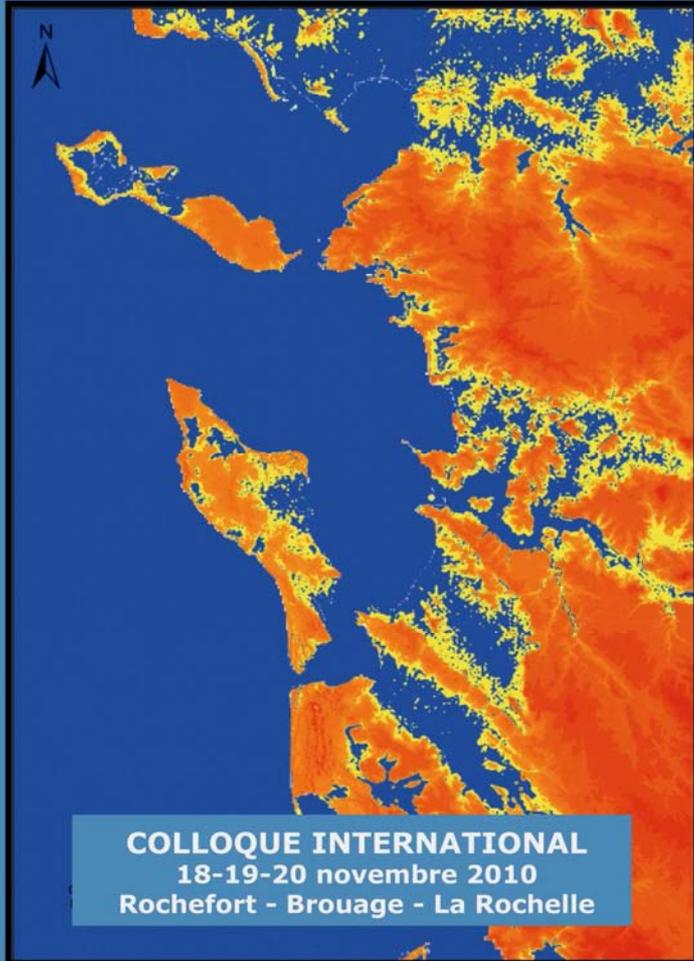


LES LITTORAUX A L'HEURE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Rochefort - Corderie Royale - CIM
Brouage - La Halle aux Vivres
La Rochelle - Université - FLLash Amphi 400

Contacts :

echaumil@univ-lr.fr
egarnier.cea-cnrs@orange.fr
maugeron@univ-lr.fr



Colloque international

« Les littoraux à l'heure du changement climatique »

Rochefort, Brouage, La Rochelle, 18, 19 et 20 Novembre 2010

Comité scientifique

Mickaël AUGERON, Historien, Université de La Rochelle, groupe de recherche SUBMERSIONS
Eric CHAUMILLON, Géologue marin, CNRS 6250 LIENSs, Université de La Rochelle
Thierry SAUZEAU, Historien, Université de Poitiers
Emmanuel GARNIER, Historien du climat, IUF, LSCE (CEA-CNRS-IPSL-UVSQ), CRHQ CNRS-Université de Caen, groupe de recherche SUBMERSIONS
Emmanuel Le ROY LADURIE, Historien du climat, Collège de France
Hervé Le TREUT, Climatologue, Institut Pierre Simon Laplace

Comité d'organisation

Eric CHAUMILLON, Géologue marin, UMR CNRS 6250 LIENSs, Université de La Rochelle
Thierry SAUZEAU, Historien, Université de Poitiers
Emmanuel de FONTAINIEU, Directeur de la Corderie Royale (Rochefort), groupe de recherche SUBMERSIONS
Arnaud DAUTRICOURT, Chef de Projet de la Corderie Royale (Rochefort)
Emmanuel GARNIER, Historien du climat, CRHQ CNRS-Université de Caen, IUF, LSCE (CEA-CNRSIPSL-UVSQ)
Frédéric SURVILLE, Coordinateur de la publication du Journal météorologique de Lambertz (ed. du Croît Vif), groupe de recherche SUBMERSIONS

Contact et renseignements

Armelle Combaud tel : 05 46 45 72 08 acombaud@univ-lr.fr

Résumés – Abstracts

Table des matières

Maria Joao ALCOFORADO. RECONSTRUCTION DE TEMPÊTES HISTORIQUES SUR LE LITTORAL PORTUGAIS	9
Xavier BERTIN. EVOLUTIONS A LONG TERME DU CLIMAT DE HOULE, IMPLICATION SUR LES EQUILIBRES SEDIMENTAIRES COTIERS	11
Dario CAMUFFO and Chiara BERTOLIN. THE RISK OF SUBMERSION IN VENICE IN THE HISTORY AND THE MOSE PROJECT	13
Eric CHAUMILLON. EVOLUTIONS DES COTES CHARENTAISES, UN MODELE POUR L'IMPACT DES CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX SUR LES SYSTEMES COTIERS	15
Valérie DAVID. LE PLANCTON, INDICATEUR DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	17
Pascale DELECLUZE. LE ROLE DES OCEANS DANS LE SYSTEME CLIMATIQUE	19
Jeremy DESARTHE. LES SOCIETES BRETONNES FACE AUX TEMPETES XVI ^e -XIX ^e	21
Emmanuel GARNIER. LA MESURE DU RISQUE DE SUBMERSION ET DE RAZ-DE-MAREE SUR LES LITTORAUX FRANÇAIS ET EUROPEENS XVII ^e -XX ^e SIECLES	23
Hervé LE TREUT. CHANGEMENTS CLIMATIQUES : LE DIAGNOSTIQUE DES MODELES, CERTITUDES ET INCERTITUDES	25
Michel METAIS. LES ENSEIGNEMENTS DE XYNTHIA SUR LES RESERVES NATURELLES DU LITTORAL CHARENTAIS	27
Frédéric POUGET. MOBILITE DU TRAIT DE COTE ET CARTOGRAPHIE HISTORIQUE	29
William PROUST. LES LITTORAUX A L'HEURE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE « Vision d'un gestionnaire du Littoral	31
Thierry SAUZEAU. HISTOIRE DES PAYSAGES LITTORAUX DU CENTRE-OUEST : CONSTRUCTION, PROTECTION ET GESTION D'UN ENVIRONNEMENT	33
Bernadette TESSIER. BEHAVIOUR AND LONG-TERM EVOLUTION OF ESTUARINE SYSTEMS	35
Dirk-Jan WALSTRA and Dano ROELVINK. INVESTIGATING MARINE AND ALLUVIAL INLET SYSTEMS USING A PROCESS-BASED MORPHODYNAMIC MODEL	37
Guy WOPPELMANN. MESURES ET EVOLUTION RECENTE DU NIVEAU DE LA MER	39

RECONSTRUCTION DE TEMPÊTES HISTORIQUES SUR LE LITTORAL PORTUGAIS

Maria Joao ALCOFORADO ¹

Géographe, Professeur à l'Institut de Géographie et Aménagement du Territoire de l'Université de Lisbonne

Dennis WHEELER

Géographe, Université de Sunderland

¹Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Centro de Estudos Geográficos, Edifício da Faculdade de Letras, Alameda da Universidade, 1600-214 Lisboa- Portugal. mjalcoforado@campus.ul.pt



Résumé–

Objectif de la reconstruction

L'étude des catastrophes anciennes peut permettre d'établir une chronologie fiable, où on peut éventuellement reconnaître des tendances, pouvant servir de base à l'établissement de modèles pour les événements futurs et pour comprendre la relation liant la fréquence des tempêtes aux variations climatiques de grande ampleur (Brázdil et al., 2005, Wheeler et al., 2010). Ces tempêtes et les inondations littorales qui leur sont associées peuvent provoquer des morts et de sévères dommages aux propriétés. Une meilleure connaissance de leur incidence et de leur comportement sont aussi nécessaires pour tenter d'atténuer les risques encourus.

Il ne paraît pas y avoir de tendance à long terme dans la fréquence des tempêtes aux latitudes moyennes, mais une variabilité accentuée a été proposée par les auteurs qui ont étudié de longues séries en Suède (Barring , Fortuniak, 2009) et au Portugal (Andrade et al., 1996). En outre, Trigo et al. (2008) ont vérifié l'existence d'une relation directe entre les tendances mensuelles et saisonnières des cyclones et vitesse du vent (de 1960 à 2000) et la hauteur des vagues dans le secteur Euro-Atlantique.

À partir de notre recherche sur la reconstruction climatique depuis 1675 (Alcoforado et al., 2000 ; Taborda et al., 2004) et de notre participation à l'étude de trois sévères tempêtes d'hiver ayant affecté l'Europe au début du XVIIIe siècle (Pfister et al., 2010), nous avons reconnu que des lacunes significatives persistaient dans la connaissance des tempêtes portugaises de la période pré-instrumentale.

La présente communication montre les premiers pas d'une recherche en cours, en présentant les sources utilisées, une liste provisoire des tempêtes et quelques exemples d'événements dévastateurs sur la côte portugaise de l'Atlantique.

Principales sources utilisées

Dans les époques reculées, les événements météorologiques extrêmes, en particulier les sécheresses accentuées et les fortes précipitations provoquant des pertes matérielles, famines, maladies, morts et troubles sociaux, étaient considérés comme des châtements de Dieu, dus aux fautes et aux péchés des hommes. On trouve donc des données très précieuses dans des textes écrits par des membres de l'élite religieuse. Mais ces tempêtes sont aussi signalées par des personnes cultivées n'appartenant pas à l'Église et par les journaux portugais. En outre, on dispose, au même moment, de données objectives sur l'activité des tempêtes dans les comptes rendus inclus dans les logbooks (journaux de bord) de la Royal Navy. Depuis la fin du XVIIe siècle, ses vaisseaux visitaient régulièrement les ports du Portugal. Leurs journaux de bord fournissent des données journalières sur la force et la direction du vent, ainsi que des notes sur les conséquences des tempêtes, comme les naufrages et les dommages causés aux navires.

On a utilisé des sources directes comportant des faits d'observation (selon la classification des sources documentaires par Pfister et al., 1999) : des informations sur des anomalies

météorologiques (concernant le vent et les pluies torrentielles dans la zone côtière et la mer proche) et leur impact sur la société contemporaine (destructions et morts).

On a utilisé les sources directes suivantes (voir les références dans Alcoforado et al., 2000 et Pfister et al., 2010) : (i) des sources écrites individuelles, dues à des membres des élites sociales et religieuses du XVIIe siècle, y compris deux longs poèmes ; (ii) des sources ecclésiastiques institutionnelles venant des cathédrales de Lisbonne et de Évora, ainsi que d'autres manuscrits consacrés aux cérémonies de rogation *pro-pluvia* et *pro-serenitate* ; (iii) des sources municipales institutionnelles, comme les minutes des mairies de Évora et Lisbonne, fournissant des données sur les conséquences des tempêtes et sur les mesures prises pour combattre leurs conséquences négatives ; (v) la presse périodique ; (vi) les témoignages complémentaires des journaux de bord de la Royal Navy (Wheeler, 2004).

Liste chronologique provisoire des tempêtes et cas étudiés au XVIIIe siècle

La liste actuelle des tempêtes sévères et dévastatrice va être présentée. Jusqu'ici, les informations les plus détaillées et intéressantes concernent le début du XVIIIe siècle. On a sélectionné six tempêtes de pluie et de vent, pour lesquelles existent des données explicites sur leurs conséquences sur la partie terminale des rivières et sur les bateaux navigant au long de la côte ou ancrés dans les ports (Lisbonne, le plus souvent) : 26 décembre 1708, 13 janvier et 19 novembre 1724, 26 septembre 1729, 6 février 1731 et 3-6 décembre 1739, qui est probablement l'épisode le plus dévastateur (tempête Barbara, fig.1) .

