



HAL
open science

Géohistoire des tempêtes et submersions marines depuis 1 000 ans : quelles interprétations climatiques dans l'ouest de la France ?

Pierre Pouzet, Emmanuelle Athimon, Mohamed Maanan

► **To cite this version:**

Pierre Pouzet, Emmanuelle Athimon, Mohamed Maanan. Géohistoire des tempêtes et submersions marines depuis 1 000 ans : quelles interprétations climatiques dans l'ouest de la France ?. Bulletin de l'Association de géographes français, 2022, Les risques littoraux, 98 (3/4), pp.348-365. 10.4000/bagf.8168 . hal-03588615

HAL Id: hal-03588615

<https://hal.science/hal-03588615>

Submitted on 25 Feb 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.

Géohistoire des tempêtes et submersions marines depuis 1 000 ans : quelles interprétations climatiques dans l'ouest de la France ?

(GEOHISTORY OF STORMS AND MARINE FLOODING IN THE LAST
1000 YEARS: WHAT CLIMATIC INTERPRETATIONS IN WESTERN
FRANCE?)

Pierre POUZET*, **Emmanuelle ATHIMON****
& **Mohamed MAANAN*****

RÉSUMÉ – Dans le contexte actuel lié au changement climatique, l'étude des risques côtiers implique la considération des fluctuations historiques de l'aléa pour comprendre les paramètres océano-climatiques guidant sa variabilité. Grâce au couplage entre données sédimentologiques et historiques, quinze tempêtes intenses ont été extraites d'un carottage prélevé aux Traicts du Croisic, tandis que 128 évènements impactant ont été recensés par les sources historiques durant le dernier millénaire. La synthèse des travaux sédimentologiques et historiques réalisée dans l'ouest de la France met en lumière trois périodes tempétueuses communes estimées à environ 1330 – 1360 ap. J.-C., 1570 – 1620 ap. J.-C. et 1690 – 1720 ap. J.-C. Ces trois périodes s'inscrivent durant des phases de péjoration climatique, ou de tendance froide. Si l'activité tempétueuse semble être accrue durant les phases positives d'Oscillation Nord Atlantique (ONA), aucune corrélation stricte n'est établie. La variation de position du "rail des dépressions" expliquerait également certaines trajectoires. Pour relativiser ces résultats et proposer de nouvelles perspectives pour améliorer la gestion des risques côtiers en France, les limites de cette étude sont également discutées. Cette approche doit notamment gagner en exhaustivité pour préciser la chronologie tempétueuse, mais également l'étendre sur la totalité de la façade atlantique française et ainsi considérer l'ensemble des mécanismes susceptibles de guider leur formation en Europe de l'Ouest.

* Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche à l'Université de Nantes (IGARUN) rattaché à l'UMR CNRS 6554 Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique (LETG), Chemin de la Censive du Tertre, 44300 Nantes – Courriel : pierre.pouzet@univ-nantes.fr

** Chercheuse post-doctorante au Laboratoire d'Hydraulique Saint-Venant (ENPC, EDF, CEREMA), École Nationale des Ponts ParisTech, 6 quai Wattier, bâtiment I, 78146 Chatou, Courriel : emmanuelle.athimon@enpc.fr

*** Maître de Conférences HDR à l'Université de Nantes (IGARUN) rattaché à l'UMR CNRS 6554 Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique (LETG), Chemin de la Censive du Tertre, 44300 Nantes – Courriel : mohamed.maanan@univ-nantes.fr

Mots-clés : *Climatologie – sédimentologie - sources historiques - côte atlantique*

ABSTRACT – *In the current climate change context, studying coastal risks involves considering the hazard's historical fluctuations to understand the ocean-climatic parameters that guide its variability. Thanks to the coupling of sedimentological and historical data, fifteen intense storms were extracted from a core sampled in the Traicts of the Croisic, while 128 impacting events were recorded by historical sources during the last millennium. The synthesis of sedimentological and historical works carried out in western France highlights three common stormy periods estimated at approximately 1330 – 1360 AD, 1570 – 1620 AD and 1690 – 1720 AD. These three periods are part of climate pejouration phases, or of cold tendencies. While storm activity appears to increase during North Atlantic Oscillation (NAO)'s positive phases, no strict correlations are established. The change in position of the “mid-latitude storm tracks” could also explain some trajectories. To put these results into perspective and offer new prospects to improve French coastal risk management, the limits of this study are also discussed. This approach must be more exhaustive to specify the tempestuous chronology, but also extend it to the entire French Atlantic coast and thus consider all the mechanisms likely to guide their formation in Western Europe.*

Key words : *climatology – sedimentology - historical sources - Atlantic coast*

Introduction

À la suite des tempêtes Lothar et Martin survenues à la fin du mois de décembre 1999, l'ancien directeur de la climatologie de Météo-France, Pierre Bessemoulin, regrettait l'inexistence d'un inventaire historique exhaustif des tempêtes [Bessemoulin 2002]. Pour la recherche historique française, ces tempêtes ont été à l'origine d'une première phase de travaux sur le sujet [Birost & al. 2009, Corvol (*dir.*) 2005, Tabeaud & al. 2009]. Au lendemain de la tempête Xynthia (nuit du 27 au 28 février 2010), une seconde phase de recherches, fortement pluridisciplinaires, s'ouvre pour mieux comprendre le risque de submersion marine [Chaumillon & al. (*dir.*) 2014, Garnier & Surville (*dir.*) 2010, Mercier (*dir.*) 2012]. Ces travaux visent notamment à reconstruire l'histoire de cet aléa. Depuis une dizaine d'années, de nombreuses études sédimentologiques et historiques permettant de retracer l'histoire des tempêtes et submersions passées ont été effectuées dans l'ouest de la France [e.g. Athimon 2021, Breilh & al. 2014, Garnier & al. 2018, Peret & Sauzeau 2014, Pouzet 2018, Pouzet & Maanan 2020, Sarrazin & Athimon 2019, Van Vliet-Lanoë & al. 2014]. Malgré le foisonnement de travaux de recherche, la reconstruction historique des tempêtes et submersions est encore incomplète. Le recours à l'interdisciplinarité par le croisement de sources historiques et sédimentologiques permet d'approfondir la connaissance sur la variabilité de l'aléa, pour ainsi appréhender ses influences climatiques.

Le cadre spatio-temporel de cette étude cible le dernier millénaire et l'ouest de la France (Fig. 1).

