



HAL
open science

Caractérisation des aléas littoraux d'érosion et de submersion en Bretagne par l'approche historique

Alain Hénaff, Erwan Le Cornec, Marie Jabbar, Anne Pétré, Jérémy Corfou,
Brigitte van Vliet-Lanoë, Yann Le Drezen

► To cite this version:

Alain Hénaff, Erwan Le Cornec, Marie Jabbar, Anne Pétré, Jérémy Corfou, et al.. Caractérisation des aléas littoraux d'érosion et de submersion en Bretagne par l'approche historique. *Cybergeo: Revue européenne de géographie / European journal of geography*, 2018, 847, 10.4000/cybergeo.29000 . hal-01963606

HAL Id: hal-01963606

<https://hal.science/hal-01963606v1>

Submitted on 23 May 2024

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Cyberge: European Journal of Geography

Environnement, Nature, Paysage

2018

847

Caractérisation des aléas littoraux d'érosion et de submersion en Bretagne par l'approche historique

ALAIN HÉNAFF, ERWAN LE CORNEC, MARIE JABBAR, ANNE PÉTRÉ,
JÉRÉMY CORFOU, YANN LE DREZEN ET B. VAN VLIËT-LANOË

<https://doi.org/10.4000/cyberge.29000>

Résumés

Français English

Les connaissances relatives à la vulnérabilité systémique des territoires côtiers à l'érosion et à la submersion ont progressé au cours des dernières décennies grâce à la prise en compte, non plus des seuls aléas, mais également de ses autres composantes que sont les enjeux, la gestion et les représentations des risques littoraux. Pour autant, dans de nombreux cas, le développement et l'aménagement de territoires côtiers reconnus à risque se poursuivent. Ils s'accompagnent de l'accroissement des populations ainsi que de la multiplication et de l'enchérissement des biens exposés, augmentant en retour leur vulnérabilité. Aussi, dans l'objectif d'améliorer les stratégies de gestion et de renforcer la mémoire du risque, le besoin de préciser les caractéristiques des aléas demeure déterminant. Ainsi, l'intensité, l'aire de répartition et la durée d'action des aléas, ainsi que la magnitude des forçages et leur probabilité d'occurrence nécessitent d'être mieux définies. Dans cette perspective, une approche fondée sur l'analyse des aléas d'érosion et de submersion est menée sur les littoraux de Bretagne pour la période contemporaine allant de la fin du XVIII^e siècle à 2010. Les données sont inventoriées à partir de diverses archives textuelles et iconographiques locales et régionales. L'intensité, l'aire de répartition et la durée d'action (immédiate) sont déterminées à partir de cet inventaire. La magnitude des forçages, et par conséquent la probabilité d'occurrence des aléas par magnitude sont en revanche plus délicates à définir. La magnitude, ou, plus justement, la taille (ou sévérité) ne peut être dépendante de



l'ampleur des impacts occasionnés. Elle doit s'appuyer sur la quantification des processus en œuvre qui, cependant, sont rarement disponibles dans les données historiques.. Une évaluation des magnitudes des forçages est proposée en tenant compte, pour chaque aléa identifié régionalement, de la diversité des aléas recensés et de la diversité des forçages qui les ont engendrés. Les résultats montrent qu'elles suivent alors une loi puissance qui vérifie, comme pour divers aléas, l'existence d'un lien entre taille et fréquence de survenue des aléas côtiers. Des probabilités d'occurrence peuvent alors être proposées à partir desquelles il est possible de préciser les aléas annuel, décennal, centennal à l'échelle de la région et les incertitudes qui leur sont associées. Ces cinq principaux caractères étant précisés et quantifiés, une comparaison des aléas dans le temps devient possible. Surtout, ils deviennent utilisables pour l'établissement de la « mémoire » régionale des aléas côtiers. Conjointement le suivi de leur évolution actuelle et à venir peut dès lors être envisagé dans le cadre d'un futur observatoire des risques côtiers.

Knowledge regarding the systemic vulnerability of coastal territories to erosion and flood has progressed during the last decades thanks to the consideration of hazards but also of other components such as the stakes, the management and the social representations of the coastal risks. However, in numerous cases the development and urbanization of coastal territories submitted to the coastal risks continues. It results in the increase of exposed populations as well as in the increase of the cost of exposed properties, increasing in return their vulnerability. So, in the objective to improve the management strategies and to strengthen the memory of the risk, the need to specify the characteristics of hazards remains important. In this sense, the intensity, the area of distribution and the duration of action of hazards, as well as the magnitude of the forcing and their probability of occurrence require better definition. In this perspective, an approach based on the analysis of hazards of erosion and flooding is led on the coasts of Brittany for the contemporary period, stretching from the end of the 18th century to 2010. The data is inventoried from diverse local and regional written and iconographic archives. The intensity, the area of distribution and the duration of (immediate) action are determined from this inventory. The magnitude of the forcing, and consequently the probability of occurrence of these hazards by level of magnitude is more delicate to define. The magnitude, or, more exactly, the size (or severity) cannot depend on the level of the impacts even though we rarely have quantified data through historical data. Thus, an evaluation of the magnitude is proposed by taking into account, for every hazard identified regionally, the diversity of the impacts and the diversity of the forcing which generated it. The results show that they follow a power law which confirms, as for diverse hazards, the existence of a link between size and frequency of these hazards. The probability of occurrence can be computed to specify the annual, the ten-year or the centennial hazards for the region and also the associated uncertainties. These five main characters being specified and quantified, a comparison of hazards over time becomes possible. Most importantly, they become usable to establish a regional "memory" of coastal hazards. Their future evolution could also be monitored within the framework of a future observatory of coastal risks.

Entrées d'index

Mots-clés : risques côtiers, aléa, érosion côtière, submersion marine, caractérisation spatiale, Bretagne

Keywords : coastal risks, hazard, coastal erosion, coastal flooding, spatial characterization/characterisation, Brittany

Texte intégral

Ce travail de recherche a été réalisé dans le cadre du projet Cocorisco (Connaissance, compréhension et gestion des risques côtiers), projet n° ANR-10-CEPL-001-01, qui a bénéficié du soutien financier du programme CEPS de l'ANR.

Les auteurs tiennent à remercier très sincèrement les professeurs Yannick Lageat et Catherine Meur-Ferec (UBO LETG UMR 6554 CNRS) pour leur relecture attentive et leurs conseils avisés qui ont permis d'améliorer cet article.



Contexte et objectifs de l'étude menée

sur la définition des caractéristiques des aléas côtiers régionaux

Contexte de l'étude des aléas côtiers d'érosion et de submersion

- 1 Depuis les travaux de White (1960 *in* Gares *et al.*, 1994), les approches des risques naturels, initialement centrées sur les seules études des aléas, ont progressé vers des analyses pluridisciplinaires et intégrées de la vulnérabilité systémique (Alexander, 2000 ; Thouret, 2002 ; Pigeon, 2002 ; Meur-Ferec, 2006 ; Vinet, 2010 ; Dauphiné et Provitolo, 2013 ; Michel-Guillou et Meur-Ferec, 2014). Les analyses géomorphologiques, statistiques et probabilistes des aléas, largement privilégiées au cours des décennies précédentes (Hibbeler, 2007 ; Barroca *et al.*, 2013), sont désormais progressivement enrichies par des analyses approfondies des autres composantes de la vulnérabilité, c'est-à-dire les enjeux, les représentations et les moyens de gestion. La prise en compte interdisciplinaire de ces quatre composantes permet de considérer l'influence réelle des facteurs anthropiques dans l'évolution de la vulnérabilité des territoires et la génération des risques par rapport aux seuls phénomènes naturels (Hénaff et Philippe, 2014).
- 2 Pour améliorer les stratégies de gestion des risques, le besoin d'approfondir la connaissance des caractéristiques des aléas demeure néanmoins déterminant. Plusieurs arguments, avérés tant dans les pays en développement que dans les pays développés, vont en effet dans ce sens. Ainsi, lorsque l'occupation des territoires est ancienne, les aléas et leurs conséquences potentielles ont alors pu être ignorés (Bernatchez *et al.*, 2011) ou relégués au second plan au regard des avantages du site et de la situation. Par ailleurs, l'insuffisance de connaissance des aléas encourage, en définitive, la poursuite du développement et de l'aménagement de ces territoires maintenant reconnus à risque, ces dynamiques s'accompagnant toujours d'un accroissement des populations ainsi que de la multiplication et de l'enchérissement des biens exposés (Rosenfeld, 1994 ; Godschalk *et al.*, 2000 ; White *et al.*, 2001 ; Carrara *et al.*, 2003 ; Pigeon, 2010 ; Cavallo et Noy, 2010) ; Vinet *et al.*, 2012 ; Meur-Ferec *et al.*, 2013 ; Chevillot-Miot et Mercier, 2014). À ces premiers arguments s'ajoute le contexte contemporain et à venir des changements environnementaux globaux et régionaux (Zhang *et al.*, 2004 ; Hénaff *et al.*, 2013 ; Masselink et Russel, 2013) dont les effets peuvent renforcer des processus à l'origine des aléas. Enfin, sur la base de ces éléments, la plupart des stratégies actuelles de gestion des risques plaide en faveur de cette amélioration de la connaissance des aléas pour encourager la « culture du risque » et la « mémoire des événements passés », qui restent encore insuffisants (Slaymaker, 1999 ; Mitchell, 2000 ; Beucher *et al.*, 2004 ; Bonnot-Courtois *et al.*, 2008 ; Garnier *et al.*, 2010).
- 3 Ces arguments s'appliquent particulièrement aux territoires littoraux. Ces espaces sont attractifs pour les populations et des activités économiques diversifiées (commerciales, résidentielles, touristiques) (Gares *et al.*, 1994 ; Cazes, 2000 ; Deboudt, 2010). Conjointement, ils sont soumis à une diversité de processus hydro-météorologiques, morphodynamiques et, pour certains, géodynamiques, qui en font des territoires sur lesquels les niveaux de vulnérabilité actuels et futurs sont particulièrement élevés (Kron, 2008 ; 2013 ; Newton et Weichselgartner, 2014). Les trois types d'aléas côtiers de submersion littorale, d'érosion et de migration dunaire tels qu'ils sont définis en France dans le cadre de la gestion des risques côtiers (MATE et



DGPR, 1997 ; DGPR, 2014) font ainsi l'objet d'analyses géomorphologiques permettant de mieux préciser les processus, les rythmes et les modalités de leur génération et leur manifestation (Suanez et Stéphan, 2006 ; Suanez et al. 2007 ; Cariolet, 2011 ; Maspataud et al., 2014 ; Jabbar et al., 2015 ; Hénaff et al., 2015). Cependant, l'appréciation des caractères de ces aléas apparaît encore insuffisante. Sur les rivages français de l'Atlantique et de la Manche, l'ampleur des dégâts occasionnés par les aléas d'érosion et de submersion produits par les événements météo-marins des dernières décennies (Johanna en 2008, Joachim en 2011, tempêtes et coups de vents successifs de l'hiver 2013-2014) et, parfois, le nombre de victimes (Xynthia en 2010) tendent ainsi à montrer que les efforts doivent encore être poursuivis dans ce sens. Enfin, l'étude même poussée des phénomènes naturels à l'origine des aléas ne saurait rendre compte de l'intégralité des facteurs qui les produisent. Si nombre d'entre eux résultent bien de processus naturels, ils sont fréquemment combinés et parfois même dus aux seules actions anthropiques (Cariolet, 2011 ; Bernatchez et Frazer, 2012). Au risque de devoir toujours qualifier les événements nouveaux d'aléas historiquement inédits, la connaissance des caractères des aléas passés et contemporains revêt donc une importance considérable dans les politiques de gestion préventive des risques, particulièrement dans le contexte actuel d'intensification des changements environnementaux à toutes les échelles spatiales et de densification des populations et des biens dans les territoires à risques.

Caractéristiques à définir

- 4 Ce constat a guidé l'approche développée pour la caractérisation des aléas littoraux d'érosion et de submersion pris en compte dans le cadre du projet *Cocorisco* (Connaissance, Compréhension et gestion des Risques Côtiers) du programme CEP&S 2010 (Changements Environnementaux Globaux et Sociétés) de l'ANR (Agence Nationale de la Recherche). Par conséquent, il s'agit plus spécifiquement d'améliorer la connaissance de cinq des paramètres nécessaires à leur caractérisation (Alcántara-Ayala, 2002 ; UVED, 2006 ; Léone et al., 2010 ; Hénaff et Philippe, 2014) :
 1. une intensité,
 2. une magnitude,
 3. une probabilité d'occurrence,
 4. une emprise spatiale,
 5. une durée d'action immédiate (et, éventuellement, différée).
- 5 Pour ceux-ci, une question de terminologie est néanmoins posée. Il s'agit de préciser, d'une part, le terme « aléa » qui, sur les littoraux, peut être à la fois le phénomène à l'origine des impacts et ses conséquences ; d'autre part, les termes « intensité » et « magnitude » pour lesquels des confusions et des ambiguïtés peuvent exister selon le point de vue adopté.
- 6 Ainsi, « l'aléa » du météorologue est la perturbation atmosphérique forte ou violente tels que le coup de vent, la tempête et l'ouragan, ces diverses catégories étant décrites, sur les littoraux, sous le terme générique d'événement météo-marin. Elles sont définies par des critères de vitesse de vent et de durée, les vagues engendrées et les surcotes générées par le déferlement, le vent et la dépression barométrique associés à cette perturbation atmosphérique. Le phénomène météo-marin est à l'origine de l'érosion, de la submersion et de la migration dunaire qui sont alors entendues, non pas comme les aléas mais comme les conséquences de l'aléa. Pour l'océanographe, l'aléa peut être la modification de l'altitude du plan d'eau engendrée par différents phénomènes tels que



la marée de fort coefficient et/ou les paramètres du météorologue, ou encore l'élévation du niveau de la mer se produisant à différentes échelles de temps. Là aussi, l'érosion et la submersion sont les conséquences du phénomène météo-marin.

- 7 Cependant, le point de vue adopté ici est expressément celui du géographe-géomorphologue du littoral et celui du gestionnaire des littoraux et des risques côtiers. Dans cette optique, « l'aléa » littoral correspond bien à l'érosion, la submersion ou la migration dunaire, ainsi qu'il est défini par la DGPR (Op. cit.). Ce peut être également toutes les combinaisons possibles entre ces trois formes, telles qu'elles sont identifiées actuellement sur les rivages français. De ce point de vue, l'intensité correspond à l'importance en nombre des aléas. L'emprise spatiale est la surface concernée par l'aléa, c'est-à-dire la superficie de territoire sur laquelle des impacts sont observés.
- 8 Diverses « forces » sont à l'origine de ces aléas. Sur les littoraux, ces forces sont très diversifiées puisqu'interviennent à la fois des forces naturelles, qu'elles soient météorologiques, marines, voire biologiques, et des forces d'origine anthropique. Ce sont les « forçages » du géographe-géomorphologue. La magnitude des aléas est donc la grandeur qui détermine la puissance des forçages les ayant générés, c'est-à-dire les facteurs initiateurs. Ces forçages se produisent à un moment donné que l'on qualifiera d'« événement de forçage ». Une probabilité d'occurrence de chaque événement peut alors être spécifiée par magnitude. En outre, ceux-ci sont circonscrits dans le temps et donc précisés par une durée d'action immédiate et éventuellement différée.
- 9 Dans le cadre du projet Cocorisco, les « aléas » étudiés sont l'érosion et la submersion. La migration dunaire, qui apparaît *a priori* peu présente en Bretagne, région d'application de l'analyse (cf. ci-dessous), et les tsunamis, qui relèvent d'autres mécanismes générateurs, ne sont pas pris en compte dans cette étude. On notera néanmoins que des périodes marquées par des « envahissements de sables dunaires » ont été relatées en Loire-Atlantique à Escoublac, vers 1450, 1751, 1779 et au début du XIX^e siècle (Briquet, 1926 ; Vincent J., 2006), dans le Morbihan (Bertrand et Lucas, 1975) et dans le Finistère aux X^{Ve}, XVI^e et XVIII^e siècles (Hallégouët et al., 1986). Par ailleurs, dans les analyses et caractérisations réalisées, les deux aléas (érosion/submersion) ne sont pas distingués mais sont considérés conjointement. Ces aléas sont, en effet, interdépendants : dans de nombreuses situations, ils se produisent simultanément ; dans d'autres cas, ils se produisent alternativement (l'érosion induisant une submersion et inversement), l'un (l'aléa indirect) étant alors induit par l'autre (l'aléa direct).
- 10 Ces cinq caractéristiques doivent, dans la mesure du possible, être mieux évaluées (Foster, 1976 ; Alexander, 2000). Elles requièrent d'être établies sur le long terme pour améliorer leur connaissance, notamment chronologique et statistique. En effet, la très forte magnitude étant souvent éloignée dans le temps de plusieurs décennies voire de plusieurs siècles selon la loi générique magnitude-fréquence observée pour de nombreux aléas (Hergaten, 2004 ; Malamud, 2004 ; Durville, 2004 ; UVED, 2006), cette caractérisation nécessite d'être définie au-delà de la période très courte des seules dernières décennies encore trop souvent prises en compte dans ce type d'études (Fanthou et Kaiser, 1990 ; Doornkamp, 1998 ; Antoine et al., 2009 ; Garnier et Surville, 2010 ; Garnier et al., 2010 ; Garnier, 2014).

Choix de la méthode de travail



11 La nécessité de disposer d'une connaissance des aléas littoraux sur le long terme a orienté le travail vers l'utilisation des archives historiques et récentes. Ces archives relatant les événements et/ou leurs conséquences en termes d'impacts et de dommages

côtiers constituent une source efficace de connaissance des aléas passés (Lang et al., 1998 ; Bernatchez et al., 2008 ; Ciavola et Jiménez, 2013). Pour les aléas les plus récents (ceux de la dernière décennie notamment), ces informations sont directement issues de la presse locale et régionale et sont également complétées, dans la mesure du possible, par des enquêtes de terrain. Il faut souligner que cette approche a déjà largement montré son utilité dans diverses situations et analyses des aléas et des risques. C'est le cas pour la connaissance multi-aléas en montagne (Fanthou et Kaiser, 1990), pour les inondations (Petrucci et Polemio, 2003 ; Combe, 2004 ; Porfido et al., 2009), pour les mouvements de terrain en général (Dominguez Cuesta et al., 1999 ; Maquaire et al., 2006) ou plus spécifiquement, les éboulements rocheux (Dussauge-Peissier et al., 2002) et les glissements de terrain (Carrara et al., 2003), pour les aléas hydro-géologiques (Esposito et al., 2003), ainsi que pour les tempêtes (Garnier, 2014). Ces informations sont également exploitées en tant que descripteurs dans les études académiques des aléas d'érosion et des submersions marines (Mason et al., 1996 ; Hénaff, 2003 ; Hénaff, 2005 ; Garnier et al., 2010 ; Letortu et al., 2012 ; Maertens-Noël, 2016 ; Chaumillon et al., 2017) et dans les études appliquées, notamment les Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) et les Plans de Prévention des Risques Submersion marine (PPR-SM) (Peteers et al., 2009 ; DHI et Géos-AEL, 2007 ; DHI et Géos-AEL, 2013, 2014, 2015 ; Hydratec et Géos-AEL, 2014).

- 12 Pour disposer d'une chronique longue, la période d'analyse choisie concerne l'Époque contemporaine (plus particulièrement, de la fin du XVIII^e siècle jusqu'à nos jours). Deux raisons en sont à l'origine : i) comme en témoigne généralement la bibliographie, elle correspond, en France tout au moins, à la période durant laquelle la population côtière se densifie en même temps que l'exploitation des territoires littoraux s'accroît fortement. Les témoignages et observations divers sont donc de plus en plus nombreux sur cette période et la sensibilité de l'État et des populations riveraines aux dommages auxquels ils sont exposés sur ces territoires littoraux s'accroît progressivement à partir de l'Époque moderne et jusqu'à nos jours (Sarrazin, 2012 ; Accera et Sauzeau, 2012) ; ii) d'un point de vue pratique pour des géographes-géomorphologues, la documentation de cette époque est accessible à la lecture, l'interprétation et l'exploitation des documents historiques, avec toutes les réserves qu'il faut, bien entendu, admettre vis-à-vis de la contextualisation de ces archives, domaine relevant avant tout de l'expertise des sciences historiques. Les informations relevant des périodes antérieures sont également inventoriées (données de dates comprises entre le VIII^e siècle et le milieu du XVIII^e siècle), même si, dans cette étude, elles ne sont pas prises en compte dans les analyses. Par ailleurs, les aléas antérieurs à la période historique (Holocène récent, Protohistoire et périodes historiques jusqu'à l'Époque moderne) ont fait l'objet d'études (développées par ailleurs) par les méthodes plus classiques de la géomorphologie (stratigraphie et paléo-écologie des signatures d'aléas littoraux) (Van Vliet-Lanoë et al., 2014(a), (b), (c) ; Van Vliet-Lanoë et al., 2015 ; Goslin, 2014 ; Fernane et al., 2014 ; Hénaff et al., 2015).

- 13 C'est donc en s'appuyant sur l'inventaire effectué à partir des archives que la réalisation d'une chronique des aléas d'érosion et de submersion est envisagée. La caractérisation de chacun de ces aléas s'appuie conjointement sur les descriptions qui en sont données. Le recueil de l'information est effectué en recourant aux témoignages écrits et iconographiques au sein des archives locales (registres des communes) et départementales, aux journaux locaux et régionaux et éventuellement nationaux, aux rapports de bureaux d'étude privés et publics (fig. 1), dans les publications scientifiques (thèses, mémoires universitaires, articles) ainsi que dans les ouvrages et monographies locales. Certaines recherches ont également été réalisées sur internet. La méthode est appliquée de manière équivalente pour toute la période, y compris pour les événements récents. Des comparaisons temporelles sont donc rendues possibles entre la période



pré-instrumentale (XVIII^e, XIX^e et une grande partie du XX^e bien souvent) renseignée, pour l'essentiel, par des données qualitatives, et la période récente (les dernières décennies, notamment à partir de la Seconde Guerre mondiale). Celle-ci bénéficie de plus en plus d'une instrumentation capable de mesurer progressivement de multiples critères environnementaux tout en se densifiant spatialement. Les mesures quantitatives se multiplient par conséquent, mais les informations qualitatives comparables à celles du début de la période étudiée continuent toujours d'être produites.

Figure 1 – Principales sources archivistiques utilisées pour l'inventaire.