EVOLUTIONS A LONG TERME DU CLIMAT DE HOULE, IMPLICATION SUR LES EQUILIBRES SEDIMENTAIRES COTIERS

Xavier BERTIN

Chargé de recherche CNRS, Océanographie côtière et dynamique sédimentaire

UMR 6250 LIENSs, CNRS-Université de La Rochelle

2 Rue Olympe de Gouges,

17000 La Rochelle, France

e-mail : xbertin@univ-lr.fr



Résumé -

En se propageant à la surface des océans, la houle transporte l'énergie accumulée lors des tempêtes et la dissipe à travers de nombreux processus, dont la compréhension et la quantification est primordiale pour de nombreux problèmes environnementaux et d'ingénierie. Par exemple, dans les zones côtières, le déferlement des vagues induit des gradients de tension de radiation à l'origine de courants longitudinaux, de courants sagittaux et de courants de retour par le fond, qui génèrent des flux sédimentaires et des évolutions morphologiques importants. Ces processus étant principalement contrôlés par la hauteur (ou l'énergie), la direction et la période (ou la longueur d'onde) des vagues, il apparaît essentiel de connaître les variabilités temporelle et spatiale de ces paramètres, d'autant plus que celles-ci sont susceptibles d'évoluer en réponse au changement climatique. Malheureusement, les enregistrements de houle sont généralement trop épars et discontinus pour permettre une étude raisonnable de cette variabilité. Ce constat est particulièrement valable dans l'atlantique nord-est, où malgré les nombreux usages des eaux et des littoraux, les enregistrements sont très discontinus avant 1990 et quasiment inexistant avant 1980.

Cette étude présente les résultats d'une simulation numérique rétrospective de la houle entre 1952 et 2010, basée sur un modèle régional couvrant l'Atlantique Nord. Les hauteurs significatives H_s , périodes de pic T_p et directions moyennes D_{ir} montrent de fortes variabilités interannuelles, particulièrement lorsque les moyennes hivernales sont considérées. L'analyse par régression linéaire des moyennes hivernales de ces paramètres entre 1952 et 2010 montre : (1) une augmentation des hauteurs significatives qui atteint + 0.70 m au Nord-ouest de l'Irlande et contraste avec une légère diminution au niveau des Açores; (2) une augmentation des périodes de pic allant jusqu'à + 0.7 s dans la partie sud du Golfe de Gascogne et (3) une rotation horaire des directions moyennes aux latitudes sud, atteignant 8° au sud des Açores. La comparaison des séries temporelles de ces paramètres avec les moyennes hivernales de l'indice de l'oscillation nord Atlantique (ONA) révèle : (1) une corrélation positive entre l'indice ONA et H_s , aux latitudes nord, l'absence de corrélation autour de 45°N et une corrélation négative aux latitudes sud; (2) une corrélation positive entre l'indice ONA et T_p , qui augmente également du sud au nord et (3) une faible corrélation entre l'indice ONA et D_{ir} aux latitudes nord et une corrélation positive aux latitudes sud. Compte tenu de ces corrélations, les tendances à long terme des paramètres de la houle sont expliquées par une augmentation de l'indice ONA au cours de la seconde moitié du XX^{ème} siècle.

Aux latitudes nord, l'augmentation de l'énergie des vagues en hiver sur la période de notre étude constitue une piste inédite pour expliquer l'intensification de l'érosion côtière au cours des dernières décennies. En effet, celle-ci est classiquement expliquée par l'élévation du niveau marin combinée au tarissement des apports sédimentaires en réponse à la construction de barrages sur les principaux fleuves Européens. Cependant, l'élévation modérée du niveau marin (de l'ordre de 1 à 2 mm/an) et le fait que de nombreuses plages en érosion soient déconnectées de tout système de drainage continental suggèrent que ces explications classiques ne sont pas suffisantes pour expliquer des taux de recul atteignant localement plusieurs mètres par an. A l'inverse, une augmentation de l'énergie des vagues a pu induire un déplacement vers le large des stocks sédimentaires littoraux et expliquer une grande partie de l'érosion constatée. L'augmentation de l'énergie des vagues aux latitudes nord a été attribuée à une augmentation de l'indice NAO sur la période 1952-2009, la fin

des années 80 ayant connu les configurations NAO les plus positives jamais enregistrées au cours des 150 dernières années. A l'inverse, l'année 2010 a connu la situation NAO la plus négative jamais enregistrée, ce qui suggère que les tendances à long terme dégagées dans cette étude ne peuvent pas être extrapolées pour le futur. Cette étude révèle néanmoins que la houle présente une variabilité interannuelle considérable et difficilement prévisible, ce qui devra être pris en compte lors de l'analyse des différents scénarii de changement climatique.

Remerciements – Les résultats présentés dans cette étude sont le fruit d'un travail initié au Laboratoire National d'Ingénierie Civile du Portugal en collaboration avec l'Université de Lisbonne (Prof. Rui Taborda), dans le cadre du stage de recherche, puis de la thèse de doctorat de Guillaume Dodet, que je codirige avec les collègues Portugais.

THE RISK OF SUBMERSION IN VENICE IN THE HISTORY AND THE MOSE PROJECT Le risque de submersion historique à Venise et le Projet MOSE

Dario CAMUFFO¹ and Chiara BERTOLIN²

¹Physicist, Directeur de Recherche Emérite

²Astronomer, Chercheur

CNR - Institute des Sciences de l'Atmosphère et du Climat

35127, Padoue, Italie d.camuffo@isac.cnr.it



Abstract -

The ongoing global warming is a tremendous challenge for the coastal areas likely to be submersed by the sea level rise. The city of Venice is at highest risk for the combination of two factors: land subsidence and thermal expansion of oceanic water due to Global Warming. The land subsidence is mainly due to tectonic motions and has constant rate, estimated between 1 to 1.3 mm yr⁻¹, since millions of years (Bondesan et al., 2001; Carbognin et al., 2004; Carminati et al., 2007). The relative sea level rise (RSLR) is the sea level perceived by Venetians, i.e. viewed from a reference frame fixed to the city, e.g. a tide gauge. In the period 1872-2009 the local tide gauge has recorded 334 mm RSLR (Fig.1), corresponding to 2.4 mm yr⁻¹ average rate. A worsening occurred from 1930 to 1975 for an uncontrolled extraction of groundwater and new canal excavation; after that period some rebounding of groundwater improved the situation in the recent years (Camuffo and Sturaro, 2004).

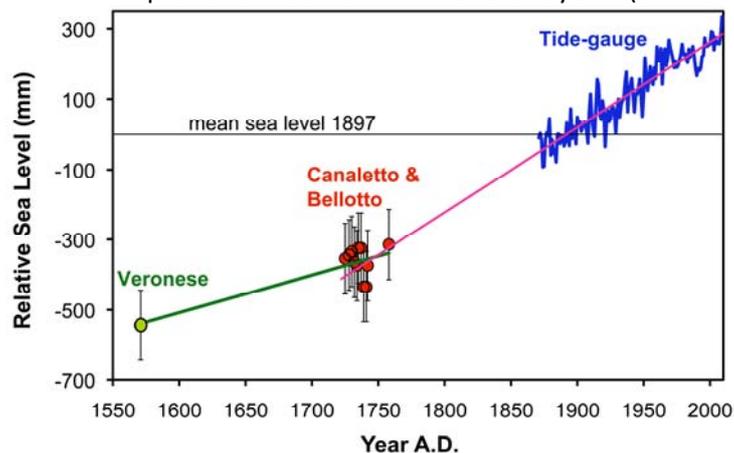


Fig.1 Relative Sea Level in Venice from Tide Gauge readings (blue), from the algae belt displacement in the paintings by Veronese (green) and Canaletto and Bellotto (red).

When a Low Pressure lies over the Western Mediterranean, the Sirocco wind blows along the Adriatic Sea, causing severe surges, dragging water towards Venice and flooding the city. In the past centuries, when the sea level was much lower, sea floods were exceptional events. This is known after the careful documentation from written sources existing in Venice and including the flooding tides over the last millennium (Enzi and Camuffo, 1995). The plot of the flooding surge frequency (Fig.2) had two historical maximums, i.e. in the 16th century and in the turn between the 18th and 19th century; since the mid of the 20th century the frequency had an exponential increase that is continuing today. The increasing number of flooding surges over the centuries is evident in the plot of the cumulative number of flooding surges, where we can see 0.07 surges per year at the beginning of the series, whilst today their frequency has increased to 4.35 per year (Fig3).

The flooding surge frequency is related to both the relative sea level and the Sirocco wind. To protect Venice, a system with mobile dams has been planned, nicknamed MOSE. More exactly, the MOSE consists of a system of 79 mobile barriers designed to protect the three entrances to the Lagoon.

The barriers will stay on the sea floor until surges with high tides are forecasted. The mobile barriers will then be inflated with air with the result of blocking the lagoon from the sea and avoiding the

penetration of water from the sea. This will be a temporary remedy activated every time a flooding surge is arriving. This will reduce the occurrence and the impact of such adverse events, although it will not be possible to avoid all of them (Pirazzoli, 2002; Nosengo, 2003).

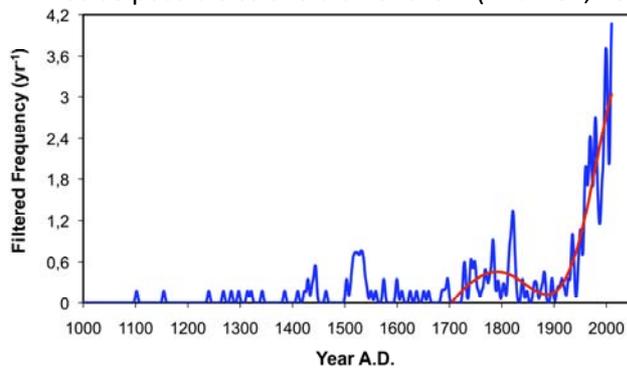


Fig.2 Frequency of the flooding sea surges at Venice over the last millennium

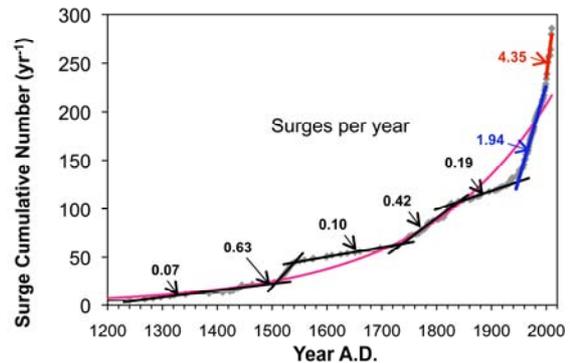


Fig.3 Cumulative number of the occurrence of flooding surges at Venice. The average number per year is reported per each sub-period.

The MOSE will be concluded in some ten years, and will operate for some decades. To this aim it is crucial to produce forecasts of the future RSLR to which the MOSE should resist, and the reliability of our forecasts crucially depends on our knowledge about the rate the sea level change in the past centuries. Regular instrumental sea level observations exist since 1872. A unique opportunity is provided by the accurate paintings by Paolo Caliari nicknamed Veronese (1528-1588), Antonio Canal nicknamed Canaletto (1697-1768) and Bernardo Bellotto (1720-1780), drawn with the aid of the camera obscura (Camuffo and Sturaro, 2003; Camuffo, 2010). The paintings accurately reproduce with high precision all details, including the algae belt. From the analysis of these paintings, compared with the algae level today, we can extend our knowledge about Venice submersion back in time till 1571 (Fig1). Since the Canaletto's time, i.e. first half of the XVIII century, the ASLR=61±11 cm. In this period the average submersion rate of the city was 1.9 mm yr⁻¹. About half of the ASLR is due to land subsidence, the other to thermal expansion of oceanic water. In the period elapsed between Veronese and Canaletto, i.e. from 1571 to the first half of the XVIII century, the average submersion rate of the city was 1.2 mm yr⁻¹, mostly due to land subsidence. The results are in excellent agreement with the estimation made by Ammerman (2005) from archaeological remains in the Venice Lagoon.

