



Projet VIMERS : une typologie des tempêtes bretonnes pour prévoir l'impact des tempêtes à venir et mieux s'y préparer

Amélie ROCHE¹, Franck BARAER², Hervé LE CAM², Thumette MADEC²,
Sophie GAUTIER², Gwénaële JAN³, David GOUTX²

1. Cerema – Direction technique Eau, mer et fleuves,
Technopôle Brest Iroise, 155, rue Pierre Bouguer, BP 5, 29280 Plouzané, France.
Amelie.Roche@cerema.fr
2. Météo-France Direction interrégionale Ouest,
BP 49139, 35091 Rennes Cedex 9, France.
*franck.baraer@meteo.fr ; herve.lecam@meteo.fr ; thumette.madec@meteo.fr ;
sophie.gautier@meteo.fr ; david.goutx@meteo.fr*
3. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine,
13 Rue de Châtellier, 29200 Brest, France.
gwenaele.jan@shom.fr

Résumé :

Parmi les tempêtes, les "vimers", concomitances d'un passage dépressionnaire et d'une marée haute, constituent des conditions probables, propices aux submersions marines. La Direction interrégionale Ouest de Météo-France, le Cerema (ex-Cetmef) et le Shom ont uni leurs efforts pour étudier les tempêtes menaçant le littoral breton et tenter de déterminer des événements extrêmes, dont on pourrait ensuite déduire les paramètres hydrodynamiques pour l'étude des risques de submersion marine liés à des vimers. Une documentation approfondie des tempêtes historiques a été produite à partir de données d'archives numériques ou manuscrites et de réanalyses numériques. Cette description des tempêtes a permis d'établir une typologie propre au littoral breton et d'identifier, au sein de chaque famille, la ou les tempêtes les plus représentatives, ainsi que les événements plus "atypiques". Enrichir la connaissance des données du passé doit permettre d'analyser et reconnaître des cas semblables passés, de les rapprocher de manière robuste aux tempêtes récentes ou celles en prévision à courte échéance. La conjonction la plus juste possible entre la météorologie, la houle, la marée et la surcote permettra de rédiger des fiches-tempêtes synthétiques s'inscrivant dans la démarche d'amélioration de la gestion des risques de submersion marine et la vigilance vagues-submersion de Météo-France.

Mots-clés : Tempêtes historiques, Tempêtes fictives, Submersion marine.

1. Introduction

Lancé en parallèle d'un atlas des risques littoraux bretons en 2012, le projet VIMERS (GOUTX *et al.*, 2014) vise en premier lieu à établir un historique documenté, quasi-

Thème 7 – Risques côtiers

exhaustif, des tempêtes connues pour avoir touché le littoral breton et à fournir des éléments de forçages atmosphérique et océanique nécessaires à la caractérisation des aléas côtiers (submersion marine essentiellement). VIMERS est placé sous le pilotage conjoint de la DREAL et de la Région Bretagne. Une première phase de l'étude (BARAER *et al.*, 2013) s'attache à la définition et la simulation de scénarii de tempêtes fictives mais probables pouvant occasionner des dommages non observés jusqu'alors sur la côte bretonne. À partir de l'analyse des caractéristiques des tempêtes passées, l'objectif est ainsi de déterminer des signatures particulières de tempêtes potentiellement "à risque" et de fournir des éléments d'aide à la décision pour la préparation à l'alerte et à la gestion de crise. Cette étude associe les trois établissements publics français de référence sur la connaissance des phénomènes météorologiques et hydrodynamiques marins. Cet article illustre l'apport du développement de la connaissance des événements passés pour mieux appréhender l'avenir au travers de la valorisation des fiches tempêtes réalisées et de leur typologie obtenue par l'analyse statistique de critères de caractérisation de ces tempêtes bretonnes.

