HAL
open science

Les paléoévènements extrêmes : Outils et méthodes

Mohamed Maanan, Pierre Pouzet

To cite this version:

Mohamed Maanan, Pierre Pouzet. Les paléoévènements extrêmes : Outils et méthodes. Communauté de Communes Océan Marais de Monts. Les risques littoraux dans la Baie de Bourgneuf du XIVe siècle à nos jours : Les enseignements de l'Histoire, pp.74-89, 2019. hal-02303749

HAL Id: hal-02303749

https://hal.science/hal-02303749v1

Submitted on 10 Jan 2020

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.

Les risques littoraux dans la Baie de Bourgneuf du XIVe siècle à nos jours

Les enseignements de l'Histoire

E. Athimon, P. Fattal, E. Garnier, B. Le Mauff, M. Maanan, P. Pouzet, M. Robin, J.-L. Sarrazin, T. Sauzeau, F. Surville, J. Vincent

Estacade de Saint-Jean-de-Monts. © Louis-Marie Préau

Sommaire

Introduction : les évènements météo marins récents . . . . . p. 7

Les plus anciens vimers à submersion documentés survenus en Baie de Bourgneuf : où en est la recherche historique ? - XIVe-XVIe siècles . . . . . p. 12

Quelle documentation ? L'impossible inventaire exhaustif des vimers survenus entre le XIVe et le XVIe siècle . . . . . p. 14

Les tempêtes à submersion les moins mal connues : étude de cas . . . . . p. 17

L'impact des submersions marines sur la société littorale . . . . . p. 20

Conclusion . . . . . p. 25

La communauté de communes Océan-Marais de Monts sur le front des tempêtes - XVIe-XXIe siècles . . . . . p. 26

Tempêtes, submersions et érosion : des événements loin d'être inédits . . . . . p. 28

Comprendre le processus de construction de la vulnérabilité . . . . . p. 32

Un retour d'expérience pour une résilience renforcée ? . . . . . p. 34

Submersions, mentalités et transformations du littoral nord vendéen - XIXe siècle . . . . . p. 36

Introduction . . . . . p. 38

La submersion des 21 au 22 octobre 1820 : la vulnérabilité face au risque . . . . . p. 40

La submersion des 24 au 25 février 1838 : l'acceptabilité du risque . . . . . p. 44

Les submersions de la seconde moitié du XIXe siècle : la résilience face au risque . . . . . p. 48

Conclusion . . . . . p. 51

Dune de Notre-Dame-de-Monts. © Louis-Marie Préau

Raz-de-marée et marais Breton - 1924 . . . . . **p. 52**
1924, un bon exemple de ce que peut représenter un risque . . . . . p. 54
La mémoire du risque, une réalité ? . . . . . p. 57
À la recherche de la rationalité . . . . . p. 59
Conclusion . . . . . p. 61

À propos de quelques surcotes et submersions non météorologiques entre Loire et Gironde . . . . . **p. 62**
Submersions et surcotes dues à l'activité sismique locale . . . . . p. 64
Submersions et surcotes dues à une activité sismique éloignée . . . . . p. 67
Submersions et surcotes dues à des effondrements de plateaux marins . . . . . p. 68
Submersions et surcotes en relation avec des phénomènes de seiche . . . . . p. 70
Conclusion . . . . . p. 73

Les paléoévénements extrêmes - Outils et méthodes . . . . . **p. 74**
Définition des paléoévénements extrêmes côtiers . . . . . p. 76
Les méthodes de la paléotempestologie . . . . . p. 79
Les méthodes adaptées dans la région des Pays de la Loire . . . . . p. 82
Présentation de quelques résultats . . . . . p. 87
Conclusion . . . . . p. 89

Bibliographie . . . . . **p. 90**
Glossaire . . . . . **p. 94**

Plage du Pont d'Yeu, à Notre-Dame-de-Monts. © Louis-Marie Préau

M. Maanan, P. Pouzet

Les paléoévénements extrêmes

Outils et méthodes

Plage de Saint-Jean-de-Monts. © Louis-Marie Préau

Définition des paléoévénements extrêmes côtiers

Évènements et paléoévénements extrêmes

La première partie du terme « *paléoévènement extrême côtier* » s'axe sur un rapport à la temporalité avec le préfixe « *paléo-* ». Selon le dictionnaire critique de la géographie de R. Brunet, le paléoclimat est définit comme un « *climat du passé, que l'on s'efforce de reconstituer d'après les indices trouvés dans les sédiments (débris, pollens et autres marqueurs)* »[8] . L'emploi de « *paléoévénements extrêmes côtiers* » résume donc l'analyse d'évènements passés à partir de leur impact laissé sur l'environnement. Pour apporter cette notion d'impact au terme « *évènement* », ce terme est associé à l'adjectif « *extrême* ». Les évènements extrêmes produisent une combinaison complexe d'effets au niveau du plan d'eau, provoquant la résultante surcote et son impact spatial le cas échéant : la submersion marine. Ils génèrent des dépôts sédimentaires d'origine marine (*washover*) dans des environnements côtiers de dépôts continentaux.

Les tempêtes

Peu de définitions précises de tempêtes existent en France. Selon Météo France, « *le terme de tempête n'est défini rigoureusement que dans les domaines de la météorologie marine et de la météorologie tropicale. Néanmoins, l'usage veut que les météorologues nomment « tempêtes » les rafales de vent approchant les 100 km/h dans l'intérieur des terres et 120 km/h (voire 130 km/h) sur les côtes. Lorsque le vent atteint ces valeurs, on va même qualifier de « tempête » la dépression à l'origine de ces vents* »[77] *La tempête peut donc se définir comme « un aléa caractérisé par un fort creusement barométrique et une structure nuageuse produisant des paramètres météorologiques et océanologiques intenses. Durant ces évènements, des vents violents, des précipitations importantes et une chute très marquée de la pression atmosphérique sont généralement mesurées. Les paramètres météo marins tempétueux peuvent causer un renforcement important de la houle en mer et des vagues sur les côtes, pouvant entraîner une élévation temporaire du niveau marin : la surcote. Cette élévation peut alors occasionner une submersion marine dans les zones basses côtières* (figure 1) *par concomitance exceptionnelle avec une forte marée* »[60].

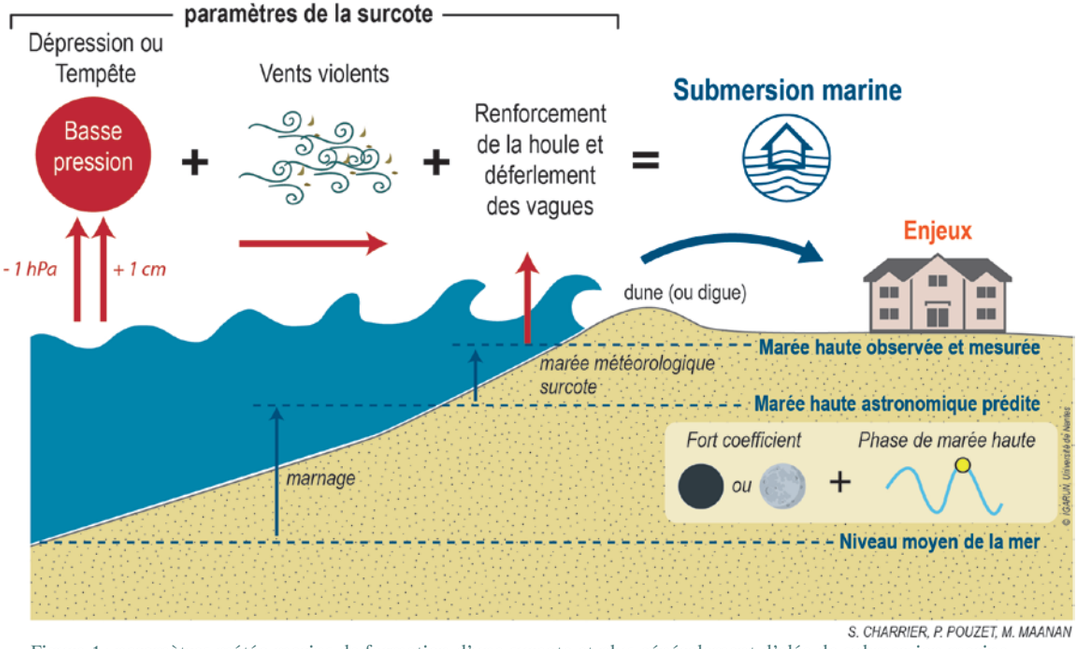


Figure 1 : paramètres météo marins de formation d'une surcote et plus généralement d'aléa de submersion marine.

Vue aérienne de la digue de la Parisienne. © Patrice Baldau-Bouin

Les submersions marines

Le SHOM définit une submersion marine comme un aléa qui peut *« provoquer des inondations sévères et rapides du littoral, des ports et des embouchures de fleuves et rivières. Elles sont liées à une élévation extrême du niveau de la mer due à la combinaison de plusieurs phénomènes dont l'intensité de la marée et le passage d'une tempête »*[78]. Météo France ajoute également que les submersions touchent surtout les zones basses proches du littoral.

En France, les zones basses sont définies comme l'ensemble des territoires littoraux dont l'altitude est inférieure aux niveaux atteints par la mer lors de conditions extrêmes. Dans les Pays de la Loire, ce niveau est estimé à 2,50 m **NGF** (SHOM). Depuis la tempête Xynthia, la cote de référence de 4,20 m NGF est principalement utilisée pour caractériser une zone basse. Dans les PPRL*, on ajoute 60 cm comme cote de référence sur certains ouvrages de protection côtière. Cette valeur correspond à l'un des scénarios les plus probables du GIEC** et sert essentiellement à se projeter en cas d'aléa similaire à l'horizon 2100[57].

La submersion marine correspond à l'inondation temporaire des espaces côtiers par la mer. C'est un aléa induit par des conditions météo marines intenses qui engendrent une activité « morphogène » importante sur les environnements côtiers. Cet aléa peut être identifiable par les analyses sédimentologiques. La submersion marine se caractérise selon trois mécanismes principaux pouvant provoquer des dépôts tempétueux (figure 2) :

A - *La submersion par débordement*. Ce genre de submersion reste le cas le plus rare car il requiert un niveau d'eau exceptionnel, supérieur à la cote d'un ouvrage ou du sommet du cordon littoral protecteur. C'est probablement l'un des plus dangereux car après le retrait de la marée, l'eau reste bloquée dans les zones basses côtières par l'ouvrage de protection ou la dune. Ce phénomène nécessite de mieux paramétrer les dimensions des digues dans un contexte d'augmentation de niveau marin.

B - *La submersion par franchissement* de paquets de mer par l'action des vagues. Il correspond au franchissement des vagues au-dessus des cordons dunaires ou ouvrages de protection. Elles propulsent l'eau par-dessus l'ouvrage ou la dune. Le niveau d'eau n'est pas supérieur à la cote de l'ouvrage ou au sommet du cordon dunaire. L'importance du franchissement est majoritairement déterminée par l'amplitude de la houle et le déferlement des vagues, mais également par la direction et la force du vent influençant les projections d'eau.