Archives Nationales	S.H. de la Marine de Brest	S.H. de la Marine de Lorient	S.H. de la Défense de Vincennes	Ponts et Chaussées	Travaux Maritimes	ODE du Morbihan	Phares et Balises
Archives locales et Départementales	A.D. Ile-et-Vilaine A.D. de Saint-Malo	A.D. Morbihan A.D. de Brest	A.D. Côtes-d'Armor	A.D. Finistère	DDTM des Côtes d'Armor	Archives de la Ville de Lorient	Archives de la Ville de Saint-Malo
Autres archives	DDE du Finistère Ass. Syndicale des Propriétaires des Digos et Marais de Dol	Préfecture Finistère	CELM Lorient	Conservatoire du Littoral	S.M. du Grand Site Gâvres/Quaberon	Service Maritime de Lorient	Services techniques Marine de Larmor-Plage
Bibliothèques	Centre de Recherche Bretagne et Celtique	Médiathèque de Lorient	Bibliothèques d'Etude de Brest	BU - UBO	BNF - Gallica		
Presse Régionale	Ouest-Eclair	Ouest-France	Le Télégramme	Le Marin			
Presse locales (Côtes-d'Armor)	Le Lannionnais	Le Petit Bleu					
Presse locales (Morbihan)	L'Abeille de Lorient	Courrier de Bretagne	La Croix du Morbihan	Avenir du Morbihan	Le Petit Phare	Journal de Vannes	Le Phare de Bretagne
	Le Morbihannais	Le Courrier des Campagnes	Le nouvelliste de Vannes	La Liberté du Morbihan	Pays d'Urday	L'Ouest Républicain	Les Nouvelles de Lorient, du Morbihan, de Bretagne et de l'Ouest
	Le progrès du Morbihan	Le courrier morbihannais	Le Nouvelliste du Morbihan	Bull. Mun. de Sarzeau	Bull. mun. de la Polymatique		
Presse locales (Ile-et-Vilaine)	L'Union Malouine et Dinarnaise	Le Salut	Nouvelliste	Syndicat Digue de Parame	République Française	Le Radical	Pays Malouin
	Fonds des Bouillons	L'Information	Dol de Bretagne (Bull. Munic.)				
Presse locales (Finistère)	Journal de Morlaix	Le Finistère	Le Trégor	Le Progrès de Comouilla	Le Courrier du Léon	Le Progrès-Le Courrier	Bull. Munic. de Quimper
	Combril-Ste-Marine (Bull. Munic.)	Enez-Tudy (bull. municip.)					
Bureaux d'étude	Geos-AEL	Egis	DHI	CETMEF / CEREMA	CETE de l'Ouest	SOGREAH	LCHF / LNH
Sites Web	CRDP Rennes	Cartopole de Baud	SHOM				

A.D. : Archives Départementales ; Ass. : Association ; BNF : Bibliothèque Nationale de France ; Bull. Munic. : bulletin municipal ; B.U. : bibliothèque universitaire ; CELM : Centre d'essais de lancement de missiles ; CETE : Centre d'Études Techniques de l'Équipement ; CETMEF : Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales ; CEREMA : Centre d'Étude et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement ; CRDP : Centre Régional de Documentation Pédagogique ; DDE : Direction Départementale de l'Équipement ; DDTM : Direction Départementale des Territoires et de la Mer ; DHI : Delft Hydraulic International Eau et Environnement (Nantes) ; Geos AEL : Geos Aménagement / Environnement littoral (Etel) ; LCHF : Laboratoire Central d'Hydraulique de France (Maisons-Alfort) ; LNH : Laboratoire National d'Hydraulique (Chatou) ; S.M. : Syndicat Mixte ; SOGREAH : Société Grenobloise d'Études et d'Applications Hydrauliques.

Le contexte géographique des littoraux de la région Bretagne, région d'application

14 Cette méthode a été appliquée aux littoraux de la Bretagne administrative (fig. 2) du fait de la diversité des contextes géomorphologiques, géographiques et socio-économiques des territoires côtiers de la région. Ceux-ci sont des rivages de latitudes tempérées situés dans le Nord-Ouest de la France. Formant le pourtour de la péninsule bretonne, extrémité occidentale émergée du Massif armoricain, ils sont exposés aux conditions climato-océaniques et météo-marines déterminées par les flux atmosphériques d'ouest en provenance de l'Atlantique sur trois façades principales (côtes de la Manche au nord, de l'Atlantique et du Golfe de Gascogne à l'ouest et au sud).

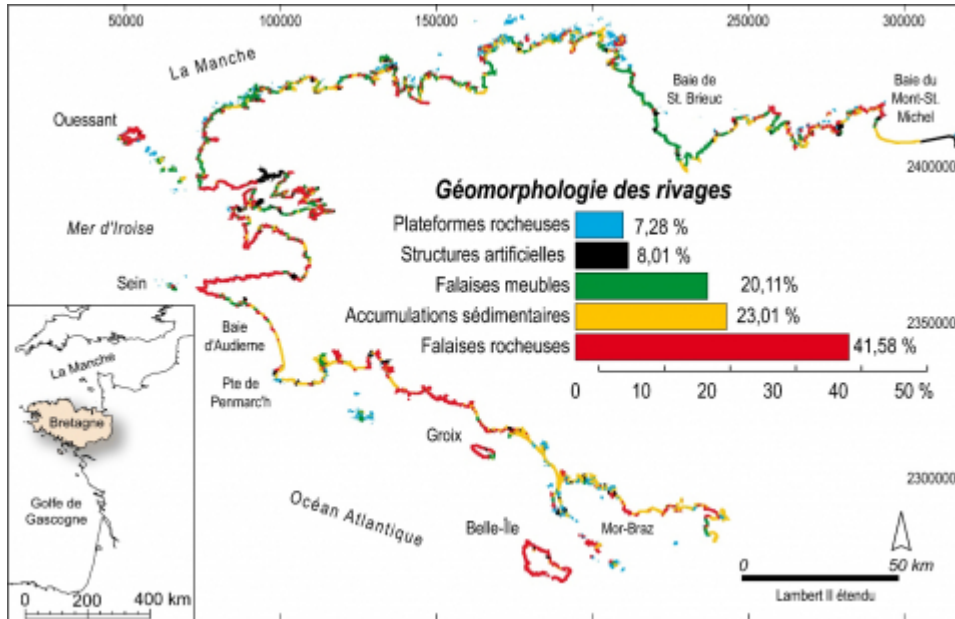
La grande diversité des types de côte d'accumulation et d'ablation qui se succèdent le



long du littoral constitue certainement la particularité géomorphologique de la région. Cette diversité et ce découpage conduisent à la juxtaposition de multiples cellules hydro-sédimentaires qui peuvent être très différemment exposées selon leur localisation et leur orientation. La longueur totale du linéaire côtier de cette région est de l'ordre de 4000 km sur la base du Trait de Côte de la France Métropolitaine (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) en tenant compte des littoraux des îles, îlots et estuaires. Ce linéaire est partagé en côtes à falaises rocheuses pour plus de 40 %, en falaises meubles sur environ 20 % du trait de côte, en côtes rocheuses basses sur environ 7 % et en accumulations littorales pour près d'un quart du linéaire (23 %) (Hénaff, 2003). Une évaluation assez sommaire permet également d'estimer à 8 % la longueur de linéaire régional artificialisé. Mais sur le seul département du Finistère à l'ouest de la région, un inventaire systématique des structures anthropiques implantées sur le trait de côte a montré un taux d'artificialisation dépassant désormais 20 % (Le Berre et al., 2009).

16 Du point de vue administratif, ces territoires côtiers sont distribués sur quatre départements et 261 communes littorales : le Finistère à l'ouest (125 communes littorales), les Côtes d'Armor au nord (59), le Morbihan au sud (56) et l'Ille-et-Vilaine à l'est (21). Ces communes littorales ont différents profils. Certaines sont essentiellement rurales et leur littoral reste peu urbanisé. D'autres sont nettement orientées vers l'exploitation de la mer et des littoraux, que ce soit par les activités portuaires de commerce, militaires et de la pêche ou du tourisme balnéaire. Enfin, certaines correspondent à des agglomérations moyennes dont le développement est généralement associé à l'économie de la mer. Ces différents profils peuvent de fait conditionner l'importance qui est accordée aux impacts des aléas sur leur littoral.

Figure 2 - Types de littoraux en Bretagne et distribution géographique.



L'inventaire des aléas littoraux en Bretagne : fiches communales standardisées et base de données spatialisées



- 17 L'inventaire des aléas historiques concerne la période allant du dernier quart du XVIII^e siècle à nos jours mais elle n'est pas encore totalement à jour puisque les toutes dernières années (2011 à 2016) ne sont encore entièrement intégrées. Dans la baie du Mont-Saint-Michel, étant donnée l'importance des digues pour ces territoires poldérisés, des informations nombreuses existent dès le début du XVIII^e siècle (Le Cornec, 2013). Quelques informations antérieures concernant d'autres secteurs littoraux, souvent bien moins documentées (entre le VIII^e siècle et le milieu du XVIII^e siècle), ont également été recensées. Elles ne sont cependant pas utilisées dans les analyses effectuées du fait de leur nombre insuffisant et leur imprécision ou encore de leur extension spatiale limitée à un seul secteur de côte. Les analyses qui portent sur l'échelle régionale sont donc limitées à la période 1790 – 2010.
- 18 Les diverses archives des quatre départements de la région ont été exploitées en parallèle (Le Cornec, 2013a ; 2013b ; Pétré et Jabbar, 2012 ; Corfou, 2012a ; 2012b ; Lageat, 2013 ; Le Drézen, 2012). Les informations collectées dans les archives constituent des données brutes qui décrivent des « événements de forçage » (tempêtes, coup de vent, « coup de mer », forte marée, « raz-de-marée », etc.) et des « dommages » ou plus généralement des « impacts » sur les territoires littoraux (inondation, érosion, brèche, etc.), c'est-à-dire les aléas. Ces données brutes sont donc converties en informations distribuées en catégories d'aléas littoraux tels que définis précédemment et en catégories de forçages qui en sont à l'origine. Pour leur utilisation ultérieure (constitution d'une « mémoire » des risques côtiers et analyses spatiales et temporelles), les inventaires d'événement ont fait l'objet de deux mises en forme : d'une part, elles constituent un dossier de « fiches communales standardisées » et, d'autre part, les informations contenues dans ces fiches sont reprises sous la forme d'une base de données spatialisées pour une exploitation au sein d'un S.I.G.

Constitution du dossier des fiches communales standardisées numériques

- 19 Les informations sont regroupées par date et par commune où se sont produits les faits au sein d'une « fiche communale d'événement normalisée » dans laquelle sont consignés les éléments suivants : date (plus ou moins précise selon les données réunies), type des aléas observés (en utilisant les typologies en vigueur pour leur description (Cerema, 2013)), localisation (par commune et lieux-dits), conditions météo-océaniques, coefficients de marée au moment des faits et encadrant l'événement (issus du SHOM), extraits de textes d'archives (courriers, rapports, etc.), extraits d'articles de journaux, plans, cartes et photographies, lorsque ces éléments existent, ainsi que les sources et références bibliographiques (fig. 3).

Figure 3 – Exemple de fiche communale standardisée.



1 et 2 février 1904	Belle-Ile-en-Mer (Le Palais)	1904 (14)
<p>☒ Source : Courrier Morbihannais, article du 7 février 1904 « Le Palais : Depuis huit jours, nous avons ici un temps détestable. Le vent, la pluie, la grêle se succèdent avec un en train déconcertant, et il n'est pas rare de voir les éclairs et le tonnerre se mettre de la partie. La mer, toujours grosse, balaine cesse nos côtes et fait rage dans le port. Le ressac est tellement fort que les bateaux et les vapeurs ne peuvent que difficilement accoster les quais. Mardi matin, à l'heure de la pleine mer, l'eau a débordé de toutes parts sur les quais et un grand nombre de maison ont été inondées. Il a fallu faire appel aux pompes à incendie pour vider les caves et les sous-sols d'un grand nombre de magasins et de maisons particulières.[...] Les quais sont endommagés dans les différents endroits du port.</p> <p>☒ Source : Le Nouvelliste du Morbihan, article du 7 février 1904 « A Belle-Ile, les quais du port de Palais ont été envahis par l'eau sur le quai Gambetta. Il a fallu recourir aux pompes municipales pour vider les caves. »</p> <p>☒ Source : Collection CARTOPOLE de BAUD (56) - www.cartolis.org Cartes postales anciennes non datée mais se rapportant sans doute à l'évènement de février 1904</p>		
		
		
<p>☒ Source : SHOM Coefficients des marées : Le 1^{er} février 1904 : 93 le matin et 103 le soir Le 2 février 1904 : 108 le matin et 111 le soir</p>		

Bandeau du haut : à gauche, date de l'évènement, au milieu commune concernée, à droite numéro d'identification de la fiche. Partie centrale : pour chaque information, la source, le descriptif et éventuellement une illustration (photos, plan, carte postale). En bas : les coefficients et horaires de marée à la date de l'évènement.

- 20 Au total, ce sont ainsi 882 événements météo-marins et de forçages qui ont été recensés entre 1700 et 2010. Ils représentent 1105 fiches communales produites (fig. 4) au format numérique qui décrivent 4203 aléas d'érosion et de submersion littorales. Les fiches sont organisées sous forme de fichiers numériques indépendants, une fiche donnant lieu à un fichier aux formats texte et *portable document (.doc et .pdf)* qui peut être corrigé et complété au fur et à mesure que des informations supplémentaires sont collectées. L'ensemble de ces fiches a ensuite été ordonné en dossiers par département et par siècle. La dénomination, commune à tous les fichiers, est conçue pour une identification rapide au sein des dossiers en adoptant la manière suivante : *ANNEE (Numéro d'évènement) Mois_Jour Fiche-Nom de Commune*.



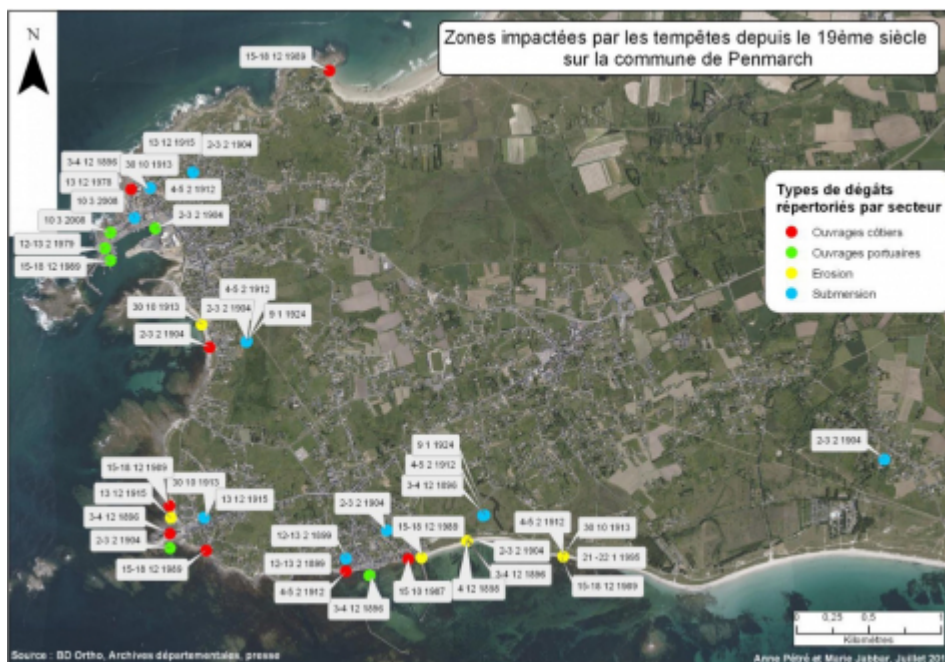
Pour différents objectifs de recherche académique et appliquée ainsi que pour des

besoins de gestion des risques côtiers, ce système de dénomination et de classement des fichiers permet la réalisation de dossiers par commune, communautés de communes voire par département. Les fiches peuvent être ainsi éditées aux formats numériques ou imprimées. Les données collectées font également l'objet d'une cartographie simplifiée (localisation et date des impacts) compatible avec des navigateurs cartographiques du type *Google-Earth*, *Géoportail* ou *Bing Maps* par exemple (données numériques aux formats *.kmz* ou *.kml*) qui permet de disposer, en première approche, d'une représentation spatiale et temporelle des impacts à différentes échelles territoriales (fig. 5).

Figure 4 – Nombre de fiches communales standardisées réalisées : bilans par département, par siècle et totaux.

Siècles	Côtes-d'Armor	Finistère	Ille-et-Vilaine	Morbihan	Totaux
Anté-XVIIe			5		5
XVIIe			12		12
XVIIIe		2	77	3	82
XIXe	103	71	58	109	341
XXe	70	209	38	277	594
XXIe	1	11	2	62	76
Totaux	174	293	187	451	1105

Figure 5 – Exemple de cartographie simplifiée des dommages recensés sur la pointe de Penmarc'h restituée sur fond orthophotographique Google-Earth (copie d'écran).



Construction de la base de données géo-référencées des aléas côtiers régionaux



Descripteurs régionaux proposés

- 22 Sur la base des fiches communales standardisées, chaque impact inventorié est géo-référencé au sein d'une base de données spatialisée. Il s'agit d'une couche vectorielle de points. Le référencement puis le traitement et les analyses spatiales et temporelles des données sont réalisés au sein d'un S.I.G. piloté par QGIS 2.10 Pisa et ses outils d'analyse (Open Source Geospatial, 2015). La table attributaire associée renseigne les caractères suivants dans la mesure où l'information a pu être collectée : date ; localisation ; type de facteur générateur ; type d'aléa ; source de l'information ; personne ayant produit la description dans la fiche communale standardisée ; lien hypertexte vers la fiche communale qui relate les faits en détail.

Les attributs de date des aléas

- 23 Plusieurs analyses chronologiques doivent pouvoir être proposées de manière à disposer de comparaisons dans le temps (évolutions annuelles, par décennie ou par siècle). Disposer d'une chronique, couvrant au moins les XIX^e, XX^e et XXI^e siècles, des événements successifs est la plus intéressante mais une telle chronique nécessite de disposer des dates précises pour chaque fait inventorié. Cette information datée permet dès lors d'envisager d'agrèger les observations faites dans les différentes communes de la région en les attribuant à un ou des forçage(s) commun(s). Dans la base de données, la date peut être précise (jour, mois et année) ou approximative (mois, hiver de telle année, ou année simplement). Pour informer cet attribut, chaque enregistrement reçoit un code constitué de 8 chiffres : les quatre premiers sont l'année, les deux suivants sont le mois, les deux derniers représentent le jour. Lorsqu'on ne dispose que du mois et de l'année, les deux derniers chiffres sont numérotés 00, puis 01, 02, etc. pour les faits suivants sans date plus précise. Pour ceux dont on ne connaît que l'année de survenue, les quatre derniers chiffres sont numérotés 0000, puis 0001, etc. pour les faits suivants de date imprécise. La chronologie de ces faits n'est donc pas correctement réalisée pour l'ensemble des données mais pour autant, ces données peuvent être prises en compte dans les analyses annuelles (ou mensuelles). Pour les plus anciens événements, pour lesquels une indication de type « aux alentours de telle année » est parfois la seule disponible, aucun code-date n'est produit. Ils sont donc exclus de toute analyse chronologique.

Les attributs de localisation des aléas

- 24 La localisation de chaque aléa comprend plusieurs attributs. Dans les cas les plus favorables, l'information recueillie est suffisante pour être localisée exactement. L'aléa est donc numérisé directement dans le SIG (couche vectorielle de points) et ses coordonnées cartographiques sont calculées (coordonnées Lambert). La précision de localisation, dans ce cas, est celle du pixel des photographies aériennes. C'est le cas lorsque l'archive utilisée précise l'objet géographique impacté ou sa position par une adresse, un lieu-dit ou des éléments clairs de localisation, voire propose une carte ou une photographie. Une aide à ce positionnement est désormais fournie par des portails cartographiques de type *Géoportail*, *Google Earth* et *Google Street-View*. Pour des faits sans localisation claire et indication suffisante, les coordonnées du centroïde de la commune sont utilisées pour le référencer. Les localisations par coordonnées cartographiques sont utilisées ensuite pour définir l'aire d'impact des événements. Dans la table, des attributs complètent la localisation de l'aléa : le lieu-dit, le numéro INSEE et le nom de la commune, ainsi que le numéro du département. Ce sont autant d'éléments qui permettent, par la suite, d'effectuer diverses analyses spatiales selon des



découpages territoriaux variés.

Les attributs décrivant les types de forçage

25 Les forçages (facteurs générateurs des aléas) recensés dans les archives sont particulièrement diversifiés et peuvent combiner plusieurs processus. Le vocabulaire descriptif des archives est conjointement assez varié. Pour pouvoir, par la suite, comparer entre eux les aléas, les forçages sont répartis en sept grandes catégories. Celles-ci prennent en compte les agents prépondérants (météorologiques, marins, continentaux, anthropiques et biologiques), leur combinaison potentielle (Conjugués) et l'absence de description (Inconnu). Des sous-catégories permettent d'apporter des précisions et au total, 26 catégories différentes rendent compte des descriptions relevées dans les archives (fig. 6).

Figure 6 - Catégories et sous-catégories des forçages (facteurs générateurs d'aléas) et catégories d'aléas utilisées dans la base de données.

Typologie des forçages (facteurs à l'origine des aléas littoraux) :	Typologie des aléas littoraux recensés :
1 - FACTEURS METEOROLOGIQUES	1 - Recul du rivage naturel [recul rivage naturel]
Conjugués météorologiques [météo] - 10	2 - Recul du rivage artificiel [recul rivage artificiel]
Tempêtes [tempête] - 11	3 - Submersion marine [submersion]
Tempêtes successives [successifs] - 12	4 - Mouvement de masse dans les falaises meubles ou rocheuses [éboulement]
Dérive éolienne [éolien] - 13	5 - Choc mécanique lié à l'action des vagues [action des vagues]
2 - FACTEURS CONTINENTAUX	6 - Démaigrissement d'estran [démaigrissement]
Conjugués continentaux [continentaux] - 20	7 - Envasement [envasement]
Précipitations excessives [pluies] - 21	8 - Envasement [envasement]
Accumulation d'eau dans étang de barrage et dans les falaises [pression] - 22	9 - Accumulation de galets [accumulation galets]
Ruissellement concentré [ruissellement] - 23	10 - Erosion anthropique [érosion anthropique]
Courant fluvial [fluvial] - 24	11 - Autres dommages générés par les tempêtes [autres dégâts]
3 - FACTEURS MARINS	12 - Engraisissement dunaire [engraissement dunaire]
Conjugués marins [marins] - 30	13 - Erosion éolienne [érosion éolienne]
Houles et vagues [mar] - 31	14 - Dégradation d'une construction biogène [dégradation bioconstruction]
Dérive et courants littoraux [dérive] - 32	15 - Erosion par termites d'animaux [termites]
Fort coefficient de marée [marée] - 33	0 - Inconnu [inconnu]
Surtôte [surtôte] - 34	
4 - FACTEURS ANTHROPIQUES	
Conjugués anthropiques [anthropiques] - 40	
Piétinement [piétinement] - 41	
Effet pervers de protection longitudinale [longitudinal] - 42	
Effet pervers de protection transversale [transversal] - 43	
Collecte goémon [collecte] - 44	
Extraction de matériaux littoraux [extraction] - 45	
Apport de matériaux [apport] - 46	
5 - BIOLOGIQUE	
Plantes fixatrices de sédiments [plante] - 51	
Animaux fouisseurs [fouisseur] - 52	
6 - INCONNUE	
Ignoré [ignoré] - 61	
7 - CONJUGUES	
Conjugués naturels et anthropiques [naturels] - 71	
Conjugués météo-marins [météo-marins] - 72	
Conjugués marins et continentaux [continentaux] - 73	
Conjugués météo-marins et continentaux [naturels] - 74	
Conjugués tempête et fort coefficient de marée [concomitance] - 75	

Les attributs décrivant les aléas

26 Dans les archives utilisées, le vocabulaire employé pour la description des aléas est, lui aussi, relativement diversifié. Il ne correspond d'ailleurs pas toujours à la typologie et sous-catégories existantes (érosion, submersion, migration dunaire). La description en elle-même peut comporter, dans certains cas, de nombreux détails qualitatifs voire quantitatifs. Certains sont cependant difficiles à intégrer comme attributs dans la base de données. Par conséquent, un résumé des informations trouvées dans les archives est produit comme attribut, puis ces informations sont traduites selon une typologie qui permet de distinguer 16 types d'aléas. Ce format descriptif est alors adapté aux possibilités d'analyses spatio-temporelles envisagées (fig. 6).

