

LE RISQUE DE SUBMERSION DANS LE SYSTEME LAGUNAIRE DE LA PALME (LANGUEDOC, FRANCE) : NATURE DE L'ALEA ET PERCEPTION DU RISQUE

ANSELME B.^{1,2}, DURAND P.¹ ET GOELDNET-GIANELA L.^{1,2}

¹ Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne ; UMR 8591 LGP

² Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne ; UMR 8586 PRODIG

Abstract

This study deals with the sea-flood risk in a small lagoon called "Étang de La Palme" on the mediterranean coast of Languedoc (south of France). The risk of a sea-flood in this vulnerable area had been analysed through an integrated approach, combining the natural hazard's description with the perception of the sea-flood risk, itself examined through several interviews and an opinion survey. Our study includes a hazard modélisation , based on data of the last highest storms, associated with individual informations obtained through the opinion survey. The gap we have observed between the risk's reality and its perception is not only linked with a high social ignorance of physical processes and management forms, but also with imprecise tidal measures. Hence, to improve the local evaluation of a sea-flood risk and to propose a cartographic presentation of it, we used a hazard modélisation and took some subjective elements into accounts.

Key-words: Coast of Languedoc, lagoon, risk of sea-flood, sea level rise, storm, Digital elevation model, management, perception, opinion survey.

Introduction

L'étang de La Palme, situé sur le littoral languedocien immédiatement au nord du cap de Leucate, est un système lagunaire de petite taille (600 ha), de type semi-fermé (fig.1). Il communique avec la mer par le seul grau du Languedoc dont le fonctionnement reste naturel (ouverture en hiver et fermeture en été). Il est séparé de la mer par un cordon littoral large de 200 à 300 m, mais de très faible altitude (1 m NGF au maximum). Les phénomènes de submersion marine y sont donc fréquents, se produisant été comme hiver, et ils seront sans doute amenés à se renforcer, dans le contexte actuel d'élévation du niveau marin. Or, cette lagune peu anthropisée par rapport aux étangs voisins de Salses-Leucate ou de Thau, concentre néanmoins des enjeux importants, tant sur le plan écologique – grande biodiversité permise par une qualité des eaux remarquable – qu'économique, marqué par la présence de la station balnéaire de la Franqui et par le passage au milieu de l'étang d'une voie ferrée menant vers le sud de l'Europe. Le risque de submersion de cet espace sensible a par conséquent été abordé à travers une démarche intégrée originale, s'attachant aussi bien à la description précise de l'aléa qu'à la perception du risque de submersion par la population et les différents acteurs.

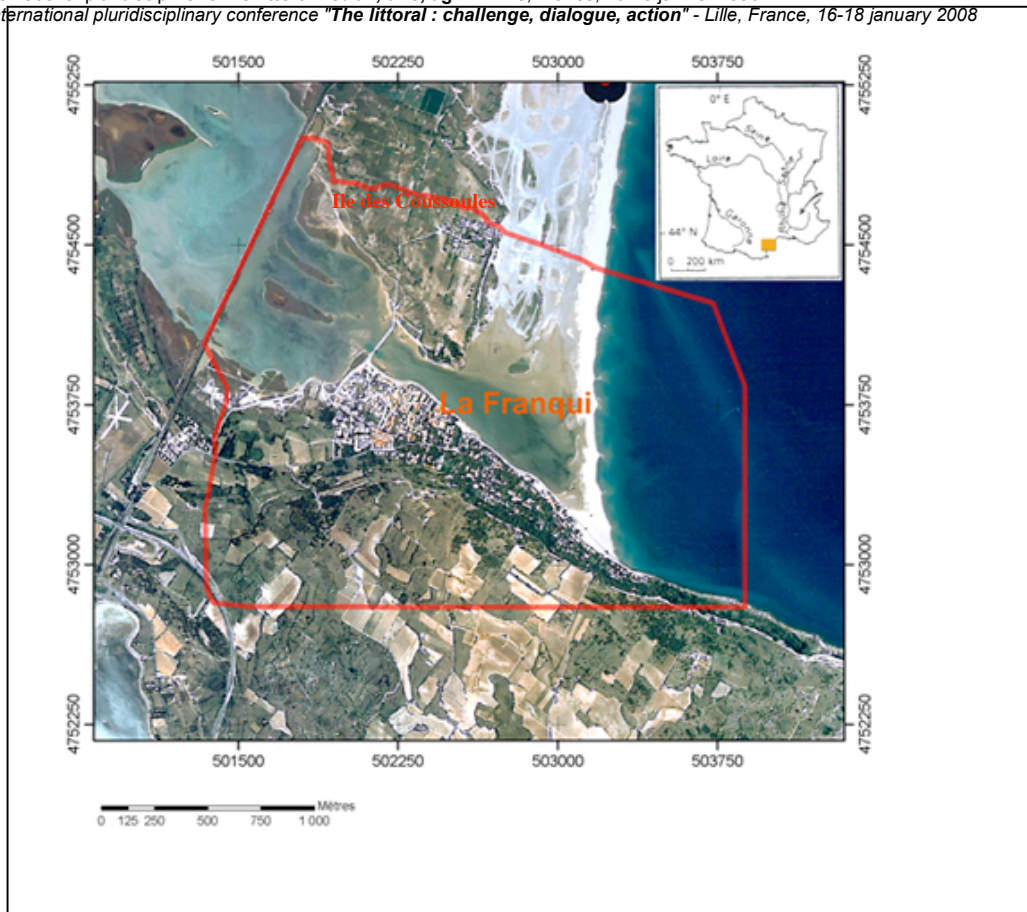


Figure 1 : Localisation de La Franqui et emprise du Modèle Numérique de Terrain
(sur cette photographie, le grau est fermé)

1. De la difficulté à évaluer le risque : la réalité de l'aléa confrontée à l'aléa de la perception

1.1. Des données objectives sur l'aléa : hauteurs d'eau et niveaux topographiques

Les épisodes de submersion marine se produisent lors de tempêtes, qui entraînent une élévation anormale du niveau marin le long du rivage. Sur les littoraux bas, cette élévation se matérialise par l'association de deux phénomènes, les surcotes marines et l'élévation du niveau marin liée à l'action de la houle dans la zone de déferlement. Les surcotes résultent de la conjonction d'une baisse de la pression atmosphérique et de forts vents marins qui poussent et accumulent les masses d'eau à la côte : le niveau de la mer devient alors supérieur au niveau normalement atteint par la marée astronomique, ce qui engendre une surcote. L'action de la houle dans la zone de déferlement se traduit quant à elle par une élévation locale du niveau marin, composée à la fois du set-up (augmentation du niveau moyen du plan d'eau) et du run-up (niveau maximum atteint par les vagues lorsqu'elles déferlent sur la plage) (Komar, 1998).