C - *La submersion par brèche* d'un cordon dunaire ou d'un ouvrage de protection est le dernier mécanisme de submersion marine constaté. Elle peut être induite par les deux premiers mécanismes présentés, et est celle qui peut avoir le plus de conséquences humaines en zone côtière. Elle peut être ponctuelle, par sections ou peut très rarement être caractérisée par une rupture complète. Alors qu'un ouvrage de protection sert à protéger des enjeux de l'aléa météo marins ces derniers sont directement exposés lors d'une destruction (même partielle) de ces éléments protecteurs[33].

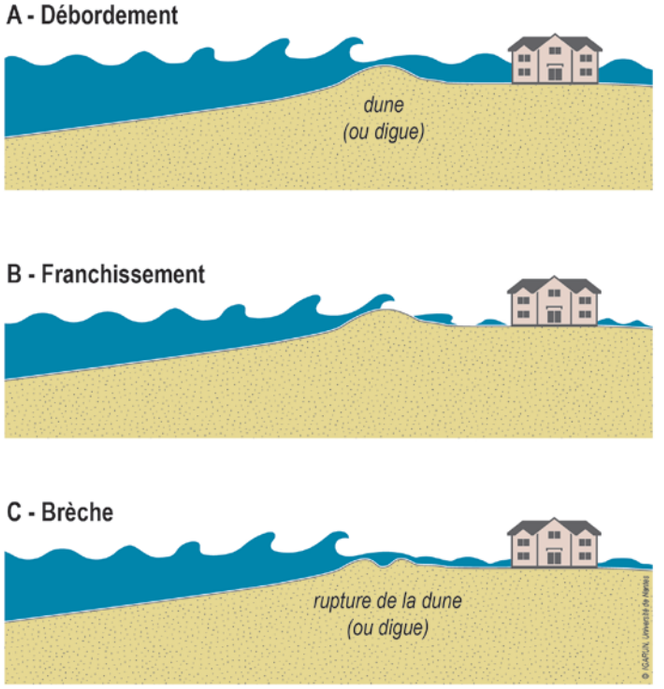


Figure 2 : mécanismes de submersion marine.

* PPRL : Plans de Prévention des Risques Littoraux
** GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

Les méthodes de la paléotempestologie

Les premiers travaux de Liu et Fearn dans les années 90

C'est au sein d'une étude faite dans une lagune côtière en Alabama que les premières reconstructions de cyclones tropicaux anciens provenant du Golfe du Mexique ont été publiées par Liu and Fearn (1993), et très largement reprises par la suite. La méthode sédimentologique a ensuite été synthétisée dans une seconde étude faite en Floride[38]. Elle devient fortement reconnue scientifiquement à partir du début des années 2000, et est ensuite très largement diffusée dans le monde entier. La méthode est basée sur l'analyse de dépôts de sédiments marins côtiers transportés par des évènements extrêmes et déposés dans un marais, une lagune ou un lac côtier.
Liu and Fearn (2000, 1993) évoquent également un rapport entre l'intensité de l'évènement extrême passé et sa signature sédimentologique. Ils proposent une relation directe entre structure du dépôt et intensité de l'aléa (figure 3). Ce rapport est toujours discuté aujourd'hui, et on estime que la taille et l'étendue de ces dépôts semblent également dépendre autant de paramètres météo marins liés à l'aléa que des caractéristiques géomorphologiques de l'espace carotté[49, 56, 66].

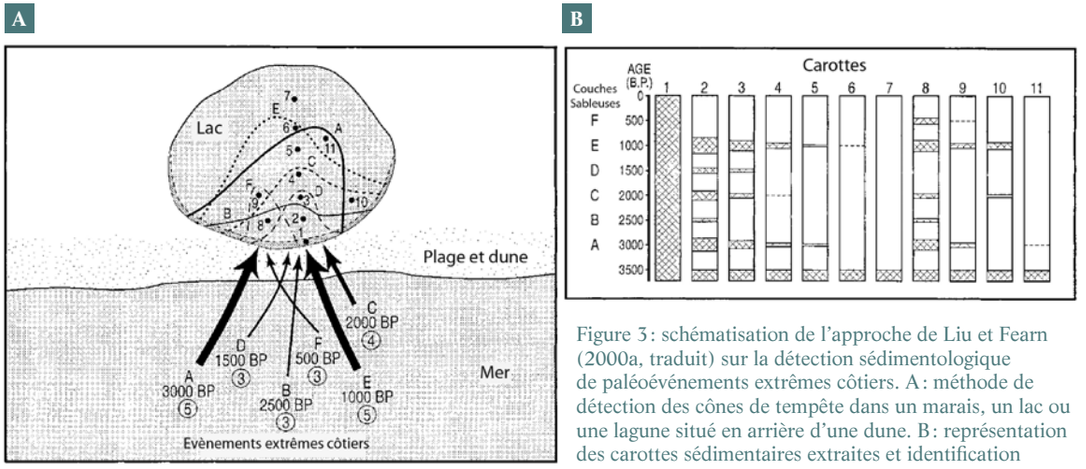


Figure 3 : schématisation de l'approche de Liu et Fearn (2000a, traduit) sur la détection sédimentologique de paléoévénements extrêmes côtiers. A : méthode de détection des cônes de tempête dans un marais, un lac ou une lagune situé en arrière d'une dune. B : représentation des carottes sédimentaires extraites et identification des couches sableuses marines (figure non modifiée).

Développement de méthodes depuis les travaux de Liu et Fearn

Comme le mentionnent de nombreuses synthèses récentes[11, 12, 28, 32, 55, 73], cette méthode a connu un essor considérable à partir des années 2000, et est encore très employée aujourd'hui dans le monde. Les Etats-Unis, à travers les côtes nord-américaines et la mer des Caraïbes[18, 19, 20, 36, 51, 59, 67, 68] ont été les premiers lieux de développement important de cette méthode caractéristique au début du XXIe siècle. Elle a ensuite été étendue dans le monde entier avec quelques exemples de travaux notables effectués en Océanie[29, 46, 47, 52, 53], Asie[34, 41, 71, 72, 75], Afrique[6, 62], Mer du Nord[10, 30] ou encore Amérique du Sud[55, 64].

Si les premiers indicateurs de dépôt marins ont été essentiellement focalisé sur les variations de tailles de grains, justifiant un dépôt marin comme sableux en opposition au dépôt vaseux continental lagunaire, la palette d'indicateurs disponibles s'est très vite étoffée au fil des années et des travaux publiés[12, 28, 32, 62, 73]. La matière organique, la géochimie, la radiographie, les pollens, les **foraminifères**, la colorimétrie, la **susceptibilité magnétique**, les minéraux argileux ou plusieurs assemblages faunistiques* sont couramment utilisés comme preuves d'un changement d'environnement brutal dans la **stratigraphie** d'un marais côtier. En reconstituant une chronologie tempétueuse passée, la méthode paléotempestologique offre

* Une couche peut être définie par un contenu faunistique ou floristique, dit « assemblage ».

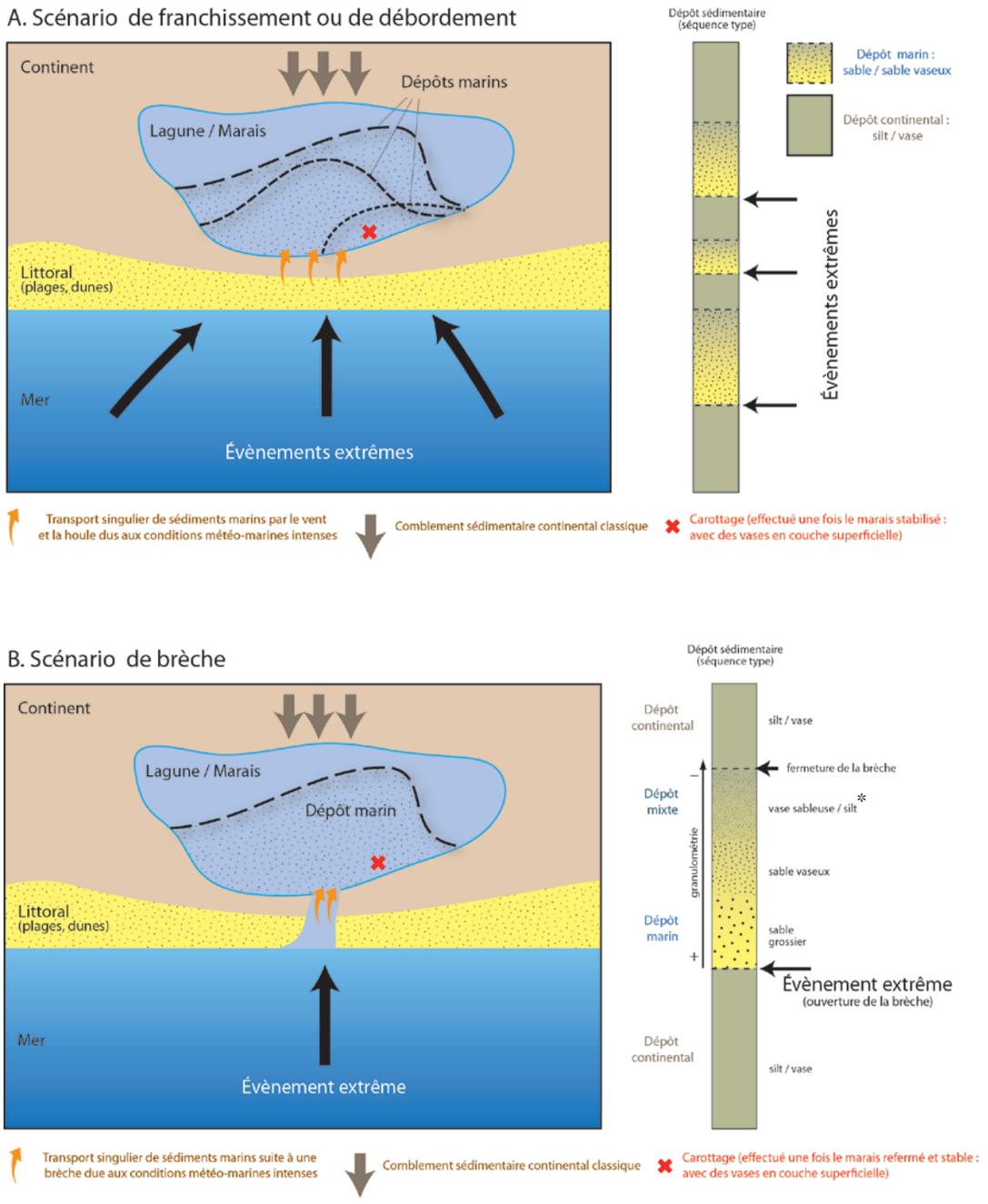


Figure 4 : présentation des deux scénarios de dépôts marins dans un marais côtier durant un évènement extrême. © Pierre Pouzet

* Silt : anglicisme de limons

des éléments de compréhension importants sur la récurrence d'un évènement extrême (figure 4). Liu and Fearn (2000b) a estimé qu'à partir des résultats sédimentologiques trouvés, le temps de retour d'un ouragan catastrophique serait de 350 ans dans le Golfe du Mexique. Une autre étude, menée par Park (2012), compare la récurrence de ces ouragans entre deux sites situés de part et d'autre des Bahamas, avec une différence significative des périodes de retour : 47 années à l'est contre 478 années pour la côte ouest. L'évolution précise du niveau marin holocène est néanmoins très complexe à lier avec ces observations. Il faut également connaître finement l'évolution du milieu depuis des millénaires. Il s'avère alors très difficile de s'assurer que tous les impacts des évènements météorologiques les plus intenses aient bien été préservés dans les sédiments. Ces difficultés se ressentent très largement dans les résultats exposés aux Bahamas, où une grande différence de période de récurrence de part et d'autre d'une île pose question.