Les attributs complémentaires



27 Les compléments d'information sont, d'une part, la source de l'information qui correspond soit à la source elle-même (référence bibliographique, lien internet), soit au nom de la personne ayant recueilli l'information et qui a créé la fiche communale

d'événement normalisée dans laquelle toutes les sources archivistiques sont mentionnées en détail. Dans ce dernier cas, la table attributaire comporte alors un lien hypertexte permettant d'accéder à la fiche elle-même.

28 La réalisation d'un tel inventaire est coûteuse en temps et a nécessité plusieurs années de collecte des informations. La mise en forme des données, que ce soit sous forme de fiche comme pour la réalisation de la table attributaire, est également fastidieuse. La méthode présente par ailleurs l'inconvénient de ne jamais offrir l'assurance de l'exhaustivité. Néanmoins, la capitalisation des informations sous la forme de fiches et d'une base de données numériques à référence spatiale autorise maintenant des mises à jour régulières et des compléments aux informations recueillies sont toujours possibles. Avec dorénavant quelque 4 203 impacts recensés sur le littoral de la Bretagne relevant des 882 événements météo-marins et de forçages entre 1700 et 2010, de la baie du Mont-Saint-Michel à l'estuaire de la Loire, il semble qu'au moins les aléas littoraux des derniers siècles aient été inventoriés et que seuls des aléas de moindre importance et, sans doute, d'échelle plus locale, peuvent avoir été manqués. Par conséquent, la poursuite de l'inventaire et sa mise à jour régulière permettront, dans le cadre de la mise en place d'un observatoire des risques côtiers développé actuellement (Projet OSIRISC, 2016-2018, Fondation de France : <http://www.risques-cotiers.fr/fr/projets/osirisc>), de compléter progressivement les informations. D'ores et déjà, des analyses spatio-temporelles peuvent être proposées à partir des données inventoriées qui permettent de préciser les caractéristiques des aléas littoraux d'érosion et de submersion, voire de migration dunaire le cas échéant, dans la région.

Caractérisation des aléas inventoriés

29 Le S.I.G. comprend les couches vectorielles suivantes : le trait de côte métropolitain (TCMF) du SHOM, les limites des communes littorales de l'Institut Géographique National (GEOFLA@IGN), et la couche vectorielle « Aléas côtiers » créée. Le nombre d'informations (attributs) de cette couche vectorielle est de 71 195 qui permettent de décrire les 4 203 aléas. La connaissance des aléas côtiers étant à l'origine de la constitution de la base de données, l'intensité est la première caractéristique présentée selon divers découpages temporels des aléas d'érosion-submersion. Les autres caractères sont ensuite présentés : magnitude des forçages, fréquence statistique, aire d'impact et durée d'action.

Intensité des aléas (1700 – 2010)

Chronologie des aléas et détermination de l'intensité

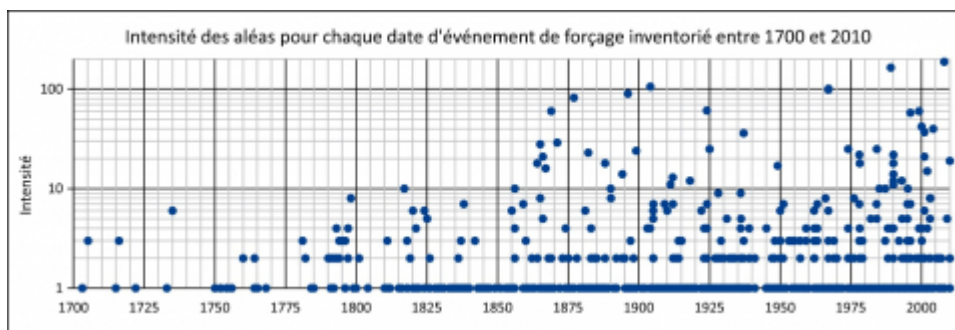
30 L'examen de l'ensemble des fiches communales standardisées et des données d'aléas côtiers au sein du SIG est réalisé afin de définir la chronologie des forçages qui en sont à l'origine. Pour ce faire, sur la base de ce lot de données régionales, des regroupements d'aléas sont opérés en fonction des dates calendaires de survenue (jour/mois/année et, pour certains cas, mois/année lorsque l'information chronologique est moins précise). La grande majorité des forçages est facilement identifiable et bien cernée par sa/ses date(s) de survenue. Dans certains cas cependant, leur détermination est litigieuse et certains choix de regroupement peuvent donc être discutés (Goutx, 2014). Ainsi, lorsque plus de trois jours successifs d'apparition d'aléas sont repérés dans la base de données,



il est parfois difficile de savoir s'il s'agit d'un seul ou de plusieurs forçages (notamment météo-marins) qui en sont à l'origine. Par exemple, la durée de passage d'une tempête est généralement estimée entre quelques heures localement et une journée (24 h, éventuellement étalées sur deux jours consécutifs dans les archives si le phénomène se produit dans la nuit) pour l'étendue de la région ; elle peut cependant avoir des effets pendant deux à trois jours successifs (voire s'étendre plus largement parfois). Ce peut être le cas lorsque des cordons littoraux sont éventrés et que les hautes mers qui la suivent conduisent à la submersion des territoires en arrière en l'absence d'intervention anthropique pour combler la brèche. Les données mal datées posent également des problèmes, notamment lorsqu'elles se multiplient dans une même année. Les aléas sont alors dissociés en tant qu'aléas individuels alors même qu'il s'agit peut-être du même. Les compléments d'information qui pourront par la suite être apportés à la base de données seront cependant à même de corriger ces éventuelles erreurs.

- 31 882 événements de forçages sont reconnus entre 1700 et 2010 et 871 événements de forçages entre 1790 et 2010, soit respectivement 2,84 et 3,95 événements par an pour ces deux périodes. Le nombre d'événements de forçages par année successive sur la période 1700-2010 est très variable, allant de zéro à 35 forçages dans l'année. Trois périodes se distinguent cependant nettement de part et d'autre de 1800 et de 1850 (fig. 7). Avant 1800, les événements de forçages sont peu nombreux, plusieurs années successives ne connaissent aucun événement. Il faut admettre qu'il s'agit là de lacunes dans l'enregistrement (au moment des faits) ou la collecte des données (lors de l'inventaire réalisé) qui ont déjà été discutées. Après 1800, mais plus certainement après 1850, on dispose d'une série beaucoup plus homogène du point de vue de la distribution temporelle de ces événements. Une grande variabilité caractérise alors les années successives mais deux pics majeurs apparaissent, l'un centré sur les années 1870 et l'autre sur les années 1975. Plusieurs pics intermédiaires, de moindre ampleur, apparaissent également dans la série. Ceux-ci sont centrés respectivement sur les années 1820, 1890, 1935 et 2000. Malgré les lacunes signalées précédemment pour la période, on peut y ajouter un pic supplémentaire correspondant aux années 1790.

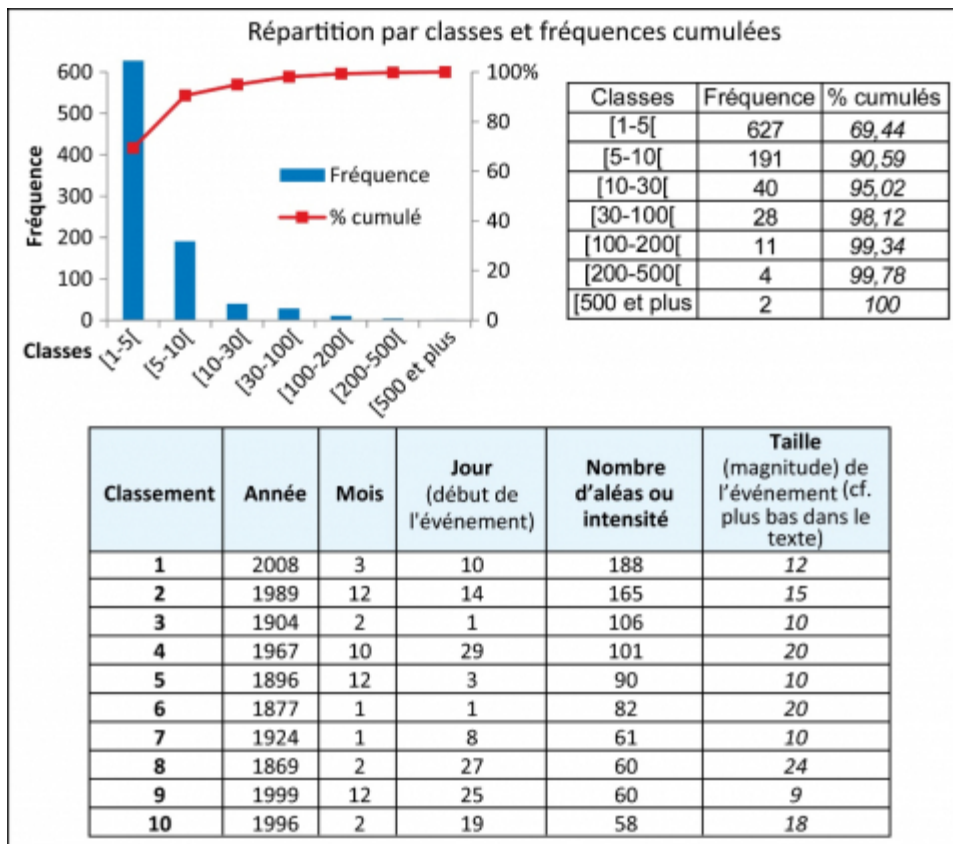
Figure 7 - Intensité des aléas pour chaque événement entre 1700 et 2010



- 32 Au final, l'intensité de chaque forçage est donnée par le nombre d'aléas qu'il a produit. Elle est en moyenne de 4,32 par événement de forçage entre 1700 et 2010 et de 4,39 entre 1790 et 2010. L'événement de forçage le plus intense correspond à la tempête Johanna du 10 mars 2008 qui dépasse quelque peu en intensité la tempête des 14 au 16 décembre 1989 (fig. 8). Viennent ensuite dans ce classement les tempêtes de 1896, 1904 et 1967.

Figure 8 – Le « Top 10 » des événements selon l'intensité des aléas et fréquences des cas observés par classe d'intensité.



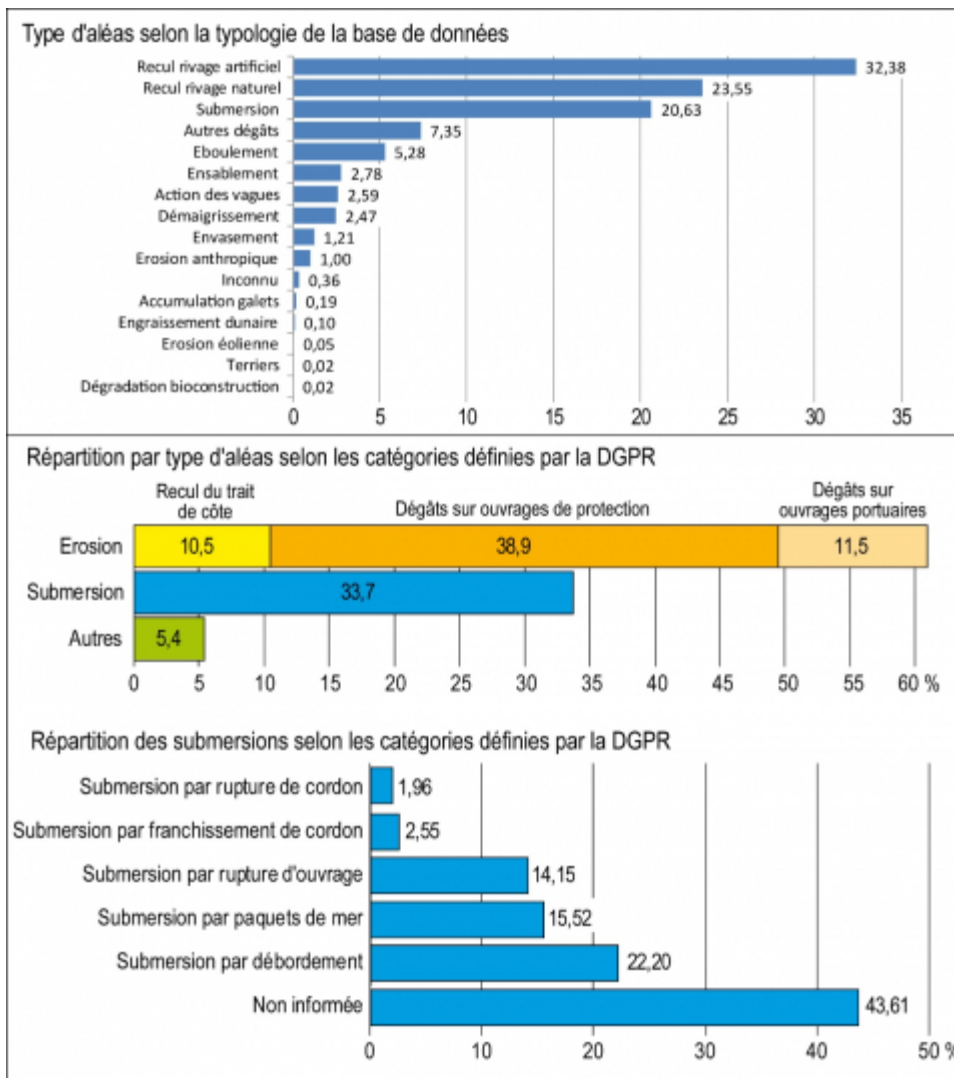


Types d'aléas les plus fréquents

33 La plus grande partie des aléas correspond à l'érosion et l'endommagement de rivages artificiels (structures de défense du trait de côte, digues de polder et portuaires, bâtiments), à l'érosion des rivages naturels, ou encore à des submersions (fig. 9). Ces trois catégories représentent respectivement 32,4 %, 23,6 % et 20,6 % des impacts inventoriés, soit, au total, plus des trois quarts de l'ensemble des aléas. Les catégories d'aléas (« autres dégâts », « éboulement », « ensablement », dégâts dus à « l'action des vagues » et « démaigrissement ») sont finalement peu représentées avec toujours, pour chacune de ces catégories, moins de 10 % des aléas recensés. On notera également la très faible part revenant à la catégorie « érosion anthropique » (sur-piétinement, extraction de sable, etc.) (1 %) alors que les études géomorphologiques des dernières décennies n'ont cessé de montrer l'importance des conséquences des actions humaines (combinées aux phénomènes naturels) sur les dynamiques et les évolutions littorales (Paskoff, 1985 ; Miossec, 1998 ; Pinot, 2000). Mais, bien entendu, il s'agit ici de résultats provenant des constats relatés à travers les archives.

Figure 9 - Répartition des aléas selon les catégories retenues pour leur identification dans l'inventaire historique. Fréquences en %.





Classement des forçages (facteurs générateurs des aléas)

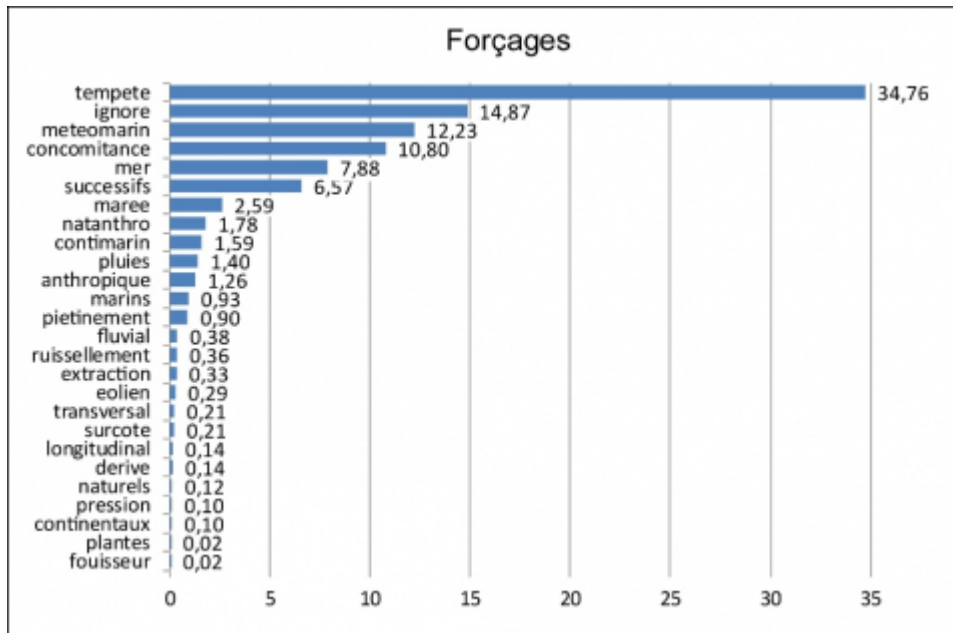
34 Dans la hiérarchisation des forçages (fig. 10), le premier rang est occupé par les « tempêtes » qui représentent plus du tiers des causes (34,76 %). Viennent ensuite les facteurs combinant des processus météorologiques et marins (12,23 %) mais non identifiés en tant que « tempête » dans les archives, ainsi que les « Concomitances », c'est-à-dire ce qui, dans les archives, est indiqué comme la combinaison d'une « tempête » et d'une mer forte se produisant au moment ou autour de la haute mer d'une marée de fort coefficient. Les fortes marées (sans tempête) représentent, quant à elles, 10,80 % des causes d'aléas côtiers. Au total, près de 58 % des forçages associent, sans surprise, des vents forts à violents et des conditions de mer propices à la surélévation des plans d'eau (haute mer de vive eau, surcote, houle). Les cumuls hyétométriques hivernaux ou l'importance des précipitations, pourtant largement impliqués dans les évolutions des falaises meubles et rocheuses, sont en définitive peu représentés, les « tempêtes » étant, encore une fois, considérées dans les archives presque comme le seul facteur de déclenchement des mouvements de masse dans ces milieux. Enfin, les êtres vivants (plantes et animaux fouisseurs) sont insignifiants dans cet inventaire. Il reste également une part assez importante (14,87 %) des impacts pour lesquels les forçages qui les ont produits n'ont pas été renseignés.

Tout en gardant bien en tête que les données exploitées ici sont des faits décrits au



travers des archives, du bilan qui peut être dressé on retiendra d'abord la multiplicité des causes d'impacts côtiers qui doivent être envisagées. Cette multiplicité tend à mettre en évidence d'autres causes que les seuls processus naturels, ce qui tendrait à montrer que la seule analyse des conditions météo-marines, aussi complète soit elle par le nombre de paramètres pris en compte, ne permet *a priori* pas de comprendre l'intégralité de l'origine des dommages côtiers observés. Néanmoins, 80,35 % des facteurs générateurs d'impacts sont des processus naturels, pourcentage qui s'élève à 94,39 % si on exclut les « inconnus » de ce calcul. Ils représentent donc bien la cause majeure de cet endommagement. À côté, les actions anthropiques représentent 2,59 % des origines (soit 3,45 % en dehors des inconnus), auxquelles peuvent être additionnées les 1,78 % lorsqu'elles sont associées à des processus naturels (et 2,09 % en excluant les inconnus).

Figure 10 - Importance respective des diverses catégories de forçages impliqués dans la génération des aléas littoraux régionaux (1700 - 2010). Fréquences en %.



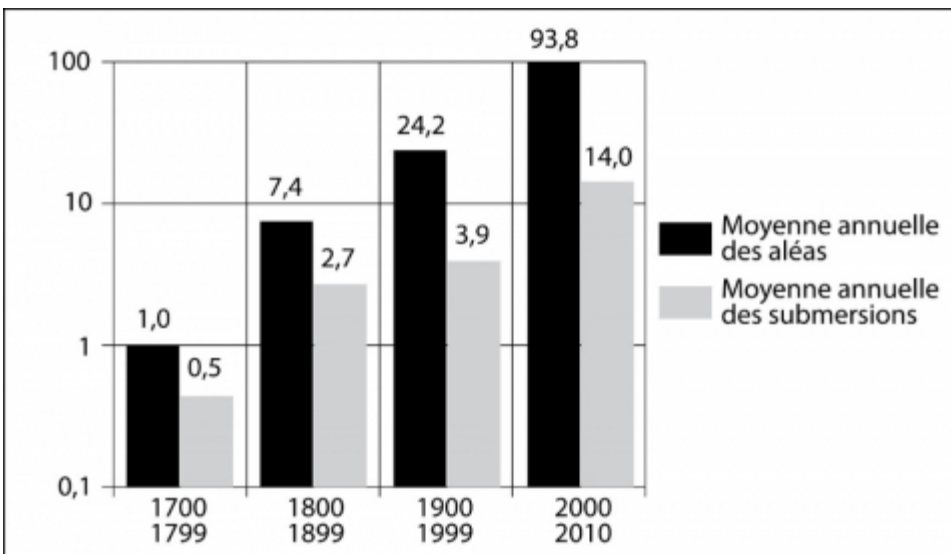
Distributions temporelles des aléas

Distributions temporelles des aléas : comparaison par siècle (1700 – 2010)

- 36 Quel que soit le découpage temporel envisagé, les aléas inventoriés sont très inégalement répartis dans le temps. Un découpage de la période d'étude par siècle successifs montre ainsi que 2,33 % d'entre eux sont générés au XVIII^e siècle tandis que le XIX^e siècle en compte 17,51 %, le XX^e 56,91 % et le XXI^e, jusqu'en 2010, en compte 22,31 % (les 0,94 % restant se répartissant sur les périodes antérieures à celle étudiée ici, soit entre 700 et 1699). Parmi ceux-ci, on peut distinguer les aléas de submersions (847 cas), dont 5,31 % recensés au XVIII^e, 32,11 % au XIX^e, 46,04 % au XX^e et 1,18 % au XXI^e siècle. Cette distribution qui, au cours de ces derniers siècles, voit la fréquence annuelle moyenne des aléas croître de manière importante traduit, selon nous, la multiplication des observations réalisées en lien avec l'accroissement des personnes et des enjeux disposés sur les rivages (fig. 11).