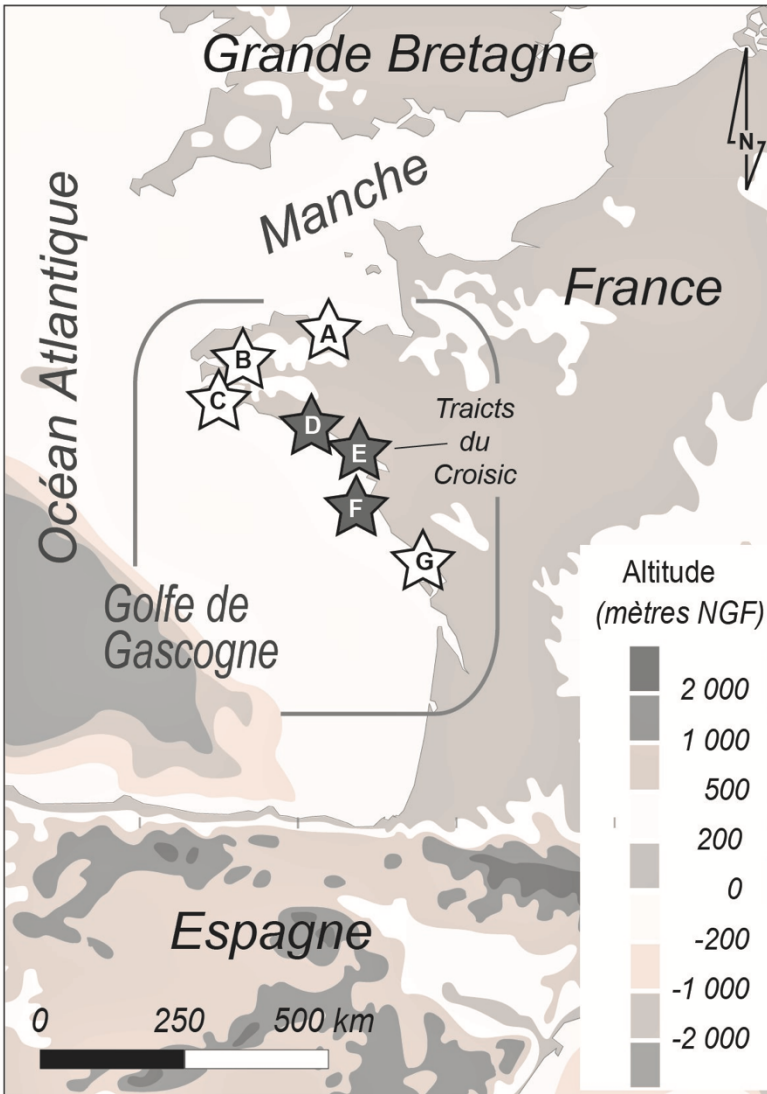


Figure 1 – Cadre spatial de l'étude : à partir des sources historiques (cercle gris) ; à partir des archives sédimentologiques issues des travaux réalisés par les auteurs (étoiles rouges) ou provenant d'autres références bibliographiques (étoiles jaunes) : A : Nord de la Bretagne et ouest du Cotentin [Van Vliet-Lanoë & al. 2017]; B : Nord-est et sud-ouest de la Bretagne [Regnauld 1999]; C : baie d'Audierne [Van Vliet-Lanoë & al. 2014]; D : Petite mer de Gâvres [Pouzet & Maanan 2020]; E : Traicts du Croisic (cette étude, [Pouzet & Maanan 2020]); F : Île d'Yeu [Pouzet & al. 2018]; G : Pertuis charentais [Poirier & al. 2017].

La reconstruction tempétueuse à partir de sources historiques s'étend du nord de la Bretagne au bassin d'Arcachon, espace régulièrement soumis aux tempêtes. Au sein de cette emprise, sept espaces ont été retenus pour la synthèse sédimentologique : nord Bretagne - ouest Cotentin [Van Vliet-Lanoë & al. 2017] ; Bretagne [Regnauld 1999] ; Baie d'Audierne [Van Vliet-Lanoë & al. 2014] ; Petite mer de Gâvres [Pouzet & Maanan 2020] ; Traicts du Croisic (cette étude, [Pouzet & Maanan 2020]) ; Île d'Yeu [Pouzet & al. 2018] et pertuis charentais [Poirier & al. 2017]. Parmi eux, trois sites ont été analysés dans le cadre des travaux de l'Observatoire Régional des Risques Côtiers (OR2C) : la Petite mer de Gâvres, les Traicts du Croisic et l'Île d'Yeu. Ces trois sites ont été sélectionnés selon trois critères : i) ce sont des zones basses protégées par un cordon dunaire littoral ; ii) peu anthropisées et iii) localisées dans un espace à forte activité tempétueuse. Les objectifs de cette étude sont i) de déterminer des périodes tempétueuses à partir de la reconstruction croisée de sources historiques et sédimentologiques ; ii) de questionner les possibles interprétations climatiques (température, Oscillation Nord Atlantique (ONA), rail de dépressions, etc.) à l'origine de ces différentes périodes tempétueuses ; et iii) de démontrer l'intérêt de croiser ces deux disciplines pour étudier la géohistoire des tempêtes et submersions marines dans l'ouest de la France depuis 1000 ans. Cette publication s'appuie sur les travaux précédemment publiés dans Athimon [2021] et Pouzet & Maanan [2020].

1. Identifier les tempêtes marquantes survenues durant le dernier millénaire par une approche pluridisciplinaire

L'identification des tempêtes ayant affecté l'ouest de la France durant le dernier millénaire s'appuie tout d'abord sur le recueil de plusieurs données sédimentologiques. Cette façade est soumise à des tempêtes extratropicales d'intensité plus faible que les cyclones tropicaux, et est soumise à un fort marnage. Dans cette côte macrotidale, les paramètres météo-marins (marée, houle, vagues, vent et pression) intenses doivent donc être combinés pour impacter significativement ces littoraux. Par le croisement de nombreux indices notamment issus de la granulométrie, de la matière organique et de la géochimie, plusieurs environnements de dépôts marins allochtones aux marais maritimes analysés sont détectés. Ces niveaux sont datés par radio-isotopie pour estimer leur période de dépôt. Une datation au ^{210}Pb et ^{137}Cs permettant d'évaluer les dépôts récents (derniers siècles) a été couplée aux analyses ^{14}C de coquilles extraites dans les horizons les plus profonds, pour retracer les événements survenus durant le dernier millénaire. Cette datation du faciès marin est ensuite croisée avec les sources historiques pour pouvoir confirmer ou réfuter l'hypothèse de son influence tempétueuse [Pouzet 2018]. La Figure 2 présente un exemple de détection sédimentologique de submersion marine historique. Les pics de grains moyens, couplés à ceux d'indice géochimique

d'environnement marin et aux décroissances successives de CO₂ illustrent des environnements temporaires sableux riches en silicium, calcium et strontium. La radiographie confirme la linéarité des strates et témoigne d'un contact net avec les couches sous- et sus-jacentes. Ces indices sont caractéristiques d'un environnement marin, et prouvent que le dépôt est allochtone à la lagune. Dix-huit tempêtes potentielles ont été détectées dans la séquence stratigraphique de cette carotte prélevée aux Traicts du Croisic (TDC2017-3/T3M) [Pouzet & Maanan 2020].