Pour caractériser un évènement extrême par la sédimentologie, deux questions se posent :

- *comment s'assurer que cette couche marine provient bien d'un aléa naturel ?* Grâce aux analyses sédimentologiques, de nombreux indicateurs tels que la granulométrie et la géochimie sont utilisés pour caractériser la provenance des sédiments[44].
- *à quelle date la couche marine identifiée a-t-elle été déposée dans cet environnement de dépôt côtier ?* Après avoir détecté les couches marines grâce aux analyses sédimentologiques, la carotte sédimentaire

est ensuite datée pour estimer leurs dates ou périodes de dépôt. Cette datation isotopique s'effectue soit par les sédiments issus des faciès superficiels[1, 61], soit par les éléments organiques présents dans la carotte[21, 34]. Ces méthodes permettent d'estimer l'âge précis ou une période à laquelle les couches marines allochtones au marais se sont déposées. L'intérêt des données historiques peut apporter des précisions intéressantes sur la date exacte de l'évènement et son impact. Une fois la couche marine datée, ces données permettent de caractériser précisément les aléas ayant favorisé le processus de dépôt dans l'environnement côtier.

L'estimation directe de périodes de retour peut amener de nombreuses réserves, en particulier sur les côtes **macrotidales**. Le couplage de cette méthode avec une étude statistique peut cependant offrir des conclusions bien plus solides. À l'image des travaux de Mann et al. (2009), il peut permettre l'estimation d'intervalles de récurrence à une échelle plus ample. Des données sur la variation relative du niveau marin et les variations climatiques sont essentielles pour une bonne estimation des périodes de retour des évènements extrêmes.

Les méthodes adaptées dans la région des Pays de la Loire

La méthodologie employée est variée et allie différentes techniques de prélèvement et d'analyse de données (figure 5 ci-contre). Elle s'appuie sur l'ensemble des techniques déjà validées dans la bibliographie scientifique. Ces relevés sont ensuite analysés en laboratoire selon diverses méthodes adaptées aux échelles d'analyses.

Le choix de la zone des prélèvements

La première étape consiste à choisir la zone des prélèvements. Les terrains d'étude sont choisis selon trois critères : ils doivent correspondre à des zones basses en arrière du littoral protégées des actions marines par un cordon littoral, des environnements naturels peu impactés par l'Homme et des zones situées dans des espaces à fortes activités tempétueuses depuis plusieurs siècles[4].

Dans un premier temps, nous avons sélectionné plusieurs terrains d'étude à l'aide d'une étude **diachronique** sur plusieurs siècles en utilisant des Systèmes d'Information Géographique (SIG) (figure 6 page 84). Nous avons pu récupérer les cartes de Cassini datant de la fin du XVIIIe siècle, de l'Etat-major (XIXe siècle) et les premières photos aériennes prises vers 1950. Ces différentes données ont été importées, géoréférencées et traitées dans un SIG. Ces différentes données nous permettent de mieux comprendre leur évolution récente et d'estimer l'origine des impacts humains potentiels.

La deuxième sélection porte sur l'analyse des données topo-bathymétriques. Elle nous permet d'analyser la topographie et la **bathymétrie** précise, pour pouvoir évaluer la géomorphologie actuelle des terrains retenus. Elles nous permettent notamment d'obtenir précisément l'altitude des cordons dunaires protecteurs et des marais à carotter. Nous avons pu produire quelques coupes géomorphologiques pour choisir le terrain le plus favorable aux dépôts des évènements extrêmes. Enfin, nous avons affiné notre choix sur des terrains qui sont régulièrement impactés par des tempêtes[22, 4].

Détection des dépôts de tempêtes par des carottages sédimentaires

Après avoir choisi les zones d'études, nous devrions procéder à un deuxième choix : les stations de prélèvements. En effet, un carottage trop près du cordon dunaire peut induire un enregistrement moins important de dépôts marins. Lors du processus de dépôt, le cordon protège généralement l'espace situé quelques mètres en arrière selon Liu and Fearn (2000). Les cordons sont aujourd'hui plus épais que durant le passé, et probablement plus hauts même si nous ne pouvons pas confirmer cette supposition sans données altitudinales historiques. Ils ont donc un effet de protection face au processus de dépôt plus important qu'auparavant.

Les carottages sédimentaires permettent d'étudier l'évolution verticale des faciès sédimentaires et d'analyser la dynamique paléoenvironnementale. Elles incluent les impacts des changements de l'occupation des sol[13, 42, 43, 44, 50, 74], les changements environnementaux tels que l'élévation du niveau marin[5, 14, 25, 35] et la détection de paléoévénements extrêmes[2, 17, 61, 62]. Plusieurs méthodes de carottage ont été employées selon le type d'environnement et selon la résolution temporelle recherchée (figure 7 page 85) :

- le carottier à percussion motorisé *« vibracore »*[16, 24, 48, 69, 70, 76].
- le carottier manuel à piston de type *« Beeker »*[3, 23, 26, 27, 31] ont déjà été utilisés dans des études paléoenvironnementales.

Les carottes sont ouvertes longitudinalement en deux moitiés au laboratoire. La première est analysée et la seconde archivée. Une photographie précise est prise dès l'ouverture des carottes pour conserver les couleurs des différents faciès. Un log stratigraphique* est ensuite construit pour décrire la carotte.

* Représentation schématique verticale d'une série stratigraphique

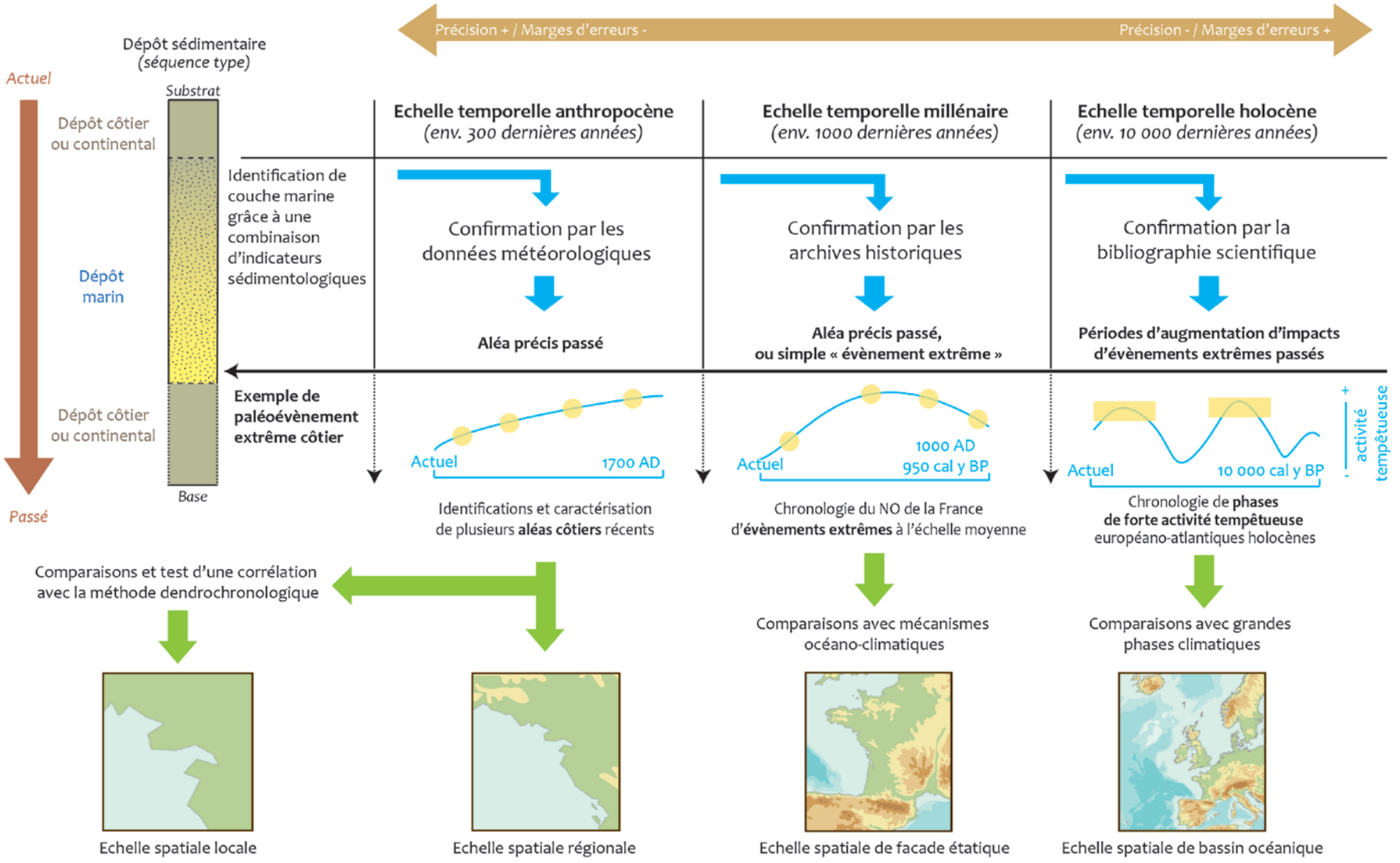
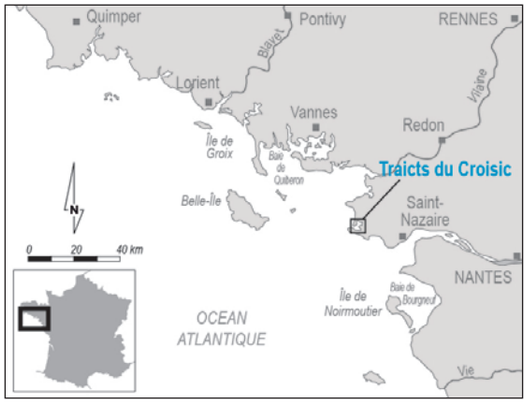


Figure 5 : synthèse méthodologique. © Pierre Pouzet

Nous procédons ensuite à un échantillonnage à très haute résolution : millimétrique pour les analyses géochimiques et centimétriques pour les autres analyses. Les échantillons issus de chaque carotte seront analysés par plusieurs appareils scientifiques (figure 8 page 86). Ces analyses nous permettent de caractériser les paramètres physico-chimiques et biologiques des sédiments et d'identifier leurs milieux de dépôt (marin, continental ou littoral). La datation des différents niveaux sédimentaires des carottes est réalisée à l'aide du ^{210}Pb et du ^{137}Cs* pour le dernier siècle, et au radiocarbone (^{14}C) pour des échelles de temps plus longues (pouvant aller jusqu'au début de l'Holocène, donc il y a 12 000 ans). Une analyse statistique permet de sélectionner les indicateurs pertinents pour caractériser les traces de tempêtes.

