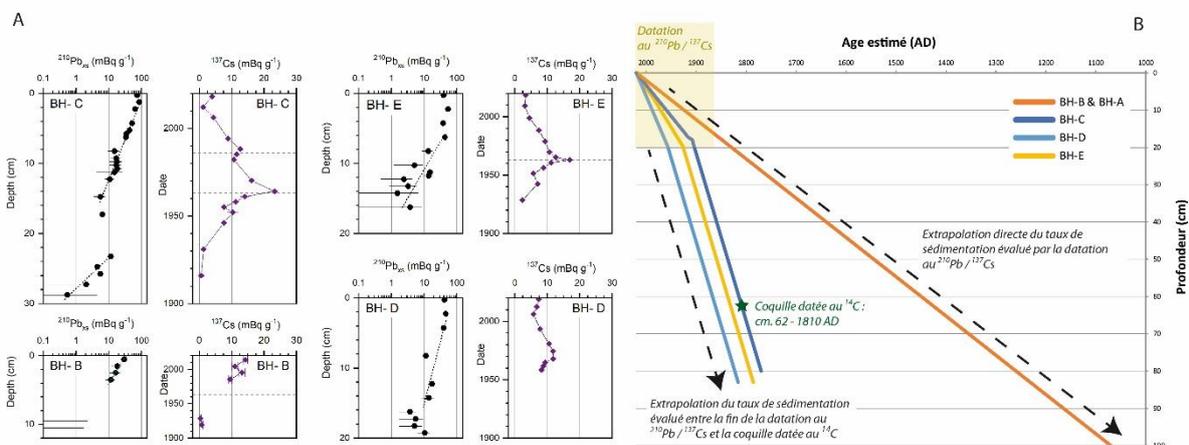


Figure 2 Résultats détaillés des datations isotopiques

C.1.2. Datations des carottes BH-A et BH-B prélevées sur la flèche sableuse D

Les deux carottes BH-A et BH-B prélevées sur la flèche sableuse sont principalement composées de sables surmontés par une couche d'environ 10 cm d'épaisseur d'une argile limoneuse (Figure 1). L'horizon superficiel limoneux de la carotte BH-B a été sélectionné pour dater ces deux carottes, car il est le plus épais. Les activités de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ sont assez faibles et diminuent rapidement avec la profondeur pour atteindre des niveaux négligeables vers 8-10 cm, indiquant une vitesse de sédimentation inférieure (0,11 cm/an) à celles

déterminées sur les carottes prélevées au cœur de l'anse des Rouillères. En l'absence de coquilles qui auraient pu permettre de réaliser des datations complémentaires, ce taux de sédimentation moyen a été utilisé pour extrapoler les âges de carottes BH-A et BH-D (Figure 2), car leur log est homogène et comparable (Figures 6, 7). Il est à souligner que la datation des niveaux profonds de ces deux carottes est moins précise que dans le cas des carottes BH-C, BH-D et BH-E.

C.2. Caractéristiques sédimentologiques des carottes prélevées

C.2.1. Carottes BH-C, BH-D et BH-E

Les trois carottes BH-C, BH-D et BH-E prélevées en 2019 au cœur de l'anse des Rouillères sur une slikke (Figure 1) ont une structure lithostratigraphique similaire (Figures 3, 4, 5). Un premier horizon A commun à l'ensemble des trois logs est identifié sur la structure superficielle comprenant les 16 premiers centimètres des trois carottes. Ce niveau limoneux et riche en matière organique, correspondant à la surface actuelle du substrat de l'anse des Rouillères, présente un grain moyen d'environ 40 μ m hétérogène (indice de tri de 5 à 6). Ce premier ensemble est interrompu par plusieurs niveaux de silts grossiers aux centimètres 4 (BH-C, daté à environ 1999), 6-7 (BH-D daté à environ 1999 et BH-E à environ 1970) et 11 (BH-C daté à environ 1940). Plusieurs événements extrêmes sont survenus à ces dates dans l'ouest de la France (Pouzet et al., 2019). Un second horizon B est ensuite identifié seulement dans le log de la carotte BH-E, composé de sables moyens homogènes d'environ 400 μ m (taux de sables atteignant 90%) entre les centimètres 16 (daté à 1916) et 22 (daté à 1908).