Références bibliographiques –

- Ammerman AJ (2005) *The third dimension in Venice in: CA Fletcher and T Spencer (eds), Flooding and Environmental Challenges for Venice: State of Knowledge. Cambridge University Press, Cambridge, 107-115.*
- Bondesan M, Marco Gatti M, Russo P (2001) *Vertical Ground Movements Obtained from IGM Levelling Surveys, in G.B. Castiglioni and G.B. Pellegrini (eds.), Illustrative Notes of the Geomorphological Map of the Po Plain, Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat. 4 : 141-148.*
- Camuffo D (2010) *Le niveau de la mer à Venise d'après l'œuvre picturale de Véronèse, Canaletto et Bellotto. Révue d'Histoire Moderne et Contemporaine, 57(3), 92-110.*
- Camuffo D, Sturaro G (2003) *Sixty-cm submersion of Venice discovered thanks to Canaletto's paintings. Climatic Change, 58 : 333-343.*
- Camuffo D, Sturaro G (2004) *Use of proxy-documentary and instrumental data to assess the risk factors leading to sea flooding in Venice, Global and Planetary Change, 40: 93-103.*
- Carbognin L, Teatini P, Tosi L (2004) *Eustasy and land subsidence at the beginning of the new millennium», Journal of Marine Systems 51 (1-4) : 345-353.*
- Carminati E, Enzi S, Camuffo D (2007) *A study on the effects of seismicity on subsidence in foreland basins: An application to the Venice area. Global and Planetary Change, 55: 237-250.*
- Enzi S, Camuffo D (1995) *Documentary Sources of Sea Surges in Venice from A.D. 787 to 1867, Natural Hazards, 12 : 225-287.*
- Nosengo N (2003) *Venice Floods: Save our City!» Nature 424 : 608-609, doi:10.1038/424608a*
- Pirazzoli P (2002) *Did the Italian government approve an obsolete project to save Venice?» Eos, 83 (20) : 217-223.*

LES EVOLUTIONS DES COTES CHARENTAISES, UN MODELE POUR L'IMPACT DES CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX SUR LES SYSTEMES COTIERS

Eric CHAUMILLON¹

Maître de Conférences, Géologie marine

Responsable de l'équipe Dynamique Physique du Littoral (UMR 6250 LIENSs)

Directeur adjoint de la Fédération de Recherche Environnement et

Développement Durable, FR CNRS 3097

¹Université de La Rochelle, UMR CNRS 6250 LIENSs, 2 Rue Olympe de Gougues, 17000 La Rochelle, France, eric.chaumillon@univ-lr.fr



Résumé –

Une grande partie de la population mondiale vit à proximité de la zone littorale, or le recul de nombreuses côtes pourrait s'accélérer en raison des changements climatiques et de la remontée globale du niveau marin. Les évolutions morphologiques des côtes varient en fonction des variations du niveau marin, des mouvements verticaux de la lithosphère et du budget sédimentaire. Le budget sédimentaire est quant à lui contrôlé par les facteurs hydrodynamiques marins (houle et marée), le vent, les dimensions des fleuves et des bassins versants, or ces facteurs varient à de multiples échelles de temps en fonction des changements climatiques et des activités humaines.

Les côtes charentaises sont un excellent modèle d'étude car elles rassemblent sur un territoire relativement réduit la plupart des catégories d'environnements côtiers tempérés. De plus ces côtes sont extrêmement mobiles ce qui autorise la valorisation de données historiques et des mesures récurrentes fréquentes pour mettre en évidence des évolutions significatives. Enfin la proximité de ce littoral par rapport au laboratoire de l'Université de La Rochelle permet de réaliser de nombreuses campagnes de mesures adaptées aux conditions météorologiques ce qui est déterminant pour le succès des travaux de recherche.

1- La formation et l'évolution des vallées incisées contrôlée par les variations globales du niveau marin

A l'heure actuelle le niveau moyen des océans augmente, ce qui est une menace pour les côtes basses et en particulier les estuaires. Les estuaires sont des segments de vallées incisées, c'est à dire des dépressions topographiques creusées par les fleuves et partiellement ennoyées lors des périodes de hausse du niveau marin. Sur des échelles de temps millénaires, ce sont les variations du niveau marin qui sont le facteur de contrôle principal de la formation et du comblement des vallées incisées. Sur les côtes charentaises, ces variations du niveau marin ont entraîné des migrations considérables du trait de côte et ces côtes offrent la possibilité de mettre en évidence de nombreux marqueurs des variations récentes du niveau marin (Allard et al., 2008a, Chaumillon et Weber, 2006, Weber et al, 2004).

2- L'homme facteur de contrôle du comblement des estuaires ?

L'envasement des environnements côtiers influencés par les apports sédimentaires continentaux est observé à une échelle globale. Ce phénomène peut être très dommageable à la fois pour les activités humaines et pour les écosystèmes. Il peut-être lié à la déforestation ou à une augmentation des précipitations ou à une expulsion du bouchon vaseux des estuaires en raison de leur comblement sédimentaire. Les côtes charentaises permettent d'étudier ce type d'envasement qui commence sa mise en place vers 1400 après JC et semble être déclenchée par la dernière grande période de déforestation massive en France qui lui est synchrone. Cette interprétation est confirmée par de nombreuses études qui montrent que la mise en place d'envasements similaires, dans des environnements côtiers repartis sur l'ensemble du globe, suit les épisodes de déforestations massives (Poirier, 2010).

Pour des périodes plus récentes (deux derniers siècles) les évolutions morphologiques de la Baie de Marennes-Oléron couplées à de la modélisation numérique des courants de marée montrent que le

comblement naturel de cette baie a été amplifié par la poldérisation et l'ostréiculture (Bertin et al., 2005).

3- Les conséquences des changements climatiques récents sur les évolutions des environnements côtiers

Pendant l'épisode d'envasement récent des pertuis charentais, une augmentation brutale du taux de sédimentation de la vase a été observée et intervient vers 1780 après JC, soit environ 30 ans après l'épisode d'augmentation des pluies hivernales le plus intense des 500 dernières années. Cet exemple montre comment une crise climatique (un épisode pluvieux hivernal d'une cinquantaine d'année) peut avoir des conséquences plus importantes sur un environnement déjà fragilisé par la déforestation. (Poirier, 2010)

Pour les périodes plus récentes (dernières décennies), la modélisation numérique peut être couplée aux évolutions géomorphologiques pour simuler les conséquences des changements climatiques. Un exemple est donné par la Pointe d'Arçay, en Vendée, qui s'allonge à un rythme moyen de 20 m/an depuis 300 ans environ. Dans le détail, la croissance de ce corps sédimentaire varie fortement dans le temps en fonction des apports sédimentaires par la houle, ce qui en fait un véritable « houlographe historique » des évolutions des hauteurs de houles des 300 dernières années (Allard et al., 2008b).

Les côtes charentaises viennent de subir lors des dernières années deux tempêtes d'ampleurs exceptionnelles (Martin et Xynthia) qui ont entraîné des inondations côtières catastrophiques. La modélisation des surcotes en Charente-Maritime a permis de quantifier les contributions respectives des couplages entre le vent, les vagues et le frottement sur le fond (Nicolle et al, 2009). Des améliorations de ces travaux en vue de prévisions à haute résolution sont en cours. Elles utiliseront des données topographiques et des modèles à haute résolution grâce à l'emploi de calculs parallélisés.

Références bibliographiques –

- Allard, J., Chaumillon, E., Poirier, C., Sauriau, P.-G., Weber, O., 2008. Evidence of former sea level in Marennes-Oléron Bay (French Atlantic coast). *C.R. Géosciences*, 340, 306-314.
- Allard J., Bertin X., Chaumillon E., Pouget F., 2008b. Sandspit rhythmic development: a potential record of wave climate variations? Arçay sandspit, western coast of France. *Marine Geology*, 253, 107-131
- Bertin X., Chaumillon E., Sottolichio, A. and Pedreros, A. 2005. Tidal inlet response to sediment infilling of the associated bay and possible implications of human activities: The Marennes-Oléron Bay and Maumusson Inlet, France. *Continental Shelf Research*, Volume 25, Issue 9, 1115-1131.
- Chaumillon, E. & Weber, N., 2006. Spatial variability of modern incised valleys on the French Atlantic coast: Comparison between the Charente (Pertuis d'Antioche) and the Lay-Sèvre (Pertuis Breton) incised-valleys. In: *SEPM Special publication*, 85, *Incised Valleys in Time and Space*, edited by: Robert W. Dalrymple, Dale A. Leckie, and Roderick W. Tillman. 57-85.
- Nicolle, A., Karpytchev, M., Benoit, M., 2009. Amplification of the storm surges in shallow waters of the pertuis Charentais (bay of Biscay, France), *Ocean Dynamics*, v.59, 921-935.
- Poirier, 2010. Enregistrements sédimentaires des changements environnementaux séculaires à millénaires par la micro et la macrofaune benthiques littorales. Thèse de Doctorat de l'Université de La Rochelle.
- Weber, N., Chaumillon, E., Tesson, M. and Garland, T., 2004a. Architecture and morphology of the outer segment of a mixed tide and wave-dominated incised valley, revealed by HR seismic reflection profiling : The paleo-Charente River, France. *Marine Geology*, 207, 17-38.

LE PLANCTON, INDICATEUR DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Valérie DAVID¹

Maître de Conférences, Ecologie aquatique

Equipe Dynamique et Fonctionnement des Ecosystèmes côtiers Anthropisés (UMR 6250 LIENSs)

¹Université de La Rochelle, UMR CNRS 6250 LIENSs, 2 Rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France, valerie.david@univ-lr.fr



Résumé en Français – (Abstract in English)

Le plancton désigne, par définition, l'ensemble des organismes vivants « n'ayant pas d'attache directe avec le fond ou la côte et passant leur vie ou une partie de leur vie dans le milieu liquide dans lequel ils flottent plus ou moins passivement ». Ce compartiment vivant dont l'existence est typiquement aquatique est constitué d'organismes vivants extrêmement diversifiés, microscopiques la plupart du temps, mais peu connus du grand public. Il rassemble toutes les grandes formes d'êtres vivants (des virus, des bactéries, des champignons, des végétaux et des animaux), de taille très variées (du micromètre au mètre) et aux régimes alimentaires disparates (producteurs primaires, herbivores, carnivores, omnivores). Certaines espèces planctoniques peuvent développer des toxines et ainsi représenter un risque environnemental.

Le plancton constitue un compartiment clef des écosystèmes aquatiques pour les autres espèces présentes dans l'eau et notamment celles exploitées par l'Homme. En effet, il représente une ressource alimentaire pour les coquillages et les poissons à différents stades de vie. Leur qualité nutritive va ainsi conditionner la disponibilité des ressources pour les autres espèces et leur éventuelle toxicité peut donc être préjudiciable. En outre, la plupart des autres espèces aquatiques présentent une partie de leur cycle de vie dans le compartiment planctonique.

Ce compartiment biologique se singularise par sa forte réactivité aux paramètres environnementaux et notamment les facteurs climatiques. En effet, les espèces présentent des cycles de vie courts (quelques heures à quelques semaines) impliquant une évolution beaucoup plus rapide que les autres espèces. En outre, elles sont pour la plupart capables de développer des œufs de résistance lorsque les conditions environnementales sont défavorables, qui se déposent sur le sédiment et qui sont capables de se développer à nouveau, des mois à des années plus tard, dès que l'environnement le permet. Cette forte réactivité aux facteurs environnementaux fait de ces organismes planctoniques de bons indicateurs du changement climatique à différentes échelles puisqu'elle leur permet d'intégrer rapidement les fluctuations environnementales. Cette forte réactivité a notamment pu être remarquée dans les marais de Charente-Maritime notamment lors de la tempête Xynthia de février 2010. Il n'a fallu que quelques semaines à la communauté planctonique pour se reconstituer (Tortajada et al., unpubl data) alors qu'une dizaine d'années a été nécessaire pour la reconstitution de la communauté benthique sur l'estran des minimes suite à la tempête de 1999 (Seguignes, unpubl data).