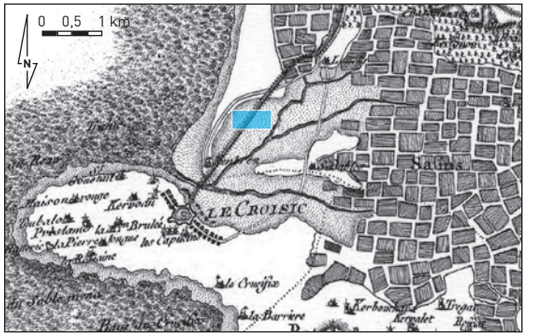
* Plomb 210 et Césium 137



© BD Ortho, 2012

© BD Ortho, 2012

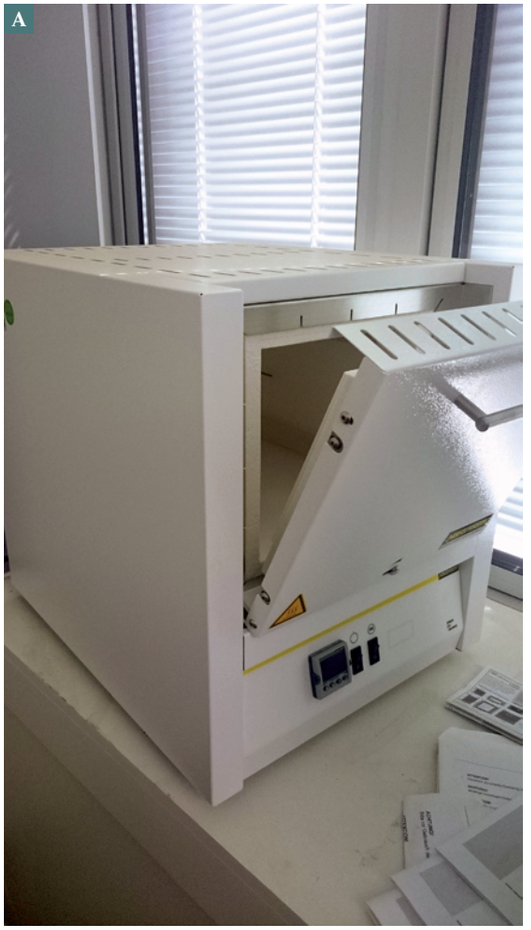
© carte de l'état-major, 1847



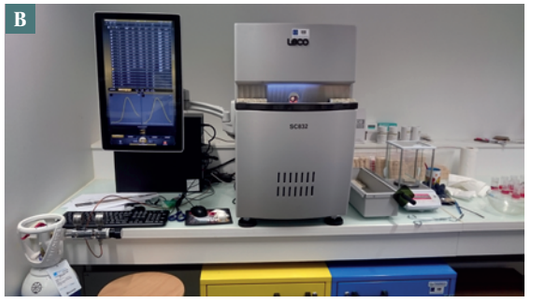
© carte de Cassini, 1787

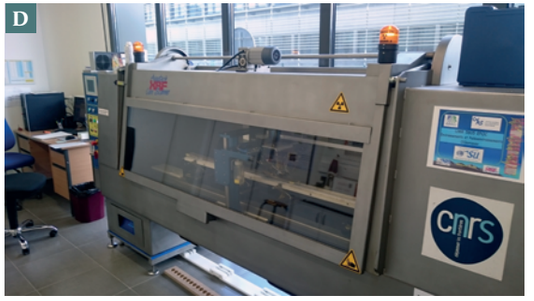
Figure 6 : exemple de présentation diachronique des Traicts du Croisic. © Pierre Pouzet

Figure 7 : opération de carottage dans la région des Pays de la Loire. © Pierre Pouzet



A - Le four à moufles : analyse de la matière organique présente dans chaque échantillon.





B - L'analyseur SC 832 : analyse des quantités de souffre et de carbone présentes dans chaque échantillon.

C - Le granulomètre Malvern : analyse de la taille des grains de chaque échantillon.

D - Mesure d'une carotte au sein du XRF : analyse de la composition géochimique de la carotte.

E - Le SCOPIX : radiographie de la carotte.

F - Mesure au spectrophotomètre : analyse des couleurs de la carotte.

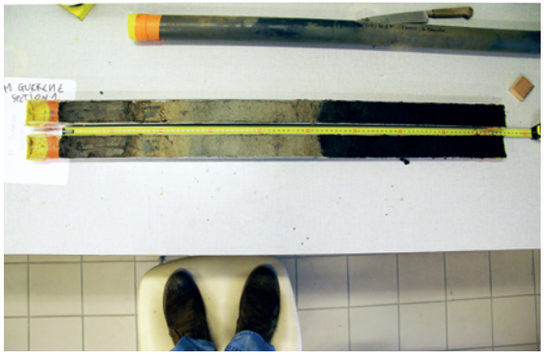
G - Mesure à la sonde Bartington : analyse de la susceptibilité magnétique de la carotte.

Figure 8 : présentation des différents instruments utilisés.
© Pierre Pouzet

Les différents méthodes de prélèvement par carottage sédimentaire :

A - le carottier Beeker pour les sédiments humides ;

B - le carottier à percussion pour les sédiments colmatés.



A

B

Présentation de quelques résultats

Les submersions marines sont identifiées par une séquence sédimentaire typique induisant une alternance entre un niveau de sable marin (le cône de tempête) et les couches lagunaires sous et sus-jacentes composées de vases ou de limons à influence chimique continentale. Le sable marin peut également être identifié par sa représentation biologique, avec une forte présence d'espèces marines comme le

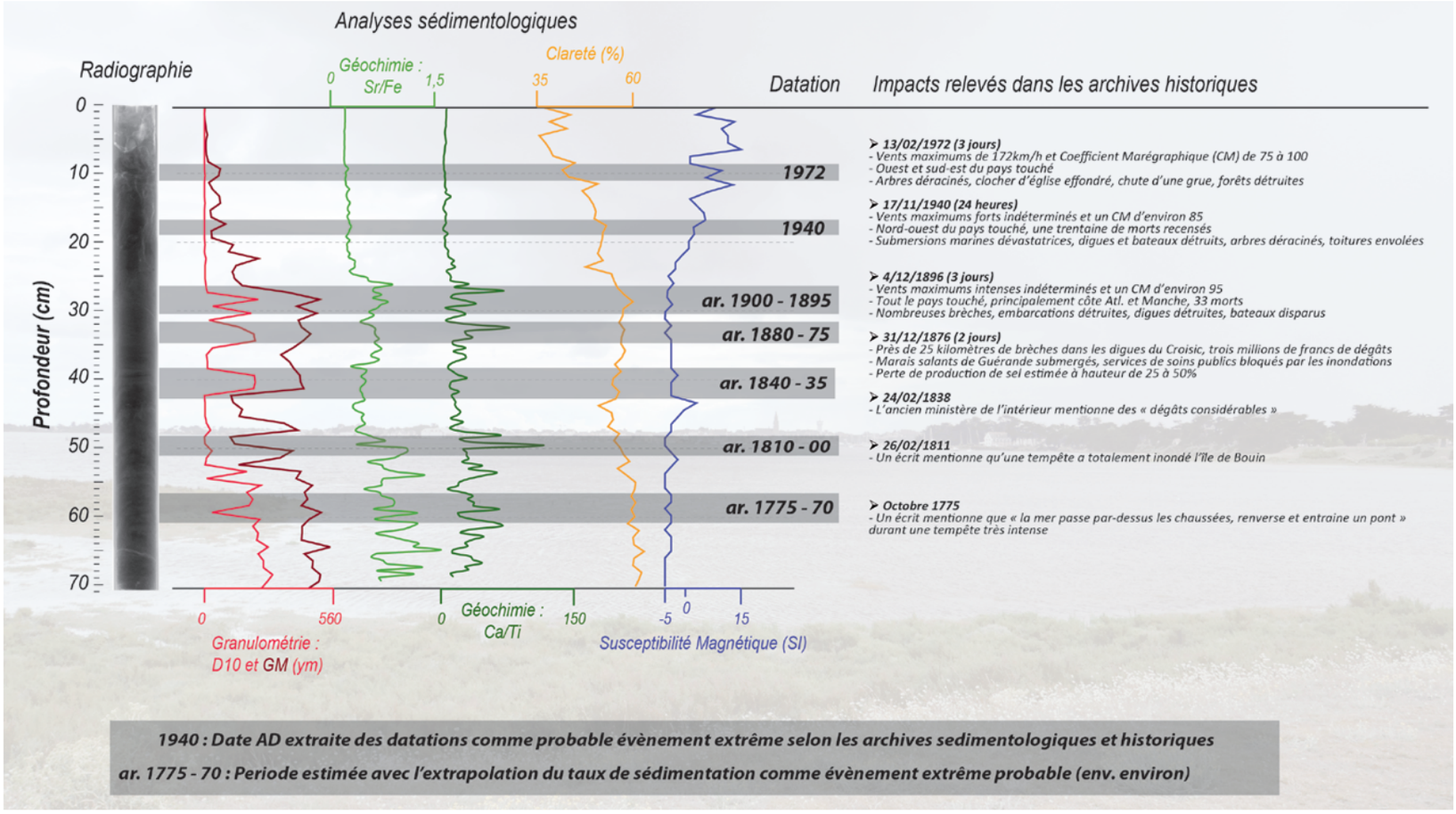


Figure 9 : exemple de l'analyse d'une carotte sédimentaire. © Pierre Pouzet

Bittium reticulatum (Cérithe réticulé), la *Verenupis decussata* (Palourde commune) ou la *Cerastoderma edula* (Coque commune).
À partir des différentes analyses sédimentologiques effectuées, nous avons pu détecter plusieurs niveaux possédant des caractéristiques marines marquées par une croissance du grain moyen, de ratio de Strontium/Fer (Sr/Fe) et de Calcium/Titane (Ca/Ti), et de clarté avec une décroissance de la susceptibilité magnétique (figure 9 page 87). Par exemple, une forte granulométrie témoigne d'un dépôt à forte énergie et d'une présence de certains éléments chimiques comme le Sr et le Ca explique une influence marine importante. Ces couches tempétueuses ont été détectées à différentes profondeurs : 11 cm, 18 cm, 30 cm, 35 cm, 42 cm, 51 cm et 61 cm. Elles présentent de fortes variations des indicateurs sédimentologiques pouvant être influencés par l'intensité de l'évènement.