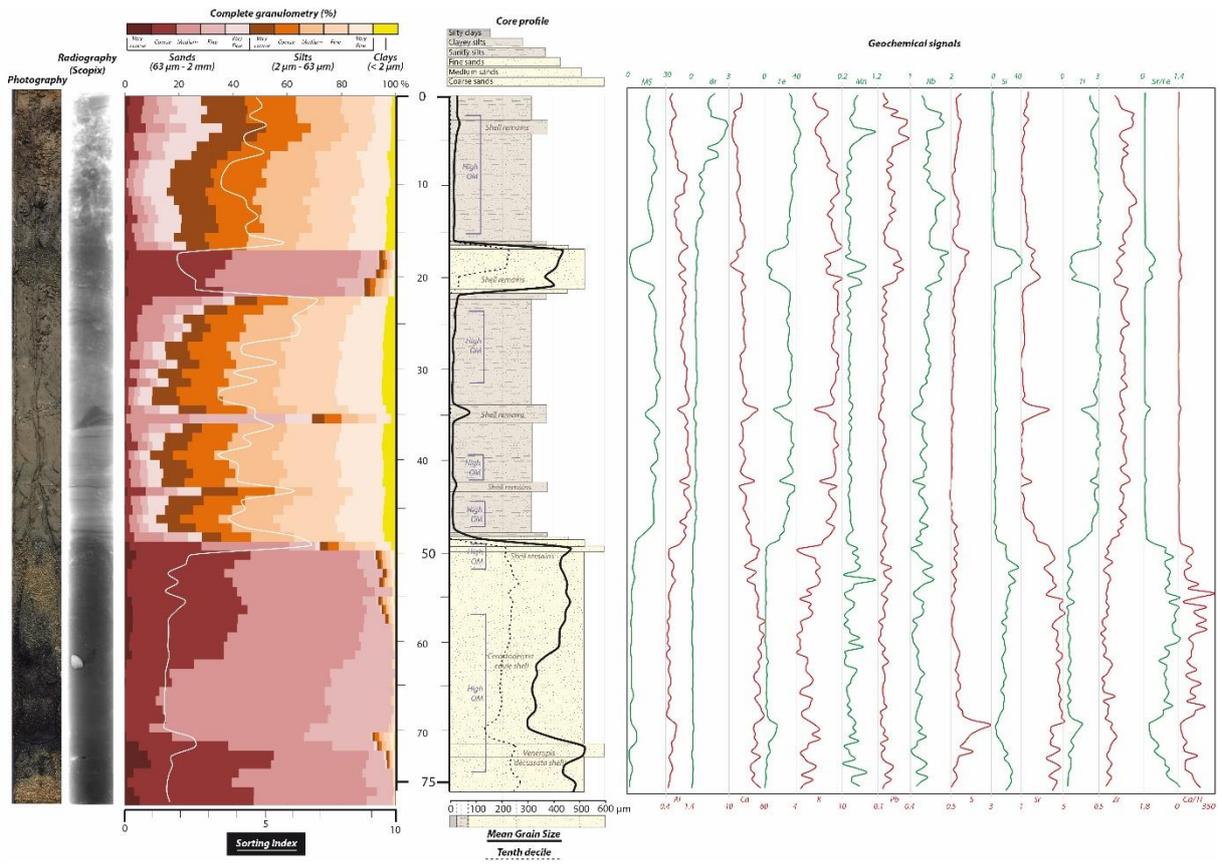


Figure 3 Log de la carotte BHC

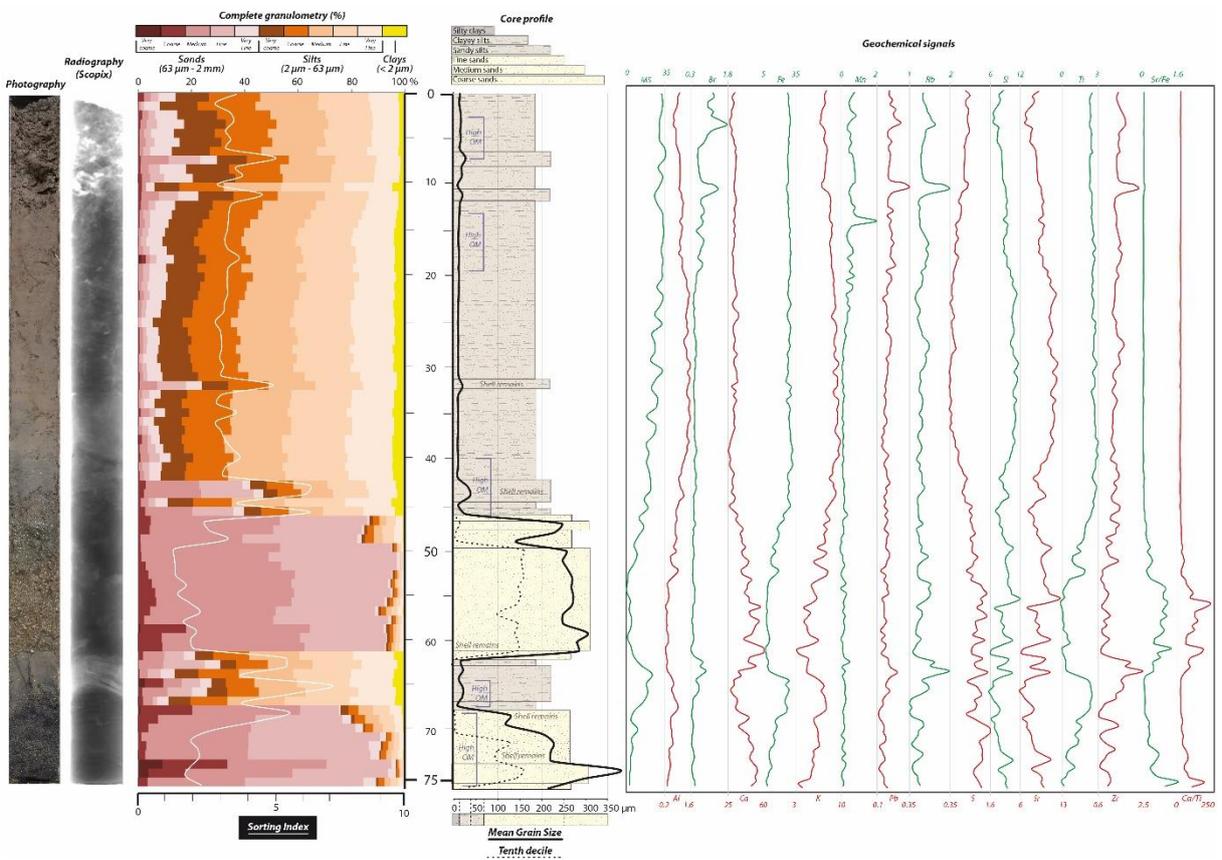


Figure 4 Log de la carotte BHD

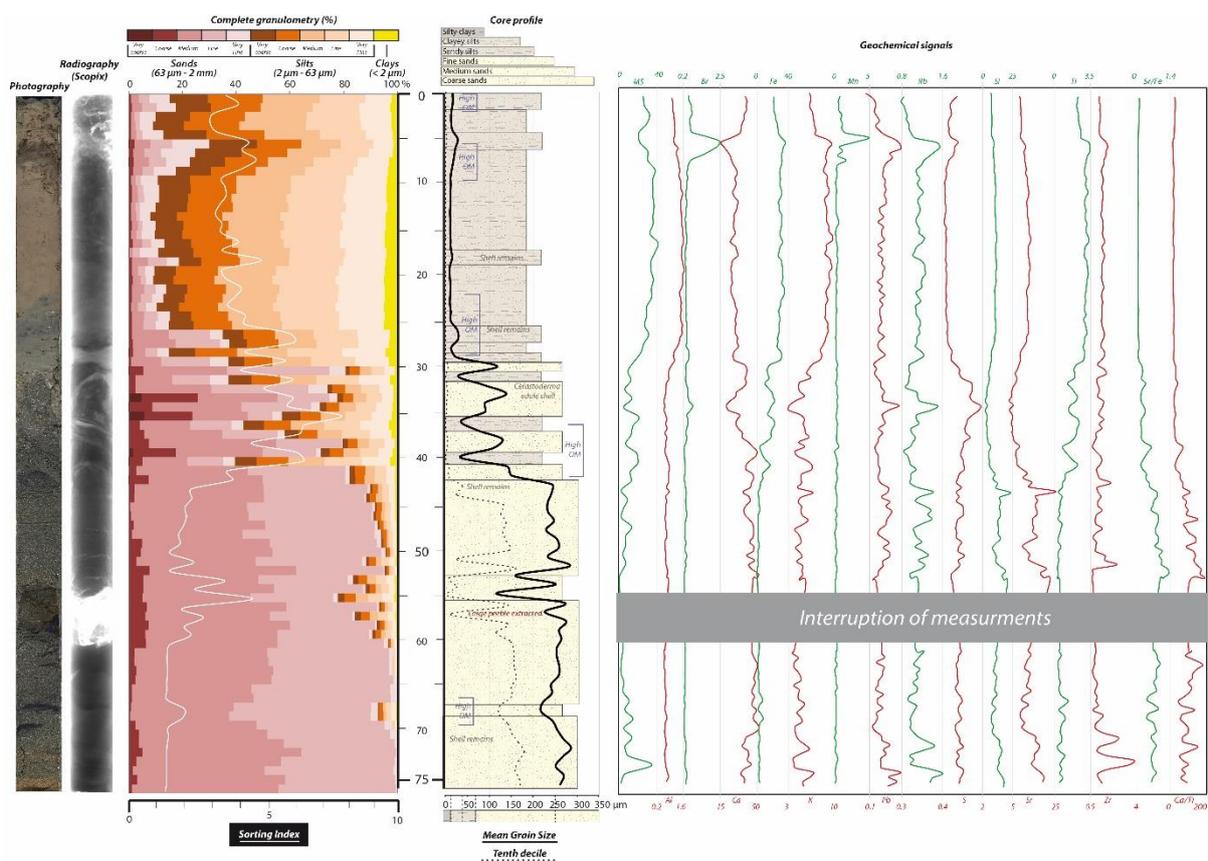


Figure 5 Log de la carotte BHE

Les trois logs stratigraphiques présentent ensuite des paramètres comparables entre les centimètres 22 (daté à environ 1896) et 44 pour BH-E, 46 pour BH-D, et 48 pour BH-C (datés entre 1820 et 1840). Bien que la composition globale du faciès C peut sembler similaire au faciès A, nous relevons une présence bien plus importante d'argiles atteignant les 10% dans l'horizon C, tandis qu'elle reste assez constante et inférieure à 5% dans le niveau superficiel A. Un premier sous-ensemble C1 témoigne de conditions morphogéniques calmes, avec un sédiment limoneux pauvre en sables, transitant ensuite vers un environnement plus dynamique C2, alternant entre limons fins, limons grossiers et sables fins. Nous notons ici une double progression, tout d'abord dans la dynamique de la couche C2, avec une hétérogénéité bien plus marquée dans le log de la carotte BH-E. Par ailleurs, nous relevons également une évolution entre les trois carottes sur l'épaisseur de ce niveau C2, plus fin dans le log de la carotte BH-E. En s'écartant du cœur de la lagune, on note une plus grande hétérogénéité et une diminution de l'épaisseur de ce niveau, transitant ensuite plus rapidement vers le faciès sableux D, estimé autour de 1820.

Enfin, le dernier faciès D témoigne d'un horizon profond sableux entre les centimètres 44-48 (datés à 1920-1840) et la base des carottes au centimètre 76 daté à 1780-1800. Les sables dominent très largement avec plus de 90% de la composition du sédiment généralement bien trié, excepté pour les deux occurrences ponctuelles de sédiments plus fins (silts ou

sables fins) observées aux centimètres. 62-68 de la carotte BH-D et 54-56 de la carotte BH-E. Une distinction peut être faite dans la composition sableuse entre ces trois logs, avec une proportion de sables grossiers et très grossiers plus importante au sein de la carotte BH-C, pouvant atteindre 50% de la composition sédimentaire totale.

C.2.2. Carottes BH-A et BH-B