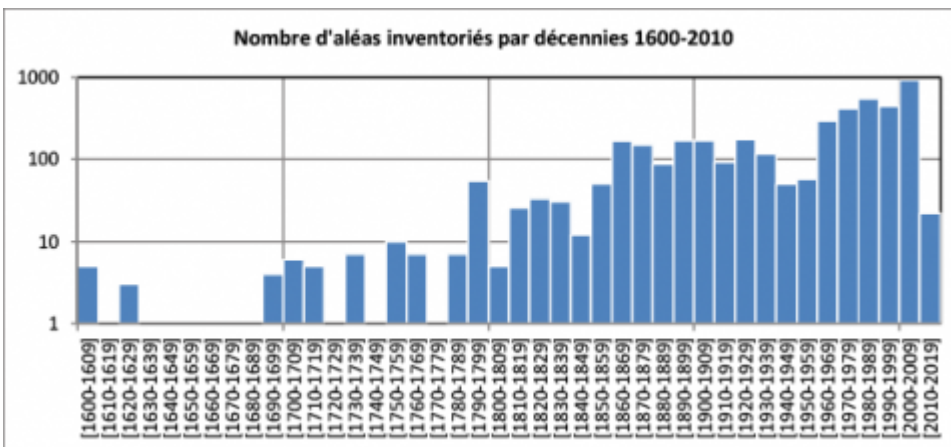
Figure 11 – Moyennes annuelles des aléas côtiers (totaux et submersions) inventoriés par siècle sur les rivages de la Bretagne (NB : échelle logarithmique en ordonnée).



Distribution temporelle des aléas : comparaison par décennies

- 37 Le classement par décennies successives montre également un accroissement (fig. 12) permanent au cours de la période. Cependant, la progression est plus irrégulière que dans la répartition précédente puisque les intervalles [1750-1759], [1790-1799], [1810-1839], [1850-1939] et [1960-2009] sont entrecoupés de décennies de décroissance des impacts.

Figure 12 - Distribution décennale des aléas inventoriés entre 1600 et 2010 (NB : échelle logarithmique en ordonnée).



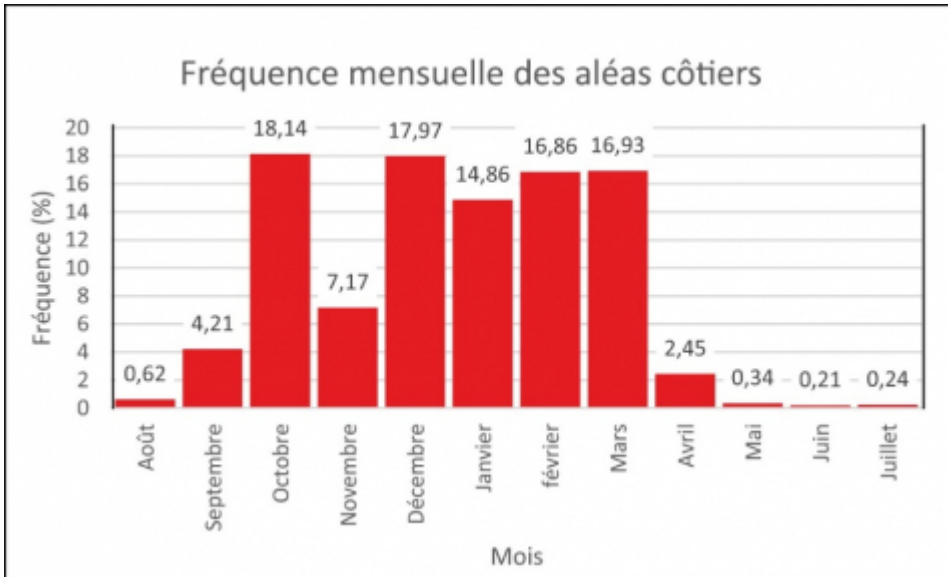
Distribution temporelle des aléas : la « saison » moyenne des aléas côtiers

- 38 La répartition mensuelle des aléas dans une année moyenne entre 1750 et 2010 est mise en évidence en tenant compte des données dont la date de survenue est connue au moins au mois près (fig. 13). Ces données représentent 69,4 % de l'inventaire. L'analyse de la distribution mensuelle des aléas montre qu'en Bretagne, les impacts se produisent, pour l'essentiel, au cours de l'automne et de l'hiver. Sur l'intégralité de la période considérée, cette distribution s'établit en moyenne sur sept mois de l'année moyenne : d'octobre à mars, c'est-à-dire en automne et en hiver. Néanmoins, cinq mois (octobre, décembre, janvier, février et mars), plus favorables, dépassent les 10 % des aléas annuels dont quatre (octobre, décembre, février et mars) sont supérieurs à 15 %. Octobre et décembre apparaissent, au final, comme les mois les plus propices aux aléas côtiers avec 18,14 et 17,97 % se produisant sur ces seuls mois. Ce sont apparemment les mois de transition saisonnière (entre l'été et l'automne, puis entre l'automne et l'hiver et enfin entre l'hiver et le printemps) qui sont les plus opportuns aux aléas côtiers sur le



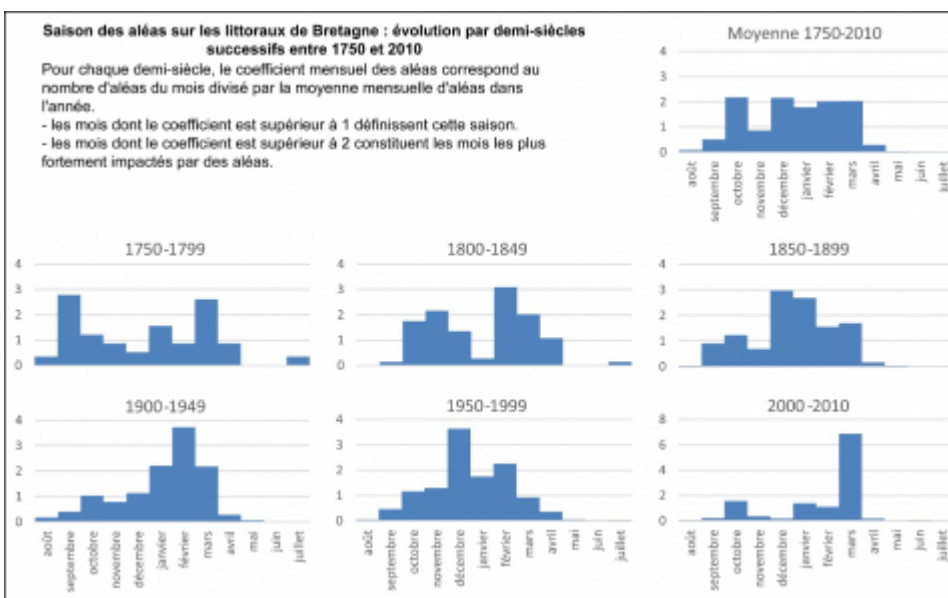
littoral.

Figure 13 – Fréquences mensuelles des aléas côtiers entre 1750 et 2010.



39 La distribution saisonnière des aléas, et donc la saison la plus favorable, peut alors être mise en évidence à l'aide d'un « coefficient mensuel des aléas ». Ce coefficient compare le nombre d'aléas de chaque mois à la moyenne mensuelle établie sur l'année. Les mois dont le coefficient est supérieur à 1 définissent cette saison. On peut également y mettre en évidence les mois dont le coefficient est supérieur à 2 et qui constituent alors les mois les plus impactés. L'intérêt de cette analyse est de mettre en évidence, au cours de la période 1750-2010, une évolution de la durée de la « saison des aléas » et des mois les plus propices à leur survenue. En effet, les mois les plus favorables sont variables selon la période considérée. Ainsi, la saison des aléas moyenne (établie de 1750 à 2010) est tri-modale. Elle débute en octobre, exclut novembre puis reprend en décembre pour s'étendre ensuite jusqu'en mars. Durant cette saison, les mois d'octobre, décembre, février et mars ont un coefficient mensuel supérieur à 2. Les pics modaux sont atteints en octobre, en décembre et en mars, ce qui peut correspondre aux mois de transition entre saisons climatiques (fig. 14).

Figure 14 – « Saisons » des aléas définies par le « coefficient mensuel des aléas côtiers ».



Saison moyenne établie pour la période 1750 à 2010 et comparaison des mois les plus favorables à l'apparition des aléas au cours de l'année et par demi-siècles successifs de 1750 à 2010. NB : l'échelle des ordonnées n'est pas identique aux précédentes pour la période 2000 à 2010, du fait d'un plus faible nombre de données et de l'importance des aléas générés par la tempête du 10 mars 2008 dans la série.

40 Par comparaison (fig. 12), un découpage par demi-siècle de la période 1750-2010 permet de montrer que :

- de 1750-1799 cette saison est également tri-modale. Elle s'étend de septembre à avril inclus. Quatre mois ont alors un coefficient supérieur à 1 mais seuls deux, octobre et mars, ont un coefficient supérieur à 2. Avec janvier, ils correspondent aux trois pics modaux de cette période.
- de 1800 à 1849, la distribution ne présente plus que deux modes centrés sur les mois de novembre et février.
- de 1850 à 1899, cinq mois ont un coefficient supérieur à 1 et deux, décembre et janvier, ont un coefficient supérieur à 2. La distribution présente à nouveau trois modes centrés sur octobre, décembre et mars.
- de 1900 à 1949, la saison des aléas est bimodale et s'étend d'octobre à mars à l'exclusion de novembre, cinq mois ayant un coefficient supérieur à 1. Un premier mode est centré sur octobre ; le second se produit en février.
- de 1950 à 1999, cette saison est également établie sur 5 mois. D'octobre à février, tous les coefficients sont alors supérieurs à 1. Ils sont supérieurs à 2 en décembre (> 3) et en février, ces deux mois correspondant aux deux modes de la distribution.
- de 2000 à 2010, la série est difficilement comparable aux autres étant donnée sa durée et le nombre d'impacts recensés. Elle est fortement marquée par un pic en mars, qui témoigne en réalité de l'importance de la tempête du 10 mars 2008 (Johanna) dans la génération des impacts sur cette décennie.

41 Au total, la saison des aléas au cours de l'année moyenne (examinée ici sur des intervalles de temps mi-séculaires) montre une forte variabilité par sa durée et son étalement sur les mois concernés. Elle est certainement à mettre en relation, en premier lieu, avec la variabilité des phénomènes météo-marins à différentes échelles de temps étant donnée leur importante représentation en tant que forçage générant des aléas côtiers d'érosion et submersion (cf. plus haut). Le phénomène n'est pas propre aux données inventoriées et est observé également dans d'autres régions du nord-ouest de l'Europe. Diverses explications sont proposées dans la bibliographie. Pour les Îles Britanniques entre 1920 et 2000, Allan et al. (2008) montrent ainsi qu'il existe une étroite relation entre la localisation de cette période sur janvier, février et mars et les variations de l'Oscillation Nord-Atlantique. Par contre, cette relation n'existe plus pour les tempêtes se produisant plutôt d'octobre à décembre. En Irlande où ce type de variabilité saisonnière est également observé entre 1715 et 1999, elle est attribuée par Sweeney (1999) à la plus ou moins grande fréquence des cyclones tropicaux parvenant sur l'ouest du bassin nord-atlantique en automne (de septembre à novembre, et sans doute août). Selon Hart et Evans (2001), la proportion de cyclones tropicaux pouvant atteindre ces rivages orientaux de l'Atlantique Nord en s'intégrant dans la circulation d'ouest des latitudes tempérées serait de l'ordre de 42 %. Plus généralement, pour l'automne, la principale cause serait alors la variabilité pluri-décennale des températures de surface de la mer (Van Vliet-Lanoë et al., 2014c). Selon les périodes examinées, ces variations aboutiraient à des transferts plus ou moins importants d'énergie vers l'atmosphère notamment en comparaison avec le printemps.



Fréquence annuelle des aléas

Entre 1700 et 2010, la fréquence moyenne est de 12,45 impacts/an (avec 68,7 %

d'années durant lesquelles des aléas sont enregistrés). Une tendance permanente à l'accroissement de cette fréquence annuelle des aléas est observée. Ainsi, de 1700 à 1799, les aléas inventoriés ne sont que de 0,92/an (29 % d'années à aléas) et de 2,1/an entre 1800 et 1849 (72 % d'années à aléas), tandis qu'ils atteignent 95,1/an entre 2000 et 2010 (100 % d'années à aléas) (fig. 15). Annuellement, les variations sont particulièrement importantes entre des années complètement épargnées par des dommages (au regard des archives) et le maximum de 529 observé en 2003. Il s'agit là du nombre maximum annuel d'aléas enregistrés qui peuvent être dus à un seul ou plusieurs forçages générateurs. Il reste donc à définir désormais l'intensité de chaque aléa par date de survenue et non par année. Pour autant, la tendance au cours de la période analysée apparaît d'ores et déjà clairement à l'augmentation des aléas annuels tandis que le pourcentage d'années sans aléa ne cesse de diminuer. Sans préjuger d'une quelconque fluctuation des aléas en termes de fréquence et/ou de magnitude des forçages, caractères qui seront analysés plus après, cette tendance est, sans nul doute, à mettre en relation au moins partiellement avec la croissance progressive des enjeux exposés sur le littoral régional.

Figure 15 – Distribution temporelle des aléas régionaux entre 1790 et 2010.

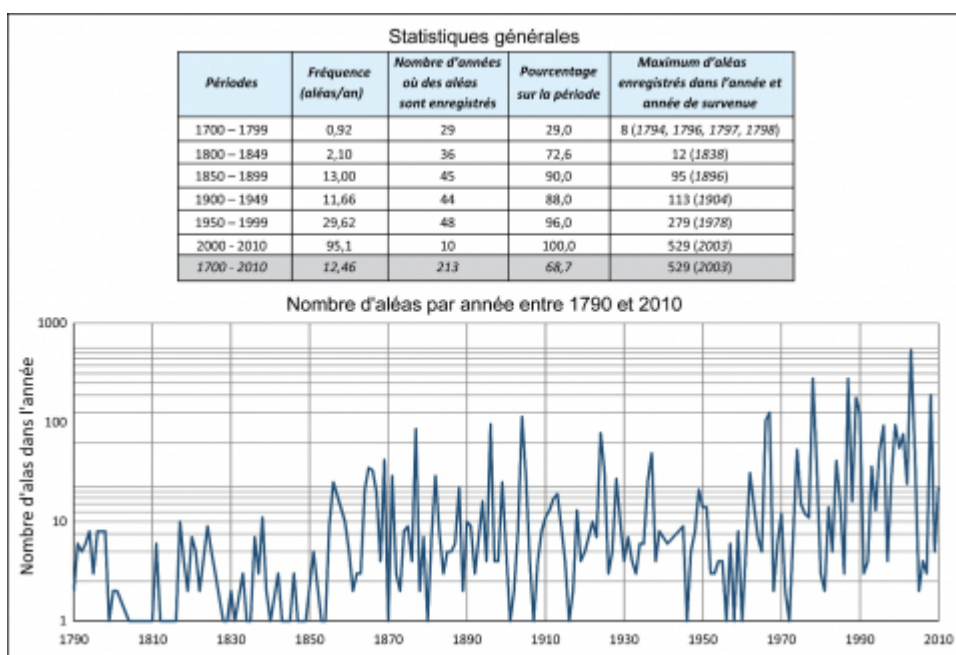


Tableau : statistiques générales sur la fréquence des aléas et les années durant lesquels ils surviennent par périodes successives et en moyenne entre 1700 et 2010. Représentation graphique des aléas annuellement enregistrés sur la période. NB : l'ordonnée est en valeurs logarithmiques.

Magnitude des forçages

Revue des propositions de la littérature

- 43 L'intensité des aléas étant précisée, le deuxième caractère à définir est la magnitude ou la « taille » des forçages qui en sont à l'origine. C'est certainement le caractère le plus délicat à déterminer. La magnitude est normalement décrite par une grandeur physique. Elle correspond à sa puissance qui peut être identifiée comme le « travail » effectué par les processus responsables pour produire, entre autres, les impacts engendrés (Wolman et Miller, 1960). Il s'agit donc de la force effective des phénomènes



à l'œuvre ou encore l'amplitude de la sollicitation à laquelle ils soumettent l'environnement (UVED, 2006). De nombreuses échelles hybrides Intensité/Magnitude sont proposées dans la bibliographie. Elles présentent cependant un certain nombre de difficultés d'application. D'une part, dans leur définition, elles associent des mesures physiques des phénomènes et des quantifications de leurs conséquences. D'autre part, quel que soit l'aléa, il n'existe pas de relation avérée entre ces deux caractères. Il est donc nécessaire de définir un descripteur quantifié de la magnitude qui soit indépendant de l'intensité (Alexander, 2000).

44 En se limitant aux seuls événements météo-marins (généralement qualifiés de « tempêtes » dans la bibliographie) qui impactent les territoires littoraux (94,39 % des cas dans notre étude), divers paramètres tels que la vitesse du vent, sa durée au-dessus d'un certain seuil de vitesse, les surcotes, la hauteur ou l'altitude des submersions, la hauteur des vagues ou du run-up, etc. (Sallinger, 2000 ; Mac Clenahan et al., 2001 ; Feng et Hong, 2008 ; Feuillet et al., 2012) sont susceptibles d'être convertis en énergie ou valeur équivalente, puis en magnitude de l'un ou de l'ensemble des phénomènes. Une magnitude des fortes tempêtes historiques et actuelles à l'échelle du nord-ouest de l'Europe est ainsi proposée par Lamb et Frydendahl (1991) qui définissent un indice S de « sévérité des tempêtes ». Pour chaque événement, sont combinés la vitesse maximale V_{\max} du vent de surface qui permet d'estimer sa puissance, l'aire totale A_{\max} des zones endommagées et D, la durée totale de présence de la tempête dans la zone d'étude de l'événement. Au total, la formulation est donnée par $S = V_{3\max} * A_{\max} * D$. Ces diverses approches nécessitent cependant un certain nombre d'estimations quantifiées des paramètres de chaque tempête. Or, pour les périodes historique et pré-instrumentale, les éléments d'archive sont généralement pauvres en valeurs mesurées et les qualifications employées pour décrire les événements peuvent ne pas être suffisamment fiables ou parfois trop subjectives (Sweeney, 2000). Certaines de ces formulations ne tiennent pas compte du principe d'indépendance entre magnitude et impacts, mais surtout, en se limitant aux événements météo-marins, elles ne couvrent pas la diversité des processus à l'origine des aléas d'érosion-submersion inventoriés régionalement. Ceux-ci relèvent, certes, d'un nombre important de processus naturels et en particulier des « tempêtes » et autres événements météo-marins, mais également de processus continentaux et d'actions anthropiques parfois isolés mais plus souvent combinés.

45 La question peut alors être abordée en proposant la cotation de chaque type de facteurs générateurs par une valeur choisie en fonction de son importance relative présumée. Pour définir la magnitude des aléas historiques de submersion, De Kraker (1999) propose ainsi, pour la partie nord des Flandres, une classification fondée sur les conséquences (impacts généraux, rupture de digues, submersions de polders) et les événements générateurs (fortes marées, tempêtes, et submersions de tempête). Il détermine ainsi une échelle de magnitude à huit niveaux en attribuant des points (de 1 à 8) selon la puissance du phénomène qu'il estime nécessaire pour produire ces divers dommages. Mais l'emploi de cette échelle et plus généralement de cette méthode est trop dépendant de l'interprétation de la terminologie décrivant les degrés de sévérité des événements météo-marins. De plus, son application en dehors de la région considérée (largement pourvue en digues et polders) demeure délicate. Maertens-Noël (2016) propose également une classification fondée sur un principe similaire pour la cotation des événements météo-marins sur le littoral bas-normand. Dans notre étude, une méthode proche a été testée après l'avoir adaptée aux données recueillies régionalement. Elle a finalement été abandonnée car jugée bien trop subjective. Elle conduit, en effet, selon la sensibilité des auteurs, à sur- ou sous-évaluer le poids de certains d'entre eux et donc à être trop fréquemment remise en question.