Les dates des horizons tempétueux, coïncident avec les archives historiques et les données météorologiques[(62)]. Par exemple, à 11 et 18 cm de profondeur, nous avons pu identifier deux horizons marins correspondant respectivement à des évènements datés à 1972 et 1940. Les données historiques exposent la puissance de ces deux tempêtes détectées dans les sédiments. Ces deux évènements ont induit des dégâts venteux considérables, les données historiques recensent des arbres arrachés, des clochers et digues détruites ainsi que des dégâts importants sur les bateaux et toitures. De nombreuses submersions marines ont aussi été identifiées. La tempête de 1940 apr. J.-C. a causé le décès de 30 personnes[86] alors que le coefficient marégraphique était estimé à près de 85 selon le SHOM. Celle de 1972, a provoqué des vents maximums de 172 km/h[87] durant un coefficient marégraphique variant entre 75 et 100.
De nombreuses tempêtes plus anciennes sont peu explicitées, alors que certaines sont précisément détaillées, comme l'évènement de 1876 – 1877 (cm. 35). Le 31 décembre 1876/1er janvier 1877 apr. J.-C., une tempête avec submersion a créé près de 25 km de brèches dans les digues du Croisic, coûtant trois millions de francs de dégâts totaux. Les marais salants de Guérande ont été submergés et les services de soins publics ont été bloqués par ces multiples inondations. Les écrits anciens se focalisaient plus finement sur les dégâts agricoles qu'aujourd'hui, et ces écrits ont estimé une perte de production de sel à hauteur de 25 à 50 %[88]. Par ailleurs, le 4 décembre 1986 (incursion marine estimée au cm. 30), une tempête a causé 33 morts en France durant de nombreuses inondations[89] provoquées par un fort coefficient marégraphique estimé à 95 selon le SHOM. Le 24 février 1838 (cm. 42), une tempête a également produit des « dégâts considérables » selon l'ancien ministère de l'intérieur[90]. Un autre évènement est identifié à 51 cm de profondeur et coïncide avec la tempête du 26 février 1811. Selon les écrits, cet évènement a totalement inondé l'île de Bouin, située à 50 km au sud de la zone du Croisic[91]. Enfin, durant une tempête très intense d'octobre 1775 apr. J.-C. (cm. 61), un écrit mentionne que « *la mer passe par-dessus les chaussées, renverse et entraine un pont* »[(15)].

Conclusion

Ce chapitre présente l'intérêt de multiplier les indicateurs environnementaux pour mieux appréhender les impacts des évènements tempétueux passés sur l'environnement. Son objectif est de décrire les approches méthodologiques permettant de reconstituer ces évènements extrêmes passés aux échelles temporelles : holocène (jusqu'à 8 000 ans), millénaire (1 000 ans) et anthropocène (XVIIIe-XXIe siècles). Cette méthodologie repose sur une analyse « *multiproxy* » employant notamment la sédimentologie, la géochimie et différentes méthodes de datations isotopiques. À travers ces approches, onze submersions marines récentes[62] et neuf phases de forte activité tempétueuse holocène, dont l'évènement le plus ancien date de 7 500 BP, ont été identifiées[61]. Le couplage avec les méthodes issues des autres disciplines comme l'Histoire, l'Archéologie et la Météorologie permet de confirmer avec beaucoup de certitudes l'existence de ces évènements extrêmes, et d'évaluer leurs impacts sur l'environnement et les sociétés littorales du passé (figure 10).

	Analyse sédimentologique holocène	**Analyse sédimentologique millénaire**	**Analyse sédimentologique anthropocène**
Objectifs	*Détecter des phases tempétueuses Holocènes à l'échelle de l'Europe de l'Ouest* *+ Comparaison des phases tempétueuses Holocènes avec la variation des températures mondiales*	*Compréhension des impacts de tempêtes récents avec les méchanismes océano-climatiques pouvant les influencer* *+ Compréhension d'impacts socio-économiques via les archives historiques (géo-archéologie)*	*Evaluer les impacts des évènements récents avec les modélisations océanologiques ou météorologiques.* *+ Estimer des temps de résilience des milieux* *+ Comparer avec une nouvelle méthode dendrochronologique*
Type de terrain *Méthode de carottage*	Marais anciens colmatés Schorre Possibilité de carottage sur sédiment compact : Profondeur importante *Carottier à percussion*	Marais récents actifs Schorre Possibilité de carottage sur sédiment compact : Profondeur importante *Carottier à percussion*	Marais récents actifs Slikke Sédiment humide et non colmaté : Profondeur d'un mètre maximum *Beeker*
Méthode de datation	^{14}C	- ^{210}Pb et ^{137}Cs : couches superficielles - ^{14}C : profondeurs restantes jusqu'à la base	^{210}Pb et ^{137}Cs
Analyses sédimentologiques employées pour la détection de couches marines Etude de Matière Organique *Méthode*	- Radiographie - Taux de vase, de silt et de sables - Grain moyen - Eléments géochimiques Analyse de MO pour l'évolution paléoenvironmentale *Perte au Feu*	- Radiographie - Grain moyen - Eléments géochimiques - Clareté - Susceptibilité magnétique Analyse de MO pour l'évolution paléoenvironmentale *Combustion au Dioxygène*	- Radiographie - Dixième décile - Grain moyen - Ratios géochimiques *(via analyse statistique)* - Clareté - Susceptibilité magnétique Pas d'analyse de l'évolution paléoenvironmentale car carottes trop courtes
Type d'évènement mis en hypothèse **Couplages**	Périodes d'augmentation d'activité tempêtueuse **Sources bibliographiques scientifiques** **Echelle spatiale : façade océanique**	Evènements extrêmes anciens : Tempêtes avec submersion marine ou tsunamis **Archives historiques anciennes** *(+ Sources bibliographiques scientifiques* *+ Informations précises de Météo France)* **Echelle spatiale : façade étatique**	Tempêtes récentes avec submersion marine **Informations précises de Météo France** *(+ Archives historiques récentes pour les tempêtes les plus anciennes)* **Echelle spatiale : Régionale**

Focus sur les 60 dernières années
Analyse dendrochronologique
Echelle spatiale : Locale

Corrélation possible ?

Figure 10 : synthèse des méthodes. © Pierre Pouzet

Bibliographie

81 GARNIER E., SURVILLE F.(dir.), *Climat et révolutions*, Le Croit vif, 2010.

82 SURVILLE F.(dir), *Les Colères de la Nature*, Le Croit vif, 2012.

83 GARNIER E., SURVILLE F. (dir.), La tempête Xynthia face à l'Histoire, croit vif, 2010.

84 GRIMA, Laleu : village aujourd'hui comme hier : notes d'histoire La Rochelle, L. Grima, 1997

85 VIVIER A., *IBID*.

Les paléoévénements extrêmes - Outils et méthodes

86 Sources historiques primaires : *http://tempetes.meteofrance.fr/Tempete-du-16-au-17-novembre-1940.html* ; AD.LA 75 W 274 –31/12/1940, AD.LA 75 W 274 – 18/02/1941, AD.LA 75 W 274 – 12/05/1941 ; AD.V BIB B 1036/1-2.

87 Sources historiques primaires : *http://tempetes.meteofrance.fr/Tempete-du-13-fevrier-1972.html* ; AM.N 1038 W 327 ; AD.V 78/31 1953-1975 – tempête du 13 février 1972.

88 Sources historiques primaires : AD.LA 575 S 1, AD.LA 7 S 181, Journal L'Union Bretonne – 11/01/1877.

89 Sources primaires historiques : *http://tempetes.meteofrance.fr/ Tempete-du-4-decembre-1896.html* ; Journal de la Charente Inférieure, 09/12/1896 ; AD.LA 575 S 1 ; AD.LA 7 R 1/1509 ; AD.LA 3 Z 195 ; AD.V 1 M 558.

90 Sources historiques primaires : Journal de la Charente Inférieure, 01/03/1838-04/04/1838 ; AM.N 7 PRES 15 – 25/02/1838 ; Brunet (1994) ; Bibliothèque Mazarine, 8° 94560-1 et 8° 94560-2, p. 552.

91 Sources historiques primaires : AM.N 55PRES21 03/03/1811 ; Tardy P., 2000.

---

(1) Abrantes, F., Alt-Epping, U., Lebreiro, S., Voelker, A., Schneider, R., 2008. Sedimentological record of tsunamis on shallow-shelf areas: The case of the 1969 AD and 1755 AD tsunamis on the Portuguese Shelf off Lisbon. Marine Geology 249, 283–293. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.12.004

(2) Affouri, A., Dezileau, L., Kallel, N., 2017. Extreme flood event reconstruction spanning the last century in the El Bibane Lagoon (southeastern Tunisia): a multi-proxy approach. Climate of the Past 13, 711–727. https://doi.org/10.5194/cp-13-711-2017

(3) Anderson, W.T., Mullins, H.T., Ito, E., 1997. Stable isotope record from Seneca Lake, New York: Evidence for a cold paleoclimate following the Younger Dryas. Geology 25, 135–138. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1997)025<0135:SIRFSL>2.3.CO;2

(4) Athimon E. & Maanan M., 2018. Vulnerability, resilience and adaptation of societies during major extreme storms during the Little Ice Age. Climate of the Past 14 (10), 1487-1497. https://doi.org/10.5194/cp-14-1487-2018

(5) Baltzer, A., Cassen, S., Walter-Simonnet, A.-V., Clouet, H., Lorin, A., Tessier, B., 2015. Variations du niveau marin Holocène en Baie de Quiberon (Bretagne sud) : marqueurs archéologiques et sédimentologiques. Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire 26, 105–115. https://doi.org/10.4000/quaternaire.7201

(6) Baumann, J., Chaumillon, E., Schneider, J.-L., Jorissen, F., Sauriau, P.-G., Richard, P., Bonnin, J., Schmidt, S., 2017. Contrasting sediment records of marine submersion events related to wave exposure, Southwest France. Sedimentary Geology 353, 158–170. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.03.009

(7) Bozzano, G., Kuhlmann, H., Alonso, B., 2002. Storminess control over African dust input to the Moroccan Atlantic margin (NW Africa) at the time of maxima boreal summer insolation: a record of the last 220 kyr. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 183, 155–168. https://doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00466-7

(8) Brunet, R., 1994. Ars, notre beau village: chronique d'une commune de l'île de Ré au cours de deux siècles d'histoire. R. Brunet, La Rochelle.

(9) Brunet, R., Hervé, T., Robert, F., 1993. Les mots de la géographie dictionnaire critique. Reclus, Montpellier Paris.

(10) Chang, T.S., Flemming, B.W., Tilch, E., Bartholomä, A., Wöstmann, R., 2006. Late Holocene stratigraphic evolution of a back-barrier tidal basin in the East Frisian Wadden Sea, southern North Sea: transgressive deposition and its preservation potential. Facies 52, 329–340. https://doi.org/10.1007/s10347-006-0080-2

(11) Chaumillon, E., Bertin, X., Fortunato, A.B., Bajo, M., Schneider, J.-L., Dezileau, L., Walsh, J.P., Michelot, A., Chauveau, E., Créach, A., Hénaff, A., Sauzeau, T., Waeles, B., Gervais, B., Jan, G., Baumann, J., Breilh, J.-F., Pedreros, R., 2017. Storm-induced marine flooding: Lessons from a multidisciplinary approach. Earth-Science Reviews 165, 151–184. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.12.005

(12) Clarke, M.L., Rendell, H.M., 2009. The impact of North Atlantic storminess on western European coasts: A review. Quaternary International, Hurricanes and Typhoons: From the Field Records to the Forecast 195, 31–41. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.02.007

(13) Cuellar-Martinez, T., Ruiz-Fernández, A.C., Sanchez-Cabeza, J.-A., Alonso-Rodríguez, R., 2017. Sedimentary record of recent climate impacts on an insular coastal lagoon in the Gulf of California. Quaternary Science Reviews 160, 138–149. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.01.002

(14) Culver, S.J., Leorri, E., Mallinson, D.J., Corbett, D.R., Shazili, N.A.M., 2015. Recent coastal evolution and sea-level rise, Setiu Wetland, Peninsular Malaysia. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 417, 406–421. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.10.001

(15) Debresme, M., 1922. Journal de Marc Debresme (1700-1784), in: Bulletin et Mémoires de La Société Archéologique et Historique de Charente, Tome. XIII. A. Favraud, Tournoux, pp. 79–126.