Si ce deuxième phénomène est un paramètre très difficile à mesurer objectivement – on l'évalue à partir de formules semi-empiriques (Komar, 1998, Sabatier, 2003) –, les surcotes, en revanche, peuvent être déterminées précisément en comparant les hauteurs d'eau réellement enregistrées par les marégraphes et les hauteurs prévues par le S.H.O.M. pour la marée astronomique. Dans le cas qui nous intéresse, les deux marégraphes les plus proches du secteur d'étude sont toutefois situés assez loin, respectivement à Sète (40 km au NE) et Port-Vendres (30 km au SE), et ils fonctionnent seulement depuis 1986 (pas de données après 1995 pour Port-Vendres). Localement, les seules données de hauteur d'eau disponibles sont des observations faites entre 1957 et 2004 au niveau de l'échelle à marée située à l'entrée du chenal d'accès au port de Port-la-Nouvelle, 3 km au nord de l'étang de La Palme. Or, ces données manquent de précision, de par leur nature (observations visuelles), leur faible fréquence (seulement 3 observations journalières, à 6h, 12h et 18h), et le caractère incomplet des séries d'observations (17 années comportant des

lacunes de plus de 1 mois en hiver, période de l'année où se produisent les plus fortes tempêtes) : concrètement, il est impossible de déterminer des surcotes précises à partir de ces observations. L'évaluation des niveaux d'eau « à risque », atteints lors des tempêtes dans le secteur de La Palme se heurte donc à un manque de mesures précises. Les données de Port-La-Nouvelle fournissent néanmoins des indications intéressantes sur les hauteurs d'eau atteintes lors des fortes tempêtes (tab. 1).

Tableau. 1 : Hauteurs d'eau lors des fortes tempêtes entre 1957 et 2005¹
 (source : capitainerie de Port-la-Nouvelle)

Date de la tempête	Durée en jours	Hauteur maximale observée à Port-la-Nouvelle (en m N.G.F.)
2003 : 17 au 20 oct, 4 au 10 déc	4 et 7	0,90 et 1,10
20 au 22 nov 2002	3	0,68
3 et 4 avril 2000	2	0,85
1999 : 20 et 21 oct, 12 au 15 nov	2 et 4	0.65 et 1
16 au 19 déc 1997	4	1,15
1996 : 9 au 11 janv, 22 au 24 janv, 29 et 30 janv	3, 3 et 2	0.74, 0,75 et 0,70
8 et 9 déc 1995	2	0,52
12 au 14 oct 1993	3	0,62
17 au 21 nov 1989	5	0,80
3 au 6 déc 1987	4	0,89
7 au 9 nov 1982	3	0,98
1970 : 8 et 9 janv, 12 au 15 janv 1970	2 et 3	0.80 et 0,78
5 et 6 oct 1969	2	0,65
2 et 3 déc 1963	2	0,65
5 au 9 nov 1962	5	0,85
7 et 8 nov 1961	2	0,90
4 et 5 février 1959	2	0,70
8 et 9 mars 1958	2	0,90
12 et 13 déc 1957	2	0,60

Il apparaît que le littoral a connu une forte tempête tous les 2 ans en moyenne entre 1957 et 2005 (probablement plus en raison des lacunes d'observation). Les plus fortes hauteurs atteintes à Port-La-Nouvelle ont été observées au cours des 10 dernières années (16 au 19/12/1997, tempête cinquantennale, 12 au 15/11/1999 et 4 au 10/12/2003). Compte tenu de la topographie très basse du cordon littoral de La Palme, ces niveaux paraissent largement suffisants pour avoir provoqué des submersions marines. La réalisation d'une topographie fine du site a permis de préciser ce point.

1.2. Les données topographiques

La topographie a été mise en évidence par la construction d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) à partir de levés effectués par nos soins au D-GPS et au moyen d'une station totale TRIMBLE, et de levés réalisés par un cabinet de géomètre pour la mairie de Leucate. La précision de ces données est d'ordre centimétrique. L'étude s'est limitée à la partie SE de la lagune, sur un rectangle d'environ 2 km sur 1, entre le cordon littoral, la station de la Franqui, le pont de la voie ferrée et l'île des Coussoules (cf. fig. 1), car il s'agit du secteur où le risque de submersion est de loin le plus important. Sur cette surface de 200 ha, un peu plus de 4500 points ont été utilisés pour

¹ Seules les valeurs supérieures ou égales à 40 cm NGF ont été retenues car seules les hauteurs d'eau dépassant ce seuil sont considérées comme géomorphologiquement actives dans les processus d'évolution du littoral du golfe du Lion (Bruzzi, 1996 et Durand, 1999). Les données des marégraphes ont été fournies par les Services Maritimes du Languedoc-Roussillon.

élaborer un MNT vectoriel. Les structures anthropisées comme la route des Coussoules, la voie ferrée et la digue - promenade de La Franqui ont été intégrées dans le modèle numérique. Nous avons ensuite rasterisé le MNT de façon à lisser les effets dus à l'interpolation TIN (fig. 2).