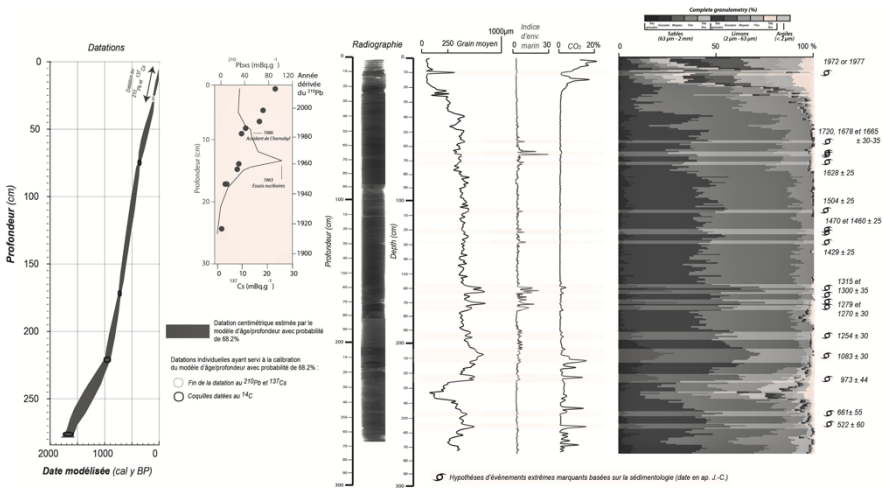


Figure 2 – Chronologie de tempêtes historiques à partir d'une archive sédimentologique extraite aux Traicts du Croisic (référence de la carotte : TDC2017-3/T3M), à partir de Pouzet & Maanan [2020].

La reconstruction des tempêtes ayant affecté l'ouest de la France s'appuie également sur des archives historiques. Il s'agit de sources historiques en grande majorité primaires, mais aussi secondaires. Le premier aléa météorologique relativement bien documenté par les sources écrites conservées étant celui de l'hiver 1351-1352 (n.st) ap. J.-C. [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. Le cadre spatial de cette étude comprend les territoires et/ou ex-territoires de Bretagne, Maine, Anjou, « Marches », Poitou, Aunis, Saintonge, Angoumois et Généralité de Bordeaux (Fig. 1, cercle gris). Les informations sont issues de sources écrites (livres de raison, registres

de comptabilité, rapports d'ingénieurs, devis de réparation, correspondance, etc.), de données instrumentales, de sources matérielles et iconographiques (ex-voto, peintures, cartes anciennes...). Les sources historiques et données qu'elles contiennent ont été soumises à une analyse critique serrée, en accord avec la méthode de travail des historiens. 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 évènements à impacts [Athimon & Maanan 2018] (Fig. 3).

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

1) Les sources historiques enregistrent la survenue d'une tempête si cette dernière désorganise le prélèvement seigneurial, compromet les récoltes, entraîne des dépenses inattendues (réparations), rend 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 réunir des renseignements isolés dans des écrits n'ayant pas véritablement été produits pour cet usage.

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

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

De ce travail de reconstruction, des périodes d'augmentation puis de régression de l'activité tempétueuse semblent émerger (Fig. 3). Ce sont dans les territoires et/ou ex-territoires des « Marches », de l'Aunis, puis secondairement de Bretagne, du Poitou et de la Généralité de Bordeaux que le plus d'évènements sont recensés [Athimon 2021].

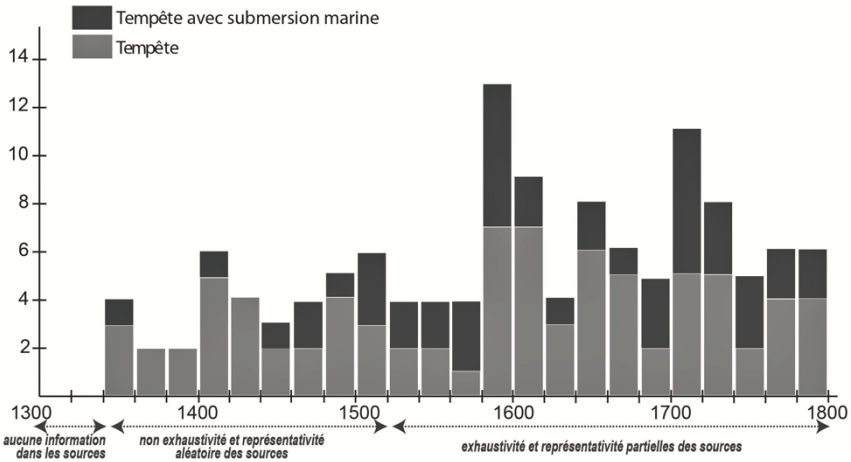


Figure 3 – Reconstruction historique des tempêtes et submersions marines sur l’ouest de la France à partir des sources historiques (XIV^e-XVIII^e siècles), à partir d’Athimon [2021].

Les deux approches ont ensuite été croisées pour affiner les datations sédimentologiques et apporter des précisions sur les impacts socio-économiques des événements les plus marquants. Quinze des dix-huit tempêtes identifiées par l’étude sédimentologique sont survenues durant le dernier millénaire, et ont été confirmées par les sources historiques et bibliographiques (Fig. 2). Cinq d’entre elles, datées en 1751, 1711, 1645, 1469 et 1351 ap. J.-C. semblent avoir provoqué des impacts socio-économiques marquants [Athimon 2021, Desarthe 2014, Garnier & al. 2018, Garnier & Surville (*dir.*) 2010, Sarrazin 2012, Sauzeau 2014].

2. Activité tempétueuse et climatologie dans l’ouest de la France

2.1. Identification des périodes tempétueuses

Pour mettre en lumière les périodes tempétueuses, six autres études sédimentologiques issues de travaux réalisés par les auteurs (étoiles rouges) et de la bibliographie (étoiles jaunes) sont employées en complément de l’étude de données historiques. Ces différentes reconstructions sont ensuite comparées pour évaluer la variation de l’activité tempétueuse sur le dernier millénaire. Les données issues des carottages réalisés à l’Île d’Yeu [Pouzet & al. 2018], et à la Petite mer de Gâvres [Pouzet & Maanan 2020] sont notamment employées (Fig. 1, étoiles rouges). Enfin, pour étendre l’emprise spatiale de l’étude sur l’ensemble du nord-ouest de la France, un recueil bibliographique nous permet également

d'intégrer à notre reconstruction les périodes tempétueuses détectées par sédimentologie dans le nord de la Bretagne et l'ouest du Cotentin [Van Vliet-Lanoë & al 2017], dans l'ensemble de la Bretagne [Regnauld 1999], en baie d'Audierne [Van Vliet-Lanoë & al. 2014] et dans le pertuis charentais [Poirier & al. 2017] (Fig. 1, étoiles jaunes). La Figure 4 (p. 356) met en parallèle ces différentes chronologies, en synthétisant les différentes périodes évaluées.