(16) DeVries-Zimmerman, S., Fisher, T.G., Hansen, E.C., Dean, S., 2014. Sand in lakes and bogs in Allegan County, Michigan, as a proxy for eolian sand transport. Geological Society of America. Special Papers 508, 111–131.

(17) Dezileau, L., Pérez-Ruzafa, A., Blanchemanche, P., Degeai, J.P., Raji, O., Martinez, P., Marcos, C., Von Grafenstein, U., 2016. Extreme storms during the last 6,500 years from lagoonal sedimentary archives in Mar Menor (SE Spain). Climate of the Past Discussions 12, 1389–1400. https://doi.org/10.5194/cp-2016-20

(18) Donnelly, J.P., Butler, J., Roll, S., Wengren, M., Webb, T., 2004. A backbarrier overwash record of intense storms from Brigantine, New Jersey. Marine Geology, Storms and their significance in coastal morpho-sedimentary dynamics 210, 107–121. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.05.005

(19) Donnelly, J.P., Roll, S., Wengren, M., Butler, J., Lederer, R., Webb, T., 2001. Sedimentary evidence of intense hurricane strikes from New Jersey. Geology 29, 615–618. https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<0615:SEOIHS>2.0.CO;2

(20) Donnelly, J.P., Woodruff, J.D., 2007. Intense hurricane activity over the past 5,000 years controlled by El Niño and the West African monsoon. Nature 447, 465–468. https://doi.org/10.1038/nature05834

(21) Feal-Pérez, A., Blanco-Chao, R., Ferro-Vázquez, C., Martínez-Cortizas, A., Costa-Casais, M., 2014. Late-Holocene storm imprint in a coastal sedimentary sequence (Northwest Iberian coast). The Holocene 24, 477–488. https://doi.org/10.1177/0959683613520257

(22) Feuillet, T., Chauveau, É., Pourinet, L., 2012. Xynthia est-elle exceptionnelle ? Réflexions sur l'évolution et les temps de retour des tempêtes, des marées de tempête, et des risques de surcotes associés sur la façade atlantique française. Norois n° 222, 27–44.

(23) Fisher, M.M., Brenner, M., Reddy, K.R., 1992. A simple, inexpensive piston corer for collecting undisturbed sediment/water interface profiles. Journal of Paleolimnology 7, 157–161. https://doi.org/10.1007/BF00196870

(24) Francus, P., Bradley, R.S., Lewis, T., Abbott, M., Retelle, M., Stoner, J.S., 2008. Limnological and sedimentary processes at Sawtooth Lake, Canadian High Arctic, and their influence on varve formation. Journal of Paleolimnology 40, 963–985. https://doi.org/10.1007/s10933-008-9210-x

(25) Fruergaard, M., Andersen, T.J., Nielsen, L.H., Johannessen, P.N., Aagaard, T., Pejrup, M., 2015. High-resolution reconstruction of a coastal barrier system: impact of Holocene sea-level change. Sedimentology 62, 928–969. https://doi.org/10.1111/sed.12167

(26) Giuliani, S., Bellucci, L.G., Romano, S., Piazza, R., Turetta, C., Vecchiato, M., Nhon, D.H., Frignani, M., 2015. Exploring the possibility to detect recent temporal changes in highly disturbed sedimentary records through sampling repetitions and core comparisons of porosity and sand content. Environmental Monitoring and Assessment 187, 480. https://doi.org/10.1007/s10661-015-4702-4

(27) Glew, J.R., Smol, J.P., 2016. A push corer developed for retrieving high-resolution sediment cores from shallow waters. Journal of Paleolimnology 56, 67–71. https://doi.org/10.1007/s10933-015-9873-z

(28) Goslin, J., Clemmensen, L.B., 2017. Proxy records of Holocene storm events in coastal barrier systems: Storm-wave induced markers. Quaternary Science Reviews 174, 80–119. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.08.026

(29) Hayne, M., Chappell, J., 2001. Cyclone frequency during the last 5000 years at Curacoa Island, north Queensland, Australia. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 168, 207–219. https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00217-0

(30) Jong, R. de, Björck, S., Björkman, L., Clemmensen, L.B., 2006. Storminess variation during the last 6500 years as reconstructed from an ombrotrophic peat bog in Halland, southwest Sweden. Journal of Quaternary Science 21, 905–919. https://doi.org/10.1002/jqs.1011

(31) Kanbar, H.J., Montargès-Pelletier, E., Losson, B., Bihannic, I., Gley, R., Bauer, A., Villiéras, F., Manceau, L., Samrani, A.G.E., Kazpard, V., Mansuy-Huault, L., 2017. Iron mineralogy as a fingerprint of former steelmaking activities in river sediments. Science of the Total Environment 599–600, 540–553. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.156

(32) Kaniewski, D., Marriner, N., Morhange, C., Faivre, S., Otto, T., Campo, E.V., 2016. Solar pacing of storm surges, coastal flooding and agricultural losses in the Central Mediterranean. Scientific Reports 6. https://doi.org/10.1038/srep25197

(33) Kolen, B., Slomp, R., Jonkman, S.N., 2002. The impacts of storm Xynthia February 27–28, 2010 in France: lessons for flood risk management. Journal

of Flood Risk Management 6, 261–278. https://doi.org/10.1111/jfr3.12011

(34) Lallemand, S., Lehu, R., Rétif, F., Hsu, S.-K., Babonneau, N., Ratzov, G., Bassetti, M.-A., Dezileau, L., Hsieh, M.-L., Dominguez, S., 2015. A 3000 years-old sequence of extreme events revealed by marine and shore deposits east of Taiwan. Tectonophysics. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.11.001

(35) Lambeck, K., Bard, E., 2000. Sea-level change along the French Mediterranean coast for the past 30 000 years. Earth and Planetary Science Letters 175, 203–222. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(99)00289-7

(36) Lambert, W.J., Aharon, P., Rodriguez, A.B., 2008. Catastrophic hurricane history revealed by organic geochemical proxies in coastal lake sediments: a case study of Lake Shelby, Alabama (USA). Journal of Paleolimnology 39, 117–131. https://doi.org/10.1007/s10933-007-9101-6

(37) Le Roy, S., Pedreros, R., André, C., Paris, F., Lecacheux, S., Marche, F., Vinchon, C., 2015. Coastal flooding of urban areas by overtopping: dynamic modelling application to the Johanna storm (2008) in Gâvres (France). Natural Hazards and Earth System Sciences 15, 2497–2510. https://doi.org/10.5194/nhess-15-2497-2015

(38) Liu, K., Fearn, M.L., 2000a. Reconstruction of Prehistoric Landfall Frequencies of Catastrophic Hurricanes in Northwestern Florida from Lake Sediment Records. Quaternary Research 54, 238–245. https://doi.org/10.1006/qres.2000.2166

(39) Liu, K., Fearn, M.L., 2000b. Holocene history of catastrophic hurricane landfalls along the Gulf of Mexico coast reconstructed from coastal lake and marsh sediments, in: Zhu, H., Kamran, K. (Eds.), Current Stresses and Potential Vulnerabilities: Implications of Global Change for the Gulf Coast Region of the United States. Franklin Press, Plymouth, pp. 38–47.

(40) Liu, K., Fearn, M.L., 1993. Lake-sediment record of late Holocene hurricane activities from coastal Alabama. Geology 21, 793–796. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1993)021<0793:LSROLH>2.3.CO;2

(41) Liu, K., Shen, C., Louie, K., 2001. A 1,000-Year History of Typhoon Landfalls in Guangdong, Southern China, Reconstructed from Chinese Historical Documentary Records. Annals of the Association of American Geographers 91, 453–464. https://doi.org/10.1111/0004-5608.00253

(42) Maanan, Mehdi, Maanan, Mohamed, Rueff, H., Adouk, N., Zourarah, B., Rhinane, H., 2018. Assess the human and environmental vulnerability for coastal hazard by using a multi-criteria decision analysis. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal 24, 1642–1658. https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1421452

(43) Maanan, Mehdi, Ruiz-Fernández, A.-C., Maanan, Mohamed, Fattal, P., Zourarah, B., Sahabi, M., 2014. A long-term record of land use change impacts on sediments in Oualidia lagoon, Morocco. International Journal of Sediment Research 29, 1–10.

44) Maanan, Mohamed, Saddik, M., Maanan, Mehdi, Chaibi, M., Assobhei, O., Zourarah, B., 2015. Environmental and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Nador lagoon, Morocco. Ecological Indicators 48, 616–626. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.09.034

(45) Mann, M.E., Woodruff, J.D., Donnelly, J.P., Zhang, Z., 2009. Atlantic hurricanes and climate over the past 1,500 years. Nature 460, 880–883. https://doi.org/10.1038/nature08219

(46) May, S.M., Brill, D., Engel, M., Scheffers, A., Pint, A., Opitz, S., Wennrich, V., Squire, P., Kelletat, D., Brückner, H., 2015. Traces of historical tropical cyclones and tsunamis in the Ashburton Delta (northwest Australia). Sedimentology 62, 1546–1572. https://doi.org/10.1111/sed.12192

(47) May, S.M., Falvard, S., Norpoth, M., Pint, A., Brill, D., Engel, M., Scheffers, A., Dierick, M., Paris, R., Squire, P., Brückner, H., 2016. A mid-Holocene candidate tsunami deposit from the NW Cape (Western Australia). Sedimentary Geology 332, 40–50. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2015.11.010

(48) McGlue, M.M., Silva, A., Assine, M.L., Stevaux, J.C., Pupim, F. do N., 2015. Paleolimnology in the Pantanal: Using Lake Sediments to Track Quaternary Environmental Change in the World's Largest Tropical Wetland, in: Dynamics of the Pantanal Wetland in South America, The Handbook of Environmental Chemistry. Springer, Cham, pp. 51–81. https://doi.org/10.1007/698_2015_350

(49) Morton, R.A., 2002. Factors Controlling Storm Impacts on Coastal Barriers and Beaches: A Preliminary Basis for near Real-Time Forecasting. Journal of Coastal Research 18, 486–501.