Méthode proposée

- 46 Bien que l'on comprenne qu'un lien puisse exister entre les conséquences observées, c'est-à-dire les aléas, et la magnitude des forçages que l'on cherche à définir, le principe d'indépendance entre magnitude et intensité des aléas doit être respecté. En effet, la caractérisation et la comparaison des aléas entre eux au cours du temps est impossible puisque ceux-ci sont tributaires des enjeux exposés, et donc de leur évolution au cours du temps, ainsi que de l'intérêt porté (ou non) par les gestionnaires et les habitants aux aléas et aux événements de forçage. Or, sur le littoral régional, ces aléas n'ont cessé d'augmenter en nombre au cours de la période considérée. Ainsi, la comparaison des aléas annuellement en fonction du nombre d'événements de forçage recensés dans l'année fait clairement apparaître que c'est au cours des dernières décennies (1970 à 2010) que se produisent les événements de forçage les plus impactant, c'est-à-dire lorsque les enjeux sont les plus nombreux sur les littoraux régionaux et le contexte social sans doute le plus sensible à leur vulnérabilité.
- 47 Dans ces conditions, nous proposons de définir la magnitude des forçages en appliquant à chaque événement de forçage recensé une formulation permettant d'obtenir un niveau (sans unité) « d'énergie ». Il s'agit donc plutôt d'une « taille » voire d'une « sévérité » de l'événement. Pour un événement de forçage donné, cette taille sera, selon nous, d'autant plus importante que les facteurs générateurs sont plus diversifiés, et que les types d'aléas engendrés sont également plus diversifiés. La magnitude est ainsi quantifiée par le produit, non pas du nombre total, mais de la diversité des facteurs générateurs (définis par la typologie de la base de données) avec la diversité, et non le nombre, des conséquences en termes d'aléas générés également définis par la typologie utilisée dans la base de données. Ainsi, la magnitude d'un événement sera comprise, théoriquement, entre une valeur minimale de 1 (valeur sans unité) correspondant à un facteur générateur et un type d'aléa recensé et une valeur maximale théorique de 464 avec, pour ce maximum, 16 facteurs générateurs et 29 types d'aléas différents recensés.
- 48 L'application de cette formulation aux événements de forçage identifiés entre 1790 et 2010 montre une distribution des magnitudes comprise entre 1 et 260. Cette valeur maximale ne peut cependant pas être retenue dans l'analyse car elle correspond à un cumul de plusieurs aléas de code date identique (20030000) qui se sont produits au cours de l'année 2003 sans précision supplémentaire (mois et jour) permettant de les dissocier. La magnitude maximale suivante, datée d'avril 1978, est de 120. Elle doit également être exclue des analyses car elle correspond à l'inventaire de tous les cas d'érosion observés sur les littoraux affectés par la marée noire de l'Amoco-Cadiz, qu'ils soient en lien avec l'événement météo-marin du 16 mars 1978 qui a contribué à l'échouage du pétrolier ou antérieurs. La magnitude maximale retenue est donc de 30 (événement météo-marin de janvier 2000 associant tempête et cumul de précipitations sur plusieurs semaines). Les événements inventoriés ne couvrent donc pas l'amplitude totale des magnitudes théoriques définies du fait de l'impossibilité de voir certains des types de forçage générateurs produire certains des types d'aléas. Les forçages de magnitude 1 sont fortement représentés dans la série tandis que la fréquence d'apparition de ces forçages diminue lorsque leur magnitude augmente (fig. 16).
- 49 Une telle distribution s'approche clairement d'une loi puissance de type :

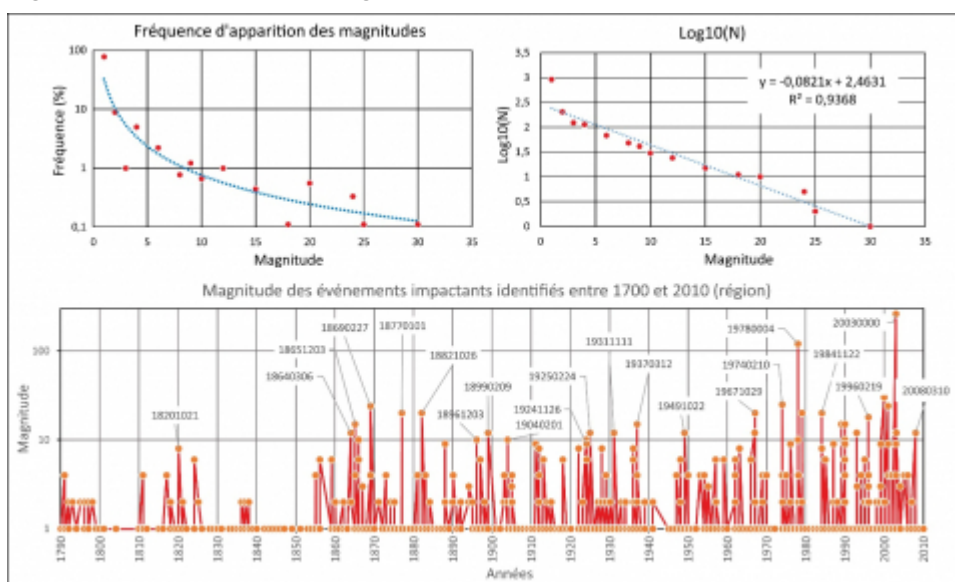
$$\text{Log}(N) = a - b \cdot \text{Mg}$$



où N est le nombre d'événements de forçage de magnitude supérieure à une valeur donnée, a et b étant deux constantes et Log la fonction logarithme décimal de la magnitude Mg. Elle semble, de ce fait, caractéristique des relations existant entre la

fréquence et la taille (magnitude) des forçages et s'apparente ainsi aux distributions de magnitudes observées pour d'autres types d'aléas naturels (Dauphiné et Provitolo, 2013) tels que les séismes (loi de Gutenberg-Richter), les mouvements de terrain (Durville, 2004), les éboulements sur versants montagneux (Dussauge-Peisser, 2002) et les avalanches (Faillettaz, 2005) entre autres exemples. Dans le cas présent, il convient bien sûr d'être prudent avec ce type de relation. Ainsi, pour les aléas littoraux identifiés, la courbe obtenue dévie quelque peu de la droite représentative de la fonction. Cette relation et l'interprétation qui en est faite semblent néanmoins acceptables étant donnée la multiplicité des forçages en cause, notamment pour ceux de magnitude 1.

Figure 16 - Distribution des magnitudes selon leur fréquence d'apparition (1790 - 2010).



Courbe de régression correspondante (courbe de gauche) ;représentation de la relation (loi puissance) entre le nombre d'événements de forçage et leur magnitude (courbe de droite) et droite de régression correspondante. Graphe du bas : magnitude des événements de forçage identifiés entre 1790 et 2010. Les indications datées localisent certains des forçages de forte magnitude (> 8) et ceux de très forte magnitude (> 10). Malgré la grande variabilité interannuelle, plusieurs périodes favorables à la survenue de forçages de forte magnitude sont mises en évidence dans cette chronique. Elles sont centrées autour des décennies 1820, 1870, 1925, 1990 et 2000.

50 Cette formulation de la magnitude (Mg) appliquée à la série temporelle des aléas impactant identifiés entre 1700 et 2010 met en évidence des fluctuations permanentes de leur sévérité au cours du temps. La lecture du graphique résultant (fig. 16) montre ainsi la grande variabilité de leur magnitude. Si l'on exclut le XVIIIe siècle de l'analyse du fait des lacunes déjà identifiées dans le recueil des données pour ce siècle, de 1790 à 2010, plusieurs périodes de fortes magnitudes apparaissent dans la série. Elles sont entrecoupées de périodes d'amoindrissement général des magnitudes. Ces périodes (à fortes ou à plus faibles magnitudes) sont de durées inégales et ne montrent *a priori* pas de cyclicité particulière. La durée de chaque phase de fortes magnitudes est, en effet, très variable allant de 1 an à un maximum de 19 ans pour une durée moyenne de 9,67 années (fig. 17). Elles alternent simplement mais de manière assez claire au cours de l'Epoque contemporaine.

51 Leur distribution temporelle tendrait également, en première approche, à montrer une certaine augmentation de la sévérité des forçages au cours du temps. Les magnitudes de 260 et 120 étant exclues de l'analyse (datations imprécises et association de plusieurs événements)il n'en reste pas moins que les deux plus fortes magnitudes suivantes de la série sont situées dans cette période : 25 pour le 10 février 1974 et 30 en 2000. Des magnitudes comparables sont cependant observées au cours du dernier quart du XIXe siècle et au début du XXIe siècle. Au XIXe siècle, les magnitudes



maximales sont ainsi de 24 le 27 février 1869 et de 20 le 1^{er} janvier 1877 et le 26 octobre 1882. Entre 1850 et 1899, 7 événements de forçage ont une magnitude supérieure ou égale à 10. C'est également le cas entre 1900 et 1949. Leur nombre augmente quelque peu par contre entre 1950 et 1999 avec 11 événements de forçage de magnitude supérieure ou égale à 10. Il est de 4 pour le début du XXI^e siècle (2000-2010). Il semble que les deux événements de très forte magnitude ($Mg \geq 20$) identifiés à la fin du XX^e siècle ne soient pas suffisants pour témoigner d'une tendance nette à l'augmentation des magnitudes sur la période analysée. Le nombre de ce type d'événements de forçage tend donc à être supérieur dans la dernière moitié du XX^e siècle par rapport aux périodes précédentes. Malgré tout, la tendance générale est plus celle d'une succession d'intervalles durant lesquels la sévérité des forçages peut être moins forte ($Mg \leq 10$) puis plus forte en liaison avec la survenue de quelques forçages de forte ($Mg \geq 10$) et très forte magnitude ($Mg \geq 20$). Tout en rappelant que les aléas considérés dans notre étude ne sont pas uniquement dus aux seules « tempêtes », mais qu'ils y sont tout de même majoritairement représentés, ces constats rejoignent ceux mis en évidence par Fichaut et Suanez (2008), Cariolet et al. (2010) et Feuillet et al. (2012) qui montrent que la période 1974 – 2002 serait, d'une manière générale, plus tempétueuse que la période qui la précède et celle qui la suit. Dans cette étude, les périodes 1979-1993 puis 1996-2003 constituent ainsi deux phases tout à fait comparables en termes de tendance.

Figure 17 – Caractéristiques des périodes d'apparition des fortes magnitudes des forçages.

Année de début	Année de fin	Durée
1811	1825	14 ans
1864	1882	18 ans
1896	1904	8 ans
1924	1937	13 ans
1949	1949	1 an
1967	1949	1 an
1974	1993	19 ans
1996	2003	7 ans
2008	2008	1 an

Probabilité d'apparition des forçages selon leur magnitude

- 52 La définition de la magnitude revêt une réelle importance en termes de caractérisation des aléas. Elle permet, en effet, d'envisager l'estimation de leur probabilité de survenue annuelle ou de fréquence déterminée pour une magnitude de forçage donnée et d'estimer l'intervalle de temps moyen théorique entre deux événements de même magnitude. La fréquence d'apparition des forçages de chaque magnitude est déterminée en prenant en compte tous les événements enregistrés dans la base de données. La courbe de régression établie à partir de la répartition



magnitude/fréquence observée permet d'obtenir l'équation de régression puis de calculer la fréquence théorique d'occurrence F pour chaque magnitude Mg souhaitée. Pour les aléas inventoriés, cette équation de régression est de la forme :

$$F = 0,9329 * Mg^{-1,626}$$

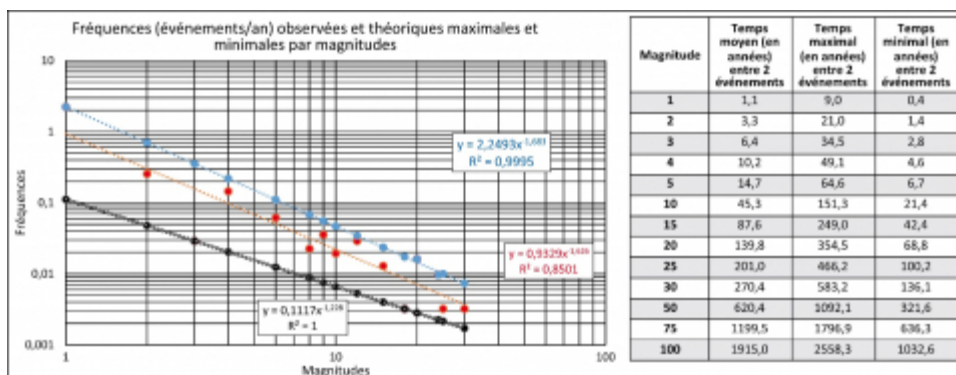
53 Le coefficient de détermination de cette courbe est de $R = 0,922$ ($R^2 = 0,8501$). Il est dès lors envisageable de calculer pour chaque valeur de magnitude Mg comprise entre 1 et 464 sa probabilité de survenue et d'en dresser un graphe (fig. 18). Avec cette approche, on obtient en théorie :

- un forçage de magnitude 1 se produisant en moyenne toutes les 1,07 années,
- une magnitude 4 se produisant en moyenne tous les 10,21 années,
- une magnitude 6 survenant en moyenne tous les 20 ans (19,74 ans),
- une magnitude 16 (16,28 selon les calculs) se produisant en moyenne une fois par siècle.

54 Enfin, l'événement théorique se produisant en moyenne tous les 1000 ans est de magnitude 67 (67,061).

55 Les fréquences observées ne décrivent cependant pas une courbe régulière. Certaines sont excessives et s'écartent de la courbe par des valeurs quelque peu supérieures à celles attendues à partir de l'estimation de la fréquence théorique définie par la courbe de régression. À l'inverse, d'autres s'écartent en étant inférieures. Le temps moyen entre deux événements de même magnitude est donc encadré par des marges d'incertitude haute et basse. En tenant compte uniquement des fréquences les plus hautes, les probabilités d'occurrence minimums entre deux événements de même magnitude sont définies. De la même manière, les probabilités d'occurrence maximums entre deux événements de même magnitude sont estimées en tenant compte des fréquences les plus basses de la courbe. Les écarts sont particulièrement importants entre les marges hautes et basses encadrant les valeurs moyennes théoriques et observées. Certaines d'entre elles dépassent même la seule durée de la période d'observation et devraient être exclues. Ces premiers résultats devront donc être précisés ultérieurement par les compléments apportés à la base de données.

Figure 18 – Fréquences et magnitude.



Graphique : fréquences des forçages : observées (courbe rouge), maximales calculées (courbe bleue) et minimales calculées (courbe grise) pour des magnitudes de forçage comprises entre 1 et 100. Les deux courbes calculées constituent l'enveloppe d'incertitude par rapport aux observations. Tableau du bas : temps moyen, minimal et maximal théoriques entre deux événements de forçage pour diverses valeurs de magnitude.



Pour tenter de valider la méthode, on peut s'appuyer sur les études antérieures de deux tempêtes remarquables qui ont impacté la péninsule bretonne les 15-16 décembre 1989 (essentiellement dans le Finistère) et le 10 mars 2008 (ensemble de la région). Ces

deux épisodes ont été comparés par les conditions météorologiques et marines qui les caractérisent. Sans être strictement équivalentes, elles ont pu, par certains aspects, et en particulier l'onde de tempête générée, être considérées comme proches en termes de conséquences sur les rivages (Cariolet et al., 2010). Chacun de ces épisodes a en effet donné lieu à de très nombreux dommages côtiers, à la fois en termes d'érosion et de submersion. En utilisant la formulation proposée dans cette analyse, le calcul de leur magnitude donne respectivement $Mg = 12$ pour la première et $Mg = 15$ pour la deuxième. Par conséquent, la méthode proposée dans cette étude semble bien caractériser des événements comme étant du même ordre de grandeur malgré l'échelle logarithmique ordonnant les magnitudes. Avec cette méthode, on obtient par ailleurs une fréquence moyenne d'apparition de 61 années (de 29 à 189 années) pour une magnitude 12 et de 87 années (de 42 à 248 années) pour la magnitude 15. L'écart apparaît donc important en termes de probabilité d'apparition de ces deux événements pour des magnitudes considérées comme assez proches. Au regard des conclusions obtenues pour les périodes de retour des marées de tempête sur la façade atlantique, il semble néanmoins que celui-ci soit acceptable. Feuillet et al. (2012) montrent en effet, que leur probabilité de retour, variable selon la localisation, est comprise entre 5 ans à Belle-Île et 177 ans à La Rochelle. On peut donc admettre que la méthodologie proposée caractérise de manière correcte les aléas en termes de magnitudes et de fréquence.

Aire d'impact

57 Il existe plusieurs avantages à pouvoir disposer d'une information relative à l'aire d'impact des aléas d'érosion submersion. Ainsi, sur une péninsule telle que la Bretagne, pour un événement donné ou pour des séries d'événements se produisant pendant une période particulière, les impacts se répartissent souvent sur une des trois façades préférentiellement en fonction de son exposition générale (septentrionale, occidentale ou méridionale). Grâce à ce constat, dans des analyses antérieures, les modifications de direction résultant des flux généraux des vents et des houles de tempête entre le XIX^e et le XX^e siècle ont pu être mises en évidence. Une alternance entre des circulations préférentiellement zonales et des circulations à composante méridienne renforcée ont ainsi été décrites à l'échelle de la région (Hénaff, 2004a ; 2004b ; 2008 ; Hénaff et al., 2012 ; 2013). Comme autre avantage potentiel de l'étude de l'aire d'impact, on peut envisager de préciser, à terme, leurs probabilités d'occurrence spatiale. Il est donc particulièrement intéressant de pouvoir disposer d'éléments quantifiés relatifs à cette aire géographique impactée pour chaque événement.

58 En l'état actuel, les questions posées sont d'abord orientées vers le repérage et la sectorisation du linéaire côtier et/ou des territoires communaux en fonction de leur degré d'endommagement, à l'échelle régionale ou locale et au cours de la période analysée ou par périodes intermédiaires. Parallèlement, on s'intéresse à l'analyse des relations potentielles entre la superficie impactée et la magnitude de chaque aléa, l'intensité et le mode de répartition (dispersion, concentration) des dommages par aléa sur ces territoires. Pour ces analyses, il s'agit donc de proposer une estimation de la surface impactée et de qualifier la distribution spatiale des impacts de chaque événement.



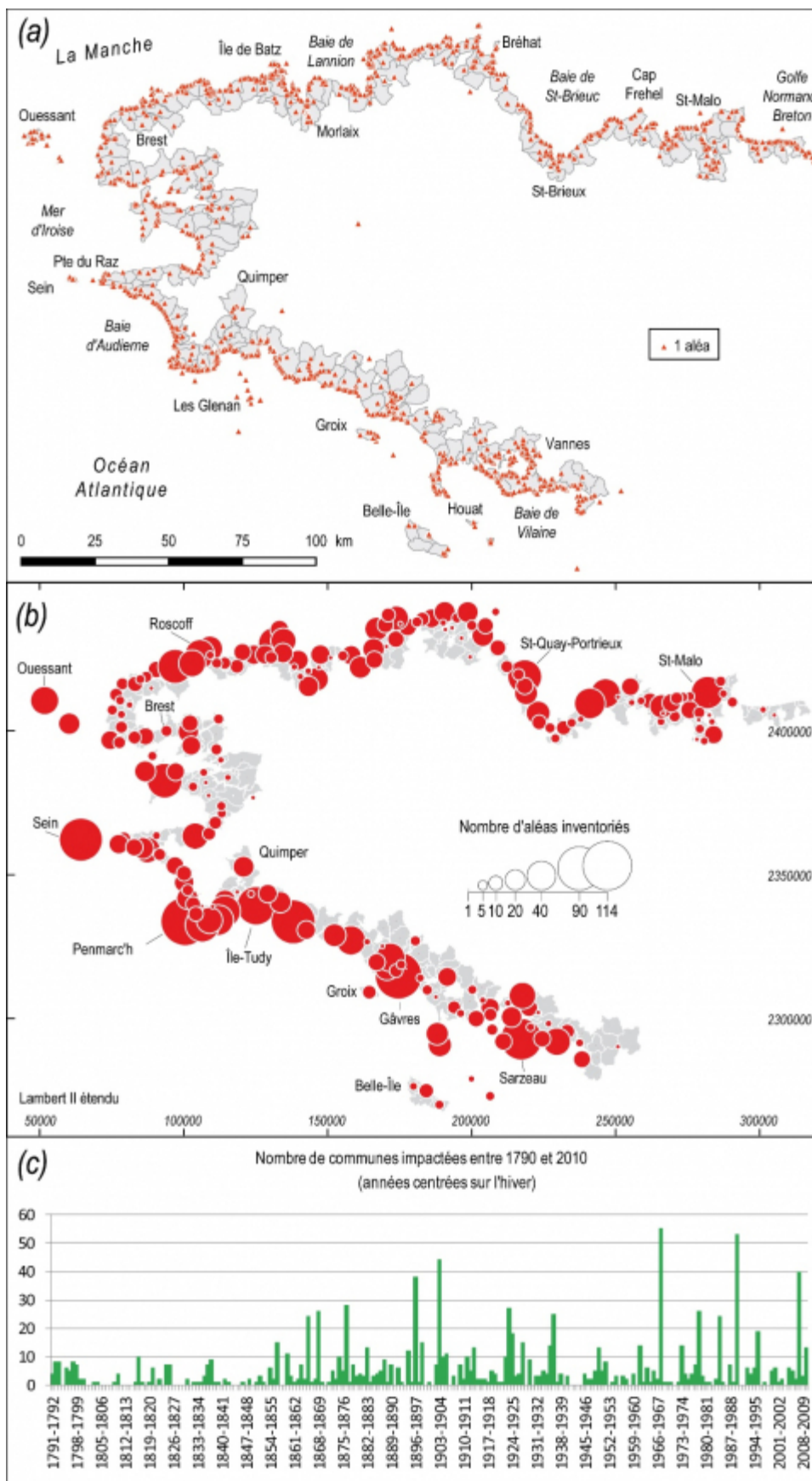
Distributions spatiales sur le linéaire côtier régional et dans les communes littorales

59 Avec 4203 impacts côtiers enregistrés lors des 882 événements météo-marins et de forçage (entre 1700 et 2010) pour 4 321,7 km de linéaire côtier, leur répartition moyenne est de l'ordre de 1 impact/km (0,97 impact/km). À l'échelle régionale, peu de secteurs littoraux apparaissent de ce fait épargnés sur la période étudiée (fig. 19a). Cependant, la distribution géographique de ceux-ci n'est pas homogène et de forts contrastes apparaissent. Les côtes d'ablation, en particulier les côtes à falaises rocheuses, sont généralement les moins impactées. C'est le cas des falaises méridionales de Belle-Île, la côte nord du cap Sizun, la pointe Saint-Mathieu, le cap Fréhel et la pointe du Grouin. Plus rares sont les accumulations littorales épargnées par les impacts des aléas, à l'exception notable au niveau de la région des rivages sableux de Plouhinec entre Gâvres et le tombolo de Quiberon, de part et d'autre de l'embouchure de la rivière d'Étel. Les limites de la méthode doivent ici être mises en cause : basée sur les observations historiques, elle tend forcément à privilégier les territoires où les observateurs sont présents et où des enjeux nombreux sont réunis. Des recherches ultérieures dans les archives permettront éventuellement de combler certaines de ces lacunes.

60 L'hétérogénéité de la distribution des impacts sur les territoires littoraux est également bien mise en évidence par la cartographie de leur répartition communale (fig. 19b). Les communes littorales du sud de la Bretagne sont ainsi plus nombreuses à subir un grand nombre d'impacts par rapport aux façades occidentale et septentrionale de la région. Sarzeau, Gâvres, Trégunc, Fouesnant, Penmarc'h et la plupart des communes littorales du sud du Pays bigouden sont fortement impactées. Sur la façade occidentale, l'île de Sein, emblématique des territoires à risques côtiers en Bretagne, est la commune qui en concentre le plus. Enfin sur la façade nord, Saint-Malo est la plus concernée. S'y additionnent les communes localisées autour de la baie de Goulven, de Brignogan-Plages à Plouescat, dans le nord du Finistère. Ces communes possèdent généralement un long linéaire côtier constitué essentiellement de cordons littoraux sableux ou de galets pour certains aménagés en digues et protégeant alors des dépressions arrière-littorales poldérisées. Ces distributions spatiales semblent en accord avec les conditions géomorphologiques et d'exposition du littoral breton sur lequel les littoraux bas sont plus développés sur la façade méridionale par rapport aux côtes occidentales et septentrionales généralement plus élevées (plus long développement de côtes à falaises).

Figure 19 – (a) Localisation des impacts inventoriés ; (b) Répartition des impacts inventoriés dans les communes littorales ; (c) Nombre de communes annuellement impactées.