Les deux carottes BH-A et BH-B prélevées en 2018 sur la flèche sableuse (Figure 1) présentent des logs comparables (Figures 6, 7). À l'instar des logs exposant la structure des trois carottes prélevées dans la slikke, un premier niveau A témoigne des caractéristiques sédimentologiques du sédiment de surface. L'horizon A superficiel est composé d'une couche dominée par des limons grossiers (avec un grain moyen allant de 40 à 60 μm) jusqu'aux centimètres 10 – 12 (datés à 1900 - 1920). Ce faciès est semblable au niveau A de BH-C, BH-D et BH-E, mais est peu épais. Ce premier horizon est interrompu par un niveau de sables moyens (env. 350 μm) entre les centimètres 5 et 7 (daté vers 1940). Cette occurrence sableuse peut-être expliquée par un événement extrême ponctuel déjà observé dans la région (Pouzet et al., 2019). En excluant cette occurrence marine ponctuelle, le premier faciès A, dominé par les limons est composé de sédiments hétérogènes (indice de tri d'environ 5) et riches en matière organique, car le site de prélèvement humide et composé de silts accueille une végétation de schorre submergée aux marées de vives eaux.

À partir des centimètres 10 - 12 et jusqu'aux niveaux les plus profonds, les sables fins à grossiers dominent largement dans un ensemble sédimentologique beaucoup plus homogène (indice de tri autour de 1). La composition sableuse atteint des proportions supérieures à 90% sur la majeure partie de cet horizon. Au sein de cet ensemble, une sous-distinction peut être faite entre un premier faciès B, composé de sables passant progressivement d'un grain fin à moyen jusqu'aux centimètres 20-25 (daté 1800-1820), avec quelques variations nettes dans l'indice de tri et de grain moyen (cm. 18 de BH-A, 14 à 22 de BH-B). Ce faciès présente une structure comparable au sédiment du faciès B détecté de la carotte BH-C. Nous relevons ensuite un second faciès sableux D1 composé de sables moyens atteignant 400 μm jusqu'au centimètre 135 (évalué avec de fortes incertitudes aux horizons 750 AD), et un troisième niveau D2 avec des éléments plus grossiers (atteignant jusqu'à 600 μm), mais également plus riches en matière organique, et marqués par une très brève rupture avec un horizon fin de limons (cm. 147) jusqu'au fond de la carotte BH-A. Les proportions de sables « très grossiers » et « grossiers » atteignent respectivement des valeurs plus importantes dans le faciès D2 entre 135 et 170 cm (10 et 50% respectivement) que dans les horizons D1 entre 25 et 135 cm (moins de 5% et 30% respectivement) et B entre 12 et 25 cm (grains très grossiers quasi nuls et grossiers autour de 30%). Les caractéristiques sédimentologiques de l'horizon D1 sont comparables à celles du niveau D des trois carottes BH-C, BH-D et BH-E. Elles se rapprochent particulièrement du faciès D de la carotte BH-C, composée de sables plus grossiers que les faciès D des carottes BH-D et BH-