(50) Ning, W., Nielsen, A.B., Ivarsson, L.N., Jilbert, T., Åkesson, C.M., Slomp, C.P., Andrén, E., Broström, A., Filipsson, H.L., 2018. Anthropogenic and climatic impacts on a coastal environment in the Baltic Sea over the last 1000 years. Anthropocene 21, 66–79. https://doi.org/10.1016/j.ancene.2018.02.003

(51) Noren, A.J., Bierman, P.R., Steig, E.J., Lini, A., Southon, J., 2002. Millennial-scale storminess variability in the northeastern United States during the Holocene epoch. Nature 419, 821–824. https://doi.org/10.1038/nature01132

(52) Nott, J., Hayne, M., 2001. High frequency of 'super-cyclones' along the Great Barrier Reef over the past 5,000 years. Nature 413, 508–512. https://doi.org/10.1038/35097055

(53) Nott, J., Smithers, S., Walsh, K., Rhodes, E., 2009. Sand beach ridges record 6000 year history of extreme tropical cyclone activity in northeastern Australia. Quaternary Science Reviews 28, 1511–1520. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.02.014

(54) Oliva, F., Peros, M., Viau, A., 2017. A review of the spatial distribution of and analytical techniques used in paleotempestological studies in the western North Atlantic Basin: Progress in Physical Geography: Earth and Environment 41, 171–190. https://doi.org/10.1177/0309133316683899

(55) Oliveira, F.M., Macario, K.D., Simonassi, J.C., Gomes, P.R.S., Anjos, R.M., Carvalho, C., Linares, R., Alves, E.Q., Castro, M.D., Souza, R.C.C.L., Marques Jr., A.N., 2014. Evidence of strong storm events possibly related to the little Ice Age in sediments on the southerncoast of Brazil. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Continental and Coastal Marine Records of Centennial to Millennial Changes in South American Climate since the Last Glacial Maximum 415, 233–239. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.03.018

(56) Otvos, E.G., 2002. Discussion of "Prehistoric Landfall Frequencies of Catastrophic Hurricanes…" (Liu and Fearn, 2000). Quaternary Research 57, 425–428. https://doi.org/10.1006/qres.2002.2333

(57) Pachauri, R.K., Allen, M.R., Barros, V.R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J.A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P., Dubash, N.K., Edenhofer, O., Elgizouli, I., Field, C.B., Forster, P., Friedlingstein, P., Fuglestvedt, J., Gomez-Echeverri, L., Hallegatte, S., Hegerl, G., Howden, M., Jiang, K., Jimenez Cisneroz, B., Kattsov, V., Lee, H., Mach, K.J., Marotzke, J., Mastrandrea, M.D., Meyer, L., Minx, J., Mulugetta, Y., O'Brien, K., Oppenheimer, M., Pereira, J.J., Pichs-Madruga, R., Plattner, G.-K., Pörtner, H.-O., Power, S.B., Preston, B., Ravindranath, N.H., Reisinger, A., Riahi, K., Rusticucci, M., Scholes, R., Seyboth, K., Sokona, Y., Stavins, R., Stocker, T.F., Tschakert, P., van Vuuren, D., van Ypserle, J.-P., 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.

(58) Park, L.E., 2012. Comparing Two Long-Term Hurricane Frequency and Intensity Records from San Salvador Island, Bahamas. Journal of Coastal Research 28, 891–902. https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-11-00065.1

(59) Parris, A.S., Bierman, P.R., Noren, A.J., Prins, M.A., Lini, A., 2009. Holocene paleostorms identified by particle size signatures in lake sediments from the northeastern United States. J Paleolimnol 43, 29–49. https://doi.org/10.1007/s10933-009-9311-1

(60) Pouzet, P., 2018. Étude des paléoévénements extrêmes le long de la côte atlantique française : Approches sédimentologiques, dendrochronologiques et historiques (phdthesis). Université de Nantes.

(61) Pouzet, P., Maanan, M., Piotrowska, N., Baltzer, A., Stéphan, P., Robin, M., 2018. Chronology of Holocene storm events along the European Atlantic coast: New data from the Island of Yeu, France. Progress in Physical Geography: Earth and Environment 42, 431–450. https://doi.org/10.1177/0309133318776500

(62) 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, 181–191. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2018.10.014

(63) Raji, O., Dezileau, L., Von Grafenstein, U., Niazi, S., Snoussi, M., Martinez, P., 2015. Extreme sea events during the last millennium in the northeast of Morocco. Natural Hazards and Earth System Sciences 15, 203–211. https://doi.org/10.5194/nhess-15-203-2015

(64) Ramírez-Herrera, M.-T., Lagos, M., Hutchinson, I., Kostoglodov, V., Machain, M.L., Caballero, M., Goguitchaichvili, A., Aguilar, B., Chagué-Goff, C., Goff, J., Ruiz-Fernández, A.-C., Ortiz, M., Nava, H., Bautista, F., Lopez, G.I., Quintana, P., 2012. Extreme wave deposits on the Pacific coast of Mexico: Tsunamis or storms? — A multi-proxy approach. Geomorphology 139–140, 360–371. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.11.002

(65) Sabatier, P., 2009. Reconstitution des évènements climatiques extrêmes (crues et tempêtes) au cours de l'Holocène dans le Golfe d'Aigues-Mortes (Sud de la France) (phdthesis). Université de Montpellier 2.

(66) Sallenger, A.H., 2000. Storm Impact Scale for Barrier Islands. Journal of Coastal Research 16, 890–895.

(67) Scileppi, E., Donnelly, J.P., 2007. Sedimentary evidence of hurricane strikes in western Long Island, New York. Geochemistry, Geophysics, Geosystems 8, 25. https://doi.org/10.1029/2006GC001463

(68) Scott, D.B., Collins, E.S., Gayes, P.T., Wright, E., 2003. Records of prehistoric hurricanes on the South Carolina coast based on micropaleontological and sedimentological evidence, with comparison to other Atlantic Coast records. GSA Bulletin 115, 1027–1039. https://doi.org/10.1130/B25011.1

(69) Thompson, T.A., Baedke, S.J., 1995. Beach-ridge development in Lake Michigan: shoreline behavior in response to quasi-periodic lake-level events. Marine Geology 129, 163–174. https://doi.org/10.1016/0025-3227(95)00110-7

(70) Vance, R.E., Mathewes, R.W., Clague, J.J., 1992. 7000 year record of lake-level change on the northern Great Plains: A high-resolution proxy of past climate. Geology 20, 879–882. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1992)020<0879:YROLLC>2.3.CO;2

Bibliographie

(71) Williams, H., Choowong, M., Phantuwongraj, S., Surakietchai, P., Thongkhao, T., Kongsen, S., Simon, E., 2015. Geologic Records of Holocene Typhoon Strikes on the Gulf of Thailand Coast. Marine Geology 372, 66–78. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.12.014

(72) Woodruff, J.D., Donnelly, J.P., Okusu, A., 2009. Exploring typhoon variability over the mid-to-late Holocene: evidence of extreme coastal flooding from Kamikoshiki, Japan. Quaternary Science Reviews, Quaternary Ice Sheet-Ocean Interactions and Landscape Responses 28, 1774–1785. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.02.005

(73) Xiong, H., Huang, G., Fu, S., Qian, P., 2018. Progress in the Study of Coastal Storm Deposits. Ocean Science Journal 53, 149–164. https://doi.org/10.1007/s12601-018-0019-x

(74) Yim, J., Kwon, B.-O., Nam, J., Hwang, J.H., Choi, K., Khim, J.S., 2018. Analysis of forty years long changes in coastal land use and land cover of the Yellow Sea: The gains or losses in ecosystem services. Environmental Pollution 241, 74–84. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.058

(75) Yu, K.-F., Zhao, J.-X., Shi, Q., Meng, Q.-S., 2009. Reconstruction of storm/tsunami records over the last 4000 years using transported coral blocks and lagoon sediments in the southern South China Sea. Quaternary International 195, 128–137. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.05.004

(76) Yuan, F., Koran, M.R., Valdez, A., 2013. Late Glacial and Holocene record of climatic change in the southern Rocky Mountains from sediments in San Luis Lake, Colorado, USA. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 392, 146–160. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.09.016

(77) *http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/phenomenes-meteo/les-tempetes*

(78) *http://www.shom.fr/les-activites/projets/vagues-submersion/*

Glossaire

Accores de fond : côte sans estran où les fonds plongent immédiatement à partir du trait de côte.

Aire de saline : cristallisoir au sud de la Loire, partiellement ou totalement remplacé par l'œillet guérandais dans les marais de la Baie de Bourgneuf à partir du XVIIIe siècle.

Aléa : phénomène naturel remarquable par son caractère exceptionnel tant dans son intensité que par sa fréquence (période de retour) et imprévisible à court, moyen terme.

Araser : mettre à niveau, égaliser.

Avarie : dommage survenu à un bâtiment (navire) ou aux marchandises dont il est chargé.

Bathymétrie : mesure des profondeurs marines.

Bonde : fermeture du trou d'écoulement des eaux.

Bossis : talus bordant ou compartimentant une saline ; est souvent mis en culture.

Brise-lame : ouvrage naturel ou construction à l'entrée d'un port et au-dessus des eaux pour amortir la violence des flots.

Coef (coué) : conduit d'eau sous un bossis ou une levée dans un marais salant, souvent dégradé ou détruit lors d'une submersion marine.

Coefficient de marée : le coefficient de marée donne une indication du marnage, c'est-à-dire de la différence de hauteur d'eau entre pleine et basse mer. Il est théoriquement situé entre 20 et 120. Le coefficient de marée n'est qu'une approximation car il n'intègre que les principales ondes de marée.

Conche : bassin naturel qui constitue le second réservoir d'un marais salant, à Oléron ou dans les marais de la Seudre.

Côte macrotidale : côte subissant une amplitude importante de marée (plus de 4 à 5 mètres).

Cote ZH (Zéro hydrographique) : le zéro hydrographique – ou zéro des cartes marines – est le niveau de référence des cartes marines et des annuaires de marée. Le zéro hydrographique est théoriquement le niveau des plus basses mers astronomiques extrêmes, soit une basse mer de coefficient 120 en conditions météorologiques moyennes.

Cristallisoir : compartiment de la saline où s'accomplit la cristallisation du sel.

Cyclone : perturbation atmosphérique mobile organisée autour d'un centre de basse pression. Le terme de « cyclone », utilisé depuis 1845, a été progressivement adopté dans le monde entier jusqu'à désigner les perturbations extra-tropicales, bien que les cyclones tropicaux ne possèdent pas la même structure, ni les mêmes dimensions, ni la même origine que les cataclysmes atmosphériques.

Dérader : quitter une rade servant de mouillage de manière accidentelle ou volontaire, suite par exemple à une tempête.

Diachronique : qui concerne l'appréhension d'un fait ou d'un ensemble de faits dans son évolution à travers le temps.

Dundee : petit voilier à deux mâts souvent utilisé pour la pêche.

Échelle MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik) : échelle de mesure de l'intensité d'un tremblement de terre, allant de I (seuls les sismographes très sensibles enregistrent les vibrations) à XII (les villes sont rasées, bouleversements importants de la topographie, fissures visibles à la surface). L'intensité d'un tremblement de terre mesure les dégâts suivant une échelle linéaire. Elle doit être distinguée de la magnitude qui mesure l'énergie libérée.

Écluse de chasse : ouvrage destiné à réguler le débit d'une étendue d'eau.

Étiage : période pendant laquelle les niveaux d'eau sont les plus bas.

Étier : estuaire ou canal soumis à la marée.

Extrême : les climatologues s'accordent à le considérer comme un phénomène météorologique s'écartant fortement des moyennes pluviométriques, thermométriques ou éoliennes. Le rapport SREX de 2012 (Giec), justement consacré à ce type d'événements, déclare « qu'il n'y a pas de définition précise d'un extrême » mais « qu'il correspond généralement » à l'aléa ou au risque.

Foraminifères : organismes microscopiques aux coquilles minérales utilisés pour la datation de roches sédimentaires.

Garenne : terrain où les seigneurs se réservaient le droit de chasse et de pêche.

Géomatique : discipline regroupant les pratiques, méthodes et technologies qui permettent de collecter, analyser et diffuser des données géographiques.