Ainsi, pour des modifications progressives sur le long-terme (notamment celle de la température), les espèces planctoniques vont d'abord voir leur cycle saisonnier modifié - le pic d'abondance déterminé la plupart du temps par ce paramètre pourra être avancé dans l'année. En outre, certaines caractéristiques physiologiques risquent d'être changées pour une saison donnée (âge et taille à maturité sexuelle... ; David et al., 2007a). Toutefois, la réponse des organismes vivants aux fluctuations climatiques sont parfois difficile à comprendre car elle est rarement linéaire et correspond plutôt à un effet seuil. Le cycle saisonnier d'une espèce de copépode, *Acartia tonsa*, a été

profondément modifié dans l'estuaire de la Gironde par la combinaison des changements climatiques et des pressions anthropiques. Cette espèce présente un pic d'abondance automnal comme dans tous les estuaires Nord Européens et un pic secondaire printanier en face de la centrale nucléaire du Blayais où la température de l'eau est localement augmentée de 1°C en moyenne. Ce dernier schéma saisonnier n'est observé que dans les estuaires au Sud de la Gironde (David et al., 2007b).

A terme, le changement climatique peut mener à une modification de la biogéographie des espèces : en fonction de leur préférence environnementaux, l'aire de répartition des espèces planctoniques va se déplacer avec les isothermes et/ou isohalines (Beaugrand et al., 2002). Bien qu'apparemment anodines, ces quelques modifications peuvent rapidement avoir des conséquences sur la chaîne alimentaire : le risque consiste en 1) une incohérence saisonnière pour une modification seule du cycle saisonnier des espèces, ou en 2) une incohérence spatiale entre la présence du prédateur (dont l'évolution est plus lente) et de ses proies planctoniques. Les travaux de Beaugrand et al. (2003) en Mer du Nord ont montré que le fort recrutement des morues de la période 1963-1983 comparé aux périodes précédentes et suivantes était lié à un assemblage planctonique particulier et favorable en terme de biomasse, taille et cycle saisonnier à l'alimentation des juvéniles de morues. Contrairement à la pensée de l'époque, le déclin des morues en Mer du Nord en 1984 n'est pas attribuable à la surpêche mais à une modification des assemblages de proies suite au changement climatique.

L'ensemble de ces observations a mené la communauté des chercheurs planctologues à développer des indicateurs de changement climatique à partir des assemblages planctoniques. Suite à ses travaux, Beaugrand a proposé un indicateur planctonique intégrant des paramètres biologiques important pour la survie des larves de morues (Beaugrand et al., 2003). A plus long-terme, la diversité du plancton enregistré dans les carottes sédimentaires est aussi utilisée en paléo-océanographie pour tracer les grands cycles de variations des changements climatiques à l'échelle de millions d'années (Riegel, 2008).

Néanmoins, cette réactivité peut engendrer des risques pour l'environnement. En effet, des perturbations climatiques sont susceptibles de favoriser des espèces opportunistes, parmi lesquelles certaines peuvent être toxiques pour les autres espèces. La tempête Xynthia *via* le lessivage des terres a notamment entraîné une prolifération de cyanobactéries dans les marais doux et d'algues du genre *Pseudo-nitzschia* dans le Bassin de Marennes-Oléron dont certaines espèces sont à l'origine d'une production de neurotoxines entraînant des interdictions à répétition de consommation de coquillages au printemps dernier (Tortajada et al., unpubl data ; Ryckaert, com pers.).

Références bibliographiques –

- Beaugrand G, Ibanez F, Lindley JA, Reid PC (2002) Diversity of calanoid copepods in the North Atlantic and adjacent seas: species associations and biogeography. *Marine Ecology Progress Series* 232: 179-195
- Beaugrand G, Brander MG, Lindley JA, Souissi S, Reid PC (2003) Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. *Nature* 426: 661-664
- David V, Sautour B, Chardy P (2007a) The paradox between the long-term decrease of the egg mass size of the calanoid copepod *Eurytemora affinis* and its long-term constant abundances in a highly turbid estuary (Gironde estuary, France). 29 : 377-389.
- David V, Sautour B, Chardy P (2007b) Successful colonisation of the calanoid copepod *Acartia tonsa* Dana in the oligomesohaline area of the Gironde estuary (France): Natural or Anthropogenic forcing? *Estuarine Coastal and Shelf Science* 71 : 429-442.

LE ROLE DES OCEANS DANS LE SYSTEME CLIMATIQUE

Pascale DELECLUSE¹

Directeur de recherche CNRS, Océanographe et climatologue

Directeur adjoint de la Recherche à Météo-France

Centre National de Recherches Météorologiques

¹CNRM-GAME, Météo-France, 2 avenue Rapp, 75340 PARIS

pascal.delecluse@meteo.fr



Les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'océan lui confèrent un rôle central dans le climat de la Terre. Après avoir rappelé les grandes caractéristiques physiques de l'océan, les mécanismes dynamiques et thermiques qui interviennent dans sa circulation de grande échelle seront évoqués afin de pouvoir dégager les grands principes qui contrôlent sa circulation. On insistera en particulier sur l'empreinte de la rotation terrestre et l'entraînement des couches de surface et des grandes circulations de bassin par le vent.

L'atmosphère et l'océan sont couplés mécaniquement par le vent mais ces deux fluides sont également liés par d'autres échanges : échanges thermiques par les flux et échanges de masse par le bilan évaporation/précipitation. Les principales caractéristiques de ces flux échangés à l'interface seront décrites et l'analyse de ces cartes permettra de mettre en évidence l'origine des maxima de température et de salinité à la surface des océans. On montrera en particulier comment l'atmosphère imprime la signature de ses caractéristiques à l'océan et en retour comment l'océan imprime sa signature dans l'atmosphère.

Connaissant la distribution des propriétés physiques à l'interface océan-atmosphère, les mécanismes qui assurent la propagation en profondeur des propriétés seront évoqués et leur contribution à l'équilibre global de la circulation sera expliquée. Les processus physiques comme la convection seront présentés et leurs échelles caractéristiques précisées. La synthèse de ces connaissances sera développée dans la présentation et discussion du tapis roulant de la circulation générale avec l'énorme défi technologique que pose la résolution numérique de ce système.

Des exemples seront ensuite donnés pour illustrer des manifestations du couplage océan-atmosphère à différentes échelles. Le signal le plus manifeste de ce couplage est le phénomène El Niño dans l'océan Pacifique, phénomène de variabilité interannuelle qui se développe dans l'océan et dans l'atmosphère suivant un scénario complexe qui met en jeu les interactions entre les deux fluides et la propagation des ondes dans l'océan. D'autres exemples seront donnés dans l'océan Indien et l'océan Atlantique.

Enfin, une illustration sur les climats du passé sera présentée pour montrer que la Terre a connu des circulations océaniques différentes de l'actuel. A partir de cet exemple, nous évoquerons les enjeux soulevés par le réchauffement climatique en cours pour le domaine océanique. Nous parlerons de la diminution de la couverture de la banquise arctique, de l'élévation du niveau des mers, de la circulation dans l'Atlantique nord et des conséquences possibles sur le climat européen.

LES SOCIÉTÉS BRETONNES FACE AUX TEMPÊTES XVI^e-XIX^e

Jérémy DESARTHE¹

Doctorant en histoire à l'université de Caen Basse-Normandie

¹ Centre de Recherche d'Histoire Quantitative, UMR CNRS C 6583, 14 032 Caen cedex et Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement UMR CEA-CNRS-IPSL-UVSQ 91 919 Gif-sur-Yvette), France, jeremydesarthe@yahoo.fr



Résumé :

L'influence du climat océanique sur la Bretagne en fait un observatoire pertinent pour l'étude des tempêtes. Entre le XVI^e et le XIX^e siècle, une quarantaine d'événements ont été recensés. Leur inégale répartition au fil des ans fait ressortir l'existence d'épisodes venteux. Ainsi, après un XVI^e siècle calme, le nombre d'événements augmente à partir des années 1650. S'ensuit un XVIII^e siècle particulièrement venteux avec une tempête tous les 5 ans.

Les différents fonds d'archives rendent possible l'analyse des impacts en milieux urbains. Du renversement des clochers à l'arrachage des arbres, la ville subit de plein fouet les assauts d'Eole. A l'image de Xynthia, les sociétés littorales sont parmi les plus vulnérables. La violence des vents provoque la submersion des terres agricoles. Au lendemain d'une tempête, les sociétés se trouvent généralement démunies face à l'ampleur des dégâts et se tournent vers le pouvoir afin d'obtenir des secours et des mesures pour éviter qu'un tel événement se renouvelle.

A travers l'exemple breton, il s'agit donc de mener une analyse de la vulnérabilité des sociétés face aux événements éoliens extrêmes. Cette étude conduit à cartographier les zones les plus vulnérables et d'étudier la capacité de résilience des sociétés.

Références bibliographiques :

DESARTHE, J., "Duhamel du Monceau météorologue", *Revue d'Histoire Moderne et Contemporaine*, 2010, n°51-3.

DESARTHE, J., "Les extrêmes climatiques dans la région d'Alençon", *Bulletin de la Société Historique et Archéologique de l'Orne*, à paraître.

LA MESURE DU RISQUE DE SUBMERSION ET DE RAZ-DE-MAREE SUR LES LITTORAUX FRANÇAIS ET EUROPEENS XVIe-XXe SIECLES

Emmanuel GARNIER¹

Maître de Conférences habilité, Histoire moderne

Chaire senior « Histoire du climat et des extrêmes en Europe », Institut Universitaire de France

Membre du comité de Prospective du GIS « Climat-Société-Environnement »

Membre du comité de pilotage du Conservatoire du littoral



¹ Centre de Recherche d'Histoire Quantitative, UMR CNRS C 6583, 14 032 Caen cedex et Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement UMR CEA-CNRS-IPSL-UVSQ 91 919 Gif-sur-Yvette), France, egarnier.cea-cnrs@orange.fr

Résumé :

La documentation historique autorise une prise en compte fiable des événements du type tempêtes, submersions et tsunamis à l'échelle des littoraux français pour une période au moins comprise entre 1500 et nos jours.

Parce qu'elles touchent les populations dans leurs biens et dans leurs chairs, les sources d'archives fournissent, à compter du XVIe siècle, les dates (et parfois les heures !), les durées et la localisation précises de ces catastrophes maritimes plus souvent désignées alors sous le terme de *vimers*.

Ce travail s'inscrit dans le cadre de projets de recherche de l'ANR, du GIS « Climat, Environnement, Société » et du groupe de recherche Submersions. Les résultats débouchent sur une approche plus quantitative, mais intégrée à un contexte climatique plus large, visant à évaluer la sévérité d'événements extrêmes observés et non mesurés au sens contemporain du terme. *De facto*, les extrêmes ne peuvent être confrontés à des données instrumentales (données thermométriques ou barométriques) fiables avant les années 1750. Aussi est-il important d'envisager une méthode de quantification relative. Chaque événement est par conséquent évalué dans sa globalité temporelle et météorologique grâce aux multiples données historiques comme les dégâts (dommages agricoles ou/et immobiliers) ou la mortalité.

L'étude présente des éléments inédits susceptibles de répondre aux attentes des décideurs. Elle vise ainsi à caractériser les grands événements passés que connurent les littoraux français mais également européens et à déterminer si ces événements ont augmenté en amplitude et en fréquence avec le changement climatique actuel. Une cartographie du risque littoral diachronique (du XVIe au XXe siècle) doit permettre également de définir s'il existe des régions historiquement à risque pour des raisons « naturelles » ou si, au contraire, nous sommes en présence d'un processus davantage lié à des choix d'aménagements à l'origine d'une augmentation de la vulnérabilité. Enfin, quelques exemples historiques précis concernant aussi bien des tempêtes que des raz-de-marée seront présentés afin de mieux comprendre les réactions, les perceptions et la prise en compte éventuelle de la menace littorale.