Dans un premier temps, les données issues de Meurisse-Fort [2007] et résumées dans Van Vliet-Lanoë & al. [2017, Fig. 3 de cette référence] ont été exposées en Fig. 4 ligne A. Les dates 1430-1459 ap. J.-C., 1541-1650 ap. J.-C. et 1703 ap. J.-C. ont été identifiées comme étant des tempêtes ayant affecté le nord Bretagne et l'ouest-Cotentin (retrouvées dans une série composée de trois stratigraphies) selon cette première source. Regnauld [1999, Table 1 de cette référence] étudie l'ensemble de la Bretagne. Au travers de sa synthèse, il met en exergue les dates 810 ± 50 BP, 370 ± 60 BP, 240 ± 60 BP et 113 ± 10 BP, correspondant donc à 1140 ± 50 , 1580 ± 60 , 1710 ± 60 et 1837 ± 10 ap. J.-C comme niveaux de tempête. (Fig. 4 ligne B). En baie d'Audierne, nous retrouvons les dates tempétueuses de 1014-1052 ap. J.-C., 1200 ap. J.-C., 1335 ap. J.-C., 1570 ap. J.-C., 1703 ap. J.-C. et 1795 ap. J.-C. (Fig. 4 ligne C) extraites d'une séquence stratigraphique présentée dans Van Vliet-Lanoë & al. [2014, Fig. 4 de cette référence]. Les trois références suivantes (Fig. 4 lignes D, E et F) renvoient aux études réalisées par les auteurs de cette publication dans le cadre de l'Observatoire Régional des Risques Côtiers (OR2C). Huit tempêtes passées sont recensées dans la stratigraphie d'une carotte prélevée dans la Petite mer de Gâvres (1325 ± 80 ap. J.-C., 1445 ± 40 ap. J.-C., 1775 ± 30 ap. J.-C., 1896 ap. J.-C. 1924 et 1940 ap. J.-C. au sein d'une période commune et 1990 et 1999 ap. J.-C. au sein d'une période commune ; Pouzet & Maanan [2020], Fig. 4 ligne D). Quinze événements sont détectés (mis en lumière sur la Figure 2) aux Traicts du Croisic (TDC) durant le dernier millénaire (Fig. 4 ligne E). Les résultats de l'étude holocène de l'Île d'Yeu (synthèse à l'échelle de l'île issue de trois carottes) sont également retranscrits [Pouzet & al 2018] : une période tempétueuse ($590 - 540$ cal y BP ; correspondant donc à 1360 - 1410 ap. J.-C.) est discutée sur l'ensemble de l'île, et une marque récente est estimée à une date post-2010 ap. J.-C. au marais de la Croix (Fig. 4 ligne F). La synthèse régionale de Poirier & al. [2017] qui a étudié le pertuis Charentais est ajoutée en Figure 4 ligne G. Trois « *coarse-grained sedimentation pulses* » (CSP) sont estimés vers 800, 650 et 450 cal y BP (correspondant à 1150, 1300 et 1500 ap. J.-C.) liés à des périodes de haute activité morphogénique, après analyses des marais poitevin, de Rochefort et de la baie de Marennes-Oléron. Enfin, la survenue de 128 tempêtes passées a été précisée par les sources historiques (Fig. 4 ligne H). Avant le XVI^e siècle, la reconstruction souffre de trop importantes lacunes documentaires pour véritablement être prise en compte, même s'il sera signalé que le petit "pic" du début du XV^e siècle est également identifié en mer du Nord [Gottschalk 1980, Lamb 1980]. Entre les XVI^e et XVIII^e

siècles, trois périodes se dégagent : 1580-1620, 1640-1660 et 1700-1720 ap. J.-C. Celles de 1580-1620 ap. J.-C. et 1700-1720 ap. J.-C. se retrouvent aussi en mer du Nord [Gottschalk 1971-1977, Lamb & Frydendahl 1991, Lamb 1980].

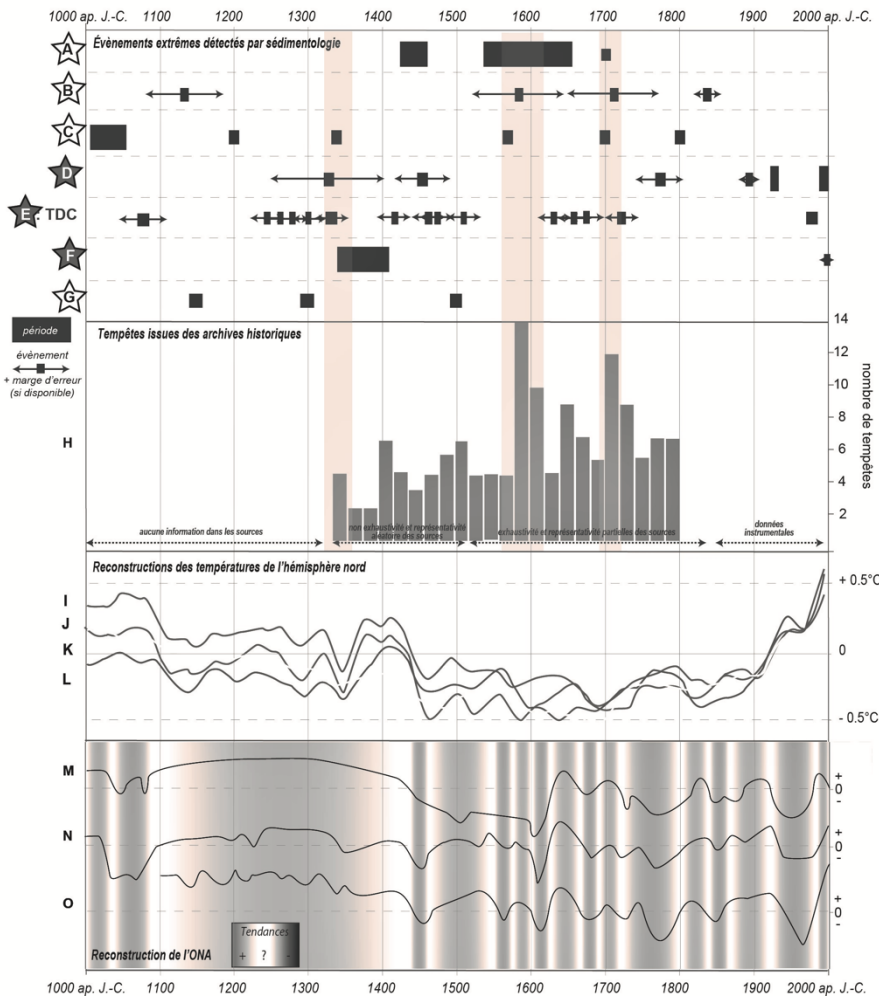


Figure 4 – Synthèse de l'étude des impacts sédimentologiques et historiques des tempêtes au cours du dernier millénaire au nord de la côte atlantique française, avec des influences climatologiques.

Légende de la figure 4

Impacts des tempêtes provenant d'études sédimentologiques le long de la côte française du Nord-Ouest : A : Nord de la Bretagne et ouest du Cotentin [Van Vliet-Lanoë & al. 2017]; B : Nord-est et sud-ouest de la Bretagne [Regnauld 1999]; C : baie d'Audierne [Van Vliet-Lanoë & al. 2014]; D : Petite mer de Gâvres [Pouzet & Maanan 2020]; E : Traicts du Croisic (cette étude, [Pouzet & Maanan 2020]); F : Île d'Yeu [Pouzet & al. 2018]; G : Pertuis charentais [Poirier & al. 2017]. H : Chronologie tempétueuse issue des archives historiques (cette étude, [Athimon 2021]).

Comparaisons des chronologies avec quatre courbes d'anomalies de température (de 1881 à 1980) extraites du cinquième rapport d'évaluation du GIEC [IPCC, 2014]. Les données brutes sont extraites de Pollack & Smerdon [2004] (I, courbe rouge); Ljungqvist [2010] (J, courbe jaune); Mann & al. [2008] (K, courbe rose) et Hegerl & al. [2007] (L, courbe verte).