Géomorphologique : étude scientifique des formes de la surface terrestre et de leur évolution.

Golfe : vaste avancée de la mer à l'intérieur des terres et dont l'ouverture est ordinairement très large.

Hâlage (halage) : action de haler un bateau ; de le tirer à soi avec une corde manuellement ou à l'aide d'un moteur sur les bords d'un canal ou d'une rivière.

La Baie : nom propre relatif à la Baie de Bourgneuf et à ses ports alentours à la fin du Moyen Âge et au début de l'époque moderne. Le vaste plan d'eau est délimité au sud-ouest par l'île de Noirmoutier, à l'est par la côte de la seigneurie de Beauvoir-sur-Mer et par l'île de Bouin, au nord par le littoral des seigneuries de Bourgneuf-en-Retz, de Machecoul, de Prigny et de Pornic incluses dans la baronnie de Retz. Il s'applique par extension aux rivages de ce plan d'eau. Sur les cartes marines, à partir

de la fin du XVIIe siècle, il est remplacé par « Baie de Bourgneuf ».

Lagune : étendue d'eau salée ou saumâtre, isolée de la mer par une construction littorale.

Lais de mer : terrains que la mer en se retirant laisse à découvert de façon permanente.

Levée : remblai retenant les eaux pour empêcher l'inondation et servant de chaussée.

Littoralisation : concentration de la population et de l'activité économique en bord de mer.

Maline : grande marée au moment de la nouvelle et de la pleine lune.

Marée de vive-eau : marée de très forte amplitude se produisant lorsque la Lune et le Soleil sont en syzygie.

Marnage : amplitude entre la zone de basse marée et de haute marée.

Mascaret : vague qui remonte le cours d'un fleuve depuis son embouchure au moment des fortes marées d'équinoxe.

Métayer : travailleur agricole qui reçoit une portion de la récolte comme rémunération de son travail car il n'est pas propriétaire de la terre qu'il cultive.

Métière : premier ou deuxième réservoir d'une saline.

Monceau de sel : tas de sel.

NGF : nivellement général de France. Repère altimétrique dont le niveau zéro, en France métropolitaine, est déterminé par le marégraphe de Marseille.

Paléotempestologie : étude de l'activité passée des tempêtes au moyen de données géologiques et d'archives documentaires.

Panne : amas de nuages, de brume.

Passe : chenaux de vidange servant d'exutoire aux eaux d'une lagune ou d'une baie qui permettent aux navires venant de l'océan Atlantique de pénétrer dans le bassin, sans risquer de s'échouer.

Perré : revêtement en pierres sèches ou en maçonnerie, destiné à renforcer un remblai, les rives d'un fleuve, les parois d'un canal, etc.

Poldérisation : action de transformer une étendue d'eau ou encore une région en polder. Ces terrains sont artificiellement gagnés sur la mer en drainant et en construisant des digues pour protéger les terres nouvellement conquises.

Polders : terres gagnées sur la mer, lacs ou marais par endiguement.

Rade : bassin naturel ou artificiel de vastes dimensions, ayant une issue vers la mer, où les navires trouvent un bon mouillage.

Ravinée : qui est creusée d'entailles plus ou moins profondes.

Rebras (Digue de rebras) : digue de mer qui borde un étier.

Ressac : agitation de la surface de la mer.

Rouche : plante du genre carex, poussant dans des lieux humides et marécageux.

Salicole (activité salicole) : relatif à l'exploitation d'une saline, d'un marais salant.

Saunaison : période de l'année pendant laquelle le sel cristallise.

Sauner : produire du sel.

Saunière/Saunier : celle/celui qui récolte le sel. On le qualifie de saunier dans les régions situées au sud de la Loire, de paludier dans celles situées au nord de la Loire.

Schorre : partie haute de la zone vaseuse d'un littoral, submergée seulement aux grandes marées, où croît une végétation herbacée qui fixe partiellement la vase et peut être pâturée (prés salés).

Sédimentation : ensemble des phénomènes qui conduisent à la formation et au dépôt d'un sédiment.

Seiche (phénomène de seiche) : oscillation (allant de quelques minutes à plusieurs heures) du niveau d'un lac ou d'un autre plan d'eau, causée par de petites secousses sismiques, des vents ou des variations de la pression atmosphérique.

Slikke : estran de vase.

Stratigraphie : étude de la succession de différentes couches géologiques (strates).

Surcote : différence entre le niveau marin réellement constaté et celui attendu du fait de la seule marée astronomique. La surcote est le plus souvent consécutive aux conditions météorologiques (dépression atmosphérique, vent, tempête, etc.) et parfois sismiques (tsunami).

Surcote barométrique : écart positif entre la hauteur de marée observée et celle prédite à partir des conditions astronomiques, due à une baisse de pression.

Susceptibilité magnétique : analyses présentant un marqueur du taux d'apports détritiques par rapport aux carbonatés dans une roche sédimentaire.

Syzygie : conjonction ou opposition de la Lune avec le Soleil, correspondant aux périodes de nouvelle ou de pleine lune.

Tempête : perturbation atmosphérique importante sur terre ou sur mer, caractérisée essentiellement par un vent violent (souvent accompagné de précipitations) et, en mer ou sur un lac, par de fortes vagues.

Terre de bri : terme usité dans le centre Ouest de la France pour désigner un sol argileux de marais littoral de couleur bleutée.

Tesselier : aire sur laquelle est empilé un monceau de sel.

Tocsin : sonnerie de cloche à coups répétés et prolongés pour donner l'alarme en cas de catastrophe naturelle, d'incendie, de mobilisation générale, etc.

Tosser : faire heurter le quai (à cause du ressac).

Trait de côte : limite géographique entre le domaine marin et le domaine terrestre. Il correspond à la laisse des plus hautes mers dans le cas d'une marée astronomique de coefficient 120, dans des conditions météorologiques normales.

TSF : transmission sans fil, aussi qualifiée de radiodiffusion ou de radiocommunication.

Tsunami : onde de choc engendrée par un tremblement de terre ou une explosion volcanique. De très grande longueur d'onde, sa propagation est rapide. A l'arrivée de la côte, elle provoque des vagues très hautes et destructrices.

Typhon : cyclone tropical de la mer de Chine et, plus généralement du nord-ouest du Pacifique, provoquant de grandes dévastations (Cf. Cyclone).

Vimers : en moyen français des provinces de l'Ouest, vimer signifie grand dérangement. Un « vimer de mer » désigne une forte tempête avec ou sans submersion marine.

Vulnérabilité : exposition des biens ou des personnes à un aléa.

Remerciements

Nous adressons nos remerciements à toutes les personnes qui ont contribué à la mise en œuvre et à la réussite de la publication de cet ouvrage historique sur les submersions marines passées, dans le cadre du Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI) dans la Baie de Bourgneuf.

A tous les contributeurs, dont les noms sont indiqués au début des articles :

- Emmanuelle Athimon, Docteure de l'Université de Nantes.
- Paul Fattal, Professeur des Universités à l'Université de Nantes.
- Emmanuel Garnier, Directeur de Recherche CNRS à l'Unité Mixte de Recherche CNRS Chrono-Environnement de Besançon, Université de Franche-Comté.
- Baptiste Le Mauff, Ingénieur de recherche à l'Institut de Géographie et d'Aménagement Régional à l'Université de Nantes.
- Mohamed Maanan, Maître de conférences à l'Université de Nantes.
- Pierre Pouzet, Post-doctorant à l'Université de Nantes.
- Marc Robin, Professeur des Universités, à l'Université de Nantes.
- Jean-Luc Sarrazin, Professeur émérite des Universités en Histoire Médiévale, Université de Nantes.
- Thierry Sauzeau, Professeur d'Histoire Moderne, Université de Poitiers, laboratoire Criham / GiS Histoire et sciences de la mer (CNRS / InSHS)
- Frédéric Surville, Historien et Coordinateur de groupe de travail Espace Climat Océan Littoral.
- Johan Vincent, Chercheur associé au TEMOS, Université de Bretagne-Sud.

Les auteurs expriment leurs vifs remerciements à Nicolas Garnier, Président de l'association « Mémoires du sel » qui a fourni les illustrations des pages 22, 23, 24 et a bien voulu en rédiger les légendes.

Ils remercient également Yannis Suire, Conservateur en chef du patrimoine et Directeur du CVRH pour les photographies des deux cartes de Claude Masse, page 21.

Aux photographes :

- Louis-Marie Préau
- Patrice Baldau

Aux partenaires :

- L'Association « Les Amis de L'Île de Noirmoutier ».
- L'Association « Mémoire du sel ».
- Le Centre Vendéen de Recherches Historiques.
- Les Archives de Vincennes – Service historique de la Défense

Collectivités :

- L'État
- Les Directions Départementales des Territoires et de la Mer de Vendée et de Loire-Atlantique
- La Région des Pays de la Loire
- Le Conseil Départemental de la Loire-Atlantique
- Le Conseil Départemental de la Vendée
- La Communauté de Communes Océan-Marais de Monts (coordinateur du PAPI)
- La Communauté de Communes Challans-Gois Communauté
- La Communauté d'Agglomération Pornic Agglo Pays de Retz
- Le PETR du Pays de Retz

Chefs de projet :

- Elodie Rougemont, Chef du Pôle Culture de la Communauté de Communes Océan-Marais de Monts ; Jean Magne, Chef du Pôle Environnement de la Communauté de Communes Océan-Marais de Monts.

Coordination :

- Pôles Culture et Environnement de la Communauté de Communes Océan-Marais de Monts.
- Ainsi que l'ensemble du personnel de la Communauté de Communes Océan-Marais de Monts.

Groupe de travail :

- Hugues Baudry, chargé de projet développement durable au PETR du Pays de Retz ; Manon Brohan, Médiatrice scientifique ; Anne-Gaël Daniel, Service Environnement à Challans Gois Communauté ; Florian Enselme, Responsable service Milieux Aquatiques – Prévention des Inondations de la Communauté d'Agglomération Pornic Agglo Pays de Retz ; Alice Herbreteau, Chargée des relations presse et publiques – Référente environnement à la Communauté de Communes Océan-Marais de Monts ; Laurent Mainette, Responsable Pôle Environnement et Infrastructures à Challans Gois Communauté ; Thierry Vigile, Responsable Pôle Eau de la Communauté d'Agglomération Pornic Agglo Pays de Retz.

Pour en savoir plus, retrouvez des références d'ouvrages sur http://www.oceanmaraisdemonts.fr.

Suivi éditorial : Rémi Knaff
Création et mise en page : Nicolas Sourgens
Traitement de l'iconographie : Nicolas Sourgens
Relecture : Julien Marmayou, Rémi Knaff

Impression : Sepec (France)

Dépôt légal : août 2019
Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction réservés pour tous pays.

Référence bibliographique à utiliser :
Les risques littoraux dans la Baie de Bourgneuf du XIVe siècle à nos jours - Les enseignements de l'Histoire. 96 p.

1re de couverture : front de mer de Saint-Jean-de-Monts et vue aérienne de la Baie de Bourgneuf © Louis-Marie Préau.
4e de couverture : dune de Notre-Dame-de-Monts © Louis-Marie Préau, vue aérienne de la digue de la Parisienne © Patrice Baldau-Bouin.