2. Recensement des tempêtes historiques ayant touché le littoral breton

L'objet météorologique "tempête" n'est pas clairement défini, le plus souvent assimilé à une perturbation atmosphérique qui comprend des variations de pression atmosphérique et de vent suffisantes pour provoquer de quelques dégâts matériels à des disparitions dramatiques. Deux domaines apportent des éclairages pour cette notion : (i) la météorologie des régions tropicales et subtropicales, qui distingue les "tempêtes tropicales" des "cyclones" et (ii) la météorologie marine, qui distingue, selon l'échelle Beaufort, les tempêtes (force 10 à 11 *i.e.* des vents moyens de 24 m/s à 32,5 m/s), et les ouragans (force 12). SCHOENENWALD (2013) a mené un inventaire des tempêtes ayant frappé l'Europe du Nord depuis 1850, à partir de paramètres météorologiques représentatifs trouvés dans les bulletins météorologiques quotidiens (BQR puis BQE), débouchant sur une description à chaque date de tempête de la situation synoptique pointée. Pour le projet VIMERS, une méthode de sélection automatique des événements passés a été développée par Météo-France afin d'identifier, sur des bases similaires, les dates de tempêtes ayant touché le littoral breton à partir des mesures disponibles depuis 1950 dans la base de données climatologiques (BDCLIM) de Météo-France pour une vingtaine de stations des sémaphores. Les données y sont archivées numériquement au pas de temps tri-horaire entre 1946 et 1992, puis au pas de temps horaire. La zone d'étude est découpée en 3 secteurs distincts : côte nord (de la pointe de la Hague à la pointe de Penmarch), côte sud (de la pointe du Raz à la pointe de Chassiron) et pointe bretonne, zone de chevauchement de l'île de Batz à l'île de Groix.

Des critères de seuil spécifiques à chaque secteur ont été définis tenant compte :

- a) pour toutes les côtes : de vents moyens horaires (moyenne sur 10 minutes) supérieurs à 22 m/s sur plus de 50% des stations dans un secteur de directions du vent donné lié

à l'orientation des côtes (d'ouest à nord-est pour la côte nord, toutes directions pour la pointe ou de sud-est à ouest pour la côte sud) ;

- b) uniquement pour la côte sud : de la pression réduite au niveau de la mer inférieure ou égale à 990 hPa et de la hausse barométrique sur les 3 heures précédant l'observation supérieure ou égale à 5 hPa sur au moins 50% des stations.

Ces critères résultent d'un compromis permettant de prendre en compte un maximum de dates de tempêtes ayant concerné la Bretagne, le critère de pression n'étant pas pertinent partout. 304 dates-critères, liées ou non à la même "tempête", ont ainsi été identifiées entre janvier 1950 et février 2014 (figure 1). Seules les dates après 1979, pour lesquelles les réanalyses ERA-INTERIM du Centre Européen de Prévision existent, ont été étudiées dans le détail. 5 événements antérieurs, bien documentés du point de vue météorologique et renseignés dans la base de données des événements marquants (BDEM) de Météo-France, ont quand même aussi pu être joints à cette liste. Ces dates ont été analysées sur un pas de temps permettant de décrire la trajectoire de déplacement du centre actif, avec une précision estimée de l'ordre du degré de latitude et de longitude. À ces événements météorologiques ont été ajoutées des dates de tempêtes issues des critères de hauteur de niveau marin, hauteur d'états de mer mais aussi de dégâts causés à la côte, identifiées par le SHOM et le Cerema. En tout, 437 événements météo-marins ont ainsi été répertoriés entre janvier 1950 et février 2014 et plus de 750 entre 500 et décembre 1949. Près d'un tiers de ces événements météorologiques récents (environ 160) ont fait l'objet d'une "fiche-tempête" synthétique, décrivant :

- a) les paramètres météorologiques : situation générale, trajectoire de l'événement, description du champ de pression et de vent et des cumuls de précipitations ;
- b) les paramètres hydrodynamiques : niveaux marins enregistrés, états de mer ;
- c) et un inventaire des dégâts connus à la côte et à terre.