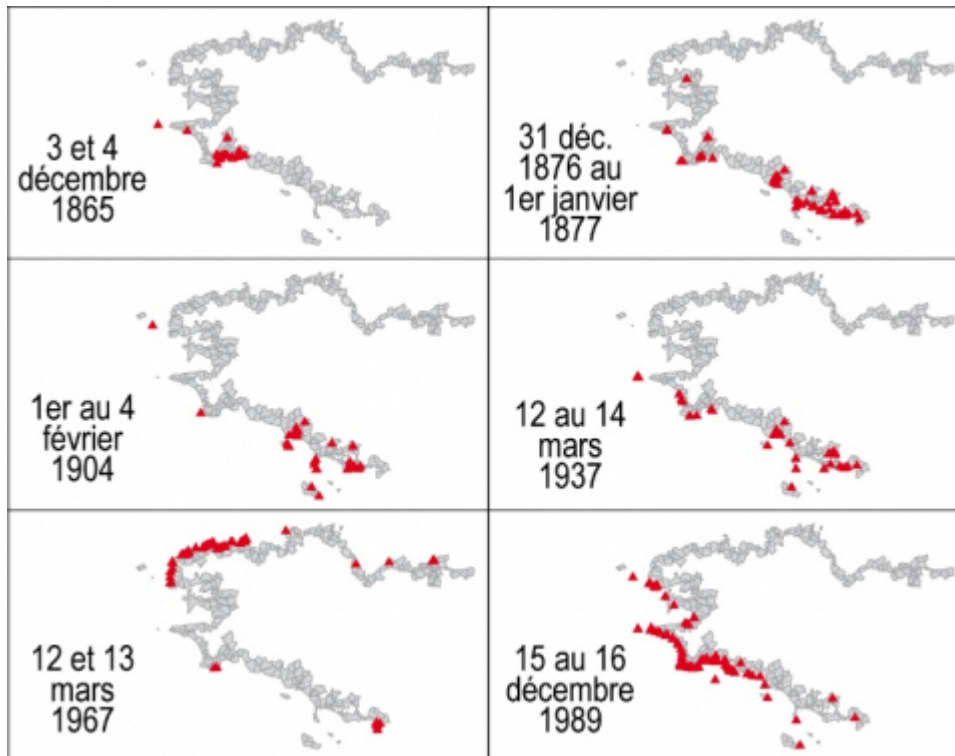




Aire de répartition des aléas par événement de forçage : critères de comparaison et résultats

61 À partir du SIG, l'aire d'impact de chaque événement est cartographiable (fig. 20) et des comparaisons entre événements sont alors possibles. Cependant, sous cette forme, elles sont essentiellement qualitatives et, surtout, l'analyse visuelle de l'ensemble des événements est forcément limitée à quelques un d'entre eux. La détermination du caractère « aire d'impact » pose alors de réels problèmes de quantification.

Figure 20 – Aire d'impact de six événements.



Magnitudes respectives : 3 et 4 décembre 1865 : 15 ; 31 décembre 1876 au 1er janvier 1877 : 20 ; 1er au 4 février 1904 : 10 ; 12 au 14 mars 1937 : 15 ; 12 et 13 mars 1967 : 2 ; 15 au 16 décembre 1989 : 15

62 Il s'agit, plus spécifiquement, de disposer d'une valeur de surface impactée par événement et d'une quantification de la dispersion géographique des impacts. La quantification de l'aire d'impact utilise de ce fait deux critères : une surface et un indice de dispersion.

63 Pour y parvenir, une zone-tampon est produite autour du trait de côte. Il s'agit d'un *buffer* de 4 km vers le large et 4 km vers l'intérieur qui permet d'intégrer tous les impacts de la base de données. Pour chaque événement, une aire maximale d'impact est créée par l'enveloppe convexe englobant le nuage de ses points d'impacts. L'intersection de cette enveloppe convexe avec la zone tampon définit finalement l'aire d'impact de chaque événement. Une valeur de surface (en unités de surface) est alors calculée pour chaque événement. Pour les comparaisons, elle est ensuite convertie en pourcentage de la surface de la zone tampon plus facile à utiliser. Par cette méthode, tous les événements comportant deux impacts ou un seul sont par contre exclus de l'analyse. Au total, ce sont 179 événements pour lesquels on dispose d'une quantification de l'aire d'impact.

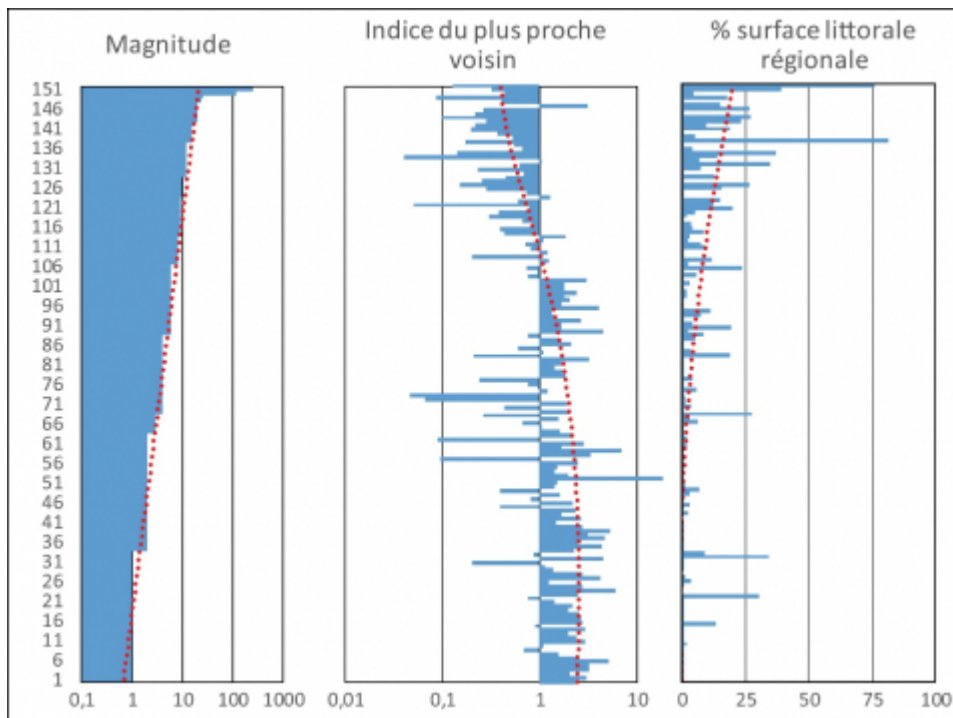
64 La distribution spatiale des impacts d'un événement en termes de dispersion ou d'agrégation est conjointement déterminée à l'aide de l'index du plus proche voisin. Les résultats de cette analyse fournissent alors trois valeurs : la distance moyenne observée, la distance moyenne théorique attendue et l'indice de dispersion (index du plus proche voisin) c'est-à-dire le quotient de la distance moyenne observée par la distance moyenne attendue. Un index égal à 1 indique une distribution aléatoire, un index supérieur à 1



tend vers la régularité et un index inférieur à 1 tend vers la concentration spatiale . Ce calcul exclut néanmoins tous les événements pour lesquels un seul impact a été inventorié et ceux pour lesquels les impacts ont tous été regroupés sur un centroïde de commune faute de disposer de coordonnées exactes de localisation. Par ailleurs, l'index du plus proche voisin est cependant calculé en distances directes. Il ne tient donc pas compte des distances par rapport au tracé de la côte. Au total, étant données les exclusions auxquelles ces calculs conduisent, seuls 152 événements donnent lieu à la détermination d'une aire d'impact, ce qui n'est pas entièrement satisfaisant.

65 L'analyse des résultats montre qu'au cours du temps (1790-2010), les surfaces des aires d'impacts tendent à devenir quelque peu plus étendues, suivant en cela l'évolution du nombre d'impacts observés. Les extensions les plus importantes sont ainsi toutes localisées dans les dernières décennies de la chronique. Pour autant, la tendance à l'augmentation reste très limitée et la relation n'a qu'un très faible coefficient de régression ($R^2 = 0,0672$). L'analyse des évolutions conjointes de la magnitude des événements et de leur aire d'impact ne met pas non plus en évidence une relation claire entre les deux paramètres. Ainsi pour une magnitude 1, l'aire impactée varie de $3,87 \cdot 10^{-6} \%$ à $34,26 \%$ de l'aire maximale pour une moyenne de $2,86 \%$. Pour une magnitude de 3, la moyenne est de $7,54 \%$ mais cette valeur n'est plus que de $4,59 \%$ pour une magnitude 6, et de $7,13$ pour une magnitude de 9. L'examen de la dispersion des impacts en fonction de la magnitude ne montre pas non plus de lien convaincant. Néanmoins, on observe que plus celle-ci est faible et plus les répartitions d'impacts sont diversifiées entre l'aléatoire, la régularité et l'agrégation. Par contre, plus la magnitude est forte et plus l'indice du plus proche voisin est inférieur ou égal à 1 et les impacts sont alors régulièrement distribués ou agrégés. Au total, si on ne peut formaliser de relation quantitative entre ces différents caractères, on constate néanmoins que l'augmentation de la magnitude s'accompagne d'une tendance à la diminution de la dispersion puis à une agrégation plus importante des impacts, tandis que l'aire impactée augmente (fig. 21).

Figure 21 – Co-évolutions de l'indice de dispersion (indice du plus proche voisin) et de la surface de l'aire impactée en fonction de la magnitude des événements.



Les nombres en ordonnées correspondent aux rangs des événements classés par magnitudes croissantes



(152 événements pris en compte).

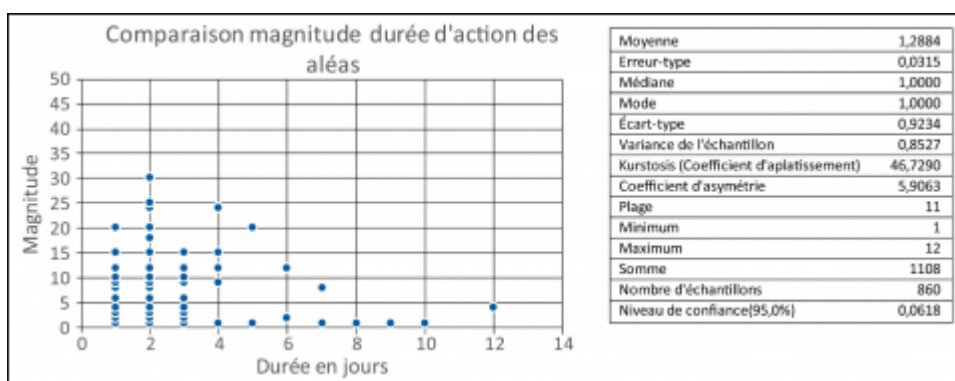
Durée d'action

66 Ce dernier caractère est certainement le plus difficile à définir à partir des données d'archives. L'examen des données montre une grande diversité de situations :

1. -Une absence d'information et une date de survenue précisée seulement par le mois et l'année ; ces données ne sont pas prises en compte dans l'examen de ce caractère ;
2. Une absence d'information en dehors de la date de survenue ; la durée de l'événement à l'origine des impacts est alors estimée à une journée, même si la durée d'action réelle en un lieu est généralement de quelques heures (tempête) ou moindre (conjonction d'une haute mer de fort coefficient et de vents forts, par exemple) ;
3. Un événement se produisant sur plus de deux journées consécutives; la difficulté est alors de savoir s'il s'agit de plusieurs événements successifs ou d'un seul et même événement. Ici, le parti est alors pris de les considérer comme un seul et même événement étant donné que les dommages sont considérés comme dus à un événement ;
4. Des informations précises sont fournies sur le début et la fin de l'événement. On dispose alors d'une durée précise pour l'événement.

67 Étant données ces contraintes liées aux sources utilisées, il semble délicat de vouloir proposer une quantification plus poussée du caractère « durée d'action » de l'aléa à partir du jeu de données disponible. Il semble seulement possible de préciser la durée moyenne d'un événement. Elle est de 1,29 jours pour une durée comprise entre 1 jour et 12 jours. Les durées supérieures à 12 jours ont été volontairement écartées de l'analyse car elles regroupent alors plusieurs événements successifs (fig. 22). Elles correspondent alors à des bilans de dommages réalisés en fin de saison hivernale ou à la suite de série d'événements dommageables. Ils peuvent aussi correspondre à un bilan annuel de dommages sur une commune réalisé, par exemple, à la demande ponctuelle des services de l'Etat dans les départements. Le risque est alors important de confondre la durée d'action immédiate correspondant à l'intervalle de temps durant lequel l'aléa se produit, avec la durée d'action différée, qui correspond alors à l'intervalle de temps, parfois très long, au cours duquel les effets de l'aléa continuent de se faire sentir.

Figure 22 – Caractérisation de la durée d'action des aléas. Comparaison avec leur magnitude et statistiques correspondantes (aléas dont la durée est égale ou inférieure à 12 jours).



Discussion, conclusion et perspectives

68 Malgré les progrès réalisés au cours des dernières décennies dans l'analyse de la vulnérabilité des territoires et dans les pratiques de gestion des risques, les connaissances relatives aux aléas côtiers d'érosion-submersion apparaissent toujours insuffisantes. En s'intéressant, dans cette étude, à leur caractérisation, l'objectif est donc de préciser leurs cinq caractères fondamentaux que sont l'intensité des aléas, la magnitude des forçages, la probabilité d'occurrence, l'aire d'impact et la durée d'action de ces aléas. C'est en s'appuyant sur un inventaire des données historiques et récentes couvrant l'Époque contemporaine depuis le XVIII^e siècle jusqu'à 2010 que ces cinq caractères ont pu être définis pour les territoires littoraux en Bretagne. Une série longue des aléas a ainsi pu être constituée. Les objectifs d'une telle étude sont de disposer, d'une part, d'une mémoire des aléas littoraux régionaux et, d'autre part, de proposer des moyens quantitatifs de comparaison spatio-temporelle de cette composante des risques côtiers. Ceux-ci seront utilisés pour le suivi de ces aléas dans le cadre de la mise en œuvre d'un futur observatoire des risques côtiers à destination à la fois des gestionnaires et des chercheurs, mais aussi dans un but pédagogique pour le « porter à connaissance » vis-à-vis des citoyens. L'étude est uniquement rétrospective pour le moment, mais les résultats obtenus apparaissent déjà satisfaisants et semblent répondre à ces deux objectifs, même si certains aspects mériteront certainement d'être encore précisés.

À propos de la méthode d'acquisition des données d'inventaire

69 L'utilisation des documents archivistiques sur laquelle s'appuie la méthodologie employée est une démarche classique de l'étude des aléas. Elle est préconisée en France en préalable de l'établissement des PPR. Sur ce même principe, la constitution d'une forme de mémoire des risques est également instituée depuis 1982 par la démarche GASPARE (Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques naturels et technologiques : <http://macommune.prim.net/gaspar/>) pour laquelle de nombreuses réserves sont formulées quant à sa fiabilité (Douvinet, 2006 ; Cariolet et al., 2012). Ces sources d'information sont néanmoins largement employées et ont démontré leur utilité et leurs aptitudes pour rendre compte des aléas passés (Lang et al., 1998 ; Ruocco, 2011). Il est cependant nécessaire de tenir compte de certaines de leurs limites, biais et imprécisions associés aux nombreuses sources non scientifiques utilisées (Hittelman et al., 2001). Leur imprécision, par exemple, n'a pas permis dans cette étude de disposer d'informations suffisamment détaillées sur la durée d'action des aléas.

70 Ces imprécisions sont liées à la difficulté de la collecte des données et de leur analyse nécessairement longues et scrupuleuses (Dominguez, 1999 ; Barnikel, 2004). Elles peuvent aussi être lacunaires mais les avis divergent sur cet aspect. Des estimations montrent qu'elles ne représenteraient, dans certains cas, que 50 % des événements réellement survenus (Esposito, 2003) tandis qu'elles apparaissent particulièrement satisfaisantes dans d'autres (Ruocco et al., 2011 ; Llasat et al., 2009). Les difficultés liées au manque d'objectivité des documents d'archives sont clairement soulignées dans la bibliographie (Glaser et Stangl, 2003 ; UVED, 2006). Dans ce sens, elles tendent, au final, à exagérer les aléas pour lesquels les données sont abondantes et à minimiser les autres. Mais, des critiques similaires sont parfois adressées aux séries de mesures



instrumentales utilisées pour les périodes plus récentes (Bernatchez et al., 2008). Toutefois, même dans ces conditions, la complémentarité des données d'archives avec les études géomorphologiques et statistiques classiques est toujours reconnue (Carrara et al. 2003 ; Pons, 2008). Quoi qu'il en soit, ces sources seraient plus précises que les données instrumentales précoces pour la définition des aléas. Ces données recueillies dans les archives sont, par ailleurs, tributaires de la perception des risques à un moment donné de l'histoire (Clément et Jaurand, 2005 ; Quenet, 2005). Ceci suppose, *a priori*, une maîtrise nécessaire des contextes politiques, institutionnels, sociologiques et économiques (Pigeon, 2002 ; Balling et Cervený, 2003 ; Cœur et Lang, 2011). Une collaboration avec les historiens peut alors s'avérer utile car elle permet d'introduire dans les analyses un degré de confiance pour ces données. Pour s'en affranchir, doivent être considérés l'âge et l'origine des archives (Barnikel, 2004 ; Antoine et al., 2009), tout comme des critères relatifs à l'étendue géographique des faits relatés et de la multiplication des témoignages (Baart et al., 2011). Si la qualité et la validation des documents d'archives sont forcément toujours discutables, ces données constituent cependant une source d'information reconnue et parfois même la seule source d'informations permettant les reconstitutions anciennes des aléas passés.

Résultats obtenus

71 La conversion de données qualitatives vers des données quantifiées est le second problème auquel se confronte l'utilisation des informations d'archives. Dans cette étude, diverses techniques ont été mises en œuvre pour y parvenir. Certains des résultats obtenus permettent de répondre correctement, à l'échelle régionale, au besoin d'inventaire des aléas sur le temps long. C'est le cas au regard des deux formes données à la compilation de ces données soit sous la forme de fiches communales soit sous la forme de base de données géo-référencées. Ces deux formats permettent de répondre à la fois à des objectifs d'information et aux besoins d'analyses spatio-temporelles des données. Les bases de données permettent conjointement de quantifier les caractéristiques des aléas avec des degrés divers de satisfaction quant aux résultats obtenus. Ainsi, la quantification de l'intensité des aléas qui découle directement du recensement réalisé apparaît plutôt satisfaisante. Le recueil des informations tel qu'il a été pratiqué est certes chronophage mais il est relativement simple à mettre en œuvre à partir des archives et sur le terrain (événements récents ou à venir). Pour améliorer son appréciation une échelle d'intensité pourra être proposée, comme pour d'autres types d'aléas, à la suite de ces premiers résultats. Par rapport à l'évaluation basée ici directement sur le nombre d'aléas recensés, une telle échelle devra être construite sur la base d'un compromis entre le besoin de détails précis (qui devront pour autant toujours être inventoriés pour les événements futurs) et la nécessité d'une certaine simplicité d'utilisation (Blong, 2003). Dans la perspective de la mise en œuvre d'un observatoire des risques côtiers, elle présentera l'avantage d'une appréciation plus rapide et d'un classement plus simple des aléas. Du point de vue de la distribution temporelle qui en résulte, la tendance observée à partir de la base de données est l'importante augmentation de cette intensité tout au long de la période contemporaine et particulièrement au cours des dernières décennies. Celle-ci est guidée par des facteurs sociétaux et, sans surprise, par la croissance constante des enjeux progressivement exposés sur les territoires côtiers.

72 L'évaluation de la magnitude des forçages répond également à la problématique initiale. La définition de ce paramètre repose sur des typologies des facteurs initiateurs et des aléas résultants adaptées à la région et propres aux descriptions rencontrées dans



les archives. Ces typologies ont été déterminées de manière à inclure dans la réflexion à la fois les aléas d'érosion-submersion dont les causes sont naturelles et ceux dont l'origine est anthropique, qu'elles soient isolées ou combinées. Elles peuvent, bien entendu, être remises en question du point de vue de la terminologie employée ou être adaptées aux typologies plus classiques de description des aléas d'érosion et de submersion. Dans ce dernier cas, elles ne pourront cependant pas prendre en compte les aléas d'origine anthropique qui n'y sont pas inventoriés. Quoi qu'il en soit, la formulation de la magnitude proposée (multiplication de la diversité des facteurs générateurs et de la diversité des aléas) permet de conserver l'indépendance nécessaire entre les deux termes qui la composent. De cette manière, aucune confusion n'est introduite entre la magnitude et l'intensité. Selon Durville (2004), la construction de lois de probabilité est performante dans les rares cas où l'on dispose de données suffisantes pour construire des lois de probabilité pertinentes. Avec 882 événements de forçage et 4 203 aléas érosion-submersion identifiés entre 1700 et 2010 et 871 événements de forçage entre 1790 et 2010, son application devient possible à l'échelle régionale. Son principal intérêt est alors de montrer qu'une loi puissance définit le rapport entre les magnitudes et leur fréquence d'apparition. Dans l'étude des aléas, une telle distribution est particulièrement utile à la détermination, par extrapolation, des événements de grande ampleur. Cette quantification présente également un intérêt certain sur le plan pédagogique. Elle apparaît intéressante à exploiter pour la communication sur les risques littoraux régionaux ainsi que dans le porter à connaissance pour les gestionnaires et surtout pour le grand public.

73 Avec l'application régionale réalisée dans cette étude, les résultats obtenus sur les aléas impactant montrent des tendances qui sont conformes à celles fournies par les études axées sur les seuls phénomènes en eux-mêmes. Étant donnée l'importance des événements météo-marins dans la génération d'impacts sur les côtes et les territoires côtiers régionaux, on peut admettre que les séries sont assez comparables en termes d'évolution sur la période analysée. Deux phases d'augmentation de la fréquence et de la magnitude des événements impactant sont observées au cours de l'Époque contemporaine, à la fin du XIX^e siècle et à la fin du XX^e. Elles correspondent à des évolutions comparables à celles mises en évidence pour les événements météo-marins régionalement (Fichaut et Suanez, 2008), voire plus généralement pour les tempêtes à l'échelle nationale (Schoenewald, 2013) ou des régions bordières de la Manche et du golfe de Gascogne (Alexandersson et al. 2000 ; Sweeney, 2000 ; Allan et al., 2009), même si de nombreuses divergences existent dans la bibliographie sur l'interprétation de ces tendances dans le nord-ouest de l'Europe. Il reste, bien entendu, à confronter ce résultat à la réalité, même si des exemples d'aléas engendrés par des événements météo-marins récents tendent à montrer déjà son intérêt. Pour les probabilités d'occurrence qui en résultent, les marges d'incertitudes sont encore importantes. Elles proviennent du grand nombre de forçages de faible magnitude recensés et du faible nombre de très forte magnitude inventoriés car les données statistiques disponibles pour ces événements de forçage de grande ampleur (très fortes magnitudes) sont rares, et sont donc encore insuffisantes pour caler correctement le modèle de probabilités d'occurrence. Les compléments apportés à la base de données existante par les données plus récentes (à partir de 2010) ou encore par des données supplémentaires d'archives permettront certainement de mieux les préciser. Des précisions seront également apportées en confrontant ces résultats à la réalité des épisodes d'impacts côtiers à venir.