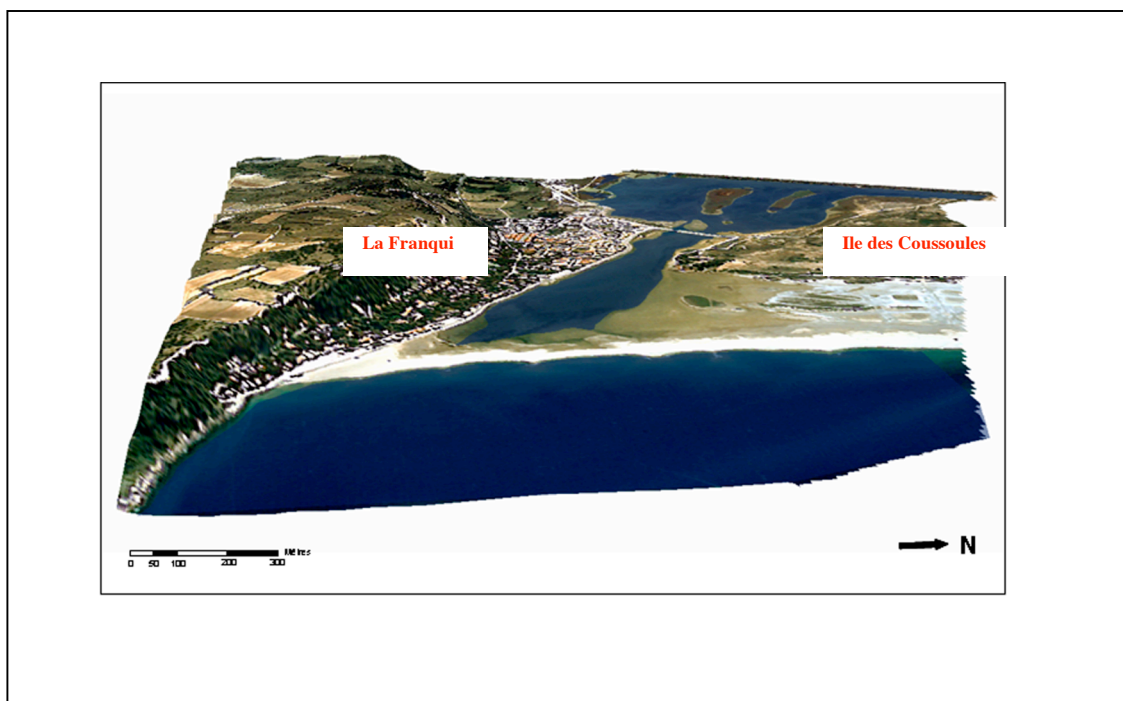


Figure 2. Topographie du système lagunaire de La Palme

1.2. La réalité économique du risque de submersion : une faible vulnérabilité mais des dommages réguliers

Si le risque de submersion est élevé en raison de la faiblesse des altitudes, il n'est pas perçu comme tel par les pouvoirs publics, du fait de la relative faiblesse des enjeux économiques et de leur concentration dans les seuls secteurs de La Franqui et des Coussoules. Cette faible vulnérabilité de la lagune dans son ensemble tient à la présence d'une succession d'obstacles parallèles à la mer, à la fois naturels et anthropiques : l'île des Coussoules, qui s'étend sur 50 % de la façade exposée de la lagune ; une voie ferrée qui traverse de part en part la lagune sur une digue ; une zone de salins qui couvre un quart de la surface lagunaire ; et la rive interne, protégée par une digue. Depuis ces aménagements de la fin du XIX^e siècle, la circulation des eaux marines ne se fait plus que sous le pont de la voie ferrée, situé dans l'axe du grau, et, au-devant d'elle, sous le pont d'accès à l'île des Coussoules, datant des années 1960 (cf. fig. 1). Ces différents obstacles protègent très largement l'étang et ses rives en cas de tempête. Celles-ci sont par ailleurs peu peuplées : La Palme ne compte que 1200 habitants, dont les résidences sont situées à une hauteur suffisante. Les habitants du hameau de La Franqui - rattaché à la commune de Leucate -, ne sont que 250 en hiver, en période de tempête, mais leur nombre est multiplié par dix en été. Sur le plan économique, l'activité touristique est concentrée dans cette station et n'a pas donné lieu à des aménagements en dur sur le cordon littoral (cf. fig. 2). Les activités primaires, très développées (19 % des actifs à La Palme), ne concernent toutefois pas la lagune (les salins ont fermé en 2005) et l'activité industrielle est pratiquement inexistante, comme sur l'ensemble du littoral.

Si la vulnérabilité socio-économique paraît limitée, les dommages causés par les tempêtes ne sont pas inexistantes. Chaque tempête induit un arrêt momentané des activités de loisirs sur le cordon (sports de glisse et de vent), voire la fermeture des commerces de la Franqui ou l'interruption du trafic ferroviaire. Sur ce plan, le passage de la voie en pleine lagune impose une consolidation régulière de la digue et le remplacement permanent des rails corrodés. Du temps de leur activité, les saliniers dépensaient 70 000 €/an pour remblayer la plage, érodée, qui devait isoler leurs bassins de la mer. Lors de tempêtes plus graves, ces coûts sont évidemment plus élevés : la viticulture a complètement disparu des Coussoules après la tempête de 1982 ; les salins ont dû

réparer leur système de pompage après celle de 1997, et la submersion marine de 1999 aurait causé des dégâts compris entre 1 et 2 millions d'euros : il a été nécessaire, outre les dégâts privés, de reconstruire la digue et les enrochements du front de mer de La Franqui et d'y réparer les réseaux d'électricité, d'eau et de téléphone.