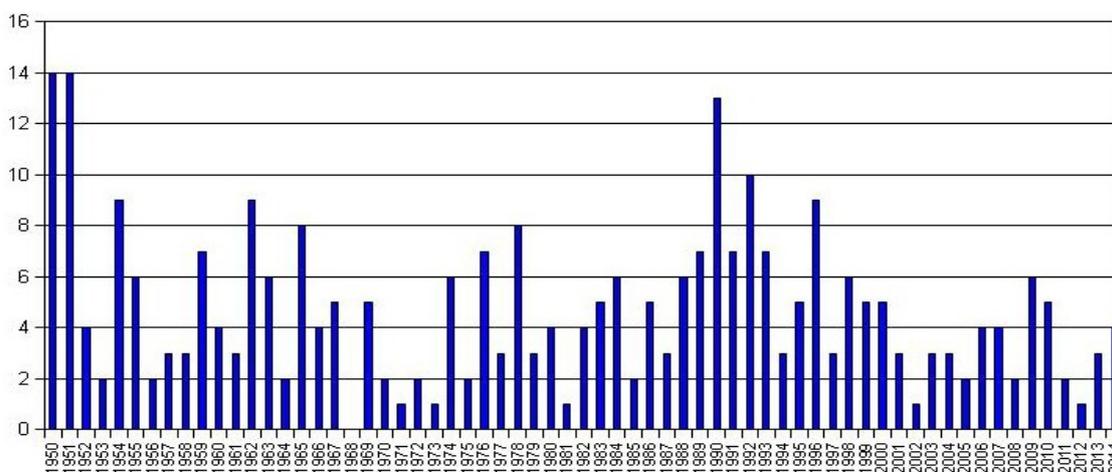


Figure 1. Nombre de dates correspondant à des événements météorologiques susceptibles de provoquer des submersions marines en Bretagne par recherche automatique sur des critères de vents et pression entre janvier 1950 et février 2014.

3. Analyse des tempêtes bretonnes historiques et définition d'une typologie

3.1 Paramètres descriptifs des tempêtes historiques

Chacun des événements météorologiques indépendants, survenus entre 1979 et avril 2012 et des 5 antérieurs bien documentés (147 au total), a été caractérisé dans une base de données composée de 2 types de variables concernant :

- a) l'ensemble de l'événement : localisation des points initial et final, longueur de la trajectoire, durée totale de l'événement, pression minimale et déplacements moyen et maximal du centre dépressionnaire (composantes de vitesses U et V , provenance, module de vitesse, secteur de déplacement) et moyenne des modules de déplacement ;
- b) chaque date-critère de l'événement : pressions minimales du centre dépressionnaire et sur la zone, forces du vent maximales sur les côtes sud et nord, distance du centre dépressionnaire à la pointe de Crozon, à l'estuaire de la Loire et à Jersey au moment du minimum de pression sur la région, déplacement du centre dépressionnaire (U , V , provenance, module et secteur) au moment du minimum de pression. Ainsi, avec la date et l'heure, chaque événement tempétueux est représenté par 32 paramètres, à partir desquels plusieurs typologies des tempêtes ont été testées.

L'intérêt de parvenir à une typologie des tempêtes était de permettre d'une part d'identifier des éléments "typiques" voire "atypiques" et d'autre part d'en expertiser la dangerosité vis-à-vis des risques littoraux.

3.2 Analyse statistique des tempêtes

La procédure de classification mise en œuvre fait intervenir deux méthodes statistiques de classification classiques souvent utilisées ensemble, car complémentaires : la classification hiérarchique ascendante -CAH-, utilisant ici la distance euclidienne et le critère de Ward pour l'agrégation, et le partitionnement par la méthode des "k-means" (méthodes présentées par exemple dans SAPORTA, 2006). La méthode dite "des formes fortes" vient terminer la procédure : elle consiste à identifier tous les événements tempêtes qui ont été classés ensemble dans plusieurs classifications "k-means" pour un nombre de classes fixé et ainsi de repérer des groupes relativement stables (les formes fortes). Les événements tempêtes restants sont ensuite classés dans la forme forte la plus proche avec une dernière classification "k-means", ce qui permet également de s'assurer de la stabilité des regroupements. Deux types de prétraitement des variables ont été testés. Pour le premier, toutes les variables sont centrées et réduites et donc affectées du même poids ; elles sont parfois plus ou moins corrélées entre elles. Pour le second, une analyse factorielle multiple est appliquée, permettant d'obtenir uniquement des variables non corrélées entre elles et de les affecter de poids éventuellement différents. La classification finalement retenue correspond au premier type et utilise les variables suivantes : localisation (latitude et longitude) du point initial et du point final, pression minimale du centre dépressionnaire à la date-critère de l'événement et déplacement

moyen (U_{moy}, V_{moy}) pendant tout l'événement. Des tests de stabilité de la classification et une analyse experte ont permis de retenir un nombre de 7 classes de tempêtes. Au final, 85% des événements tempétueux se trouvent classés dans 7 formes fortes. Les événements restants sont placés dans la forme forte la plus proche.