Comparaisons des chronologies avec trois reconstructions de l'Oscillation de l'Atlantique Nord au cours du dernier millénaire (M : Baker & al. [2015]; N : Proctor & al. [2000]; O : Trouet & al. [2009]) avec interprétation des phases positives successives de l'ONA dans les phases rouge et négative dans le violet.

Le croisement de ces données met en lumière trois périodes communes (représentées en bleu dans la Figure 4) durant lesquelles sources historiques et sédimentologiques s'accordent. Elles sont estimées à environ 1330 – 1360 ap. J.-C., 1570 – 1620 ap. J.-C. et 1690 – 1720 ap. J.-C. Concernant les sources historiques, la première période (1330-1360 ap. J.-C.) ne peut être identifiée qu'à la suite du recoupement avec les archives sédimentaires, contrairement aux deux autres. En France, cette période intègre notamment la tempête de l'hiver 1351-1352 (n.st) ap. J.-C. L'importance des impacts recensés dans les archives historiques et sédimentologiques permet de qualifier cette tempête d'«*évènement millénaire*» [Athimon 2021, Pouzet & Maanan 2020]. Par ailleurs, cette période est également identifiée en mer du Nord à partir des sources historiques [Lamb 1980, Morineau 1996].

2.2. Liens avec l'évolution des températures de l'hémisphère nord et les gradients de pression

Selon les derniers rapports du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) de 2014 et 2019, de nombreuses incertitudes demeurent sur la climatologie des Cyclones Extratropicaux (CET) [IPCC 2019, IPCC 2014]. Le quatrième rapport de 2007 [IPCC 2007] avançait qu'il était probable qu'il y eût une augmentation de la fréquence et de l'intensité des CET dans l'hémisphère nord, hypothèse réfutée par le rapport cinq [IPCC 2014]. Dans l'ensemble, une dérive vers les pôles des trajectoires des CETs est observée pour les deux hémisphères [Ulbrich & Christoph 1999, Wang & al. 2006], avec une baisse de l'activité aux latitudes moyennes et une augmentation aux plus

hautes. Pour le futur, le groupe d'experts note la difficulté d'évaluer les effets de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre sur les CETs. Seule une fraction des dépressions évolue en tempête, et le système climatique des latitudes moyennes est soumis à une grande variabilité naturelle, ce qui rend l'effet du changement climatique actuellement incertain [IPCC 2019]. Le cinquième rapport du GIEC expose une augmentation des températures liée à l'augmentation des gaz à effet de serre [IPCC 2014]. Le taux d'humidité contenue dans l'atmosphère devrait s'accroître, renforçant les CETs en augmentant leur énergie en chaleur latente. Mais cette humidité croissante va également favoriser un meilleur transport d'énergie vers les pôles par les cellules de Hadley, ce qui pourrait diminuer la fréquence des CETs aux latitudes moyennes [Deroche 2014]. Seul l'accroissement des précipitations associées, provoquées par l'humidification des masses d'air, est aujourd'hui admis par la communauté scientifique [e.g. Kundzewicz & al. 2006, Semmler & Jacob 2004]. Pour appréhender ces évolutions et apporter des éléments de compréhension sur ces dynamiques dans l'ouest de la France, une prise de recul temporel est indispensable. À l'échelle holocène, plusieurs travaux ont lié l'évolution de l'activité tempétueuse avec plusieurs forçages climatiques, dont principalement l'évolution des températures [e.g. Orme & al. 2016, Pouzet & al. 2018, Sorrel & al. 2012]. Ces questions sont dorénavant posées à une échelle plus fine pour pouvoir considérer une pluralité de paramètres climatiques susceptibles d'influencer l'activité des tempêtes, et ainsi préciser ce qui guide leur variabilité temporelle en Europe de l'Ouest.

L'activité des tempêtes est influencée par le gradient thermique entre les masses d'air polaire/subpolaire et subtropicale. Les variations de ce gradient influent sur le rapport de force entre ces masses d'air, pouvant entraîner l'accroissement ou la diminution des fronts de perturbation atmosphérique [Sorrel & al. 2012, Lamb 1980]. Pour appréhender les liens entre variation des températures et activité tempétueuse, quatre courbes d'évolution des températures dans l'hémisphère nord ont été reprises à partir du dernier rapport du GIEC [IPCC 2014]. Elles correspondent aux données d'Hegerl & al. [2007], de Ljungqvist [2010], de Mann & al. [2008] et de Pollack & Smerdon [2004] (Figure 4 lignes I, J, K, L). La première (1330 – 1360 ap. J.-C.) et la troisième période tempétueuse (1690 – 1720 ap. J.-C.) s'inscrivent durant une phase de péjoration climatique. Bien qu'aucune péjoration climatique nette ne soit identifiable durant la deuxième période (1570 – 1620 ap. J.-C.), celle-ci correspond à une phase à tendance froide : le "Second Hyper Petit Âge Glaciaire" [Le Roy Ladurie & al., 2011].

Ces trois périodes tempétueuses communes sont également comparées avec les gradients de pressions, dont trois courbes d'évolution de l'ONA représentées en Figure 4 lignes M, N, O : Baker & al. [2015], Proctor & al. [2000], Trouet & al. [2009]. L'ONA correspond à la différence de pression atmosphérique entre l'anticyclone des Açores (AA) mesuré à Lisbonne et la

dépression d'Islande (DI) mesurée à Reykjavik entre janvier et mars [Cassou 2004]. Si l'indice d'ONA est positif, la différence de pression est plus importante que la moyenne, la DI est alors plus faible et l'AA plus fort. La circulation d'ouest, ou courant d'ouest (*jet stream*), est alors renforcée, ce qui tendrait à accroître l'occurrence des tempêtes sur l'Europe de l'Ouest. Si l'indice est négatif, les deux ensembles sont simultanément affaiblis, le bassin méditerranéen serait alors plus soumis aux événements tempétueux [Roux 2012]. La première (1330 – 1360 ap. J.-C.) et la troisième période tempétueuse (1690 – 1720 ap. J.-C.) s'inscrivent dans une ONA positive. La deuxième période évaluée à 1570 – 1620 ap. J.-C., pour partie intégrée dans une ONA positive et une ONA négative, peut être qualifiée de moyenne. Ainsi, si l'activité tempétueuse semble être accrue durant les phases positives d'ONA, il n'y a pas de corrélations strictes entre ces deux variables [Tabeaud 2005, Hickey & al. 2009]. De plus, certains travaux lient l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes avec les phases d'ONA positives, tandis que leur magnitude pourrait s'accroître durant les phases d'ONA négatives [Van Vliet-Lanoë & al. 2014, Trouet & al. 2012, Lamb 1980].