1.3. Un hiatus entre la perception sociale de l'aléa et du risque et leur réalité

Pour cerner la perception locale de l'aléa dans ce contexte de faible vulnérabilité, nous avons procédé à des entretiens classiques (mairies de Leucate et La Palme, PNR, DIREN, port de Port-la-Nouvelle, association *Les Amis de la Franqui*, historien local...), de même qu'à une enquête par questionnaire conduite auprès des résidents de La Palme et de la Franqui et des touristes de passage. Interrogées en juin 2006 sous la forme d'un questionnaire standardisé, 201 personnes ont livré des réponses utilisables. Le profil des enquêtés correspond à une population appréciant la nature et les activités qu'elle offre (promenade, observation de la nature, baignade et sport) et d'un capital culturel élevé (un tiers des enquêtés a au moins un bac + 2). Toutefois, cette population, malgré son ancrage local massif (la moitié des enquêtés y dispose d'une résidence permanente ou secondaire), ne semble pas très bien connaître la lagune : 70 % d'entre eux ne la fréquentent pas ou très peu et se rendent davantage sur la plage ; et les enquêtés sont 65 % à penser que la lagune n'est pas protégée ou à être sans opinion à cet égard alors qu'il s'agit d'un site qui cumule les statuts de site Natura 2000 et de site Ramsar, tout en étant intégré au PNR de la Narbonnaise. Cette enquête fait apparaître plusieurs hiatus entre la perception de l'aléa ou du risque et leur réalité. S'il semble assez logique que les tempêtes aient été davantage observées par un groupe comprenant les résidents permanents, les résidents du bord de mer et les personnes fréquentant le site depuis longtemps, et que seules les tempêtes des dix dernières années soient restées dans les mémoires (soit 5 sur 24), il est plus surprenant que seules les tempêtes de 1999 et 2002 aient été évoquées par les enquêtés (respectivement 18 fois et 7 fois), alors que les tempêtes les plus longues (2003) ou aux niveaux d'eau les plus hauts (1997) sont pratiquement passées inaperçues. Précisons que si les 3/5^e des enquêtés « avaient en mémoire des montées de la mer particulièrement hautes », seules 56 % des dates de tempêtes qu'ils ont fournies étaient exactes... On observe en second lieu certaines incohérences dans la perception du risque. Ainsi, si les trois quarts des enquêtés considèrent que les submersions constituent un phénomène « normal », la moitié des personnes interrogées décrit pourtant ces tempêtes comme des événements impressionnants, tant par leurs manifestations physiques (violence et rapidité du phénomène évoqué à travers le vent, les vagues et les orages, évocation de toutes sortes d'échouages) que par leurs effets sur les zones habitées (présence de la mer sur les routes et dans les secteurs habités). De la même façon, leur sentiment de sécurité face au risque paraît difficile à cerner : près des 9/10^e des enquêtés ne se « sentent pas menacés par l'élévation du niveau de la mer dans l'étang », mais ils sont moitié moins à se sentir « suffisamment protégés » contre le phénomène. Même si ces deux sentiments ne sont pas identiques, cet écart nous semble intéressant. On observe un dernier hiatus entre réalité et perception, cette fois entre la réalité géographique du risque - c'est-à-dire l'extension spatiale des submersions - et la sensibilité de la population à ce risque. En associant les résultats de l'enquête à ceux du MNT, on a cherché à mesurer des différences entre les réponses de personnes dont les résidences étaient situées hors de la zone à risque à celles de personnes dont les résidences étaient en pleine zone à risque (durant la tempête de novembre 1999 en particulier), pensant que ces dernières auraient une mémoire et une connaissance de l'aléa plus avérées, de même qu'une conscience du danger ou une connaissance du risque plus élevées. Il se trouve qu'aucun écart significatif n'est observable entre ces deux populations quelle que soit la thématique abordée. Au final, les tempêtes ne semblent pas gravées dans les mémoires - en dehors de celle de 1999 -, la conscience du risque semble globalement limitée et les incohérences observées semblent généralisées, quel que soit le lieu de résidence.

2. Pourquoi un tel décalage entre la réalité du risque et sa perception ?

Trois raisons nous semblent expliquer cet écart entre la réalité économique, physique ou géographique du risque et sa perception, très atténuée : une faible connaissance des phénomènes physiques, l'influence d'un discours officiel ayant longtemps minimisé le risque, mais aussi l'existence de biais dans l'acquisition des données marégraphiques de 1999.

2.1. Une certaine méconnaissance du phénomène de submersion marine

La méconnaissance du phénomène transparaît au travers du traitement de plusieurs questions. La première était relative aux causes des submersions (« comment expliqueriez-vous cette montée de la mer »). Si plus de la moitié des réponses ouvertes obtenues sont logiques voire exactes, 47 % d'entre elles nous semblent toutefois erronées, imprécises ou curieuses. On évoque par exemple la lune, les conditions telluriques, la fonte des neiges, le gonflement des rivières, la mauvaise évacuation des étangs ou les « droits » de la mer... Les effets de mode jouent aussi, avec l'invocation du changement ou du réchauffement climatique. Le futur n'est pas plus clairement décrit que le présent : les enquêtés ont été invités à choisir entre des scénarios de submersion, plus ou moins réalistes et basés sur une élévation du niveau de la mer d'une vingtaine de centimètres d'ici 2050. 60 % des réponses ont montré une complète méconnaissance de ce qui pourrait advenir dans la lagune – ce qui renforce l'idée d'une complète méconnaissance des niveaux d'eau actuellement atteints lors des tempêtes. En effet, 60 % des enquêtés ont imaginé (totalement ou en partie dans leurs réponses) une submersion de grande ampleur correspondant à une élévation de 5 à 10 fois supérieure à celle qui est attendue : la voie ferrée, située à 3 m NGF, devrait ainsi être constamment coupée et l'île des Coussoules serait vouée à disparaître...

Cette méconnaissance du phénomène de submersion et cette incapacité à projeter ce phénomène dans le futur sont d'autant plus étonnantes que les enquêtés ont en moyenne un capital culturel élevé, que la moitié des personnes interrogées sont des résidents permanents ou secondaires et que 60 % des enquêtés fréquentent le site depuis au moins 10 ans (la durée moyenne de fréquentation atteignant presque 19 ans !) – trois variables qui auraient pu davantage jouer sur la connaissance de l'aléa et du risque.