3.3 Typologie des tempêtes bretonnes

Les 7 classes obtenues comprennent des effectifs assez homogènes (entre 16 et 28 événements tempétueux) et semblent relativement stables après la dernière classification kmeans. Parmi les 7 variables utilisées, celles ayant le plus contribué sont la composante méridienne du déplacement moyen (V_{moy}), la longitude de départ et la latitude d'arrivée. La description des classes de tempêtes fait état :

- pour la classe 1 (19% des cas), de trajectoires de tempête axées OSO/ENE, les plus rapides et les plus longues, débutant très à l'ouest et très au sud et se terminant bien à l'est ; elles passent assez près de la région Bretagne et font partie des tempêtes ayant le plus de vents de vitesse supérieure à 11 (échelle Beaufort) ; on retrouve par exemple dans cette catégorie Lothar (26/12/1999) ou Joachim (16/12/2011) ;
- pour la classe 2 (13,5% des cas), des trajectoires de tempête débutant très à l'ouest et restant assez nord, les plus longues et de pressions les plus creuses, générant d'importants états de mer, comme lors de la tempête Johanna du 10/03/2008 ;
- pour la classe 3 (13,5% des cas), des trajectoires de tempête d'orientation N/S très marquée (voire NE/SO), les plus courtes en longueur et en durée, avec les pressions les moins basses et le moins de vents de vitesse supérieure à 11 (échelle Beaufort) ;
- pour la classe 4 (14% des cas), des trajectoires de tempête orientées ONO/ESE à composante nord, avec des déplacements rapides et passant près de la région (proches de Jersey et de l'estuaire de la Loire), notamment le cas de Martin (27/12/1999) ;
- pour la classe 5 (13% des cas), des trajectoires de tempête débutant un peu moins ouest que la moyenne mais très au nord et se terminant très à l'est, plutôt courtes en longueur et circulant dans l'ensemble très loin de la région et lentement ;

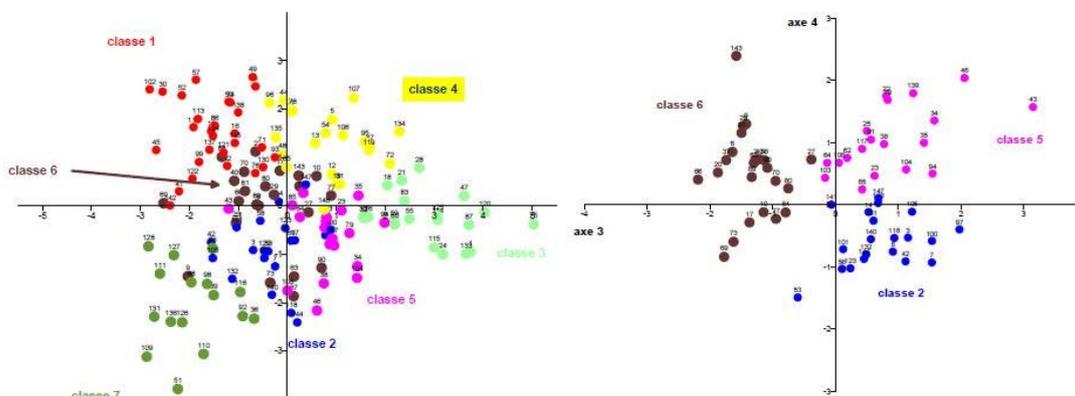


Figure 2. Projection des événements tempétueux sur le premier plan factoriel (à gauche) et zoom des classes 2, 5 et 6 sur le plan P3,4 (à droite).

- f) pour la classe 6 (16% des cas), de trajectoires de tempête de composante sud marquée, plutôt courtes en longueur et circulant dans l'ensemble très près de la région (en particulier de la pointe de Crozon) avec les pressions les plus basses sur la région mais des vitesses de vent pas nécessairement excessives (classe avec le plus de vents de moins de 10 Beaufort), ce qui n'exclut pas pour certaines tempêtes de cette classe des vents de 11 Beaufort et plus sur la côte sud, comme dans le cas des exemples marquants du 15 octobre 1987 et du 6 juillet 1969 ;
- g) et pour la classe 7 (11% des cas), de trajectoires de tempête de composante sud assez marquée, se terminant très au nord et sur le proche ouest et passant donc finalement assez loin de la Bretagne. Cependant les centres dépressionnaires sont les plus "creux", ceux qui engendrent des vents de plus de 11 Beaufort.