Références bibliographiques –

Books

Garnier E, (2010) *Les dérangements du temps, 500 ans de chaud et froids en Europe*, Paris, Plon, 244p. L'ouvrage a obtenu les Prix Gustave Chaix d'Est Ange de l'Académie des Sciences Morales et Politiques (Institut de France) et Risques 2010 La Tribune/BFM radio.

Garnier E (dir.), (2010) *Climat et Histoire en Europe*, numéro thématique 57-3, *Revue d'Histoire Moderne et Contemporaine*, Paris, Belin, 159 pages.

Garnier E, Surville F, (dir.), (2010) *Climat et révolutions autour du Journal du négociant Jacob Lambertz (1733-1813)*, préface d'Emmanuel Le Roy Ladurie, Saintes, Le Croît vif, 576p.

Garnier E, Surville F, (dir.), (2010) *La tempête Xynthia face à l'histoire. Submersions et tsunamis sur les littoraux français du Moyen Age à nos jours*, Saintes, Le Croît vif, 174p.

Papers

Garnier E, Daux V, Yiou P, Garcia de Cortazar I, (2010) 'Grapevine harvest dates in Besançon between 1525 and 1847: Social outcome or climatic evidence?', *Climatic Change*, vol. 102, n° 1-3, p. 123-167, DOI 10.1007/s10584-010-9810-0.

Garnier E., (2010) 'De la mémoire des catastrophes dans nos sociétés modernes : Lothar-Martin (déc. 1999) et les tempêtes des siècles', *Cités (Philosophie, Politique, Histoire)*, Hors-série 10^e anniversaire, PUF, p. 381-390.

Pfister C, Garnier E., Alcoforado M-J., Wheeler D., Lutterbacher J., Nunes M-F., Taborda J-P., (2010) 'The Meteorological framework and the cultural memory of three severe winter-storms in early eighteenth century Europe', *Climatic Change*, vol. 101, n° 1-2, p. 281-310.

Garcia de Cortazar I., Daux V, Garnier E, Yiou P, Viovy N, Seguin B, Boursiquot J.M., Parker A.K., Van Leeuwen C. and Chuine I., (2010) 'Climate reconstructions from grape harvest dates: methodology and uncertainties', *The Holocene*, vol. 20, n° 4, p. 599-608.

CHANGEMENTS CLIMATIQUES : LE DIAGNOSTIQUE DES MODELES, CERTITUDES ET INCERTITUDES

Hervé LE TREUT¹

*Professeur, Université Pierre et Marie Curie et Ecole Polytechnique
Directeur de l'Institut Pierre Simon Laplace, FR CNRS 363, et de l'Ecole Doctorale
Sciences de l'Environnement en Ile de France, ED 129*

¹LMD/IPSL, 4 place Jussieu, Code 99, 75252 Paris Cedex 05, France,
letreut@lmd.ens.fr



La perspective d'un changement climatique associé aux émissions de gaz à effet de serre s'est affirmée progressivement après la deuxième guerre mondiale. Le démarrage en 1957 d'un suivi régulier du dioxyde de carbone atmosphérique (CO₂), au sommet du Mauna Loa, à Hawaï, a mis en évidence la réalité de son augmentation atmosphérique. Dans les années 50, la combustion du charbon, du pétrole et du gaz naturel injectait chaque année environ 1,5 milliards de tonnes de carbone dans l'atmosphère. Nous avons dépassé en 2008 le chiffre de 8 milliards de tonnes, auxquels il faut ajouter la contribution plus incertaine de la déforestation, qui amène ce chiffre plus près des 10 milliards de tonnes.

C'est donc à une accélération extrêmement récente et rapide de ces émissions que nous assistons. La nouveauté de cette évolution est encore augmentée par l'inertie thermique considérable des océans, qui fait le signal climatique suivre de quelques décennies l'augmentation des gaz à effet de serre. Le niveau de CO₂ qui était resté pratiquement constant, entre 270 et 280 ppm (parties par millions) durant les 10 000 dernières années, s'est brutalement élevé à plus de 380 ppm, l'essentiel de cette augmentation ayant eu lieu après-guerre. Une telle augmentation est sans ambiguïté le résultat des activités humaines. A cela s'ajoute l'action des autres gaz à effet de serre : le méthane (CH₄) qui a plus que doublé, l'oxyde nitreux (N₂O), l'ozone troposphérique, les fréons.

Le réchauffement de la planète est donc un phénomène nouveau, qui vient juste de s'amorcer, et dont l'essentiel des conséquences est à venir. C'est donc sur la base de modèles physiques que se font les anticipations de ces changements. Le développement d'un modèle réclame une équipe de plusieurs dizaines de chercheurs travaillant ensemble pendant une décennie au moins, et il en existe une quinzaine ou une vingtaine à l'échelle mondiale.

Les modèles ont très largement permis d'anticiper les changements qui ont commencé à se produire dans les dernières décennies. Dès que l'augmentation du CO₂ atmosphérique a été constatée, dans les années 60 ou 70, les scientifiques ont cherché à imaginer ce que pourrait être le climat d'une planète dont la concentration atmosphérique en CO₂ aurait été multipliée par 2, une échéance appelée à se produire un siècle plus tard environ. En 1979 le Professeur Charney publiait un rapport à l'Académie des Sciences américaine qui prévoyait dans ce cas un réchauffement global considérable, allant de 1.5°C à 4.5°C. Cet ordre de grandeur s'est révélé d'une très grande robustesse au fil des années, alors que les modèles devenaient beaucoup plus réalistes avec l'augmentation de puissance considérable des ordinateurs. En 1988, la création du GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Experts pour l'Etude du Climat) a donné un cadre plus précis à l'évaluation des résultats scientifiques. Les 4

rapports 1990, 1995, 2001 et 2007 ont eux aussi confirmé les prévisions des premiers modèles. Cette stabilité du diagnostic scientifique reflète la base scientifique simple sur laquelle repose finalement le problème climatique, à savoir le lien physique dominant qui lie l'augmentation de la teneur atmosphérique en gaz à effet de serre et le réchauffement. En fait le travail scientifique de plus d'une décennie a largement consisté à vérifier la solidité de ce lien en vérifiant progressivement que l'ensemble des complexités du système climatique qui avaient été négligées par la première génération de modèles ne modifiait pas le schéma général établi par les premières simulations. En utilisant une gamme assez large de scénarios d'émissions des gaz à effet de serre jusqu'en 2100 (depuis une stabilisation au niveau de 90 jusqu'à une multiplication par un peu plus de 3), le rapport du GIEC de 2007 a confirmé la probabilité d'un réchauffement qui irait de 2 à 6 degrés environ à la fin du siècle.

Les prévisions des modèles ne se limitent pas à anticiper une variation de la température globale de la planète. Les modèles prévoient en fait un ensemble de perturbations climatiques, distribuées de manière souvent inégales à la surface de la Terre. Le réchauffement le plus fort est attendu dans les régions Arctiques, qui constituent une région « sentinelle », la première d'ailleurs où s'observent des manifestations claires et multiples de changement climatique. Parmi les autres paramètres prévus, le niveau de la mer est appelé à augmenter à la fois sous l'effet de la dilatation des océans, mais aussi sous l'effet de la fonte des glaciers de montagne ou des glaciers polaires. Le relèvement du niveau de la mer s'est progressivement accéléré au cours du 20^{ème} siècle passant d'un rythme de 1mm/an environ à 3,5mm/an environ. Des résultats récents ont montré une fonte du Groenland et de l'Antarctique, qui semble s'accélérer et incite à revoir à la hausse les indications rassemblées dans le 4^{ème} rapport du GIEC, qui situait le relèvement du niveau de la mer dans une fourchette allant de 20 à 50 cm environ.

En dépit d'un diagnostic global qui repose sur une science désormais bien établie, les incertitudes sur les contours précis des changements à venir sont multiples, en particulier dès qu'il s'agit d'aborder la dimension régionale des changements à venir. S'agissant de problèmes aussi complexes que l'évolution du littoral et de sa gestion, une approche purement prédictive est hors de portée pour de nombreuses années. C'est bien l'étude de la vulnérabilité de ces milieux qui peut fournir les indications nécessaires à leur gestion.

Références bibliographiques –

Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
Historical Overview of Climate Change. Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson, and M. Prather, In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007*

Nouveau Climat sur la Terre : comprendre prédire, réagir, 2009 : H. Le Treut, Flammarion

LES ENSEIGNEMENTS DE XYNTHIA SUR LES RESERVES NATURELLES DU LITTORAL CHARENTAIS

Michel METAIS, directeur général de la LPO

Fonderies Royales – BP 90263 – 17305 ROCHEFORT CEDEX

michel.metais@lpo.fr



Contrairement à l'ouragan Martin de décembre 1999, les niveaux de la mer ont été tels ce 28 février 2010 que l'eau est passée par-dessus toutes les digues de Charente-Maritime et de Vendée, quelle que soit leur nature (en dur ou en terre), du fait de la conjonction de basses pressions exceptionnelles, d'une tempête avec des vents de 150 km/h en même temps que le pic d'une marée de très fort coefficient (102). Conséquences : des milliers de maisons dévastées provoquant le décès de 53 personnes piégées par la montée soudaine des eaux ; les médias en ont abondamment parlé.

Ce que l'on sait moins, c'est son impact sur les zones humides littorales de ces deux départements, et notamment les réserves naturelles gérées pour la plupart par la LPO (Moëze-Oléron, marais d'Yves, Lilleau des Niges –île de Ré, baie de l'Aiguillon –marais poitevin et Müllembourg –Noirmoutier. Les digues, dunes... sont partout gravement endommagées, voire détruites parfois à 80% de leur linéaire !

Les conséquences écologiques restent à évaluer, mais le précédent de 1999 nous a montré les impacts de la submersion marine sur la survie des espèces liées à l'eau douce (flore au premier chef, mais aussi batraciens, reptiles, lapins, micromammifères...) ; les dépôts de sédiments vaseux salés altèrent gravement et plus ou moins durablement les plantes et autres orchidées ainsi que les invertébrés (libellules, insectes...).

Qu'en est-il en 2010 dans les réserves de Charente Maritime ?

➔ Dans la réserve naturelle de Lilleau des Niges (Fier d'Ars, île de Ré)

Il y a une véritable désertion des espèces d'oiseaux nicheurs d'intérêt patrimonial (échasse, avocette, Sterne pierregarin). Seuls les goélands argentés, bruns et marins ont colonisé les îlots de la réserve naturelle avec un regain d'intérêt faute de concurrence interspécifique. Cependant, il n'y a globalement pas de baisse des effectifs nicheurs à l'échelle des marais du Fier d'Ars, preuve que les colonies se sont installées sur des sites favorables. L'avocette en est un bon exemple.

➔ Les prairies naturelles de la réserve naturelle d'Yves qui couvrent plus de la moitié de la surface ont changé de nature avec l'apparition d'une végétation halophile dominante. Toutes les espèces qui ne supportent pas le sel ont disparu cet été 2010, alors que les espèces plus opportunistes demeurent.

➔ Pour la réserve de Moëze, dont l'histoire récente est marquée par des submersions marines partielles, les conséquences écologiques sont moins graves tout en affectant les outils de gestion, et notamment le recours aux brouteurs de la réserve naturelle, les moutons Scottish Black Face, que le gestionnaire a mis en place il y a maintenant 20 ans pour entretenir les prairies littorales.

Certains services de l'Etat, les associations environnementales, et notamment la LPO, ont été vivement critiqués par certains élus et agriculteurs pour la gestion du littoral au droit de ces réserves pour n'avoir pas édifié des digues avec enrochement.