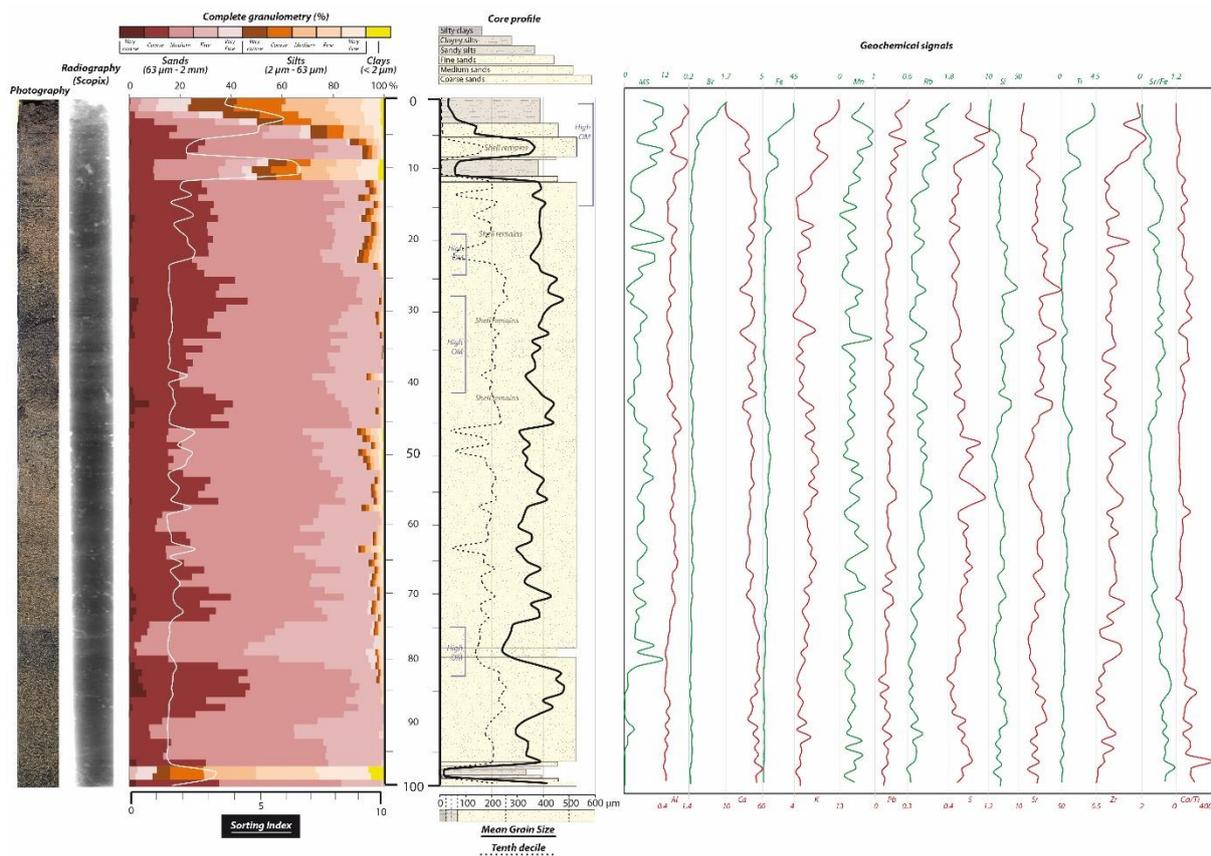


Figure 7 Log de la carotte BHB

C.3. Détection de tempêtes anciennes par croisement d'indices sédimentologiques

Les indices granulométriques (grain moyen, indice de tri, taux de sables) et géochimiques (Ca, S, Si, Sr, Sr/Fe et Ca/Ti) principaux ont été retenus pour extraire les niveaux marins allochtones à la lagune (Figure 8). Les pics concomitants des indices granulométriques et géochimiques témoignent d'une impulsion marine notable. À travers cette analyse, les carottes BH-A et BH-B étant sur des temporalités longues permettent de retrouver les traces des tempêtes de 1940 (daté 1940), 1859 (daté 1853), 1751 (daté 1758), 1711 (daté 1701), 1645 (daté 1620), 1469 (daté 1400-1473) et 1351 (daté 1350) AD. Cinq impacts plus anciens sont également questionnés, mais les archives historiques ne nous permettent pas de les lier directement avec des tempêtes anciennes, datées 1090, 1036, 941, 809 et 581 AD.

Au sein des trois carottes prélevées au cœur de la lagune, la temporalité est bien plus courte et se limite au XVIII^e siècle, ce qui permet notamment d'identifier la tempête de 1859 (daté 1850 et 1867). La résolution plus fine de ces trois prélèvements nous permet également d'extraire les évènements plus récents de 1990 (daté 1988, 1995 et 1985), 1896 (daté 1899, 1902 et 1880-1910), 1876 (daté 1876, 1878 et 1872), 1838 (daté 1832, 1836 et 1838), 1820 (daté 1823, et 1827) et 1811 (daté 1810 et 1816).

Estimated date with isotope dating
Hypothesis date of corresponding storm crossing a high tide (assessed by the SHOM)

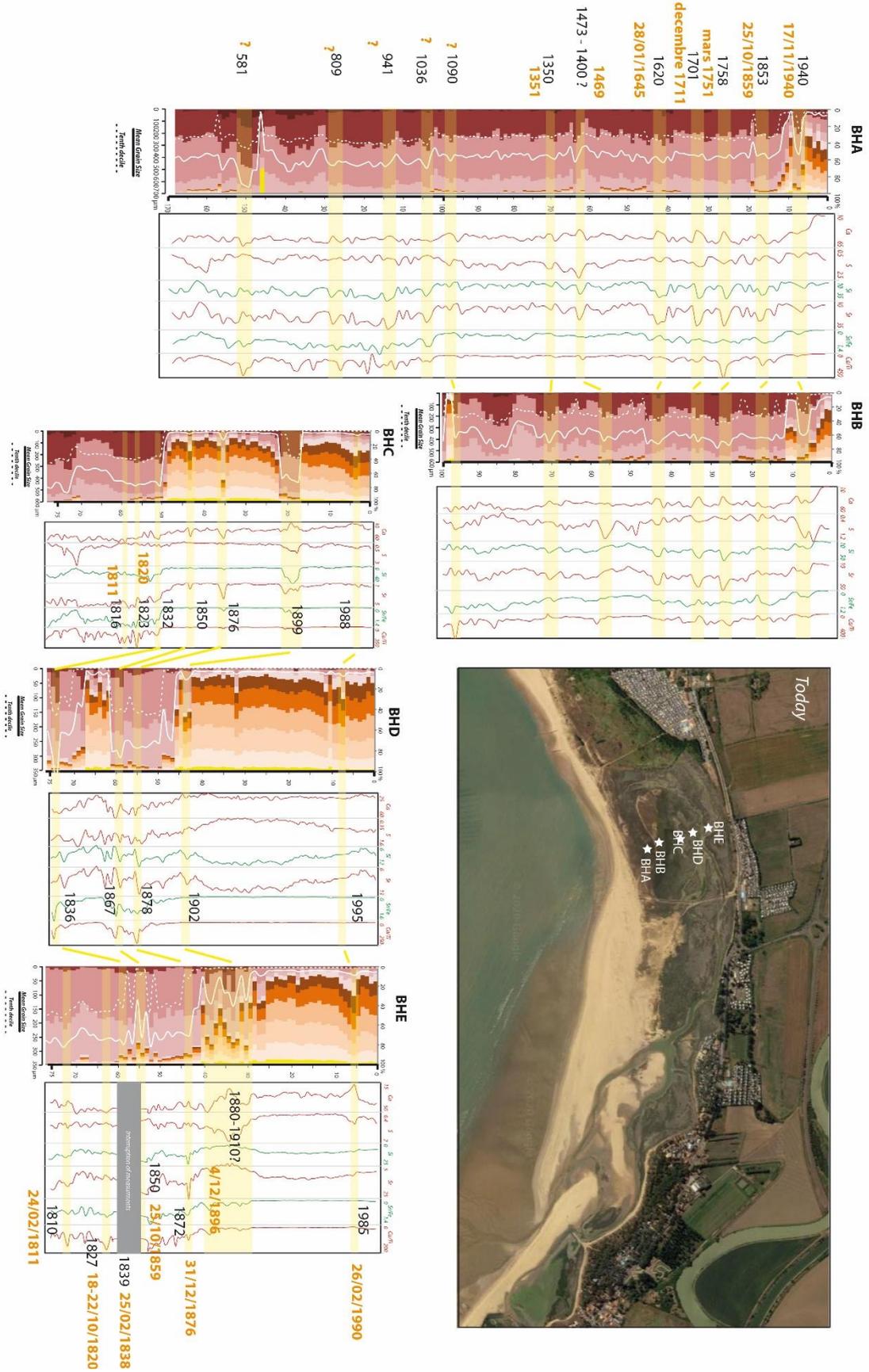


Figure 8 Détection de niveaux marins (datations isotopiques indiquées en noir) et hypothèses d'évènements extrêmes liés (hypothèses des liens entre niveaux marins et dates issues d'archives historiques en orange)

D. Discussion

D.1. Impacts socio-économiques des évènements détectés dans les archives sédimentologiques

- 26-28/02/1990¹ :

Grâce aux archives historiques, nous apprenons que trois tempêtes différentes ont frappé la zone d'étude en 1990, et ont causé de nombreux dégâts. L'une d'entre elles a croisé un fort coefficient marégraphique de 104 au port du Pouliguen (SHOM) durant l'évènement du 26/28 février 1990. Ce port est situé à deux kilomètres au sud des Traicts du Croisic. Ces trois tempêtes successives très médiatisées ont causé plus de cent décès en France, avec des vents atteignant 176 km/h dans l'ouest. De nombreux rapports de maisons inondées et de digues rompues ont également été relevés. Les dégâts venteux sont considérables : Chutes d'arbres, de pylônes, de murs, de grues, de panneaux publicitaires, clochers d'église effondrés, toitures arrachées, voitures écrasées, et nombreux accidents de la circulation. Sources : voir l'article de Marine Geology.