Par ailleurs, les directions prises par les tempêtes dépendent du courant-jet ainsi que du “*rail des dépressions*”, dont la position est étroitement associée à celle du courant-jet. Deux tracés peuvent être distingués selon les caractéristiques de la saison hivernale en cours [Schoenenwald 2003]. Lors d'un hiver froid et sec, les tempêtes empruntent principalement une direction au nord-ouest des îles britanniques et, parfois, un chemin SO ou SE, tandis que lors d'un hiver doux et humide, le rail suit le 50° parallèle et s'étend jusqu'aux îles britanniques. Selon [Lamb 1980], le premier cas de figure se serait exprimé au cours des années 1500-1550 ap. J.-C., tandis que le second se serait manifesté à compter de la seconde moitié du XVI^e siècle. Immédiatement situé sur la trajectoire du rail des dépressions, l'ouest de la France aurait ainsi été durement touché. Cet aspect pourrait partiellement expliquer la période 1570-1620 ap. J.-C. [Athimon 2021]. De plus, la variabilité climatique interne à l'océan Atlantique Nord, en particulier à travers le régime de l'ONA, est soupçonnée de contribuer à la modification des trajectoires des tempêtes. Au cours d'une phase positive d'ONA, les dépressions se déplacent essentiellement vers les îles britanniques et l'Europe du Nord, produisant alors des tempêtes en Manche, dans le golfe de Gascogne, en mer du Nord ou en mer Baltique. Lors de la troisième période identifiée (1690-1720 ap. J.-C.) durant une phase d'ONA+, le nord-ouest et le centre-ouest de la France ont été frappés par une succession de tempêtes violentes parmi lesquelles, entre autres, celles du 15 janvier 1699 ap. J.-C., 2 février 1701 ap. J.-C., 29-30 décembre 1705 ap. J.-C., 9-10 décembre 1711 ap. J.-C. [Athimon 2021, Pouzet & Maanan 2020]. Cette question pourra faire l'objet de futures recherches, d'autant que divers travaux ont relevé que l'ONA n'était pas le seul phénomène à impacter les trajectoires suivies par les dépressions [Rogers 1997, Sorrel & al. 2012]. Les

fortes variations de pression au niveau de la mer (*Sea Level Pressure, ou SLP*), notamment autour du golfe de Gascogne, influeraient aussi sur la position du rail des dépressions et donc, sur le nombre d'aléas impactant les littoraux atlantiques français [Smith & al. 2004].

2.3. Limites et perspectives

Il sera remarqué qu'aucune corrélation systématique et indiscutable entre activité tempétueuse et températures ou activité tempétueuse et ONA ne peut, à ce jour, être établie. Plusieurs limites à ce travail de reconstruction combinant données tirées des archives sédimentaires et des sources historiques méritent d'ailleurs d'être évoquées : 1) ces reconstructions reposent sur les informations récoltées. Les lacunes, notamment documentaires, influencent donc la reconstruction, les résultats et l'interprétation. À titre d'exemple, si une quatrième période tempétueuse est discutée exclusivement à partir de l'analyse sédimentologique entre 1420 et 1470 ap. J.-C. dans Pouzet & Maanan [2020], les archives historiques sont trop lacunaires durant cette période pour permettre de répondre à cette hypothèse. Nous rappelons également que les archives sédimentologiques présentent des marges d'erreurs plus importantes que celles historiques. Par ailleurs, les événements extratropicaux présentent une intensité moindre que les cyclones tropicaux et sont donc plus complexes à identifier dans les archives sédimentaires. Ainsi, les paramètres météo-marins intenses doivent être impérativement combinés pour identifier un impact sur les environnements de dépôt côtiers macrotidaux [Pouzet 2018]. 2) l'ONA (positive comme négative) s'exprime au cours de la saison hivernale. C'est également la saison durant laquelle l'activité tempétueuse est la plus marquée. Toutefois, aucune distinction n'a été faite – en particulier au sein de la reconstruction grâce aux sources historiques pour lesquelles la date précise des événements est connue – entre les aléas survenus entre octobre et mars et les autres. 3) il se peut que l'échelle temporelle prise en compte (dernier millénaire avec un focus particulier sur les XIV^e-XVIII^e siècles) soit trop précise pour faire ressortir des relations nettes entre l'activité tempétueuse et l'ONA et/ou les températures. Dans le cadre pluridécennal, séculaire, voire pluriséculaire, il se peut que d'autres phénomènes soient à considérer, tels que l'Oscillation Multidécennale Atlantique (OMA) [Gray & al. 2004, Varino & al. 2018], l'Oscillation Arctique (OA) [D'Arrigo & al. 2003], la circulation thermohaline (AMOC) [Trouet. & al 2012, Woolings & al. 2012] ou encore les variations de pression au niveau de la mer (SLP). Malgré ces limites, les trois périodes identifiées (1330-1360, 1570-1620, 1690-1720 ap. J.-C.) bénéficient de l'appui d'une double reconstruction combinant sources historiques et archives sédimentaires, et se retrouvent également dans les reconstructions de l'activité tempétueuse effectuées en mer du Nord [Gottschalk 1971-1977, Lamb & Frydendahl 1991, Lamb 1980, Morineau 1996].

Conclusion

Si la connaissance de l'activité des tempêtes extratropicales demeure aujourd'hui un enjeu majeur sur les littoraux atlantiques, les paramètres influençant leur variation restent encore complexes à déterminer en Europe de l'Ouest. Pour comprendre ce qui guide leur dynamique, une prise de recul temporel est nécessaire. Le couplage entre données sédimentologiques et historiques illustre ces fluctuations depuis le dernier millénaire. Quinze tempêtes intenses sont extraites d'un carottage prélevé aux Traicts du Croisic, tandis que 128 évènements impactants sont mis en lumière par les sources historiques. La synthèse des travaux sédimentologiques réalisée dans l'ouest de la France est croisée avec la reconstruction par les sources historiques pour appréhender la variation millénaire de l'activité tempétueuse européenne.

Trois périodes tempétueuses communes durant lesquelles sources historiques et sédimentologiques s'accordent sont estimées à environ 1330 – 1360 ap. J.-C., 1570 – 1620 ap. J.-C. et 1690 – 1720 ap. J.-C. Ces trois périodes s'inscrivent durant des phases de péjoration climatique, ou de tendance froide. Si l'activité tempétueuse semble être accrue durant les phases positives d'Oscillation Nord Atlantique (ONA), aucune corrélation stricte entre ces deux variables n'est établie. La variation de position du "rail des dépressions", liée à celle du *jet stream* (courant-jet) expliquerait également certaines trajectoires estimées par les archives historiques et sédimentologiques. Cependant, cette approche doit désormais gagner en exhaustivité pour pouvoir dans un premier temps préciser la chronologie tempétueuse, mais également l'étendre sur l'ensemble de la façade atlantique française. De nouveaux travaux liant également l'activité tempétueuse historique aux fluctuations de l'Oscillation Multidécennale Atlantique (OMA), de la circulation thermohaline (AMOC), des variations de pression marine (SLP) ou de l'Oscillation Arctique (OA) préciseraient notamment les paramètres guidant la formation de tempêtes extratropicales en Europe de l'Ouest.

Remerciements : Nous remercions Sabine Schmidt (EPOC) pour avoir réalisé les dix-huit datations au ^{210}Pb et ^{137}Cs ; Natalia Piotrowska (GADAM) et le laboratoire BETA Analytics pour les vingt-sept datations ^{14}C réalisées ; Isabelle Billy et son équipe de la Plateforme d'Analyse de Carottes Sédimentologiques de la PACS pour les analyses XRF et le SCOPIX ; et Cassandra Carnet pour les corrections de l'anglais. Les analyses et missions de carottages ont été financées par la Fondation de France (*Reconstitution des évènements climatiques extrêmes à l'aide des multi-indicateurs* » via le programme « *Quels Littoraux pour demain ?* »), la DREAL et la région des Pays de la Loire dans le cadre de l'Observatoire Régional des Risques Côtiers (OR2C - Axe Histoire des risques côtiers) intégré dans l'UMS 3281 OSUNA (<http://or2c.osuna.univ-nantes.fr/>).