74 En revanche, sur les deux caractères suivants l'étude n'apporte pas une réponse entièrement satisfaisante. L'étude de l'aire de distribution des aléas (en termes de surface et de dispersion) montre bien que des relations avec les autres caractères n'existent pas nécessairement. Il semble cependant qu'une amélioration de la définition



de l'aire de distribution à l'aide d'outils d'analyse spatiale plus performants pourra être proposée. Elle permettra de mieux les appréhender et les quantifier. Enfin, les résultats sont considérés comme moins satisfaisants pour le caractère « durée d'action immédiate » en définitive. Cependant, en l'absence d'information supplémentaire dans les archives, il paraît difficile d'y apporter des améliorations sauf à avoir recours aux données mesurées lorsqu'il s'agit d'événements d'origine strictement naturelle.

Perspectives

75 Pour disposer de moyens d'améliorer les stratégies de gestion des risques côtiers d'érosion-submersion, leur observation et leur suivi est une piste envisageable. C'est l'objectif que se propose d'atteindre le projet Osirisc (Vers un Observatoire Intégrés des Risques Côtiers d'érosion-submersion) soutenu par la Fondation de France de 2016 à 2018. Cette démarche nécessite de prendre en considération conjointement les quatre composantes qui constituent la vulnérabilité systémique : les enjeux, la gestion, les représentations et les aléas. L'étude présentée ici s'est attachée à cette dernière composante. Le développement de la méthode proposée dans cette étude permet de caractériser ces aléas côtiers d'érosion et de submersion. Des quantifications sont ainsi proposées pour les cinq paramètres qui définissent de manière quantitative ces aléas. La méthode montre déjà tout son intérêt pour les études rétrospectives. Au-delà des améliorations qui lui seront apportées, elle devra désormais être complétée par les aléas qui ont pu se produire sur la région depuis 2010 et, surtout, être confrontée aux prochains aléas qui y seront observés. Dans le cadre du futur observatoire, la méthode proposée pourrait dans ce sens apporter une contribution pour les études prospectives, qu'elles soient académiques ou appliquées. Parallèlement, le recensement des aléas passés, actuels et futurs ainsi que la quantification de leurs conséquences sur les territoires littoraux selon les méthodes développées apparaît être un puissant outil pédagogique qu'il s'agit de diffuser pour l'information du grand public.

Bibliographie

Acerra M., Sauzeau T., 2012, « Zones construites, zones désertes sur le littoral atlantique. Les leçons du passé » *Norois*, No.222, 103-114.

Antoine J.-M., Desailly B., Peltier A., 2009, « Sources historiques et problématiques de recherche en géographie des risques naturels », *Géocarrefour*, Vol.84, No.4, 229-239.

DOI : 10.4000/geocarrefour.7519

Alcántara-Ayala I., 2002, « Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries », *Geomorphology*, No.47 (2), 107-124.

DOI : 10.1016/S0169-555X(02)00083-1

Alexander D., 2000, *Confronting catastrophe. New perspectives on natural disasters*, Oxford University Press.

Alexandersson H., Tuomenvirta H., Schmith T., Iden K., 2000, « Trends of storms in NW Europe derived from an updated pressure data set », *Climate research*, No.14, 71-73.

DOI : 10.3354/cr014071

Allan R., Tett S. Alexander L. 2009, Fluctuations in autumn-winter severe storms over the British Isles : 1920 to present. *International Journal of Climatology*, No.29, 357-371.

DOI : 10.1002/joc.1765

Baart F., Bakker M. A. J., van Dongeren A., den Heijer C., van Heteren S., Smit M.W. J, van Koningsveld M., Pool A., 2011, « Using 18th century storm-surge data from the Dutch Coast to improve the confidence in flood-risk estimates », *Natural Hazards and Earth System Sciences*, No.11, 2791-2801.

DOI : 10.5194/nhess-11-2791-2011



Balling R.C., Cervený R., 2003, « Compilation and discussion of trends in severe storms in the United States : Popular perception v. Climate reality », *Natural Hazards*, No.29, 103-112.

Barnikel F., 2004, « The value of historical documents for hazard zone mapping », *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol.4, No.4, 599-613.

DOI : 10.5194/nhess-4-599-2004

Barroca B., DiNardo M., Mboumoua I., 2013, « De la vulnérabilité à la résilience : mutation ou bouleversement ? », *EchoGéo*, No.24[En ligne], 24 | 2013, mis en ligne le 10 juillet 2013, URL : <http://echogeo.revues.org/13439>; DOI : 10.4000/echogeo.13439

DOI : 10.4000/echogeo.13439

Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S., Morissette, A., 2008, *Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques*. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Consortium OURANOS et au FACC, 256 p.

Bernatchez P., Fraser C., Lefavre D., Dugas S., 2011, « Integrating anthropogenic factors, geomorphological indicators and local knowledge in the analysis of coastal flooding and erosion hazards », *Ocean and Coastal Management*, No.54, 621-632.

DOI : 10.1016/j.ocecoaman.2011.06.001

Bernatchez P., Fraser C., 2012, « Evolution of coastal defence structures and consequences for beach width trends, Québec, Canada », *Journal of Coastal Research*, Vol.28, No.6, 1550-1566.

Bertrand R., Lucas M., 1975, Un village côtier du XIIème siècle en Bretagne : Pen-er-Malo en Guidel (Morbihan). *Archéologie Médiévale*, CRAM, V, 73-103.

Beucher S., Veyret Y., Reghezza M., 2004, *Les risques*, Editions Bréal.

Blong. R., 2003, A review of damage intensity scales. *Natural Hazards*, No.29, 57-76.

Bonnot-Courtois C., Feïss-Jehel C, de Saint Léger E., 2008, « Vulnérabilité des rivages en Côtes d'Armor : aléas et enjeux », *Xèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil*, 14-16 octobre 2008, Sophia Antipolis, 191-200.

Briquet A., 1926, « Les dunes paraboliques de la Baule-Les-Pins », *Annales de Géographie*, Vol.35, No.197, 454-458.

DOI : 10.3406/geo.1926.8510

Cariolet J.-M., 2011, « Quantification du runup sur une plage macrotidale à partir des conditions morphologiques et hydrodynamiques », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, No.1, 95-108.

DOI : 10.4000/geomorphologie.9315

Cariolet J.-M., Costa S., Caspar R., Ardhuin F., Magne R., Goasguen G., 2010, « Aspects météorologiques de la tempête du 10 mars 2008 en Atlantique et en Manche », *Noroi*, No. 215, 11-31.

DOI : 10.4000/noroi.3242

Carrara A., Crosta G., Frattini P., 2003, « Geomorphological and historical data in assessing landslide hazard », *Earth Surface Processes and Landforms*, No.28, 1125-1142.

DOI : 10.1002/esp.545

Cavallo E., Noy A., 2010, « The economics of natural disasters : a survey », *Inter-American Bank working paper series*, 124, 50 p.

DOI : 10.2139/ssrn.1817217

Cazes G., 2000, « La fréquentation touristique des littoraux français : une remarquable « durabilité » », *L'information géographique*, Vol.64, No.4, 289-299.

DOI : 10.3406/ingeo.2000.2715

Chaumillon E., Bertin X., Fortunato A., Bajo M., Schneider J.-L., Dezileau L., Michelot A., Chauveau E., Créach A., Hénaff A., Walsh J., 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 Sciences Review*, No.165, 151-184.

DOI : 10.1016/j.earscirev.2016.12.005

Chevillot-Miot E., Mercier D., 2014, « La vulnérabilité face au risque de submersion marine : exposition et sensibilité des communes littorales de la région Pays de la Loire (France) ». *Vertigo*, 14, 2. septembre 2014, mis en ligne le 10 septembre 2014, URL : <http://vertigo.revues.org/15110>;

DOI : 10.4000/vertigo.15110

DOI : 10.4000/vertigo.15110



Clément V., Jaurand E., 2005, « Risques “naturels” et territoires en France », *Géoconfluences*, <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/doc/transv/Risque/RisqueScient.htm>

Ciavola P., Jimenez J. A., 2013, « The record of marine storminess along European coastlines », *Natural Hazards and Earth System Sciences*, No.13, 1999–2002.

DOI : 10.5194/nhess-13-1999-2013

Cœur D., Lang M., 2011, « L'enquête historique et la prévention des risques naturels ». *Géologues*, n° 169, 95-98.

Combe C., 2004, « Le risque d'inondation à l'amont de Lyon : héritages et réalités contemporaines » *Géocarrefour*, Vol.79, No.1, 63-73.

DOI : 10.4000/geocarrefour.555

Corfou J., 2012 (a), *L'étude historique des risques côtiers*. Rapport de Master 2 Aménagement et Développement des Littoraux Maritimes, UBS, 83 p.

Corfou J., 2012 (b), *Recensement et conséquences des coups de vent et des tempêtes majeures sur le littoral des Côtes-d'Armor*. Rapport Tâche 1 ANR Cocorisco, 181 p.

Dauphiné A., Provitolo D., 2013, *Risques et catastrophes : Observer, spatialiser, comprendre, gérer*. Armand Colin.

DOI : 10.3917/arco.dauph.2013.01

Deboudt P., 2010, « Vers la mise en œuvre d'une action collective pour gérer les risques naturels littoraux en France métropolitaine », *Cybergeogeo : European Journal of Geography* [En ligne], Espace, Société, Territoire, No.491, mis en ligne le 03 mars 2010, URL : <http://cybergeogeo.revues.org/22964>; DOI : 10.4000/cybergeogeo.22964

DOI : 10.4000/cybergeogeo.22964

De Kraker A.M.J., 2005, « Reconstruction of storm frequency in the North Sea area of the preindustrial period, 1400-1625 and the connection with reconstructed time series of temperatures », *History of Meteorology*, No.2, 51-70.

DGPR, 2014, *Guide méthodologique : plan de prévention des risques littoraux*, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.

DHI, Géos-AEL, 2007, *Etude de connaissance des phénomènes d'érosion sur le littoral vendéen. Rapport final de la tranche ferme*, décembre 2007, 356 p.

Dhi, Géos-AEL, 2007, *Etude de l'aléa submersion marine sur le site de la Grande Plage de Gâvres*, 102 p.

Dhi, Géos-AEL, 2013, *Plan de Prévention des Risques Littoraux de Saint-Malo*, 140 p.

Dhi, Géos-AEL, 2013, *Plan de Prévention des Risques Littoraux de la Baie de Saint-Brieuc*, 233p.

Dhi, Géos-AEL, 2013, *Plan de Prévention des Risques Littoraux Sud Vendée/Marais Poitevin*, 99 p.

DHI, Géos-AEL, 2014, *Plan de Prévention des Risques Littoraux de neuf communes de la Manche. Rapport phase 1 : Analyse préalable du fonctionnement du littoral, Communes de Barneville-Carteret, Saint-Georges-de-la-Rivière, Saint-Jean-de-la-Rivière et Portbail*, 207 p.

Doornkamp J. C., 1998, « Coastal flooding, global warming and environmental management », *Journal of Environmental Management*, No.52, 327–333.

DOI : 10.1006/jema.1998.0188

Dominguez Cuesta M.J., Jimenez Sanchez M., Garcia A.R., 1999, « Press archives as temporal records of landslides in the North of Spain : relationships between rainfall and instability slope events », *Geomorphology*, No.30, 125–132.

DOI : 10.1016/S0169-555X(99)00049-5

Douvinet J., 2006, « Intérêts et limites des données "CatNat" pour un inventaire des inondations. L'exemple des "crues rapides" liées à de violents orages (Bassin parisien, Nord de la France) », *Noréis*, No.201, 17-30.

DOI : 10.4000/noréis.1733

Durville J.-L., 2004, « Quelques remarques sur l'emploi des probabilités dans le domaine des risques naturels. Cas des mouvements de terrain », *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 249, 3-17.

Dussauge-Peisser C., Helmstetter A., Grasso J.-R., Hantz D., Desvarreux P., Jeannin M., Giraud A., 2002, « Probabilistic approach to rock fall hazard assessment : potential of historical data analysis », *Natural Hazards and Earth System Sciences*, No.2, 15–26.

DOI : 10.5194/nhess-2-15-2002



Esposito E., Porfido S., Violante C., Biscarini C., Alaia F., Esposito G., 2004, « Water events and historical flood recurrences in the Vietri sul Mare coastal area (Costiera Amalfitana, southern Italy) », In : Rodda J. C. & Ubertaini, L. (eds) « *The Basis of Civilization—Water Science*.

Proceedings of the UNESCO/IAHS/IWHA Symposium », IAHS Publications, No.286, 95–106.

Failletaz J., 2005, « Déclenchements d'avalanches : pur hasard ou ordre caché ? », *Neige et Avalanches*, No.109, Mars 2005, 1-4.

Fanthou T., Kaiser B., 1990, « Évaluation des risques naturels dans les Hautes-Alpes et la Savoie. Le recours aux documents d'archives et aux enquêtes », *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, No.4, 323-339.

Feng L. H., Hong W., 2008, « A quantitative expression for the magnitude and intensity of disaster of storm surges », *Natural hazards*, No.45, 11–18.
DOI : 10.1007/s11069-007-9149-7

Feuillet T., Chauveau E., 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 », *Noroi*, No.222, 27-44.
DOI : 10.4000/noroi.3866

Fernane A, Gandouin E., Penaud A., Van Vliet-Lanoe B, Goslin J., Vidal M., Delacourt C., 2014, « Coastal palaeoenvironmental record of the last 7 kyr BP in NW France : Sub-millennial climatic and anthropic Holocene signals », *The Holocene*, Vol.24, No.12, 1785-1797.
DOI : 10.1177/0959683614551223

Fichaut B., Suanez S., 2008, « Les blocs cyclopéens de l'île de Banneg (archipel de Molène, Finistère) : accumulations supratidales de forte énergie », *Géomorphologie*, Vol.14, No.1, 15-31.
DOI : 10.4000/geomorphologie.5793

Foster H. D., 1976, « Assessing disaster magnitude : a social science approach », *Professional geographer*, Vol.28, No.3, 241-247.
DOI : 10.1111/j.0033-0124.1976.00241.x

Gares P.A., Sherman D.J., Nordstrom K.F., 1994, « Geomorphology and natural hazards », *Geomorphology*, 10, 1-18.
DOI : 10.1016/0169-555X(94)90004-3

Garnier E. (Rapp.), Boucard J., Surville F. (Coords.), 2010, « *La crise Xynthia à l'aune de l'histoire. Enseignements et enjeux contemporains d'une histoire des submersions* », Contribution aux missions d'enquête parlementaire et sénatoriale sur Xynthia par le groupe de recherche SUBMERSIONS.

Garnier E., Surville S. F., 2010, « *La tempête Xynthia face à l'histoire* », Le Croît Vif, Saintes.

Garnier E., 2014, « Histoire des tempêtes ? » *Risques, les Cahiers de l'Assurance*, No.91-2 Risques et solutions, les tempêtes en Europe : un risque en expansion, 9 p.http://www.ffsa.fr/webffsa/risques.nsf/html/Risques_91_0007.htm

Glaser R., Stangl H., 2003, « Historical floods in the Dutch Rhine Delta », *Natural Hazards and Earth System Sciences*, No.3, 605–613.
DOI : 10.5194/nhess-3-605-2003

Godschalk, D. R., Norton, R., Richardson, C., & Salvesen, D., 2000, « Avoiding coastal hazard areas : Best state mitigation practices », *Environmental Geosciences*, Vol.7, No.1, 13-22.
DOI : 10.1046/j.1526-0984.2000.71002.x

Goslin J., 2014, « *L'évolution du niveau marin relatif le long des côtes du Finistère (Bretagne, France) de 8000 B.P. à l'actuel : entre dynamiques régionales et réponses locales* », thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Institut Universitaire Européen de la Mer.

Goutx D., Baraer F., Roche A., Jan G., 2014, « Ces tempêtes extrêmes que l'histoire ne nous a pas encore dévoilées », *La Houille Blanche*, No.2, 27-33.
DOI : 10.1051/lhb/2014013

Hallégouët B., Bodéré J.-C., Piriou N., 1986, « La gestion des dunes littorales dans le Finistère », *Noroi*, No.132, 517-535.
DOI : 10.3406/noroi.1986.4350

Hart R. E., Evans J. L., 2001, « A climatology of the extratropical transition of Atlantic tropical cyclones », *Journal of Climate*, No.14, 546-564.
DOI : 10.1175/1520-0442(2001)014<0546:ACOTET>2.0.CO;2

Hénaff A., 2003, « Présentation du programme pluriannuel de recherche d'intérêt régional sur l'érosion côtière et la vulnérabilité du trait de côte en Bretagne ». *Actes des Journées Scientifiques et Techniques du CETMEF*, Paris, 25 avril 2003, 27-35.



Hénaff A., 2004, « Les aménagements littoraux de la Région Bretagne en vue de leur défense contre l'érosion depuis 1949 », *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, No.3, 346-359.

Hénaff A., 2005, « Mobilité des littoraux et variabilité des vents de tempête et des houles dominantes au cours du dernier siècle en Bretagne », *Actes du XVIIe colloque international de climatologie AIC « climat, mémoire du temps ..., les relations climat-espace-société »*, 2005, Caen, France, 305-308.

Hénaff A., Meur-Férec C., Lageat Y., 2013, « Changement climatique et dynamique géomorphologique des côtes bretonnes. Leçons pour une gestion responsable de l'imbrication des échelles spatio-temporelles », *Cybergeog : European Journal of Geography*, No.654, URL :<http://cybergeog.revues.org/26058>
DOI : 10.4000/cybergeog.26058

Hénaff A. (Ed.), Philippe M. (Coord.), 2014, « *Gestion des risques d'érosion et de submersion marines, guide méthodologique* », Projet ANR Cocorisco, En Ligne : <http://www.risques-cotiers.fr/fr>

Hénaff A., Lageat Y., Hallégouët B., Jabbar M., Delliou, N. Diard M., 2015, « Évolutions des accumulations littorales et relations avec les dynamiques d'avant-plage dans l'archipel des Glénan (Sud-Finistère, France) », *Géomorphologie : relief, processus, environnement* [En ligne], Vol.21, No.4, mis en ligne le 23 novembre 2015, URL :<http://geomorphologie.revues.org/11195> ; DOI : 10.4000/geomorphologie.11195
DOI : 10.4000/geomorphologie.11195

Hergarten, S., 2004, « Aspects of risk assessment in power-law distributed natural hazards », *Natural Hazards in Earth System Sciences*, No.4, 309-313.
DOI : 10.5194/nhess-4-309-2004

Hibbeler L.A., 2007, « The role of geomorphology in natural hazard management ». San Francisco University State, GEOG 810, 17 p.

Hittelman A. M., Lockridge P.A., Whiteside L.S., Lander J.F., 2001, « Interpretative pitfalls in historical data », *Natural Hazards*, No.23, 315-328.

Hydratec, Géos-AEL, 2014, « *Plan de Prévention des Risques Littoraux du Marais de Dol de Bretagne* ».

Jabbar M., Hénaff A., Deschamps A., 2015, « Dynamiques et évolutions morpho-sédimentaires de l'avant-plage du secteur littoral de Combrit – Île-Tudy entre le XIX^e et le XXI^e siècle », *Géomorphologie : relief, processus, environnement* [En ligne], Vol.21, No.1, mis en ligne le 01 janvier 2016, URL :<http://geomorphologie.revues.org/10849> ; DOI : 10.4000/geomorphologie.10849
DOI : 10.4000/geomorphologie.10849

Kron W., 2008, « Coasts : the riskiest places on earth », In : Smith, J.M. (Ed.). *Coastal Engineering 2008. Proceedings of the International Conference on Coastal Engineering*. World Scientific, 3-21.

Kron W., 2013, « Coasts : the high-risk areas of the world », *Natural hazards*, 66, 1363-1382.
DOI : 10.1007/s11069-012-0215-4

Lageat Y., 2013, « Événements tempétueux en Côtes-d'Armor », *Rapport Tâche 1 ANR Cocorisco*, LETG-Brest Géomer UMR 6554 CNRS.

Lamb, H. H., Frydendahl K., 1991, « *Historic storms of the North Sea, British Isles and Northwest Europe* », Cambridge, Cambridge University Press.

Lang M., Cœur D., Lallement C., Nault R., 1998, « Valorisation de l'information historique pour la prédétermination du risque d'inondation : application au bassin du Guiers ». *Ingénieries - E A T*, 3-13.

Llasat M. C., Llasat-Botija M., Barnolas M., Lopez L., Altava-Ortiz V., 2009, « An analysis of the evolution of hydrometeorological extremes in newspapers : the case of Catalonia, 1982–2006 », *Natural Hazards and Earth System Sciences*, No.9, 1201-1212.

Le Berre I, Hénaff A., David L., 2009, « *Inventaire des ouvrages côtiers du Finistère* » Rapport IUEM – LETG Brest Géomer pour la DDE du Finistère, En ligne. :<http://www.bretagne-environnement.org/Media/Documentation/Bibliographies/Inventaire-des-ouvrages-cotiers-du-Finistere>

Le Cornec E., 2013, (a), « *Base de données des événements météo-marins ayant occasionné des dommages sur le rivage du département du Morbihan* ». Rapport Tâche 1 ANR Cocorisco.

Le Cornec E., 2013 (b), « *Base de données des événements météo-marins ayant occasionné des dommages sur le rivage du département d'Ille-et-Vilaine* », Rapport Tâche 1 ANR Cocorisco.

Le Drezen E., 2012, « *Fiches communales d'inventaire des ouvrages côtiers (Guissény, Sein, Île-Tudy)* », Rapport tâche 1 Cocorisco.



Leone F., de Richemond N., Vinet F., 2010, « *Aléas naturels et gestion des risques* », P.U.F.

Letortu P, Costa S., Cantat O., 2012, « Les submersions marines en Manche orientale : approche inductive et naturaliste pour la caractérisation des facteurs responsables des inondations par la mer », *Climatologie*, No.9, 31-57.

DOI : 10.4267/climatologie.165

MacClenahan, P., McKenna, J., Cooper, J.A.G., O'Kane, B., 2001, « Identification of highest magnitude coastal storm events over western Ireland on the basis of wind speed and duration thresholds », *International Journal of Climatology*, Vol.21, No.7, 829-842.

DOI : 10.1002/joc.666

Maertens-Noël S., 2016, « *La mer, cet ennemi de plusieurs siècles. Identifier et comprendre les trajectoires de vulnérabilité des sociétés littorales bas-normandes (1650-1940)* », thèse de Doctorat d'Histoire, CRHQ, Université de Caen, 2 tomes.