2.2 Méconnaissance et limitation des modalités de la gestion du risque

A cela s'ajoute une totale méconnaissance des modalités ou des acteurs de la gestion du risque. En l'occurrence, un cinquième des enquêtés ne cite que des protections naturelles sans mentionner aucun ouvrage (digue, enrochement) ou organisme (mairie de Leucate par exemple) et un sixième d'entre eux fournit des réponses totalement hors de propos : ce seraient les berges, les caps, les carrières, les panneaux d'information, la Société des amis de la Franqui ou le PNR qui protégeraient la population des submersions marines ! Il est vrai que la prise en compte du risque par les pouvoirs publics a tardé, du moins à l'échelle départementale ou régionale. De nombreux services de l'Etat auraient ainsi refusé de croire en la réalité locale des submersions et en leur dangerosité avant d'avoir vu les photographies de la tempête de 1999. Mais cette prise de conscience ne semble pas s'être encore généralisée. Pour l'heure, des réalisations communales atténuent légèrement le risque : l'enrochement et la digue-promenade ont été reconstruits après 1999, à une hauteur d'environ 2 m pour cette dernière, et un relevé topographique a été réalisé à l'échelle de la commune.

2.3 Des biais dans l'acquisition des données objectives ?

Une troisième explication du décalage observé entre la réalité du risque et sa perception pourrait tenir à l'imprécision des observations de niveaux d'eau, notamment lors de la tempête de 1999. En effet, lors de cette tempête, la hauteur d'eau observée à l'échelle à marée de Port-La-Nouvelle n'a été que de 1 m N.G.F. et le niveau enregistré à Sète de 0.75 m. Or, visiblement, l'eau a atteint des niveaux bien supérieurs, comme en témoignent quelques photographies prises lors de cet épisode, où l'on observe une submersion de la promenade de front de lagune, située à 1.9 m NGF à cet endroit (photo 1). Ceci est confirmé par les réponses données à certaines questions, qui évoquent effectivement une submersion de cette promenade, ainsi que de du pont des Coussoules, situé entre 1.8 et 1.9 m N.G.F. La présence de troncs d'arbres bloquant la voie ferrée, située entre 2.8 et 3 m, et l'échouage sur la plage 3 km au nord de La Franqui d'un navire de commerce avec un tirant d'eau de 3 m (photo 2) suggère même que la mer a pu monter jusqu'à ce niveau.



Photos 1 et 2 : Tempête de novembre 1999 : submersion du front de mer à La Franqui, (source : mairie de Leucate)

et cargo échoué sur le cordon littoral (source : capitainerie de Port-La-Nouvelle)

Par ailleurs, la compilation pour les dernières grandes tempêtes (décembre 1997, novembre 1999 et décembre 2003) des observations faites à l'échelle régionale et leur confrontation avec les enregistrements des marégraphes de Sète et de Port-Vendres révèle un décalage systématique entre ces deux types de données (tab. 2). Les niveaux observés sont nettement supérieurs aux hauteurs enregistrées. Ceci suggère que les observations visuelles intègrent (même de manière imprécise) un phénomène essentiel pour caractériser l'intensité de l'aléa, mais qui ne peut pas être pris en compte par les marégraphes : l'agitation du plan d'eau générée par la houle (set-up et run-up).

Tableau. 2 : Hauteurs d'eau observées et enregistrées lors de tempêtes récentes à l'ouest du golfe du Lion

	Tempête déc. 1997	Tempête nov. 1999	Tempête déc. 2003
Mesure fournie par un marégraphe (en m N.G.F.)	1.06 m (Sète)	0.75 m (Sète)	0.85 m (Sète) 0.87m (Port-Vendres)
Port-Barcarès (mesure basée sur des témoignages visuels) ^a	1.2 m		1.2 m
Port de Canet (mesure basée sur des témoignages visuels) ^b	1.2 à 1.3 m		1.25 m
Port de St-Cyprien (mesure basée sur des témoignages visuels) ^b	1.45 m		1.3 m
Port d'Argelès (mesure basée sur des témoignages visuels) ^b	1.5 m		1.3 m
Port de Port-Vendres (mesure basée sur des témoignages visuels) ^c	1.7 m	1.3 m	1.5 m

a : constatée au niveau de l'échelle placée sous le pont mobile ; b : submersion respectivement de 25 et 30 cm au dessus du niveau des quais des ports, eux-mêmes situés à 1 m ; c : par rapport aux quais intérieurs, situés à 1.5 m, submergés en 1997 et 2003. source : S.M.N.L.R.

Les constatations précédentes soulignent la difficulté qu'il y a à évaluer précisément le risque de submersion. Tout le problème est d'arriver à approcher au mieux la réalité afin de pouvoir réaliser une cartographie des zones susceptibles d'être inondées. Il semble en effet nécessaire ici de sensibiliser les populations et les acteurs locaux à un risque mal connue et sous-évalué.

3. Quelques pistes pour améliorer l'évaluation du risque

Pour améliorer cette évaluation du risque, nous avons travaillé sur deux aspects complémentaires : la modélisation de l'aléa et la prise en compte des données subjectives recueillies lors des enquêtes pour préciser le degré de risque.

3.1. Une approche de la réalité de l'aléa par le biais de la modélisation

La modélisation de l'aléa submersion repose sur le croisement entre la topographie fine du site décrite par le M.N.T. et les hauteurs d'eau atteintes lors des tempêtes. La méthode s'inspire ici de plusieurs travaux réalisés récemment sur ce thème, à la fois sur la côte méditerranéenne française (Durand et Heurtefeux, 2006), dans le bassin d'Arcachon (Anselme *et al.*, sous presse), sur la côte finistérienne (Suanez *et al.*, 2006), sur le littoral du Cotentin (Levoy, 2003) et en Polynésie française (Bessat et Anselme, 2006). La modélisation porte sur les trois dernières grandes tempêtes ayant engendré des submersions (décembre 1997, novembre 1999 et décembre 2003). Evidemment, elle doit être considérée comme une simple approche de la réalité, en particulier en raison du manque de données locales précises concernant les hauteurs d'eau atteintes lors des tempêtes et parce qu'il s'agit ici d'une modélisation en 2D de type statique qui ne prend pas en compte les effets morphologiques et hydro-dynamiques des épisodes de submersion tels que la modification de la configuration du cordon sableux ou les vitesses de l'écoulement, sans doute rendu particulièrement complexe par la spécificité du milieu lagunaire.