- 16-17/11/1940² :

Les données historiques exposent également la puissance d'une tempête recensée dans les sédiments en 1940 AD. Cet évènement a induit des impacts venteux considérables : arbres arrachés, clochers et digues détruites, dégâts importants sur les bateaux et toitures. De nombreuses submersions marines ont été identifiées. La tempête de 1940 AD a également causé le décès de 30 personnes durant un coefficient de près de 85 selon le SHOM. Sources : voir l'article de Marine Geology.

- 04/12/1896³ :

La dernière marque importante a été datée autour de 1895-1900 AD. Cet évènement a notamment apporté le caillou de six centimètres de diamètre identifié (Pouzet et al., 2019). La précision de la datation de cette couche est fine. La couche vaseuse située sous la couche de caillou, à la base de la carotte LB1, a aussi été datée. Elle permet une estimation précise de la rupture brutale entre le haut de cette couche vaseuse et la base du faciès de sédiments grossiers vers 1895 AD. La reprise de la datation à la base de la première couche vaseuse située au-dessus des cailloux est estimée à 1915 AD. Nous pouvons émettre l'hypothèse que la stabilisation de l'environnement après cet évènement intense, a duré une vingtaine d'années. Cet évènement a probablement créé une brèche au sein du cordon dunaire protecteur. À partir de cette date, les archives historiques nous informent qu'une tempête

¹ Paragraphe suivant issu de l'article Pouzet et al. (2019)

² Paragraphe suivant issu de l'article Pouzet et al. (2019)

³ Paragraphe suivant issu de l'article Pouzet et al. (2019)

intense a traversé tout le pays le 4 décembre 1876 AD. De nombreuses brèches ont été recensées le long du littoral atlantique. Ces détails confirment l'hypothèse d'une brèche identifiée sur le cordon dunaire de la PMG. Un tsunami aurait pu aussi émettre ce type d'impact en amenant des éléments très grossiers. Cependant, la région est rarement touchée par ce type d'évènement (A. G. Dawson et al., 2004; Karnik, 1971). Par ailleurs, cette date ne correspond pas à un relevé de tsunami dans les archives. L'hypothèse tempétueuse est la plus probable. Cet évènement a causé 33 morts en France durant de nombreuses inondations générées par la tempête⁸¹. Elle a été combinée avec un fort coefficient marégraphique d'environ 95 selon le SHOM. Nous émettons l'hypothèse que cet évènement important de 1876 AD a touché une large partie de la côte atlantique française, car les cinq carottes des TDC sont également impactées. Les marques trouvées dans les carottes de la PMG semblent être liées à celles des TDC. L'évènement de 1876 AD est le seul ayant produit une marque tempétueuse observable dans l'ensemble des neuf carottes échantillonnées dans cette étude. Enfin, le contact avec le faciès vaseux subjacent a été estimé vers 1915 AD.

Nous estimons donc la résilience du système lagunaire de la PMG pour un évènement de cette ampleur à près de vingt ans. Cette hypothèse de résilience se base sur une seule chronologie de datation. Elle est à prendre avec beaucoup de précautions. Elle nécessite d'autres chronologies pour pouvoir être confirmée. Sources : voir l'article de Marine Geology.

- 31/12/1876⁴ :

Tempête survenue le 31/12/1876 entre 3 à 4h du matin durant une « marée de syzygie » avec des impacts recensés en Loire-Atlantique et Bretagne (Croisic, Guérande, Batz, Piriac, Le Pouliguen, Escoublac) dont une "Brèche de 2km sur digue, 6km de talus à reconstruire, marais submergés, intervention de l'état (réparations aux frais de l'état) et 25 km de digues pour le Croisic pulvérisées, les chaussées intérieures abimées, misère de la population et santé publique compromise (eau stagnante)" ainsi qu'une "disparition du sel récolté, perte estimée à 1/2 ou 1/4 des récoltes, montant des réparations à 380 000 F pour les marais salants de Guérande, Mesquer, Pouliguen. Par ailleurs, le 11/01/1877 on estime que les dommages causés par la tempête au Croisic et à Guérande dépassent les 3 millions". Nous pouvons noter une réaction des populations avec une sollicitation d'aides pour reconstruire, on en parle encore jusqu'en 1880 et dans l'Union Bretonne du 11/01/1877. Sources : ADLA 575 S 1 ; ADLA 7 S 181 ; ADLA, L'union Bretonne du 11/01/1877 (numérisé) "demande d'aide suite à la tempête journalistique bibliographique" ; Buron G. "Homme du sel".

- 25/10/1859⁵

⁴ *Paragraphe suivant issu des travaux d'E. Athimon, plus d'informations dans l'ouvrage Athimon (2021)*

Tempête survenue le 25/10/1859 durant 2 jours avec un coefficient estimé de 100 et des vents de plus de 118 km/h, les secteurs touchés sont les départements côtiers de l'Océan Atlantique et ceux de la Manche, près de 800 morts sont estimés notamment par 133 navires coulés et 90 endommagés. Des champs et marais salants sont envahis par les flots (perte équivalente à 6 années de travail). Sources : "<http://tempetes.meteofrance.fr/Tempete-du-25-octobre-1859.html> ; ADLA, 7 S 184" ; archives météorologiques (météofrance) et bibliographique : Buron G. "Hommes du sel".

- 24/02/1838⁶ :

Tempête survenue le 24/02/1838 appelée « vimer » en Charente-Maritime, beaucoup de pluies pendant les jours précédents en Loire-Atlantique entraînant une crue de la Loire. Sites touchés : Ars, île de Ré, Loire-Atlantique. Des dégâts considérables : dégâts sur la dune de ""L'Aile du Peu"" (disparue un siècle plus tard), 992 F sont accordés au total par le ministre de l'Intérieur". Sources : "Journal de la Charente Inférieure, 01/03/1838 - 04/04/1838 ; Archives municipales de Nantes, 7PRES15 du 25/02/1838" "bibliographique ;journalistiques" "Cahiers de la mémoire, revue d'art & tradition populaires d'archéologie et d'histoire", n°75 - été 2000, Pierre Tardy.