Quelques mois après ce drame, quel constat faisons-nous ?

- cet événement se reproduira, car les accidents climatiques (tempêtes, inondations...) sont les premiers signes du dérèglement climatique ;
- les inondations des zones littorales les plus basses et des habitations qui y ont été dangereusement construites sont inéluctables car la mer en furie passe au-dessus de toutes les digues, quelles que soient leur résistance et leur hauteur.

C'est la première fois depuis 2000 ans qu'en France les sociétés humaines devraient prendre conscience que la période de conquête de terres sur la mer est peut-être révolue, et qu'il s'agit maintenant de laisser la mer reconquérir les terres gagnées là où les intérêts économiques et de sécurité publique ne sont pas concernés (les zones naturelles et agricoles notamment). C'est aussi cela la prévention des risques naturels face au changement climatique.

La LPO espère que le plan « digues » annoncé par le gouvernement ne se résumera pas à un nouveau bétonnage du littoral, mais respectera la dynamique littorale récente avec l'aménagement de digues de retrait qui pourraient aller de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres du littoral actuel avec des conséquences écologiques évidentes.

En tout cas, pour les réserves naturelles et les espaces protégés situés entre Loire et Gironde, il est nécessaire selon la LPO :

- d'avoir une vision globale de la défense du littoral sur les espaces naturels à vocation agricole ou d'intérêt écologique ;
- de revisiter la stratégie de création des réserves naturelles littorales sur le littoral atlantique
- d'adopter un plan de prévention des accidents climatiques (inondations, tempêtes)

MOBILITE DU TRAIT DE COTE ET CARTOGRAPHIE HISTORIQUE

Frédéric POUGET¹

Maître de Conférences, Géographie

Membre de l'équipe AGILE (UMR 6250 LIENSs)

Responsable de la Licence Professionnelle Systèmes d'Informations géographiques

¹Université de La Rochelle, UMR CNRS 6250 LIENSs, 2 Rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France, Frederic.pouget@univ-lr.fr



Résumé en Français – (Abstract in English)

Le trait de côte se définit comme la ligne de rencontre entre le milieu marin et terrestre. A l'échelle géologique les fluctuations de sa position ont été liées aux grands épisodes climatiques du passé. A la fin de la dernière glaciation du Würmien, le niveau de la mer était à environ -100 m par rapport au niveau actuel. Depuis lors, le niveau marin remonte et la ligne de rivage se déplace vers l'intérieur des terres. Elle a même dépassé un peu le niveau actuel il y a environ 2000 à 3000 ans BP. Le niveau est ensuite redescendu et la tendance actuelle est à la remontée. Le réchauffement climatique amplifie ce phénomène depuis l'ère industrielle. Du fait de la dilatation de l'eau de mer et de la fonte des glaces une élévation du niveau des mers d'au moins quarante cm est considérée probable d'ici 2100.

Le problème de la reconstitution historique de ces déplacements du trait de côte mérite d'être posé. La connaissance des processus passés peut se révéler précieuse pour comprendre les évolutions à venir.

Quelles données géo-historiques peuvent être mobilisées pour retracer cette évolution, et quelle précision peut-on en attendre ?

Les premiers marqueurs envisagés classiquement sont les « sites à sel » gaulois, anciens lieux de production de sel, ils étaient situés très probablement non loin de la ligne de rivage. L'accès à la base de données PATRIARCHE dans le cadre d'une convention avec le SRA (Service Régional de l'Archéologie) nous a permis d'accéder à une localisation de la plupart des sites connus. Leur concentration sur une ligne d'altitude quasiment identique fait se dessiner un hypothétique ancien trait de côte. D'une manière générale, la localisation des sites archéologiques connus, sur un modèle numérique de terrain (MNT Bd TOPO IGN ou MNT INTERMAP) permet d'alimenter les réflexions sur les évolutions de la présence humaine en fonction des fluctuations du niveau marin. Les MNT permettent de faire apparaître les altitudes (1 point tous les 25 m avec BD Topo IGN, un point tous les 5 m avec Intermap), ainsi que les pentes et les expositions. Le positionnement précis des sites archéologiques dans la zone de fluctuation d'un ancien littoral sur un modèle numérique de terrain, couplé avec des données géologiques, permet d'avancer dans la compréhension des processus d'évolution de l'occupation humaine de ce littoral au cours des temps anciens.

La combinaison au sein d'un système d'informations géographiques de tout un corpus d'informations géo-historiques sur le littoral, entre le sud Vendée et l'estuaire de la Gironde, est en cours depuis plusieurs années au sein du laboratoire LIENSs. Les informations présentes dans cette base (BD HISTOLITTO) sont : des informations localisées issues de textes anciens, des données archéologiques (issues de Patriarche du SRA), des données cartographiques anciennes et actuelles, des

photographies aériennes, des images satellitaires, des modèles numériques de terrain, des relevés de terrain, des levés altimétriques LIDAR, des données géologiques etc... Cette base de données permet aux chercheurs de mobiliser instantanément toutes ces informations sur un même lieu, grâce au référencement de l'ensemble dans un même système cartographique.

Nous présenterons dans cet exposé plusieurs cas d'étude de la mobilité du trait de côte à partir d'exemples sur le littoral de Charente-maritime traités avec des données cartographiques de diverses époques et de diverses natures.

Références bibliographiques –

Allard J., Bertin X., Chaumillon E. and Pouget F., - *Sand spit rhythmic development : does it record wave climate variations ? Arçay, western coast of France » - Marine Geology. Marine Geology, Volume 253, Issues 3-4, 7 August 2008, Pages 107-131*

Apports de l'imagerie géophysique et de la photographie satellitaire et aérienne à l'étude de l'évolution géomorphologique des marais littoraux au cours de l'Holocène : application aux marais charentais ». Thèse de doctorat, Adrien CAMUS, spécialité : Géophysique – Télédétection, soutenue le 21 novembre 2008.

LES LITTORAUX A L'HEURE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE « Vision d'un gestionnaire du Littoral »

William PROUST
Directeur chargé de la Mer,
Conseil Général de la Charente-Maritime
tél 05 46 87 88 46
port 06 11 89 59 09
mail william.proust@cg17.fr

Résumé en Français

Le long de notre littoral charentais la tempête XYNTHIA a eu des conséquences très importantes. Rappelons les quelques chiffres suivants : 12 morts, environ 80 communes qui ont subi des dégâts, 6000 bâtiments sinistrés (chiffres REX –SOGREAH DDTM).

Sur nos 400 km de côtes charentaises dont 225 km dotées d'ouvrages de protection du littoral, la tempête XYNTHIA, qui est intervenue lors d'une pleine mer de vive eau a sérieusement endommagé plus de la moitié des ouvrages ; mais on peut considérer que tous ont subi des dégradations. A côté de ces côtes avec ouvrages, les 175 km de rivages naturels ont subi des évolutions localement importantes : érosion de falaises ou d'estrans sableux et dunes.

Les caractéristiques de cette tempête étaient très différentes de celles de « Martin » en décembre 1999, pour autant les effets dévastateurs étaient de même ordre à l'échelle du littoral charentais, avec toutefois des différences importantes selon les secteurs. Dans la « vision d'un gestionnaire » d'ouvrages côtiers, les différences entre les événements portaient particulièrement sur les points suivants :

- ↳ Trajectoire et force de l'événement météo, donc particulièrement vent, houle, et surcote du plan d'eau
- ↳ Coefficient de marée

Le Département de la Charente-Maritime s'est depuis de nombreuses années impliqué dans les différents processus de défenses de côtes qui l'on conduit à réaliser des travaux de réhabilitations de digues, de protections « douces » ou encore à accompagner les collectivités locales dans les travaux d'entretien des ouvrages. Le niveau de dépense est de 3 M€ par an environ sur ces dix dernières années.

Si la tempête de 1999 avait contribué à enclencher cette politique départementale, la tempête Xynthia du 28 février 2010 marquera sans conteste un tournant et une prise de conscience de la nécessité qui s'impose à la collectivité publique de renforcer les dispositifs de protection en cohérence avec une réalité de risque plus forte que celle perçue communément.

Après les premiers travaux d'urgence engagés au cours de l'année 2010, l'important programme de renforcement à lancer devra prendre en compte une complexité accrue des processus de décision : procédures réglementaires supplémentaires mais aussi système d'acteurs à clarifier, coordonner, et enfin nécessité de renforcer la cohérence des dispositifs de défense, au regard de la configuration des zones potentiellement submersibles certes, mais aussi au regard des types et niveaux d'enjeux. Une approche systémique prenant appui sur les sciences physiques autant que sur les sciences humaines (du grain de sable à la géographie) devrait permettre à la puissance publique de disposer des outils et des connaissances d'un niveau suffisant pour conforter la cohérence des projets à mener.

Un chantier de longue haleine à emmener donc, de la façon la plus coordonnée possible : parallèlement à un premier renforcement incontournable à « court terme » des protections contre la submersion, proportionné aux risques, adapté à nos littoraux diversifiés, articulés à des plans de gestion de crise, il s'agit de préparer un projet plus long terme compris, partagé, pour des dispositifs globaux intégrant ouvrages et leur gestion, milieux, urbanisme, . . . et évolution des aléas du fait du changement climatique. Projet long terme pour lequel les « scientifiques » sont appelés à fonder ou consolider outils et connaissances au service d'une gestion intégrée de notre littoral.

HISTOIRE DES PAYSAGES LITTORAUX DU CENTRE-OUEST : CONSTRUCTION, PROTECTION ET GESTION D'UN ENVIRONNEMENT.

Thierry SAUZEAU¹

Maître de conférences d'histoire moderne

Co-Directeur

DiU Poitou-Charentes / Québec "Patrimoine et développement local"

Master Professionnel "Patrimoine, multimédia et tourisme"

Groupe de recherche Xynthia de la Région Poitou-Charentes

¹Université de Poitiers, Groupe d'Etudes et de Recherches d'Histoire en

Centre Ouest (GERHICO-Cerhilim EA 4270), thierry.sauzeau@univ-poitiers.fr



Résumé en Français

Les littoraux d'entre Loire et Gironde sont dominés par les côtes basses. Les estrans vastes sont le plus souvent vaseux et sableux. Leur mobilité aux temps géologiques et historiques reste d'actualité². Alimentée par les sédiments charriés par les nombreux fleuves côtiers, elle s'appuie aussi sur une courantologie côtière compliquée par la présence d'îles et de passages (les pertuis) mais aussi de baies et de pointes. Ces conditions naturelles ont décidé du colmatage des golfes anciens qui parsemaient le littoral du Centre-Ouest. La citadelle de Brouage, désormais située à plusieurs kilomètres de la mer qui baignait ses murs au début du XVII^e siècle, en constitue un vivant témoignage³. Partout, l'homme a contribué par ses activités à hâter, diriger et protéger l'évolution de cet environnement très particulier. Les marais sont ainsi nés de plusieurs types d'entreprise d'aménagement du littoral.

La saline a été l'un des éléments de cette colonisation de la terre sur la mer. Dès le Moyen âge, les abbayes se sont lancées dans une véritable « course à la mer » pour mettre la main sur le sel, ressource et monnaie d'échange⁴. Devenus marais « gâts » et dédiés à l'élevage extensif, reconvertis en marais ostréicoles et même parfois maintenus à l'état de marais salants, les « prises » des marais saintongeais⁵ constituent un élément majeur du paysage de marais de nos littoraux.