Pour estimer les niveaux atteints lors de ces trois tempêtes, nous avons eu recours aux données du marégraphe de Sète, même si ce dernier est situé à 40 km au NE du secteur d'étude. D'une part, s'agissant d'enregistrements marégraphiques, ces données semblent plus fiables que les observations visuelles faites à l'échelle à marée de Port-La-Nouvelle. D'autre part, des recherches récentes (Ulmann et Pirazzoli, 2007) ont montré qu'il existe de fortes corrélations spatiales, temporelles et de hauteur, entre les niveaux marins extrêmes enregistrés lors des tempêtes par les quatre marégraphes localisés dans le golfe du Lion (à Marseille, au Grau de la Dent dans le delta du Rhône, à Sète et à Port-Vendres). En l'absence d'enregistrements locaux, il paraît donc acceptable d'utiliser les données du marégraphe de Sète, ces dernières ayant été préférées aux données de Port-Vendres car le marégraphe de Sète est situé sur une côte aux caractéristiques beaucoup plus proches (côte sableuse, exposition face au SE) de celles de La Palme que Port-Vendres (côte rocheuse, exposition au NE).

Le recours à des enregistrements marégraphiques pose néanmoins le problème de la non prise en compte de l'action de la houle agissant sur la déformation du plan d'eau au rivage, matérialisée par le set-up et le run-up (cf. supra). Ces deux paramètres peuvent cependant être calculés à partir de formules semi-empiriques (Komar, 1998, Sabatier, 2003). L'estimation du run-up reste toutefois très aléatoire, étant donné que la hauteur maximale atteinte par les vagues sur un rivage peut varier sensiblement en fonction du type d'obstacle qu'elles rencontrent lorsqu'elles déferlent (plage de sable sans protection, murs, digues etc.). Une étude récente (Suanez *et al.*, 2006) propose en revanche de prendre en compte le set-up, en complément des données marégraphiques, pour estimer les niveaux marins extrêmes. Nous nous en inspirons dans le cas présent. Ainsi, le set-up pour les tempêtes de 1997, 1999 et 2003 a été calculé à partir de la formule de Holman et Sallenger² (1985).

Les données utilisées pour le calcul de ce paramètre (enregistrements houlographiques et profils bathymétriques de l'avant-plage) ont été fournies par les services maritimes du Languedoc-Roussillon. Le tableau 3 récapitule les hauteurs d'eau obtenues selon cette méthode et la figure 3 expose les résultats des simulations de submersion pour les hauteurs en question.

² $\eta_{\max} = 0.45 H_0 \xi_0$, où 0.45 est une constante sans dimension ; H_0 est la hauteur significative de la houle au large (en m) ; ξ_0 est le nombre d'Iribarren, (Battjes, 1974), calculé par la formule suivante : $\xi_0 = \tan\beta / (H_0/L_0)^{0.5}$ où $\tan\beta$ est la pente de l'avant-plage (pente du dos de la barre interne, selon la méthode employée par Barousseau, 1994) et L_0 la longueur d'onde de la houle au large.

Tableau. 3 : Estimation des niveaux marins extrêmes atteints lors des tempêtes de 1997, 1999 et 2003

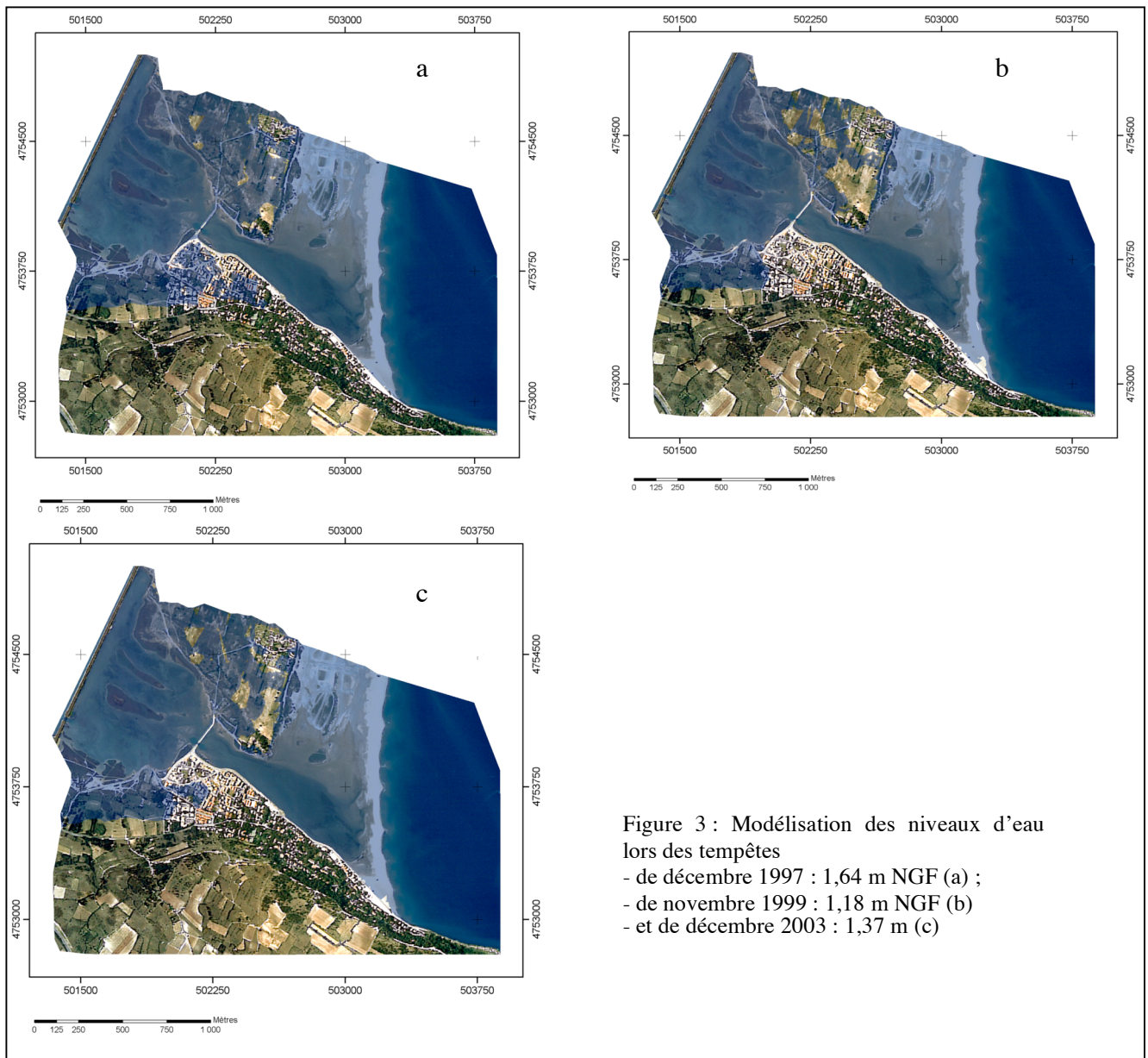
	Tempête déc. 1997	Tempête nov. 1999	Tempête déc. 2003
Hauteur maximale enregistrée au marégraphe de Sète (en m NGF)	1.06	0.75	0.85
Houle significative maximale à Sète (en m)	6.98	5.26	5.72
Période significative maximale à Sète (en secondes)	10.37	8.85	10.2
Set-up calculé (en m)	0.58	0.43	0.52
Niveau d'eau maximal estimé en m (marégraphie + set-up)	1.64	1.18	1.37