Références bibliographiques

- ATHIMON, E. (2021) – *Tempêtes et submersions marines dans les territoires de la côte atlantique (XIV^e-XVIII^e siècle)*. Paris, Les Indes Savantes, 400 p.
- BAKER, A., HELLSTROM, J.C., KELLY, B.F.J., MARIETHOZ, G. & TROUET, V. (2015) – « A composite annual-resolution stalagmite record of North Atlantic climate over the last three millennia », *Scientific Reports*, n° 5, 10307.
- BESSEMOULIN, P. (2002) – « Les tempêtes en France », *Annales des Mines*, n° 425, p. 9-14.
- BIROT, Y., LANDMANN, G., BONHEME, I. (coord., 2009) – *La forêt face aux tempêtes*, Versailles, Quae, 470 p.
- BREILH, J.-F., BERTIN, X., CHAUMILLON, É., GILOY, N. & SAUZEAU, T. (2014) – « How frequent is storm-induced flooding in the central part of the Bay of Biscay? », *Global and Planetary Change*, n° 122, pp. 161-175.
- CHAUMILLON, E., GARNIER, E. & SAUZEAU, T. (dir., 2014) – *Les littoraux à l'heure du changement climatique*, Paris, Les Indes Savantes, 264 p.
- CASSOU, C. (2004) – « Du changement climatique aux régimes de temps: l'oscillation nord-atlantique », *La Météorologie*, n° 45, pp. 21-32.
- CORVOL, A. (dir., 2005) – *Tempêtes sur la forêt française, XVI^e-XX^e siècle*, Paris, L'Harmattan, 218 p.
- D'ARRIGO, R.D., COOK, E.R., MANN, M.E. & JACOBY, G.C. (2003) – « Tree-ring reconstructions of temperature and sea-level pressure variability associated with the warm-season Arctic Oscillation since AD 1650 », *Geophysical Research Letters*, n° 30, pp. 30-11.
- DE KRAKER, A.M.J. (2013) – « Storminess in the Low Countries, 1300-1725 », *Environment and History*, n° 19, pp. 149-172.
- DEROCHE, M.-S. (2014) – *Détection à court-terme et long-terme des tempêtes hivernales à fort potentiel d'impact*, Thèse de Météorologie, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI (NNT : 2014PA066578).
- DESARTHE, J. (2014) – « Les sociétés bretonnes face aux tempêtes (XVI^e-XIX^e siècle) », in E. Chaumillon, E. Garnier & T. Sauzeau, T. (dir.), *Les littoraux à l'heure du changement climatique*, Paris, Les Indes Savantes, pp. 35-58.
- GARNIER, É., CIAVOLA, P., SPENCER, T., FERREIRA, O., ARMAROLI, C. & MCIVOR, A. (2018) – « Historical analysis of storm events: Case studies in France, England, Portugal and Italy », *Coastal Engineering*, n° 134, pp. 10-23.
- GARNIER, É. & SURVILLE, F. (dir., 2010) – *La Tempête Xynthia face à l'histoire. Submersions et tsunamis sur les littoraux français du Moyen Âge à nos jours*, Saintes, Le Croît Vif, 176 p.
- GOTTSCHALK, M.K.E. (1980) – « Subatlantische transgressiefasen en stormvloed en », in Verhulst, A., Gottschalk, M.K.E. (eds), *Transgressies en occupatiegeschiedenis in de kustgebieden van Nederland en België*, Colloquium Gent 5-7 september 1978 Handelingen, Goff, Gand, pp. 21-27.
- GOTTSCHALK, M.K.E. (1971, 1975, 1977) – *Stormvloed en rivieroverstromingen in Nederland*, 3 vol., Assen, Van Gorcum.
- GRAY, S.T., GRAUMLICH, L.J., BETANCOURT, J.L., & PEDERSON, G.T. (2004) – « A tree-ring based reconstruction of the Atlantic Multidecadal Oscillation since 1567 A.D. », *Geophysical Research Letters*, n° 31, art. L12205.

- HEGERL, G.C., ZWIERS, F.W., BRACONNOT, P., GILLETT, N.P., LUO, Y., MARENGO ORSINI, J.A., NICHOLLS, N., PENNER, J.E. & STOTT, P.A. (2007) – « Understanding and attributing climate change », in: IPCC, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, U.K., pp. 663–746.
- HICKEY, K., BALL, T., BOOTH, L., DUCK, R., EDWARDS, A. & WERRITTY, A. (2009) – « Coastal flooding in Scotland : Past, Present and Future », *Conference : Coasts, Marine Structures and Breakwaters : Adapting to Change, Proceedings of the 9th International Conference Organised by the Institution of Civil Engineers*, p. 4.
- IPCC (2007) - *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]*, Genève, IPCC, 104 p.
- IPCC (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 [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]*, Genève, IPCC, 151 p.
- IPCC (2019) - *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]*, Genève, IPCC, sous presse
- KUNDZEWICZ, Z.W., RADZIEJEWSKI, M. & PINSKWAR, I. (2006) – « Precipitation extremes in the changing climate of Europe », *Climate Research*, n° 31, pp. 51–58.
- LAMB, H. & FRYDENDAHL, K. (1991) – *Historic Storms of the North Sea, British Isles and Northwest Europe*. Cambridge, Cambridge University Press, 216 p.
- LAMB, H.H. (1980) – « Climatic fluctuations in historical times and their connexion with transgressions of the sea, storm floods and other coastal changes », in A. Verhulst & M.K.E. Gottschalk, (eds), *Transgressies en occupatiegeschiedenis in de kustgebieden van Nederland en België*, Colloquium Gent 5-7 september 1978 Handelingen, Goff, Gand, p. 251-281.
- LE ROY LADURIE, E., ROUSSEAU, D. & VASAK, A. (2011) – *Les fluctuations du climat. De l'an mil à aujourd'hui*, Paris, Fayard, 332 p.
- LJUNGQVIST, F.C. (2010) – « A new reconstruction of temperature variability in the extra-tropical northern hemisphere during the last two millennia », *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, n° 92, pp. 339–351.
- MANN, M.E., ZHANG, Z., HUGHES, M.K., BRADLEY, R.S., MILLER, S.K., RUTHERFORD, S. & NI, F. (2008) – « Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia », *PNAS*, n° 105, pp. 13252–13257.
- MERCIER, D. (dir., 2012) - *Xynthia : Regards de la géographie, du droit et de l'histoire*, Norois, n° 222, Presses Universitaires de Rennes, 114 p.
- MEURISSE-FORT, M. (2007) – *Enregistrement haute résolution des massifs dunaires Manche, mer du Nord et Atlantique : le rôle des tempêtes*. Thèse de Géosciences. Université de Lille 1 (NNT : 2007LIL10146).
- MORINEAU, M. (1996) – « Cataclysmes et calamités naturelles aux Pays-Bas septentrionaux XI^e-XVIII^e siècles. Le travail de la planète et la rétorsion des hommes », in B. Bennisar (dir.), *Les catastrophes naturelles dans l'Europe médiévale et moderne*, Toulouse, Presses Universitaires du Mirail, pp. 43-59.
- ORME, L.C., REINHARDT, L., JONES, R.T., CHARMAN, D.J., BARKWITH, A. & ELLIS, M.A. (2016) – « Aeolian sediment reconstructions from the Scottish Outer Hebrides: Late Holocene storminess and the role of the North Atlantic Oscillation », *Quaternary Science Reviews*, n° 132, pp. 15–25.