A peu près contemporains des grands aménagements salicoles, les assèchements réalisés par l'érection de digues, de canaux de drainage et de clapets (appelés aboiteaux ou varaignes) ont donné naissance aux marais agricoles. Deux générations de ces paysages sont identifiables en Centre-Ouest. Elles sont réunies dans le Marais Poitevin autour de l'opposition marais mouillés / marais desséché⁶. Le marais mouillé, aménagé au Moyen-âge, est une bonification de zones anciennes de marécages, inondées par les eaux de ruissèlement des bassins versants. C'est un territoire rendu cultivable par un réseau hydrographique de drainage. Le marais desséché le prolonge en aval, face à la mer dont il est une conquête. Il a été aménagé depuis les Ordonnances de Henri IV et l'intervention hollandaise. Ces paysages ont vécu d'intenses bouleversements au XX^e siècle mais c'est le marais mouillé qui en

² CHAUMILLON (Eric), WEBER (N.), "Spatial variability of modern incised valleys on the French Atlantic coast: Comparison between the Charente (Pertuis d'Antioche) and the Lay-Sèvre (Pertuis Breton) incised-valleys", in SEPM Special publication, *Incised Valleys in Time and Space*, n°85, edited by: Robert W. Dalrymple, Dale A. Leckie, and Roderick W. Tillman, 2006, p.57-85.

³ SAUZEAU (Thierry), *Petite histoire de Brouage*, La Crèche, Geste Editions, 2008, 115 p.

⁴ TREFFORT (Cécile), « Moines, monastères et prieurés charentais au moyen âge », dans Pichot (Daniel) et Mazel (Florian), *Prieurés et société au moyen âge*, Annales des Pays de Bretagne et de l'Ouest, tome 113, année 2006, n°3, PUR., Rennes, 2006.

⁵ MILLE-REULT (Sarah), *Les marais charentais, géohistoire des paysages du sel*, Rennes, PUR., 2003,

⁶ SUIRE (Yannis), *Le Marais poitevin, une écohistorie du XVI^e siècle à l'aube du XX^e siècle*, Centre vendéen de recherches historiques, 2006, 535 p.

fait les frais de la manière la plus sévère. Privé d'eau par le développement de la maïsiculture intensive sur les plateaux qui l'encadrent, ce paysage se voit également vidé de sa ressource par les céréaliers qui ont mis en valeur les marais desséchés, en aval, et utilisent l'hydraulique à leur avantage. De plus, la déprise rurale dont il est victime a entraîné le passage d'une économie d'élevage et de jardinage vers la production de bois pour l'industrie (peuplier) particulièrement gourmande en eau.

Le tableau ne serait pas complet sans l'évocation des assèchements littoraux intervenus au XIX^e siècle, sur le littoral de la Vendée et de la Charente Maritime. Ils ont donné naissance à des polders tournés vers l'exportation de vin, de pommes de terre, de fruits, avant que le tourisme balnéaire ne s'en empare après 1960⁷. Enfin, les îles et presqu'îles charentaises détiennent un certain nombre de marais doux, dépressions jadis envahies par le flux et le reflux mais coupés de l'océan par cordons dunaires, aux temps historiques. Idéalement situés à portée des plages, ces zones humides sont désormais loties à grand coup de remblai, sans égard pour les risques nés de l'exposition de leur rempart de dune à l'érosion de la houle d'ouest⁸.

Les effets des changements climatiques n'ont pas été pris en compte jusqu'à maintenant, ni dans les politiques d'urbanisme, ni en matière de développement agricole, mais ils devront l'être, dans la mesure où ces paysages ont été aménagés en fonction d'équilibres entre l'homme et la nature qui semblent devoir évoluer à terme.

Références bibliographiques -

- SAUZEAU (Thierry), *Petite histoire de Brouage*, La Crèche, Geste Editions, 2008, 115 p.
- SAUZEAU (Thierry), BORDEREAUX (Laurent) et DESSE-BERSET (Nathalie), *Les écluses à poissons d'Oléron. Mémoires de pierre*, La Crèche, Geste éditions, 2009, 198 p.
- SAUZEAU (Thierry), « Les usages de l'estran sur le littoral de la Saintonge girondine (1850-1880) », dans PERET (Jacques) et CHAUVAUD (Frédéric) dir., *Terres Marines, Mélanges à la mémoire de Dominique Guillemet*, PUR., 2005, p.115-122.
- SAUZEAU (Thierry), « Les petits ports animateurs de l'économie maritime de la mer des Pertuis saintongeais (XVe-XVIIIe siècles) », dans LE BOUËDEC (Gérard) et BUTI (Gilbert), *Les petits ports. Usages, réseaux et sociétés littorales (XVe-XIXe siècles)*, Rives méditerranéennes, n° 35-2010, p.79-97.
- SAUZEAU (Thierry), « L'exploitation de la mer et de l'estran, de l'époque moderne au XIXe s. », dans LE BOUËDEC (Gérard) et POUSSOU (Jean-Pierre) dir., *La recherche internationale en Histoire maritime : essai d'évaluation*, colloque GIS-Histoire Maritime, Revue d'Histoire Maritime, n°10-11, PUPS., 2010, p.249-258.
- SAUZEAU (Thierry), « Du sel aux huîtres : la mutation socio-économique du littoral saintongeais (XVIIe-XIXe s.) », *Revue Historique du Centre Ouest*, t.II, 2e semestre 2005, p.321-368.
- SAUZEAU (Thierry), « La géographie de l'habitat des gens de mer du quartier de Marennes (fin XVIIIe-début XIXe s.) », *Les Littoraux*, colloque de Nantes, 1999, Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, 124e congrès, CTHS éd. 2001, p.69-87.
- SAUZEAU (Thierry) et PERET (Jacques) dir., *Marais poitevin et terres marines entre Loire et Gironde. Paysages et patrimoines*, table ronde GERHICO-ICOTEM / CPER, Coulon, Parc Interrégional du Marais Poitevin, 8 oct.2009, Cahiers du Gerhico, actes à paraître.
- SAUZEAU (Thierry) dir., *Expliquer Xynthia, comprendre le phénomène*, journée d'études pluridisciplinaire, Poitiers, 24 juin 2010.

⁷ SAUZEAU (Thierry), « La Perrotine, un village oléronais face au risque de submersion marine », dans Garnier (Emmanuel) dir., *La crise Xynthia à l'aune de l'histoire : enseignements et enjeux contemporains d'une histoire des submersions*, La Rochelle, 112p., op.cit.p.91-93.p.

⁸ DUVAT (Virginie), *Les impacts de la tempête Xynthia sur les plages de l'île d'Oléron : les réalités du terrain*, Rapport, mars 2010, 27p.
<http://liens.univ-larochelle.fr/IMG/pdf/RapportXynthiaOleron2.pdf>

BEHAVIOUR AND LONG-TERM EVOLUTION OF ESTUARINE SYSTEMS

Bernadette Tessier, *Directrice de Recherche CNRS*
UMR CNRS 6143 M2C
(*Morphodynamique Continentale et Côtière,*
Université de Caen, 24 rue des Tilleuls, 14000 Caen
<http://www.geos.unicaen.fr/>
Bernadette.tessier@unicaen.fr

Abstract

Estuaries are particularly sensitive to climate changes due to their location at the land-to-sea transition. Climate-induced changes that occur in the marine system (sea-level fluctuations, wave regime) and in the catchment basin (fluvial dynamics, sediment supply) affect potentially together these transitional environments.

Since a long time, the present-day behavior of estuaries, in terms of sedimentology, hydrodynamics, morphodynamics, biology...etc, is the subject of many works. Studies devoted to sedimentary infills of estuaries are also numerous and have particularly increased in the 2000's. Interests for sedimentary infill have two origins: 1) the objective to reconstruct the geometry and lithological nature of buried estuarine bodies, since they represent potentially good analogues for oil or water reservoirs; 2) the necessity to define the factors that control the long term evolution of estuaries in order to better predict future evolution. In the 2000's, many research works based on very high resolution seismic and core data have been conducted along the French coasts, from the Mediterranean Sea to the English Channel, in order to reconstruct the Holocene infill of estuaries and lagoons. A selection of these studies has been published recently in a special issue of the Bull. Soc. géol. France (Vol.181, n°2, 2010, cf. Chaumillon et al., 2010 for a synthetic review of all the articles). These works performed in different contexts of sediment supply, hydrodynamics, basement characteristics...etc, allow evidencing that the rate in Holocene sea-level rise and the bedrock morphology are two key factors controlling sedimentary infill of estuarine systems, both in terms of geometry and lithological nature. It appears as well that the climate changes that occurred during the middle to late Holocene (i.e. when the rate in sea-level rise became low, i.e. since about 6500 years), had significant impacts on estuary behavior and consequently on sedimentary infill. Millennial time-scale climate changes occurred periodically during the Holocene. They are known as Rapid Climate Changes (RCC, Mayewski et al., 2004) or Cold Bond events (Bond et al., 1997). They consist of a relatively brief cool period (of centennial time-scale) followed by a longer and temperate period. The cool periods are associated with enhanced storminess in NW Europe. The last Bond Cool Event is known as the Little Ice Age. Except in areas where tidal dynamic is very powerful and erosional (active channel-and-bars estuarine system), successions preserved in most estuaries represent archives of Holocene climate change impacts (Tessier et al., in press). The most relevant feature related to these climate changes is the alternation of period of destruction and period of stabilization of coastal barriers developing along the external margins of estuaries (Billeaud et al., 2009). Such alternation largely controls the geometry and lithology of estuary infill. In the most distal zone of estuaries, enhanced storminess periods are marked by successive well-developed shelly intervals, or by erosional surfaces into compound tidal dunes, whereas in the most proximal domain, fluid muds expelled during high fluvial discharges can be preserved preferentially when marine reworking, i.e. storminess, is reduced (Sorrel et al., 2009; 2010).

This evidence of Holocene climate change impacts in estuarine sedimentary archives demonstrates that the time scale of "irreversible" evolution, marked by drastic changes in landscapes, is of millennial order.

Références bibliographiques –

- Billeaud, I., Tessier, B., Lesueur, P. (2009) Impacts of Late Holocene rapid climate changes as recorded in a macrotidal coastal setting (Mont-Saint-Michel Bay, France). *Geology* 37, 1031-1034.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., de Monecal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I., Bonani, G., (1997) A pervasive millennial-scale cycle in north Atlantic Holocene and glacial climates. *Science* 278, 1257-1266.
- Chaumillon E., Tessier B., Reynaud J.-Y. (2010). Stratigraphic records and variability of incised valleys and estuaries along French coasts. *Bull. Soc. Géologique de France*, 181 (2), 75-86.
- Mayewski, P.A., Rohling, E.E., Stager, J.C., Karlén, W., Maasch, K.A., Meeker, L.D., Meyerson, E.A., Gasse, F., van Kreveld, S., Holmgren, K., Lee-Thorp, J., Rosqvist, G., Rack, F., Staubwasser, M., Schneider, R.R., Steig, E.J., (2004) Holocene climate variability. *Quaternary Research* 62, 243-255.
- Sorrel, P., Tessier, B., Demory, F., Delsinne, N., Mouazé, D. (2009) Evidence for millennial-scale climatic events in the sedimentary infilling of a macrotidal estuarine system, the Seine estuary (NW France). *Quaternary Science Reviews* 28, 499-516.
- Sorrel P., Tessier B., Demory F., Baltzer A., Bouaouina F., Proust J.N., Menier D., Traini C. (2010) Sedimentary archives of the French Atlantic coast (inner Bay of Vilaine, south Brittany): depositional history and late Holocene climatic signals. *Continental Shelf Research* (online 20 April 2010).
- Tessier B., Billeaud I., Sorrel P., Delsinne N., Lesueur P. (in press) Infilling stratigraphy of macrotidal tide-dominated estuaries. Controlling mechanisms: sea-level fluctuations, bedrock morphology, and climatic changes (The examples of the Seine estuary and the Mont-Saint-Michel Bay, English Channel, NW France). *Sedimentary Geology*.