- 18/10/1820⁷ :

Tempête survenue le 18/10/1820 d'une durée estimée de 3 jours avec vents violents, touchant les régions Bretagne, Charente-Maritime, Vendée, Loire-Atlantique. Impacts : plusieurs morts par noyade (4 morts pour un bateau), plusieurs bateaux détruits et accidents en mer. Sources : Archives municipales de Nantes, 20PRES15, 28/10/1820 "journalistique bibliographiques" ; "Brunet (1994) ""Saint-Malo de L'isle, Au pays d'Alet ou Clos-Poulet""", Duvauferrier-Chapelle Clotilde-Y, éd. Association La Clairmirouère du Temps, Blois, 1982, p65-66 ""La tempête Xynthia face à l'histoire""", E.Garnier et F.Surville, p159, source : archives municipales Les portes".

- 24/02/1811⁸ :

Tempête survenue le 24/02/1811 en fin d'après-midi avec une submersion de plus de 12h durant de grandes marées. Espaces touchés : Côtes de Loire-Atlantique, Vendée, Bretagne méridionale. Impacts : 2 morts, Brèches dans les digues au Croisic et à Bouin, "la moitié de l'île submergée à Bouin, perte de sel et salines submergées pendant plus de 12h, perte

⁵ Paragraphe suivant issu des travaux d'E. Athimon, plus d'informations dans l'ouvrage Athimon (2021)

⁶ Paragraphe suivant issu des travaux d'E. Athimon, plus d'informations dans l'ouvrage Athimon (2021)

⁷ Paragraphe suivant issu des travaux d'E. Athimon, plus d'informations dans l'ouvrage Athimon (2021)

⁸ Paragraphe suivant issu des travaux d'E. Athimon, plus d'informations dans l'ouvrage Athimon (2021)

d'environ 1/3 de la production de sel (environ 400 muids). Dégâts dans les marais, pertes à Bouin estimées à 200 000 F". Sources : Archives municipales de Nantes, 55PRES21, 03/03/1811 "journalistique bibliographiques" "De Pelet (1839) ""Cahiers de la mémoire, revue d'art & tradition populaires d'archéologie et d'histoire"", n°75 - été 2000, Pierre Tardy".

- 17/03/1751⁹ :

À La Bruffière, un registre paroissial local, rédigé entre 1751 et 1760, présente les dommages comme suit : « Un ouragan a arraché plus de la moitié de l'église, (...), détruit la nef de l'église, (...) détruit une grande partie des maisons, arraché et déraciné des chênes plus forts et plus grands (...). Enfin, les dommages causés par cette tempête dans cette paroisse et dans les environs sont presque incroyables. » Des inondations marines ont été signalées sur l'ancienne île de Bouin et sur Les Sables-d'Olonne. Des impacts de vent ont été enregistrés à Nantes et à Thouars et selon les registres de la famille Francheteau, Legé a été sévèrement impacté. Une ancienne source écrite explique que « (...) environ une heure après minuit, une tempête a commencé, ou un ouragan, qui s'est poursuivi pendant quelques heures avec une telle violence que nous ne savions pas où aller, ni où aller en sécurité ». Les églises ou abbayes de Seully, Rennes, Le Mans, Poitiers et Angers ont été partiellement détruites. Près de Tours, l'église Sainte-Croix de Montrichard a été endommagée (La Nouvelle République, août 2016). À La Plouzeze, les dégâts étaient si impressionnants que les gens pensaient que cet évènement se produisait en même temps qu'un tremblement de terre. Enfin, cette tempête a également eu des répercussions importantes au large des côtes. Le 17 mars 1751 AD, à la demande des consulats, l'Amirauté de Nantes a émis un ordre ordonnant à tous les propriétaires de bateaux de décharger leur cargaison dans les 24 heures afin de quitter le plus rapidement possible à Paimboeuf. Leur mission était de récupérer les marchandises et d'aider les navires échoués par la tempête. Selon cette source, l'Amirauté voulait réduire les dégâts de cet évènement sur le commerce. Le registre paroissial de Nantes rapporte que seulement trois des 60 navires sont restés indemnes et que de nombreuses personnes ont été blessées ou sont mortes. Les nombreux impacts enregistrés soulignent généralement la direction est de cet évènement. Sources : voir l'article de Scientific Reports.

- 09/12/1711¹⁰ :

Une forte onde de tempête a été observée à La-Faute-sur-Mer. Les archives historiques ont signalé des dommages importants, comme la destruction des digues et plusieurs inondations dans les marais salés. Le coût total est estimé à 1,19 million d'euros en monnaie courante, principalement parce que la réparation des digues a pris beaucoup de temps. L'île Ré a été sérieusement inondée. Après la tempête, des outils de production de sel ont été découverts près du parvis de l'église des Portes en Ré. Selon les registres paroissiaux locaux, cette

⁹ *Paragraphe suivant issu de l'article Pouzet & Maanan (2020a)*

¹⁰ *Paragraphe suivant issu de l'article Pouzet & Maanan (2020a)*

tempête et ses inondations marines liées ont profondément marqué les familles côtières, qui ont duré plusieurs siècles. Une source écrite a appelé cet événement un « ouragan » après l'effondrement du clocher de Thouars sur la voûte de l'église : « une pierre du clocher a été détachée du sommet, qui est tombé sur la voûte du chœur (...) Quelques minutes après que le sommet du clocher a traversé la voûte du chœur. La moitié du clocher s'est effondrée sur les arches du chœur et de la chapelle St Margaret of Scotland ». L'accident a fait une victime, nommée « mendiante ». Des dommages similaires au clocher sont également signalés à Parthenay, et cette tempête a causé les plus importants « vents » du XVIIIe siècle à Fontainebleau. Cette dépression extratropicale semble avoir traversé le centre de la France dans une trajectoire SW-NE, sans impacter la Bretagne. Cette hypothèse est attestée par les dégâts enregistrés dans la forêt de Fontainebleau. Sources : voir l'article de Scientific Reports.

- 28/01/1645¹¹ :

Des inondations marines ont été signalées dans les marais des îles Ré, Aix et Oléron, ainsi que dans les villes de La Rochelle, Marennes, Arvert et Saint-Sornin. Un gros navire s'effondre dans les basses terres situées à 3 m NGF (Nivellement général de la France) et près de 30 navires coulent. Les pertes dans les marais salés s'élèvent à près de « 500 000 écus » (une monnaie française au Moyen-Âge) de sel perdu. À l'intérieur des terres, la cathédrale de Saintes est détruite et l'église Notre-Dame la Grande de Poitiers est endommagée. À Bordeaux et au Mans, où la Sarthe a provoqué des inondations à cause des fortes pluies, deux autres églises ont été endommagées. À Germond, de nombreuses maisons ont été détruites. Présentés à Athimon, ces impacts sont extraits des archives départementales des Charentes, des Charente-Maritime, de la Gironde et de la Sarthe et des livres historiques locaux. Cette tempête est qualifiée de « trouble », « horrible » ou « terrible » et une grande partie de la population touchée par cet événement la qualifie d'« exceptionnel ». En ce qui concerne le coût économique, il a fallu trois mois aux habitants de l'île Ré pour réparer les dégâts qui ont affecté les activités agricoles. Dans l'ensemble, l'étendue spatiale de cette tempête est considérable et comprend une grande partie de la côte atlantique française. Une importante concentration d'impacts de tempêtes est identifiée entre La Rochelle, Poitiers et Bordeaux. Compte tenu des rapports de destruction du vent et d'inondation de la rivière au Mans, cet événement présente une trajectoire SW-NE. Sources : voir l'article de Scientific Reports.