On constate que les niveaux extrêmes estimés selon cette méthode sont supérieurs de 18 cm (pour 1999) à 49 cm (pour 1997) aux observations visuelles faites à l'échelle à marée de Port-La-Nouvelle au cours de ces trois épisodes (cf. tab. 1). Ils sont par ailleurs assez voisins des observations faites dans les ports situés un peu plus au sud en décembre 2003 mais supérieurs de 10 à 40 cm par rapport aux observations de décembre 1997 (cf. tab. 2). En revanche, ils sont très inférieurs aux hauteurs qui ont été apparemment atteintes lors de la tempête de novembre 1999, soit plus de 2 m NGF (cf. & 2.3).

Les résultats d'ensemble de la modélisation sont mitigés. En effet, selon les simulations, le cordon littoral a été à chaque fois submergé, ainsi que la majeure partie de l'île des Coussoules, le secteur méridional de la lagune, au sud-ouest du pont, et une partie plus ou moins importante des quartiers de La Franqui situés juste au sud de ce même pont. D'après les enquêtes et divers témoignages, c'est effectivement ce qui s'est produit. Mais sur aucune des figures, la promenade de bord de lagune dans ces quartiers n'apparaît inondée (fig. 3). Or, manifestement, cela n'a pas été le cas, du moins en novembre 1999 (cf. photo 1). Il semble donc que l'ampleur de la submersion soit minimisée par la modélisation. On touche là aux limites d'une telle démarche.

Plusieurs explications peuvent être avancées à ce propos : (i) la spécificité du site (cordon littoral surbaissé très facilement submersible barrant une lagune) rend probablement particulièrement délicate une modélisation des niveaux extrêmes : il aurait fallu pouvoir construire un modèle dynamique, fondé notamment sur une bathymétrie précise de l'avant-plage et de l'étang et des séries de mesures en continu des variations du plan d'eau lagunaire ; (ii) : la modélisation ne prend pas en compte les effets du run-up, qui a pu amener l'eau à des niveaux extrêmes (cf. photo 2) ; (iii) la simulation peut avoir souffert du manque de données locales concernant la marée et les houles : en dépit des fortes corrélations relevées par Ulmann et Pirazzoli (2007) entre les niveaux marins extrêmes dans le golfe du Lion, on ne peut exclure que localement, ces tempêtes aient été plus violentes que dans le reste du golfe; (iv) pour déterminer le set-up, la pente de l'avant-plage a été estimée à partir d'un profil bathymétrique réalisé en été 1999 alors qu'il aurait fallu pouvoir la calculer à partir de profils levés juste avant les trois tempêtes considérées.

La modélisation s'avère donc insuffisante pour approcher la réalité de l'aléa submersion. C'est pourquoi, le recours aux données subjectives recueillies lors des entretiens et enquêtes peut s'aider utilement à mieux cartographier le risque.



3.2. La généralisation du recours à des données subjectives

L'enquête a montré que plus des quatre cinquièmes des données librement fournies par les enquêtés à la question « *Savez-vous jusqu'où l'eau est montée* » étaient plausibles. Ce sont surtout la voie ferrée (23 % des réponses), le front de mer de La Franqui (20 %), les routes principales d'accès et de traversée de La Franqui (16 %) et certains secteurs des Coussoules (11 %) qui ont été cités. Certes, ces réponses n'ont pas toujours été associées à des tempêtes spécifiques mais leur justesse globale, si on les compare à l'extension des submersions modélisées sur la figure 3, montre combien la prise en compte de données subjectives devrait être généralisée pour spécifier ou vérifier les données de submersion obtenues et cartographiées. Cette démarche peut même permettre de palier aux insuffisances de la modélisation, comme c'est manifestement le cas pour la tempête de novembre 1999. Ainsi, si l'on représente les zones submergées pour un niveau d'eau de 1,9 m N.G.F, hauteur minimale atteinte lors de cette tempête d'après les témoignages des habitants et de la Capitainerie (cf. § 2.3 et photo 1), on obtient une cartographie sans doute beaucoup plus proche de la réalité (fig. 4).