INVESTIGATING MARINE AND ALLUVIAL INLET SYSTEMS USING A PROCESS-BASED MORPHODYNAMIC MODEL

Dirk-Jan Walstra and Dano Roelvink

Tidal channels and inlets in alluvial and marine environments are interconnected dynamic systems that react to changing physical conditions (such as sea level rise and enhanced storminess) as well as to anthropogenic activities (such as dredging of channels and bank protection works). However, the temporal scales and the spatial extent of the response of the natural system to such changing conditions is often poorly understood. For example, empirical formulations are available to estimate the equilibrium of a channel given a certain tidal prism and littoral transport, but the time it takes for a disturbed channel system to reach a new equilibrium is much harder to establish. To understand and predict a morphological response of an entire system requires a comprehensive approach which deals with the appropriate scales in a continuous way. Different methods are available to arrive at such a comprehensive approach which primarily consist of coupling different modelling concepts and empirical relations.

Recent studies have shown that process based morphodynamic models are capable of making predictions covering more than 1000 years for relative schematic configurations (van der Wegen et al., 2008). However, the validation of models on such long time scales is impossible as no datasets exist which combine the required observed morphological development and the associated hydraulic forcing conditions. An alternative approach is to see whether a model is able to predict a realistic morphological equilibrium for a range of hydraulic conditions and physical settings. This could be achieved by comparing directly to field or laboratory observations, but in many cases it is hard to establish whether equilibrium conditions are present (either due to transient forcing conditions in the field or limited time scales in the laboratory). Another option is to compare model predictions to existing empirical relations which are derived from field observations.

In this paper we consider equilibrium relations that have been derived for inlets that are phenomenological similar. This well-known equilibrium relationship exists between cross-sectional area, A , and tidal prism, P , (LeConte, 1905; O'Brien, 1931; Jarrett, 1976; Van de Kreeke, 2004). This relationship plays an important role in the well-known method to evaluate the cross-sectional stability proposed by Escoffier (1940). A typical example is shown in Figures 1 in which a schematic inlet is forced with a simple tide and constant wave. In Figure 2 an analytical solution is compared with numerical model predictions of the cross-sectional area for the inlet system using the Escoffier diagram (Tung et al., 2010).

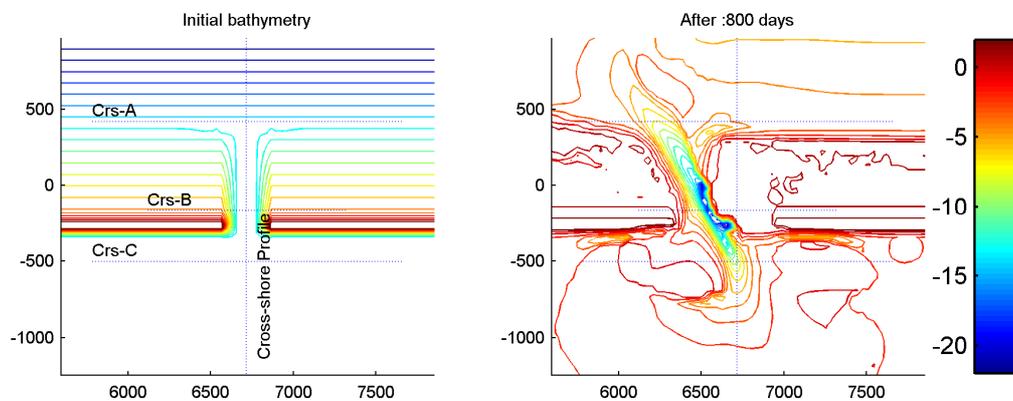


Figure 1: Initial bathymetry(left panel) and bathymetry after 800 days (right panel) for tides and waves (Tung et al., 2010).

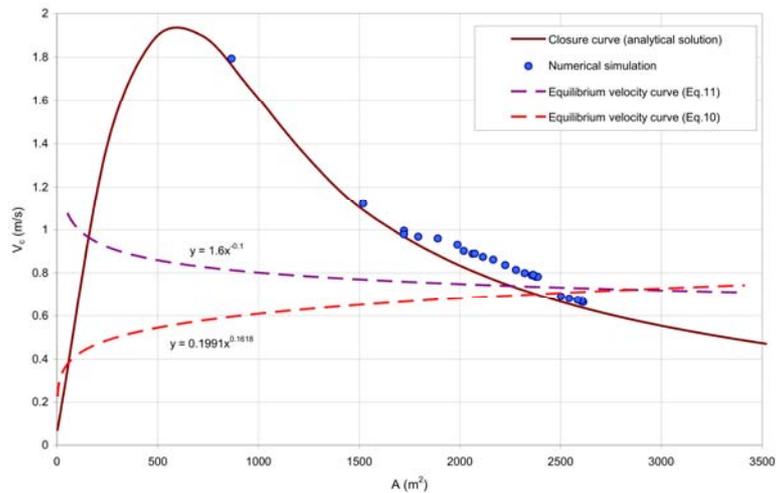


Figure 2 The Escoffier Diagram in which a analytical solution is compared with numerical predictions.

References

- Escoffier, F. F. (1940). The stability of tidal inlets. *Shore and Beach*, 8:111–114.
- Jarrett, J. T. (1976). Tidal prism - Inlet area relationships. Technical Report GITI No.3, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- LeConte, L. J. (1905). Discussion on river and harbor outlets, "Notes on the improvement of river and harbor outlets in the United States," Paper no. 1009. In Watts, D. A., editor, *Tran. ASCE*, volume 55, pages 306–308.
- O'Brien, M. P. (1931). Estuary tidal prisms related to entrance areas. *Civil Engineering*, 1:738–739.
- Tung, T.T., Walstra, D.J.R., van de Graaff, J., Stive, M.J.F., 2009. Morphological modeling of tidal inlet migration and closure. *Journal of Coastal Research*, SI 56, 1080-184. ISSN 0749-0258.
- Tung, T.T., Van de Kreeke, J., Stive, M.J.F., Walstra, D.J.R, 2010. Modeling the cross-sectional stability of tidal inlets: a comparison between numerical and empirical approaches. Submitted to *Coastal Engineering*.
- Van de Kreeke, J. (2004). Equilibrium and cross-sectional stability of tidal inlets: application to the Frisian Inlet before and after basin reduction. *Coastal Engineering*, 51(5-6):337–350.
- Van der Wegen, M. and Roelvink, J. A. (2008). Long-term morphodynamic evolution of a tidal embayment using a two-dimensional, process-based model. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 113(C3).
- Van der Wegen, M. (2010). Modeling morphodynamic evolution in alluvial estuaries. PhD thesis, UNESCO-IHE Institute for Water Education and Delft University of Technology, Leiden, CRC/Balkema, Delft.

MESURES ET EVOLUTION RECENTE DU NIVEAU DE LA MER

Guy WOPPELMANN¹

Maître de Conférences, Géodésie - Géophysique

Contact national et membre du groupe d'experts du programme mondial d'observation du niveau de la mer GLOSS (COI/Unesco)

¹Université de La Rochelle, UMR CNRS 6250 LIENSs, 2 Rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France, guy.woppelmann@univ-lr.fr



Résumé en Français

Depuis la mission franco-américaine Topex/Poseidon, la surface des océans est sous la surveillance précise des radars embarqués sur satellite fournissant des hauteurs d'eau à quelques centimètres près par rapport au centre des masses de la Terre. Les satellites ont permis l'accès au large, autrement difficile par les mesures in situ, avec une couverture spatiale dense et régulière. L'analyse de ces mesures spatiales a fait l'objet de nombreuses études qui indiquent une élévation générale du niveau de la mer de quelque 3.3 ± 0.4 mm/an depuis 1993 (Cazenave & Llovel, 2010). De plus, le budget entre observations et contributions climatiques semble équilibré sur cette même période. Qu'en est-il des variations passées à plus long terme ? La valeur de quelque 3.3 mm/an est-elle anormale ? Peut-on la relier à un changement climatique planétaire ? N'est-elle pas le résultat d'une oscillation inter-décennale incomplètement observée ? Selon les synthèses du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), le niveau général de la mer se serait élevé de 10 à 25 centimètres sur les quarante à cent dernières années avec une valeur centrale préférée de 1.7 ± 0.5 mm/an (Bindoff et al. 2007). Dans le 3^{ème} rapport du GIEC, le bilan entre contributions climatiques et observations faisait apparaître un facteur 2 (0.7 mm/an versus 1.5 mm/an). S'il semble réduit dans le 4^{ème} rapport, l'écart reste cependant de 0.7 mm/an. Depuis ce 4^{ème} rapport publié en 2007, de nombreuses études ont été menées pour tenter de réduire les incertitudes et comprendre les variations climatiques du niveau de la mer. Les travaux de Domingues et al. (2008) sur les contributions climatiques et de Wöppelmann et al. (2009) sur les observations convergent, indiquant un budget également équilibré à l'échelle de temps séculaire (1.5 mm/an versus 1.6 mm/an).

L'exposé apportera une revue actualisée des estimations de l'évolution récente du niveau de la mer et des incertitudes associées à leur détermination. D'où viennent ces estimations ? A partir de quelles données sont-elles issues ? Le dispositif de mesure disponible est-il bien adapté ? Comment sont analysées les observations ? N'y aurait-il pas des erreurs systématiques dans le dispositif de mesure ou dans les méthodes d'analyse qui expliqueraient les écarts observés entre les études et la difficulté de fournir un estimateur juste de la qualité du résultat ? Quelles sont les limites et les difficultés associées à ces déterminations ? Enfin, si la détermination de la tendance du niveau global de la mer se révèle un indicateur important permettant de valider les théories de réchauffement climatique ou d'améliorer les prédictions des modèles, la question de son intérêt pratique se pose dans l'évaluation des risques et la définition de stratégies de prévention et d'aménagement du littoral. Les variations spatiales des tendances du niveau de la mer sont désormais reconnues. Les processus à l'origine de ces variations sont multiples : (i) dilatation thermique des couches superficielles des océans (e.g., Ishii et al. 2006) ; (ii) fonte des glaces continentales et effets gravitationnels associés à la redistribution des masses d'eau (e.g., Mitrovica et al. 2009) ; (iii) redistribution des champs de pression atmosphérique (e.g., Woodworth et al. 2010) ; (iv) mouvements verticaux du sol à la côte (e.g., Wöppelmann et al. 2007). Alors que le GIEC a surtout porté son attention sur l'estimation de paramètres indicateurs du changement climatique à l'échelle globale, l'intérêt scientifique, économique et social se concentre sur les variations locales du niveau marin, lesquelles pourront s'écarter notablement de la moyenne globale.

Références bibliographiques-

- Bindoff N, Willebrand J, Artale V, Cazenave A, Gregory J, et al. (2007) *Observations: Oceanic climate and sea level*. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, ed. S Solomon, et al. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press.
- Cazenave A, Llovel L (2010) *Contemporary sea level rise*. *Annual Review of Marine Science* 2: 145-173.
- Domingues CM, Church JA, White NJ, Glecker PJ, Wijffels SE, Barker PM, Dunn JR (2008) *Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise*. *Nature* 453: 1090-1093.
- Ishii M, Kimoto M, Sakamoto K, Iwasaki SI (2006) *Steric sea level changes estimated from historical ocean subsurface temperature and salinity analyses*. *Journal of Oceanography* 62: 155-170.
- Mitrovica JX, Gomez N, Clark PU (2009) *The sea-level fingerprint of West Antarctic collapse*. *Science* 323: 753.
- Woodworth PL, Pouvreau N, Wöppelmann G (2010) *The gyre circulation of the North Atlantic and sea level at Brest*. *Ocean Science* 6: 185-190.
- Wöppelmann G, Martin Miguez B, Bouin MN, Altamimi Z (2007) *Geocentric sea-level trend estimates from GPS analyses at relevant tide gauges world-wide*. *Global and Planetary Change* 57: 396-406.
- Wöppelmann G, Letetrel C, Santamaria A, Bouin MN, Collilieux X, Altamimi Z, Williams SDP, Martin Miguez B (2009) *Rates of sea-level change over the past century in a geocentric reference frame*.