- 27-28/01/1469¹² :

Le coefficient de marée est estimé autour de 106 (marée printanière) le 28 janvier. Cette tempête de 1469 AD a gravement endommagé les digues et les marais salés de Bouin. Cette ancienne île a été submergée pendant la nuit. Par la suite, des données historiques ont

¹¹ *Paragraphe suivant issu de l'article Pouzet & Maanan (2020a)*

¹² *Paragraphe suivant issu de l'article Pouzet & Maanan (2020a)*

indiqué que 1500 tonnes de sel avaient probablement été perdues, entraînant ainsi des pertes économiques importantes. Des brèches de 30 mètres de long apparaissent dans les chaussées des marais salés. De nombreuses crêtes et routes sont détruites et un marchand de sel se noie. Dans la région du Retz, les inondations maritimes sont enregistrées grâce aux taxes que les marchands devaient payer à leur seigneur (taxes seigneuriales). Les prix ont chuté en raison de l'impact de cette tempête. Les terres sont devenues stériles à cause des incursions brutales de la marine⁸. Des impacts de vent ont été enregistrés près d'Angers, où le clocher de Saint-Aubin s'est renversé, et « de nombreux arbres » ont été déracinés. Les impacts ont été, pour la plupart, enregistrés sur la côte (du milieu de la Vendée au sud de la Bretagne). C'est pourquoi la trajectoire supposée de cet événement est plus incertaine que dans d'autres cas. Les dommages signalés autour d'Angers attestent de sa possible direction est. Sources : voir l'article de Scientific Reports.

- Hiver 1351-1352 ¹³ :

D'autres preuves sédimentologiques ont été trouvées sur la côte atlantique européenne : une période orageuse de Yeu (1350-1450 AD), lors d'un orage atlantique européen (1350-1650 AD EASE 1), une tempête trouvée à la baie d'Audierne près de 1335 AD et une « impulsion de sédimentation à grains grossiers » (CSP) détectée près de 1300 AD dans le pertuis Charentais. À plus grande échelle, cet impact coïncide avec une période de forte tempête européenne de 1350 à 1650 apr. J.-C.. Dans les îles britanniques, les dégâts ont été enregistrés entre 1250 et 1400 apr. J.-C., avec un pic de mobilisation de sable entre 1258 et 1446 apr. J.-C.. Les documents historiques concordent puisqu'ils fournissent des enregistrements d'une tempête dommageable durant l'hiver 1351-1352 AD. De nombreuses basses terres de l'île Noirmoutier ont été inondées pendant près d'un demi-siècle. Les marais ont également été détruits à Olonne, et 15 ans plus tard, la production de sel était toujours touchée. Cet événement a été défini comme « probablement apocalyptique » et comme une submersion majeure de l'île Ré. Athimon a présenté cette tempête comme « l'un des événements météorologiques les plus violents et les plus dramatiques du dernier millénaire le long de la côte atlantique française ». Des preuves sédimentologiques et historiques mettent en évidence les impacts de la Bretagne à la Pertuis Charentais. Ils laissent également entendre que cette tempête a peut-être frappé les îles britanniques, ce qui signifie qu'une grande partie de la côte atlantique européenne a été touchée. Sources : voir l'article de Scientific Reports.

D.2. Emprise spatiale des tempêtes détectées

Les différentes études réalisées par l'OR2C témoignent de l'emprise parfois très vaste des différents événements détectés dans les archives sédimentologiques. Comme le nombre cette étude, les tempêtes de 1940, 1896, 1751, 1469 et 1351 AD ont été détectées à la Belle-Henriette. Elles ont également laissé des traces très marquantes dans les environnements

¹³ *Paragraphe suivant issu de l'article Pouzet & Maanan (2020a)*

des Traicts du Croisic et de la Petite mer de Gâvres (Pouzet et al., 2019; Pouzet & Maanan, 2020a). Selon ces deux études, l'évènement de 1990 détecté à la Belle-Henriette a également impacté ces deux environnements, mais de façon bien plus minime (peu de carottes ont été impactées). Les évènements de 1711 et 1645 extraits des cinq carottes de l'anse des Rouillères ont aussi été détectés ailleurs, mais seulement aux Traicts du Croisic, en laissant une marque très notable (Pouzet & Maanan, 2020a). Concernant les évènements de 1876, 1838 et 1811 de la Belle-Henriette, des hypothèses ont été proposées dans l'étude de Pouzet et al. (2019) car plusieurs évènements ont été détectés aux Traicts du Croisic durant ces périodes. Cependant, la datation réalisée dans le cadre de l'étude de Pouzet et al. (2019) n'est pas assez précise pour confirmer ces hypothèses. Enfin, les deux évènements de 1859 et 1820 semblent avoir impacté que la région de la Belle-Henriette à partir des analyses sédimentologiques. Cependant, ces évènements semblent avoir été aussi très particulièrement violents au travers des archives historiques.

Concernant les autres hypothèses plus anciennes datées 1090, 941, 581 et 809 AD, nous pouvons respectivement les lier aux hypothèses d'évènements détectés aux Traicts du Croisic en 1083 +/- 30, 973 +/- 44, 522 +/- 60 AD et à la Petite mer de Gavres en 768 +/- 230 AD (Pouzet & Maanan, 2020a). L'évènement daté 1036 AD n'a cependant pas de concordance dans les travaux déjà réalisés par l'OR2C.

D.3. Des tempêtes détectées dans un environnement changeant

Comme le montre l'étude de Pouzet et al. (2021), le site de la Belle-Henriette a profondément muté au cours des derniers siècles. Les archives sédimentologiques, en plus de nous apporter des informations sur les tempêtes historiques, illustrent les différentes phases paléoenvironnementales successives. À partir de données sédimentologiques croisées avec les cartographies anciennes (Pouzet et al., 2021), nous avons identifié trois évolutions principales : i) l'ancien Golfe des Pictons envahi par l'océan durant la transgression liée à l'interglaciaire Holocène, ii) le colmatage du marais par des alluvions déposées par les principaux fleuves et la progression succincte des flèches sableuses sur le littoral; iii) la situation actuelle du marais maritime. Dans le secteur de la Belle-Henriette, les carottages sédimentaires illustrent des variations à une échelle plus fine : i) l'ancienne baie maritime et l'implantation de la flèche sableuse en arrière de la lagune sont identifiés dans les horizons les plus profonds ; l'environnement temporaire de l'anse des Terres noires succède à la progradation de cette flèche sableuse, jusqu'à iii) l'implantation de la seconde flèche sableuse, datée entre 1908 et 1916, isolant la lagune de l'océan au niveau de l'anse des Rouillères.