Malamud B.D., 2004, « Tails of natural hazards », *Physics World*, Vol.17, No.8, 31-35.

DOI : 10.1088/2058-7058/17/8/35

Maquaire O., Thiery Y., Malet J.-P., Puissant A., 2006, « Evaluation et cartographie par SIG du risque » glissements de terrain« . Application aux Alpes du Sud », *Colloque international Interactions Natures et Sociétés*, Juin 2006, La Baule, France. En ligne :<http://letg.univ-nantes.fr/colloque/actes.htm>

Mason, O.K., Salmon, D.K. & Ludwig, S.L., 1996, « The periodicity of storm surges in the Bering sea from 1898 to 1993, based on newspaper accounts », *Climatic Change*, Vol.34, No.109, 109-123.

DOI : 10.1007/BF00139256

Maspataud A., Letortu P., Costa S., Cantat O., Héquette A., Ruz M.-H., 2014, « Conditions météorologiques et facteurs de prédisposition à l'origine de phénomènes de submersion marine : analyse comparative entre Manche et Mer du Nord méridionale », *Actes du colloque international « Connaissance et Compréhension des Risques côtiers : aléas, enjeux, représentations, gestion »*, 3-4 juillet 2014, IUEM Brest, 51-62.

Masselink G., Russel P., 2013, « Impacts of climate change on coastal erosion », *MCCIP Science Review*, 71-86, doi :10.14465/2013.arco9.071-086

DOI : 10.14465/2013.arco9.071-086

MATE, DGPR, 1997, « *Plan de prévention des risques littoraux (PPR), Guide méthodologique* », La Documentation française.

Meur-Ferec C., 2006, « *De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral : un itinéraire de géographe* », Rapport d'HDR de Géographie, Vol.1, Essai inédit, Université de Nantes.

Meur-Ferec C., Lageat Y., Hénaff A., 2013, « La gestion des risques côtiers en France métropolitaine : évolution des doctrines, inertie des risques ? », *Géorisques*, No.4, Le littoral : caractérisation et gestion d'un espace à risques, 57-67.

Michel-Guillou E., Meur-Ferec C., 2014, « Représentations des risques côtiers et stratégies d'adaptation : une manière d'appréhender la dimension humaine des risques côtiers », *Actes du colloque international « Connaissance et Compréhension des Risques côtiers : aléas, enjeux, représentations, gestion »*, 3-4 juillet 2014, IUEM, Brest, 339-352.

Miossec A., 1998, « Les littoraux entre nature et aménagement », SEDES, Paris, Coll. Géographie.

Mitchell J.K., 2000, « Forgetting about hazard », *Environmental Hazards*, No.2, 45-46.

DOI : 10.3763/ehaz.2000.0206

Newton A, Weichselgartner J., 2014, « Hotspots of coastal vulnerability : A DPSIR analysis to find societal pathways and responses », *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, No.140, 123-133.

DOI : 10.1016/j.ecss.2013.10.010

Paskoff R., 1985, « *Les littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution* », Masson, Paris, Coll. Géographie.

Peteers P., Schoorens J., Le Cornec E., Michard B., Lecaht M., 2009, « Définition de l'aléa submersion marine sur le site de la Grande Plage de Gâvres (Morbihan) », *La Houille Blanche*, No.1, 45-51.

DOI : 10.1051/lhb:2009004

Pétre A., Jabbar M., 2012, « *Atlas des événements tempétueux dommageables dans le Finistère depuis le 18e siècle* », Rapport de Master 1 Expertise et Gestion des Environnements Littoraux, UBO, IUEM, LETG-Brest Géomer UMR 6554 CNRS.



Petrucci O., Polemio M., 2003, « The use of historical data for the characterisation of multiple damaging hydrogeological events », *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol.3, No.1/2, 17-30.

DOI : 10.5194/nhess-3-17-2003

Pigeon P., 2002, « Réflexions sur les notions et les méthodes en géographie des risques dits naturels ». *Annales de Géographie*, T. 111, No.627-628, 452-470.

DOI : 10.3406/geo.2002.21624

Pigeon P., 2010, « Catastrophes dites naturelles, risques et développement durable : Utilisations géographiques de la courbe de Farmer », *Vertigo*, Vol.10, No.1, en ligne : URL : <http://vertigo.revues.org/9491> ; DOI : 10.4000/vertigo.9491

DOI : 10.4000/vertigo.9491

Pinot J.-P., 2000, « *La gestion du littoral* », 2 tomes, Institut Océanographique.

Pons F., 2008, « Utilisation des données anciennes pour la connaissance des risques de submersions marines », *Actes du Colloque SHF : Nouvelles approches sur les risques côtiers*, Paris, 30-31 janvier 2008, 6 p.

Porfido S., Esposito E., Alaia F., Molisso F., Sacchi M., 2009, « The use of documentary sources for reconstructing flood chronologies on the Alfiati rocky coast (southern Italy) », *Geological Society, London, Special Publications*, No.322, 173-187.

Quenet G., 2005, « *Les Tremblements de terre aux dix-septième et dix-huitième siècles. La naissance d'un risque* », Seyssel, Champ Vallon.

Rosenfeld C.L., 1994, « The geomorphological dimensions of natural disasters », *Geomorphology*, No.10, 27-36.

DOI : 10.1016/0169-555X(94)90006-X

Ruocco A.C., Nicholls R.J., Haigh I.D., Wadey M.P., 2011, « Reconstructing coastal flood occurrence combining sea level and media sources : a case study of the Solent, UK since 1935 », *Natural Hazards*, No.59, 1773-1796.

DOI : 10.1007/s11069-011-9868-7

Sallenger A.H., 2000, « Storm Impact Scale for Barrier Islands », *Journal of Coastal Research*, Vol.16, No.3, 890-895.

Sarrazin J.-L., 2012, « "Vimers de mer" et sociétés littorales entre Loire et Gironde (XIV^e-XVI^e siècle) ». *Noroi*, No.222, 91-102.

DOI : 10.4000/noroi.4034

Schoenenwald N., 2013, « *Les tempêtes en France et dans les îles britanniques : des aléas aux événements* », thèse de doctorat de Géographie, Université Paris I.

Slymaker O., 1999, « Natural hazards in British Columbia : an interdisciplinary and inter-institutional challenge », *International Journal of Earth Sciences*, No.88, 317-324.

DOI : 10.1007/s005310050267

Suanez S., Stéphan P., 2006, « Forçages météo-marins et dynamique morphosédimentaire saisonnière des cordons dunaires. Exemple de la baie de Saint-Michel-en-Grève (Côtes d'Armor, Bretagne) ». *Géomorphologie : Relief. Processus. Environnement*, [En ligne], Vol.12, No.2, 91-110, mis en ligne le 01 juillet 2008, URL : <http://geomorphologie.revues.org/529> ; DOI : 10.4000/geomorphologie.529

DOI : 10.4000/geomorphologie.529

Suanez S., Fichaut B., Sparfel L., 2007, « Méthode d'évaluation du risque de submersion des côtes basses appliquée à la plage du Vougot, Guissény (Bretagne) ». *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, [En ligne], Vol.13, No.4, 319-334, mis en ligne le 01 janvier 2010, URL : <http://geomorphologie.revues.org/4582> ; DOI : 10.4000/geomorphologie.4582

DOI : 10.4000/geomorphologie.4582

Sweeney J., 2000, « A three-century storm climatology for Dublin 1715-2000 », *Irish Geography*, Vol.33, No.1, 1-14.

DOI : 10.1080/00750770009478595

Thouret J.-C., 2002, « Aléas et risques volcaniques : mieux comprendre pour prévoir et mieux gérer pour durer ». *Annales de Géographie*, T. 111, No.627-628, 503-523.

DOI : 10.3406/geo.2002.21622

UVED, 2006, <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/risques-naturels/html/2/21/213/2131.html>

Van Vliët-Lanoë B., Hénaff A., Goslin J., Hallégouët B., Delacourt C., Penaud A., Le Cornec E., 2014, (a) « Enregistrement des tempêtes holocènes en Bretagne : Chronologie, forçages



climatiques et implications ». *Actes du colloque international « Connaissance et Compréhension des Risques côtiers : aléas, enjeux, représentations, gestion »*, 3-4 juillet 2014, IUEM Brest, 28-35.

Van Vliet-Lanoë B., Goslin J., Hallégouët B., Hénaff A., Delacourt C., Fernane A., Franzetti M., Le Cornec E., Le Roy P., Penaud A., 2014, (b), « Middle- to late-Holocene storminess in Brittany (NW France) : Part I – morphological impact and stratigraphical record », *The Holocene*, Vol.24, No.4, 413-433.

Van Vliet Lanoë B., Pénaud A., Hénaff A., Delacourt C., Fernane A., Goslin J., Hallégouët B., Le Cornec E., 2014, (c), « Middle- to late-Holocene storminess in Brittany (NW France) : Part II- The chronology of events and climate forcing », *The Holocene*, Vol.24, No.4, 434-453.

Van Vliet Lanoë B., Fernane A., Goslin J., Hallégouët B., Hénaff A., Meurisse-Fort M., Penaud A., 2015, « Mytheset légendes : la forêt sous la mer », *Bulletin de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne*, No.1, 1-16.

Vincent J., 2006, « De la répulsion à la spéculation. La transformation du foncier littoral en Bretagne-Sud et en Vendée (1800-1939) », *Annales de Bretagne et des Pays de l'Ouest*, Vol.113, No.4, [en ligne] - URL : <http://abpo.revues.org/535>

Vinet F., 2010, « *Le risque inondation. Diagnostic et gestion* ». Éditions Tec & Doc Lavoisier, coll. Science du Risque et du Danger (SRD).

Vinet F., Defossez S., Rey T., Boissier L., 2012, « Le processus de production du risque "submersion marine" en zone littorale : l'exemple des territoires "Xynthia" », *Norois*, No.222, 11-26.

White, G.F., 1960, « The choice of use in resource management », *Natural Resources Journal*, No.1, 23-40.

White G.F. Kates R.W., Burton I., 2001, « Knowing better and losing even more : the use of knowledge in hazards management », *Environmental Hazards*, No.3, 81-92.

DOI : 10.3763/ehaz.2001.0308

Wolman M.G., Miller J.P., 1960, « Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes », *The Journal of Geology*, Vol.68, No.1, 54-74.

DOI : 10.1086/626637

Zhang G.K., Douglas B.C., Leatherman S.P., 2004, « Global warming and coastal erosion », *Climatic Change*, No.64, 41-58.

DOI : 10.1023/B:CLIM.0000024690.32682.48

Table des illustrations

Titre Figure 1 – Principales sources archivistiques utilisées pour l'inventaire.

A.D. : Archives Départementales ; Ass. : Association ; BNF : Bibliothèque Nationale de France ; Bull. Munic. : bulletin municipal ; B.U. : bibliothèque universitaire ; CELM : Centre d'essais de lancement de missiles ; CETE : Centre d'Études Techniques de l'Équipement ; CETMEF : Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales ; CEREMA : Centre d'Étude et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement ; CRDP : Centre Régional de Documentation Pédagogique ; DDE : Direction Départementale de l'Équipement ; DDTM : Direction Départementale des Territoires et de la Mer ; DHI : Delft Hydraulic International Eau et Environnement (Nantes) ; Geos AEL : Geos Aménagement / Environnement littoral (Etel) ; LCHF : Laboratoire Central d'Hydraulique de France (Maisons-Alfort) ; LNH : Laboratoire National d'Hydraulique (Chatou) ; S.M. : Syndicat Mixte ; SOGREAH : Société Grenobloise d'Études et d'Applications Hydrauliques.

URL <http://journals.openedition.org/cyberge/docannexe/image/29000/img-1.jpg>

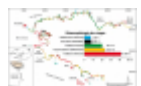
Fichier image/jpeg, 408k


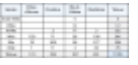






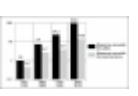

Titre Figure 2 - Types de littoraux en Bretagne et distribution géographique.

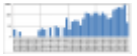
URL <http://journals.openedition.org/cyberge/docannexe/image/29000/img-2.jpg>



Légende



	Fichier	image/jpeg, 308k
	Titre	Figure 3 – Exemple de fiche communale standardisée.
	Légende	Bandeau du haut : à gauche, date de l'événement, au milieu commune concernée, à droite numéro d'identification de la fiche. Partie centrale : pour chaque information, la source, le descriptif et éventuellement une illustration (photos, plan, carte postale). En bas : les coefficients et horaires de marée à la date de l'événement.
	URL	http://journals.openedition.org/cyberge/docannexe/image/29000/img-3.jpg
	Fichier	image/jpeg, 864k
	Titre	Figure 4 – Nombre de fiches communales standardisées réalisées : bilans par département, par siècle et totaux.
	URL	http://journals.openedition.org/cyberge/docannexe/image/29000/img-4.jpg
	Fichier	image/jpeg, 124k
	Titre	Figure 5 – Exemple de cartographie simplifiée des dommages recensés sur la pointe de Penmarc'h restituée sur fond orthophotographique Google-Earth (copie d'écran).
	URL	http://journals.openedition.org/cyberge/docannexe/image/29000/img-5.jpg
	Fichier	image/jpeg, 520k
	Titre	Figure 6 - Catégories et sous-catégories des forçages (facteurs générateurs d'aléas) et catégories d'aléas utilisées dans la base de données.
	URL	http://journals.openedition.org/cyberge/docannexe/image/29000/img-6.jpg
	Fichier	image/jpeg, 372k
	Titre	Figure 7 - Intensité des aléas pour chaque événement entre 1700 et 2010
	URL	http://journals.openedition.org/cyberge/docannexe/image/29000/img-7.jpg
	Fichier	image/jpeg, 256k
	Titre	Figure 8 – Le « Top 10 » des événements selon l'intensité des aléas et fréquences des cas observés par classe d'intensité.
	URL	http://journals.openedition.org/cyberge/docannexe/image/29000/img-8.jpg
	Fichier	image/jpeg, 308k
	Titre	Figure 9 - Répartition des aléas selon les catégories retenues pour leur identification dans l'inventaire historique. Fréquences en %.
	URL	http://journals.openedition.org/cyberge/docannexe/image/29000/img-9.jpg
	Fichier	image/jpeg, 340k
	Titre	Figure 10 - Importance respective des diverses catégories de forçages impliqués dans la génération des aléas littoraux régionaux (1700 - 2010). Fréquences en %.
	URL	http://journals.openedition.org/cyberge/docannexe/image/29000/img-10.jpg
	Fichier	image/jpeg, 124k
	Titre	Figure 11 – Moyennes annuelles des aléas côtiers (totaux et submersions) inventoriés par siècle sur les rivages de la Bretagne (NB : échelle logarithmique en ordonnée).
	URL	http://journals.openedition.org/cyberge/docannexe/image/29000/img-11.jpg
	Fichier	image/jpeg, 84k



Titre Figure 12 - Distribution décennale des aléas inventoriés entre 1600 et 2010 (NB : échelle logarithmique en ordonnée).

URL <http://journals.openedition.org/cybergeogeo/docannexe/image/29000/img-12.png>

Fichier image/png, 18k

Titre Figure 13 – Fréquences mensuelles des aléas côtiers entre 1750 et 2010.

URL <http://journals.openedition.org/cybergeogeo/docannexe/image/29000/img-13.jpg>

Fichier image/jpeg, 96k

Titre Figure 14 – « Saisons » des aléas définies par le « coefficient mensuel des aléas côtiers ».

Légende

Saison moyenne établie pour la période 1750 à 2010 et comparaison des mois les plus favorables à l'apparition des aléas au cours de l'année et par demi-siècles successifs de 1750 à 2010. NB : l'échelle des ordonnées n'est pas identique aux précédentes pour la période 2000 à 2010, du fait d'un plus faible nombre de données et de l'importance des aléas générés par la tempête du 10 mars 2008 dans la série.

URL <http://journals.openedition.org/cybergeogeo/docannexe/image/29000/img-14.jpg>

Fichier image/jpeg, 256k

Titre Figure 15 – Distribution temporelle des aléas régionaux entre 1790 et 2010.

Légende

Tableau : statistiques générales sur la fréquence des aléas et les années durant lesquels ils surviennent par périodes successives et en moyenne entre 1700 et 2010. Représentation graphique des aléas annuellement enregistrés sur la période. NB : l'ordonnée est en valeurs logarithmiques.

URL <http://journals.openedition.org/cybergeogeo/docannexe/image/29000/img-15.jpg>

Fichier image/jpeg, 368k

Titre Figure 16 - Distribution des magnitudes selon leur fréquence d'apparition (1790 - 2010).

Légende

Courbe de régression correspondante (courbe de gauche) ;représentation de la relation (loi puissance) entre le nombre d'événements de forçage et leur magnitude (courbe de droite) et droite de régression correspondante. Graphe du bas : magnitude des événements de forçage identifiés entre 1790 et 2010. Les indications datées localisent certains des forçages de forte magnitude ($> = 8$) et ceux de très forte magnitude ($> = 10$). Malgré la grande variabilité interannuelle, plusieurs périodes favorables à la survenue de forçages de forte magnitude sont mises en évidence dans cette chronique. Elles sont centrées autour des décennies 1820, 1870, 1925, 1990 et 2000.

URL <http://journals.openedition.org/cybergeogeo/docannexe/image/29000/img-16.jpg>

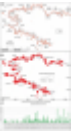
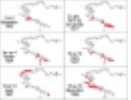
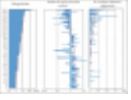

Fichier image/jpeg, 336k

Titre Figure 18 – Fréquences et magnitude.

Légende

Graphique : fréquences des forçages : observées (courbe rouge), maximales calculées (courbe bleue) et minimales calculées (courbe grise) pour des magnitudes de forçage comprises entre 1 et 100. Les deux courbes calculées constituent l'enveloppe d'incertitude par rapport aux observations. Tableau du bas : temps moyen, minimal et maximal théoriques entre deux événements de forçage pour diverses valeurs de magnitude.



	URL	http://journals.openedition.org/cyberge/docannexe/image/29000/img-17.jpg
	Fichier	image/jpeg, 292k
	Titre	Figure 19 – (a) Localisation des impacts inventoriés ; (b) Répartition des impacts inventoriés dans les communes littorales ; (c) Nombre de communes annuellement impactées.
	URL	http://journals.openedition.org/cyberge/docannexe/image/29000/img-18.jpg
	Fichier	image/jpeg, 548k
	Titre	Figure 20 – Aire d'impact de six événements.
	Légende	Magnitudes respectives : 3 et 4 décembre 1865 : 15 ; 31 décembre 1876 au 1er janvier 1877 : 20 ; 1er au 4 février 1904 : 10 ; 12 au 14 mars 1937 : 15 ; 12 et 13 mars 1967 : 2 ; 15 au 16 décembre 1989 : 15
	URL	http://journals.openedition.org/cyberge/docannexe/image/29000/img-19.jpg
	Fichier	image/jpeg, 112k
	Titre	Figure 21 – Co-évolutions de l'indice de dispersion (indice du plus proche voisin) et de la surface de l'aire impactée en fonction de la magnitude des événements.
	Légende	Les nombres en ordonnées correspondent aux rangs des événements classés par magnitudes croissantes (152 événements pris en compte).
	URL	http://journals.openedition.org/cyberge/docannexe/image/29000/img-20.jpg
	Fichier	image/jpeg, 188k
	Titre	Figure 22 – Caractérisation de la durée d'action des aléas. Comparaison avec leur magnitude et statistiques correspondantes (aléas dont la durée est égale ou inférieure à 12 jours).
	URL	http://journals.openedition.org/cyberge/docannexe/image/29000/img-21.jpg
	Fichier	image/jpeg, 192k

Pour citer cet article

Référence électronique

Alain Hénaff, Erwan Le Cornec, Marie Jabbar, Anne Pétré, Jérémy Corfou, Yann Le Drezen et B. van Vliët-Lanoë, « Caractérisation des aléas littoraux d'érosion et de submersion en Bretagne par l'approche historique », *Cyberge: European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 847, mis en ligne le 08 février 2018, consulté le 23 mai 2024. URL : <http://journals.openedition.org/cyberge/29000> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cyberge.29000>

Cet article est cité par

- Juigner, Martin. Robin, Marc. Audère, Morgane. Fattal, Paul. Hervy, Benjamin. Kerguillec, Riwan. Suzanne, Jean-Baptiste. Costa, Stéphane. Lopin, Maëlys. Maquaire, Olivier. Medjkane, Mohand. Pagny, Julie. Thulie, Arnaud. (2021) Un nouvel indicateur de prédisposition au risque d'érosion côtière, application en Manche et en Vendée (France). *Cyberge*. DOI: 10.4000/cyberge.37114
- Idier, Déborah. Rohmer, Jérémy. Pedreros, Rodrigo. Le Roy, Sylvestre. Lambert, Jérôme. Louisor, Jessie. Le Cozannet, Gonéri. Le Cornec, Erwan. (2020) Coastal flood: a composite method for past events characterisation providing insights in past, present and future hazards—joining historical, statistical and modelling



approches. *Natural Hazards*, 101. DOI: 10.1007/s11069-020-03882-4

- Athimon, Emmanuelle. Maanan, Mohamed. Pouzet, Pierre. (2022) Comparer les tempêtes sur le temps long en quantifiant les dommages : proposition d'un nouvel outil. *Bulletin de l'Association de géographes français*, 98. DOI: 10.4000/bagf.8308

Auteurs

Alain Hénaff

Université de Bretagne Occidentale, Institut Universitaire Européen de la Mer, Littoral-Environnement-Téledétection-Géomatique, UMR 6554 CNRS, France
alain.henaff@univ-brest.fr

Articles du même auteur

Changement climatique et dynamique géomorphologique des côtes bretonnes. Leçons pour une gestion responsable de l'imbrication des échelles spatio-temporelles [Texte intégral]

Article 654

Paru dans *Cybergeogeo: European Journal of Geography*, Environnement, Nature, Paysage

Erwan Le Cornec

GEOS-Aménagement, Environnement Littoral, France
geos56@wanadoo.fr

Marie Jabbar

Université de Bretagne Occidentale, Institut Universitaire Européen de la Mer, Littoral-Environnement-Téledétection-Géomatique, UMR 6554 CNRS, France
marie.jabbar@gmail.com

Anne Pétré

Université de Bretagne Occidentale, Institut Universitaire Européen de la Mer, Littoral-Environnement-Téledétection-Géomatique, UMR 6554 CNRS, France

Jérémy Corfou

GEOS-Aménagement, Environnement Littoral, France
jeremy.corfou@gmail.com

Yann Le Drezen

GEOS-Aménagement, Environnement Littoral, France
rouanou@hotmail.com

B. van Vliët-Lanoë

Géosciences Océan, UMR 6538 CNRS, Université de Bretagne Occidentale, Institut Universitaire Européen de la Mer, France

Droits d'auteur



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