- PERET, J. & SAUZEAU, T. (2014) – *Xynthia ou la mémoire réveillée. Des villages charentais et vendéens face à l’océan (XVIII^e-XXI^e siècles)*, La Crèche, Geste, 296 p.
- POIRIER, C., TESSIER, B., CHAUMILLON, É. (2017) – « Climate control on late Holocene high-energy sedimentation along coasts of the northeastern Atlantic Ocean », *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, n°485, pp. 784–797.
- POLLACK, H.N. & SMERDON, J.E. (2004) – « Borehole climate reconstructions: Spatial structure and hemispheric averages », *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, n° 109, D11106.
- POUZET, P. & MAANAN, M. (2020) – « Climatological influences on major storm events during the last millennium along the Atlantic coast of France », *Scientific Reports*, n° 10, 12059.
- 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*, n° 42, pp. 431-450.
- POUZET, P. (2018) – *Étude des paléovénements extrêmes le long de la côte atlantique française : approches sédimentologiques, dendrochronologiques et historiques*, Thèse de Géographie, Université de Nantes (NNT : 2018NANT2035).
- PROCTOR, C.J., BAKER, A., BARNES, W.L. & GILMOUR, M.A. (2000) – « A thousand year speleothem proxy record of North Atlantic climate from Scotland », *Climate Dynamics*, n° 16, pp. 815–820.
- REGNAULD, H. (1999) – « L’élévation et les variations du niveau marin à l’Holocène terminal dans l’Ouest français : une approche par les dépôts de tempêtes », *Quaternaire*, n° 10, pp. 181–188.
- ROGERS, J.C. (1997) – « North Atlantic storm track variability and its association to the North Atlantic Oscillation and climate variability of Northern Europe », *Journal of Climate*, n° 10, pp. 1635-1647.
- ROUX, F. (2012) – *Fureurs des cieux. Cyclones tropicaux et autres tempêtes*, Paris, Ellipses, 288 p.
- SARRAZIN, J.-L. & ATHIMON, E. (2019) – « Étudier les plus anciennes tempêtes à submersion identifiées sur la côte atlantique française (XIV^e-XVI^e siècles) : l’approche historique », *Noroi*, n° 251, pp. 27-42.
- SARRAZIN, J.-L. (2012) – « « Vimiers de mer » et sociétés littorales entre Loire et Gironde (XIV^e-XVI^e siècle) », *Noroi*, n° 222, pp. 91–102.
- SAUZEAU, T. (2014) – « L’histoire, les tempêtes et la prospective littorale face aux changements climatiques », in F. Laget, & A. Vrignon (dir.), *S’adapter à la mer. L’homme, la mer et le littoral du Moyen Âge à nos jours*, Rennes, PUR, pp. 71-88.
- SCHOENENWALD, N. (2003) – « L’Europe du Nord-Ouest sur le rail des tempêtes », in M. Tabeaud (dir.), *Île-de-France, avis de tempête force 12*, Paris, PUPS, pp. 41-55.
- SEMMLER, T. & JACOB, D. (2004) – « Modeling extreme precipitation events—a climate change simulation for Europe », *Global and Planetary Change, Extreme climatic events*, n° 44, pp. 119–127.
- SMITH, T.M. & REYNOLDS, R.W. (2004) – « Reconstruction of monthly mean oceanic sea level pressure based on COADS and station data (1854-1997) », *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, n° 21, pp. 1272-1282.
- SORREL, P., DEBRET, M., BILLEAUD, I., JACCARD, S.L., MCMANUS, J.F. & TESSIER, B. (2012) – « Persistent non-solar forcing of Holocene storm dynamics in coastal sedimentary archives », *Nature Geoscience*, n° 5, pp. 892–896.

- TABEAUD, M., LYSANIUK, B., SCHOENENWALD, N. & BURIDANT, J. (2009) – « Le risque « coup de vent » en France depuis le XVI^e siècle », *Annales de géographie*, n° 667, pp. 318-331.
- TABEAUD, M. (2005) – « Variabilité historique : autant en emporte le vent », in Corvol, A. (dir.), *Tempêtes sur la forêt française. XVI^e-XX^e siècle*, Paris, L'Harmattan, pp. 47-54.
- TROUET, V., SCOURSE, J.D. & RAIBLE, C.C. (2012) – « North Atlantic storminess and Atlantic Meridional Overturning Circulation during the last millennium : Reconciling contradictory proxy records of NAO variability », *Global and Planetary Change*, n° 84-85, pp. 48-55.
- TROUET, V., ESPER, J., GRAHAM, N.E., BAKER, A., SCOURSE, J.D. & FRANK, D.C. (2009) – « Persistent Positive North Atlantic Oscillation Mode Dominated the Medieval Climate Anomaly », *Science*, n° 324, pp. 78-80.
- ULBRICH, U. & CHRISTOPH, M. (1999) – « A shift of the NAO and increasing storm track activity over Europe due to anthropogenic greenhouse gas forcing », *Climate Dynamics*, n° 15, pp. 551-559.
- VAN VLIET-LANOË, B., LAUER, T., MEURISSE-FORT, M., GOSSELIN, G. & FRECHEN, M. (2017) – « Late Holocene coastal dune activity along the Dover Strait, Northern France – Insights into Middle Ages and Little Ice Age coastal dynamics constrained by optically stimulated luminescence dating », *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, n° 168, pp. 53-66.
- VAN VLIET-LANOË, B., PÉNAUD, A., HÉNAFF, A., DELACOURT, C., FERNANE, A., GOSLIN, J., HALLÉGOUET, B. & LE CORNEC, E. (2014) – « Middle- to late-Holocene storminess in Brittany (NW France): Part II - The chronology of events and climate forcing », *Holocene*, n° 24, pp. 434-453.
- VARINO, F., ARBOGAST, P., JOLY, B., RIVIERE, G., FANDEUR, M-L., BOVY, H. & GRANIER, J-B. (2018) – « Northern Hemisphere extratropical winter cyclones variability over the 20th century derived from ERA-20c reanalysis », *Climate Dynamics*, n° 50, pp. 1-22.
- WANG, X.L., SWAIL, V.R. & ZWIERS, F.W. (2006) – « Climatology and Changes of Extratropical Cyclone Activity: Comparison of ERA-40 with NCEP-NCAR Reanalysis for 1958-2001 », *Journal of Climate*, n° 19, pp. 3145-3166.
- WOOLLINGS, T., GREGORY, J., PINTO, J., REYERS, M. & BRAYSHAW, B.J. (2012) – « Response of the North Atlantic storm track to climate change shaped by ocean-atmosphere coupling », *Nature Geoscience*, n° 5, pp. 313-317.