Malgré ces évolutions paysagères significatives, la méthode de détection de tempêtes historiques proposée par l'observatoire régional des risques côtiers (OR2C) s'adapte aux différents types d'environnement. Plusieurs travaux ont montré que ces évènements extrêmes passés sont identifiables dans les baies (Khouakhi et al., 2013; Naquin et al., 2014; Suanez & Stéphan, 2006), par l'impulsion de niveaux marins significatifs, attestant de

sédiments plus grossiers que ceux de la baie. Cette configuration est identifiable à partir des cm. 20 des carottes BH-A et BH-B et des cm. 50 des carottes BH-C, BH-D et BH-E jusqu'à leurs bases. Les configurations de l'Anse des Terres noires et de la lagune de la Belle-Henriette sont ensuite favorables à la détection de washovers puisque l'environnement est vaseux ou limoneux, et que les événements extrêmes sont détectés par les arrivées sableuses et marines (May et al., 2017; Pouzet & Maanan, 2020b; Sabatier et al., 2012). La distinction est alors bien plus nette entre environnement lagunaire et horizon allochtones marins. Sur ces cinq carottes, elle peut être identifiée à partir des cm 20 pour les carottes BH-A et BH-B et cm. 50 pour les carottes BH-C, BH-D et BH-E jusqu'à leurs horizons superficiels.

E. Conclusions

À travers l'étude sédimentologique effectuée dans la lagune de la Belle-Henriette, treize tempêtes anciennes ont été détectées dans les cinq carottes prélevées. Par les croisements réalisés avec les archives historiques, ces tempêtes sont estimées à 1990, 1940, 1896, 1876, 1859, 1838, 1820, 1811, 1751, 1711, 1645, 1469 et 1351 AD. Des hypothèses plus anciennes peuvent également être discutées pour des événements plus anciens datés à 1090, 1036, 941, 809 et 581 AD, sans que les archives historiques puissent les confirmer. En croisant avec les autres études antérieures menées par l'OR2C, les tempêtes de 1990, 1940, 1896, 1751, 1469 et 1351 AD ont également été détectées à la Petite mer de Gâvres et aux Traicts du Croisic, celles de 1876, 1838, 1811, 1711 et 1645 également aux Traicts du Croisic et celles de 1859 et 1820 seulement à la Belle-Henriette.

Des mutations paléoenvironnementales importantes sont évaluées durant le dernier millénaire sur ce site, passant notamment d'une ancienne baie maritime à une lagune semi-fermée. Le détail de l'étude paléoenvironnementale de l'ouest du marais poitevin est disponible dans l'article Pouzet et al., 2021 soumis dans la revue *Géomorphologie, Relief, Processus, Environnement*. Cependant, ces travaux montrent que la méthode proposée par l'OR2C pour permettre la détection de tempêtes historiques s'adapte à ces mutations environnementales dans un environnement changeant.

F. Références bibliographiques

- Athimon, E. (2021). *Tempêtes et submersions marines dans les territoires de la côte atlantique (XIVe-XVIIIe siècle)*—Emmanuelle Athimon (Les Indes Savantes). <https://www.decitre.fr/livres/tempetes-et-submersions-marines-dans-les-territoires-de-la-cote-atlantique-xive-xviii-siecle-9782846545433.html>
- Blott, S. J., & Pye, K. (2001). Gradistat : A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(11), 1237-1248. <https://doi.org/10.1002/esp.261>

- Folk, R. L., & Ward, W. C. (1957). Brazos River Bar : A Study in the Significance of Grain Size Parameters. *Journal of Sedimentary Research*, 27(1), 3-26.
- Gee, G. W., & Or, D. (2002). 2.4 Particle-Size Analysis. In J. H. Dane & C. G. Topp (Éds.), *SSSA Book Series* (p. 255-293). Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c12>
- Khouakhi, A., Snoussi, M., Niazi, S., & Raji, O. (2013). Vulnerability assessment of Al Hoceima bay (Moroccan Mediterranean coast) : A coastal management tool to reduce potential impacts of sea-level rise and storm surges. *Journal of Coastal Research*, 1(65), 968-973. <https://doi.org/10.2112/SI65-164.1>
- Kilmer, V., & Alexander, L. (1949). Methods of making mechanical analyses of soils. *Soil Science*, 68(1), 15-24.
- May, S. M., Brill, D., Leopold, M., Callow, J. N., Engel, M., Scheffers, A., Opitz, S., Norpoth, M., & Brückner, H. (2017). Chronostratigraphy and geomorphology of washover fans in the Exmouth Gulf (NW Australia) – A record of tropical cyclone activity during the late Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 169, 65-84. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.05.023>
- Naquin, J. D., Liu, K., McCloskey, T. A., & Bianchette, T. A. (2014). Storm deposition induced by hurricanes in a rapidly subsiding coastal zone. *Journal of Coastal Research*, 70, 308-313. <https://doi.org/10.2112/SI70-052.1>
- Pouzet, P., & Maanan, M. (2020a). Climatological influences on major storm events during the last millennium along the Atlantic coast of France. *Scientific Reports*, 10, 12059.
- Pouzet, P., & Maanan, M. (2020b). Temporal approaches of historical extreme storm events based on sedimentological archives. *Journal of African Earth Sciences*, 162C, 103710. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103710>
- Pouzet, P., Maanan, M., Schmidt, S., Athimon, E., & Robin, M. (2019). Correlating three centuries of historical and geological data for the marine deposit reconstruction of two depositional environments of the French Atlantic coast. *Marine Geology*, 407(C), 181-191. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2018.10.014>
- Pouzet, P., Maanan, M., Schmidt, S., Dieulefet, G., Large, J.-M., & Robin, M. (2021). Évolutions paysagères et occupations humaines passées face à l'océan durant les derniers millénaires dans le Marais poitevin occidental. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*.
- Sabatier, P., Dezileau, L., Colin, C., Briquieu, L., Bouchette, F., Martinez, P., Siani, G., Raynal, O., & Von Grafenstein, U. (2012). 7000 years of paleostorm activity in the NW Mediterranean Sea in response to

- Holocene climate events. *Quaternary Research*, 77(1), 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.yqres.2011.09.002>
- Sarrazin, J.-L. (2012). « Vimers de mer » et sociétés littorales entre Loire et Gironde (XIVe-XVIe siècle). *Norôis*, n° 222(1), 91-102.
- Sarrazin, J.-L., & Athimon, E. (2019). Étudier les plus anciennes tempêtes à submersion identifiées sur la côte atlantique française (xive-xvie siècles) : L'approche historique. *Norôis. Environnement, aménagement, société*, 251, 27-42. <https://doi.org/10.4000/norôis.9138>
- Stéphan, P., & Goslin, J. (2014). Holocene relative sea-level rise along the atlantic and English Channel coasts of france : Reassessment of existing data using « sea-level index points » method. *Quaternaire*, 25(4), 295-312.
- Suarez, S., & Stéphan, P. (2006). Forçages météo-marins et dynamique morphosédimentaire saisonnière des cordons dunaires. Exemple de la baie de Saint-Michel-en-Grève (Côtes d'Armor, Bretagne). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 12(2), 91-110.
<https://doi.org/10.4000/geomorphologie.529>
- Wolanski, E., Brinson, M. M., Cahoon, D. R., & Perillo, G. M. (2009). Coastal wetlands : A synthesis. *Coastal wetlands an integrated ecosystem approach*. Elsevier. Amsterdam, Países Bajos. p, 1-62.
- Zoppi, U. (2010). Radiocarbon AMS Data Analysis : From Measured Isotopic Ratios to 14C Concentrations. *Radiocarbon*, 52(1), 165-170.