4. Critique de la typologie obtenue et recherche de clones historiques

Les événements récents de décembre 2013 à février 2014 ont rappelé à la Bretagne son exposition aux risques littoraux. Sur 7 événements survenus dans cette période répondant aux critères de la typologie, les 6 premiers sont de classe 1 (trajectoire Sud-ouest/Nord-est de l'Atlantique aux îles britanniques) alors que le dernier, le 28 février (Andrea), est de classe 3 (trajectoire de l'Irlande vers le centre de la France). Malgré les dégâts constatés ces derniers mois, il faut garder en mémoire qu'on a encore échappé au pire : tous les facteurs aggravants (fortes vagues, tempête, forte marée et surcote importante) n'ont heureusement jamais été réunis lors de cette période agitée. Reste que cette "série de tempêtes" n'est pas intégrée à ce jour dans la typologie proposée, qui considère chaque événement comme étant indépendant des autres. Pourtant le littoral et les ouvrages côtiers subissent des attaques répétées et quasi-continues, ne laissant pas un temps suffisant pour la résilience. Cette succession de tempêtes s'est pourtant déjà produite lors de l'hiver 1990 provoquant aussi de nombreux dégâts à la côte ; les 13 tempêtes identifiées sur la période relèvent essentiellement des classes 7, 1 et 6 et avaient globalement des vents plus forts (vitesses maximales atteintes) et des pressions plus faibles. Cependant, ces tempêtes n'étaient pas concomitantes avec des marées de vives-eaux équinoxiales ; seule une tempête renseignée correspondait à un coefficient de marée supérieur à 100. Les travaux à venir examineront la possibilité de traduire physiquement et "météorologiquement" cette dépendance de tempêtes successives et d'intégrer les autres paramètres hydrodynamiques et de dégâts côtiers dans l'analyse de la typologie.

Un autre axe de développement concerne l'amélioration de la comparaison automatique des signatures de tempêtes. En effet, la tempête Martin, tristement célèbre pour avoir provoqué un incident nucléaire de niveau 2 à cause d'une inondation à la centrale nucléaire du Blayais, a traversé la Bretagne et la France en se creusant le 27 décembre 1999 dans l'après-midi et la soirée mais (figure 3, haut) en se déplaçant très vite. Pendant l'événement, le vent souffle très fort avec un maximum enregistré de 151 km/h

à Belle-Ile et une pression atmosphérique minimale de 966 hPa sur Rennes. À l'époque, faute de connaissance suffisante du passé, on pouvait légitimement parler de phénomène "jamais vu". Pourtant, les 8 et 9 janvier 1924, une dépression assez similaire en intensité et trajectoire avait longé la côte sud de la Bretagne. Les journaux de l'époque (Ouest Éclair, La Croix, Le Phare de la Loire) faisaient état de plusieurs victimes et de nombreux dégâts matériels : ouvrages portuaires démolis, nombreuses submersions dans le Finistère, le Morbihan et en Vendée et fort recul du trait de côte en Vendée. L'analyse fine des observations météorologiques de l'époque récemment "exhumées" permet de reconstituer fidèlement la trajectoire de la dépression (figure 3, bas). On remarque une certaine similitude entre ces deux tempêtes notamment en termes de trajectoire. Il est donc primordial de garder en mémoire les caractéristiques de ces événements anciens pour montrer qu'ils sont plausibles puisque déjà survenus et de les mettre à disposition des différents acteurs de la vigilance vagues-submersions. Les impacts à la côte dépendront bien sûr du croisement avec les paramètres hydrodynamiques (niveaux marins, vagues) et pourront être différents malgré un phénomène météorologique globalement similaire.

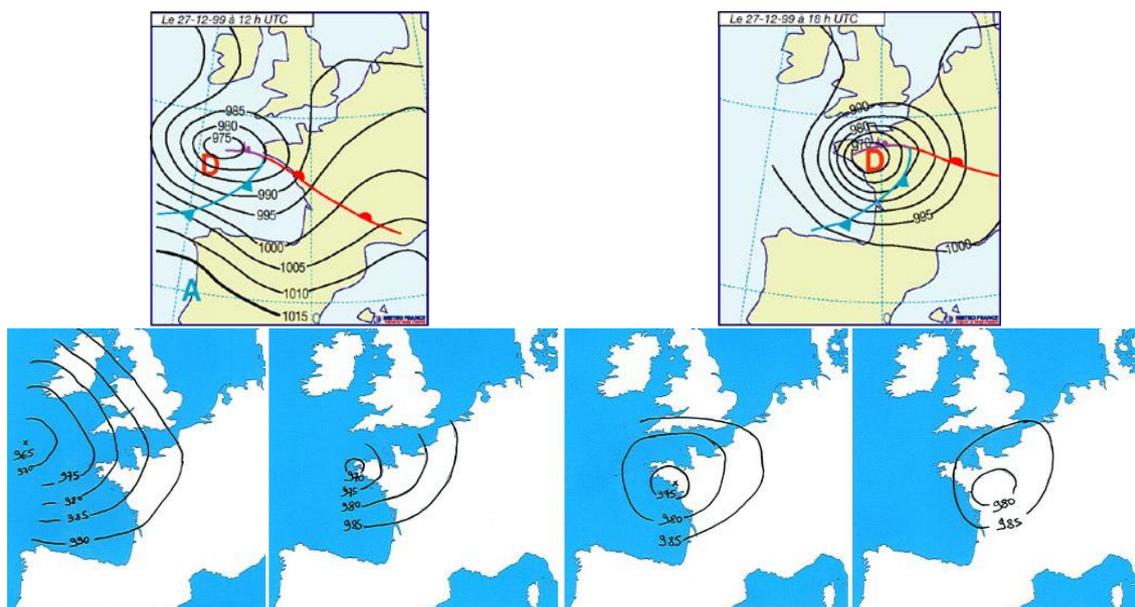


Figure 3. Situation générale (pression-mer) lors des événements du 27 décembre 1999 (en haut) à 12h et 18h UTC et des 8 et 9 janvier 1924 (en bas) à 18h UTC puis à 4h, 7h et 12h UTC, expertisée par Météo-France à partir des observations et des BQE.

5. Conclusion

À travers cette documentation précise du passé, l'analyse des tempêtes historiques bretonnes permet d'améliorer sensiblement la gestion des risques littoraux et en particulier le dispositif de vigilance vagues-submersions. Elle rappelle que certains

Thème 7 – Risques côtiers

phénomènes dits "extrêmes" se sont déjà produits, sont très bien décrits dans la littérature et pourraient très bien se reproduire à l'avenir, dans des configurations potentiellement plus défavorables. Ce travail a permis de (re)mettre en lumière certains épisodes critiques, plus ou moins oubliés, notamment la tempête du 6 juillet 1969 et "l'ouragan" du 15 octobre 1987, événements soudains et violents, qui ont fortement éprouvé la Bretagne, avec respectivement une trentaine et une quinzaine de victimes. L'ouragan de 1987 détient notamment le record de minimum de pression enregistré à l'observatoire météorologique de Brest avec 948 hPa et une surcote instantanée maximale de l'ordre de 1,50 m à Brest, obtenue peu de temps après la marée haute mais lors d'un coefficient faible (30). L'histoire nous amène à penser que même si nous avons heureusement échappé "de peu" à des phénomènes dramatiques, il faut nous préparer à s'y confronter car leur probabilité de survenance est loin d'être nulle. Ce travail sera prochainement complété par des analyses de scénarii de tempêtes fictives, mélangeant champs de vent et pression importants mais probables, car issus de tempêtes réelles, à des conditions marégraphiques défavorables (pleine mer de vives-eaux) pour améliorer notre connaissance des conséquences possibles de ces vipers. Ces simulations pourront être exploitées dans le cadre de la cartographie de l'aléa extrême de la Directive Inondations. Certaines questions scientifiques liées à la probabilisation des événements fictifs mais plausibles simulés restent à ce jour en suspens pour pouvoir intégrer ces niveaux marins, surcotes et états de mer dans les calculs statistiques d'évaluation des extrêmes.

6. Remerciements

L'équipe-projet remercie la DREAL et la Région Bretagne qui soutiennent et pilotent activement le projet, ainsi que les partenaires proches que sont l'IRSN et EDF R&D qui apportent leur éclairage sur la représentativité des tempêtes fictives et les possibilités statistiques d'évaluation des extrêmes. Ces partenaires seront plus amplement mobilisés lors de la phase 2 du projet VIMERS qui appréhendera la vulnérabilité des territoires.

7. Références bibliographiques

BARAER F., LE CAM H., MADEC T. (2013). *Étude des tempêtes menaçant le littoral breton*. Rapport d'étude VIMERS 0. Météo-France.

GOUTX D., BARAER F., ROCHE A., JAN G. (2014). *Ces tempêtes extrêmes que l'histoire ne nous a pas encore dévoilées*. La Houille Blanche, n° 2, pp 27-33.

<http://dx.doi.org/10.1051/lhb/2014013>

SAPORTA G. (2006). *Probabilités, Analyse des données et Statistiques*