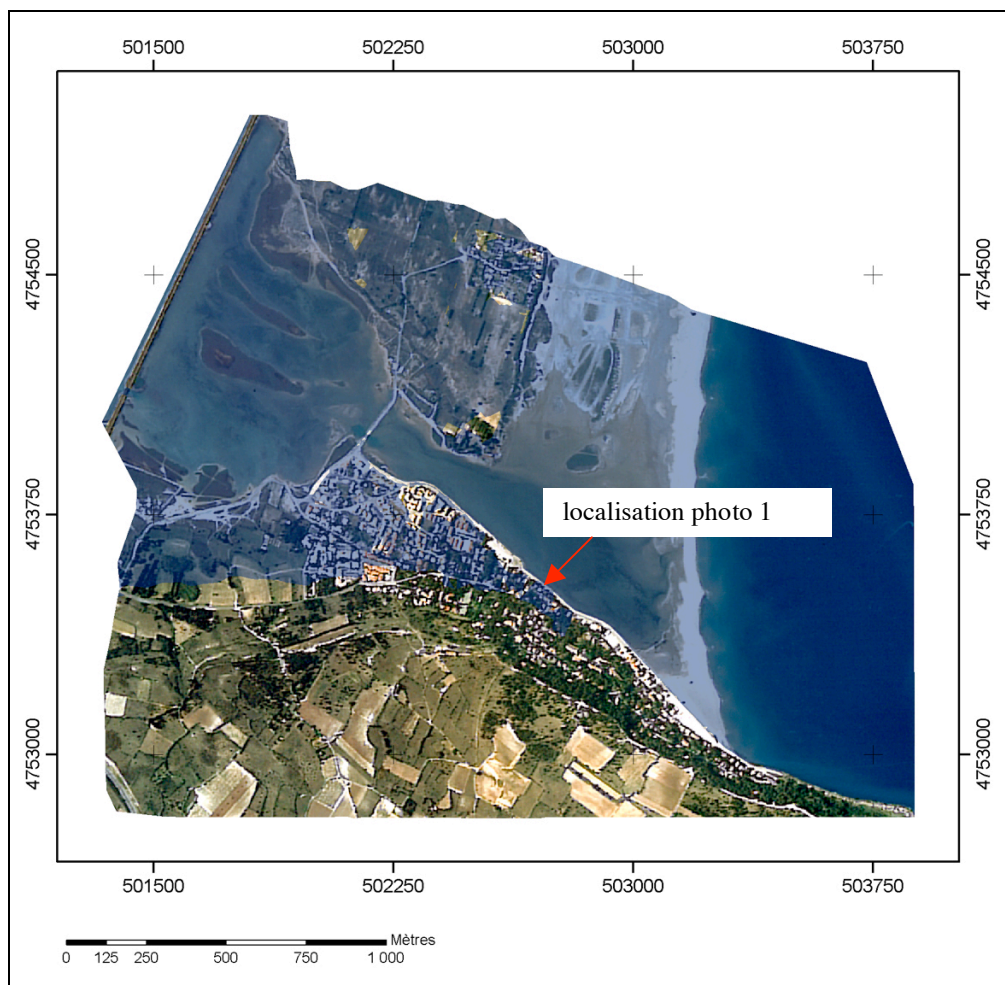


Figure 4. Niveau d'eau à 1.90m NGF montrant la submersion de certaines portions de la route qui longe la lagune de La Franqui (cf. photo 1).

Conclusion

Cette recherche s'efforce de montrer qu'il ne faut pas réduire l'approche du risque à une simple analyse historique et modélisation de l'aléa. Certes, cette démarche est indispensable, mais elle comporte des lacunes qui peuvent être partiellement comblées par une analyse concomitante des perceptions. Ainsi, les limites de la modélisation, qui tiennent à la fois au manque de données précises disponibles et à l'incapacité que l'on a encore aujourd'hui à élaborer une véritable modélisation dynamique, en 3D, du phénomène de submersion sur un littoral, expliquent qu'elle donne parfois des résultats mitigés. Dans notre cas, le niveau atteint par la tempête de 1999 a manifestement été sous-évalué. Dans ce contexte, l'analyse concomitante des perceptions est tout à fait essentielle pour mieux appréhender le risque. De fait, de telles enquêtes sont de plus en plus fréquemment mises en œuvre par les chercheurs pour aider à améliorer la gestion locale du risque, qu'il s'agisse d'inondations continentales (Vinet et Defossez, 2006) ou d'érosion et de pollution marines (Meur-Férec *et al.*, 2004). Elles permettent de mieux appréhender la mémoire et la connaissance de l'aléa, comme la conscience du danger et la connaissance du risque et aident par conséquent à l'amélioration de la gestion sociale du risque. Toutefois, ces enquêtes devraient intégrer davantage de données spatialisées, afin de rendre plus utilisables les observations des habitants – portant notamment sur l'extension de l'aléa -, selon qu'ils se situent ou non en zone à risques et ont été, ou non, susceptibles d'avoir vécu ou d'avoir été matériellement concernés par un événement. Une telle méthode a été appliquée à l'enquête que nous avons réalisée en juin 2007 dans une autre partie de la commune de Leucate : le hameau de Leucate-Plage, dont la vulnérabilité socio-économique au risque de submersion est plus forte.

Références Bibliographiques

- Anselme B., Durand P., Goeldner-Gianella L., Bertrand F., (sous presse) - Impacts de l'élévation du niveau marin sur l'évolution future d'un marais maritime endigue : le domaine de Graveyron, bassin d'Arcachon (France). *VertigO, la revue des sciences de l'environnement*.
- Barussaeau J.-P., Radulescu M., Descamps C., Akouango E., Gerbe A., 1994. Morphosedimentary multiyear changes on a barred coast (gulf of Lions, Mediterranean Sea, France), *Marine Geology*, 122, 47-62.
- Bessat F., Anselme B., 2006. Planning for climate change and sea level rise effects on coastal Pacific island: example of Tahiti island - French Polynesia, *WMO Climate Risk Conference, Espoo, Finland 17-21 July 2006, "Living with Climate Variability and Change: Understanding the Uncertainties and Managing the Risks"*.
- Bruzzi C., 1998. *Les tempêtes et l'évolution morphosédimentaire des plages orientales du delta du Rhône*, Thèse de Doctorat de Géographie, Université de Provence Aix-Marseille I, 325 p.
- Durand P. et Heurtefeux H., 2006. Impact de l'élévation du niveau marin sur l'évolution future d'un cordon littoral lagunaire : une méthode d'évaluation. Exemple des étangs de Vic et de Pierre Blanche (Languedoc, France). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 50, 2 p. 221-244
- Holman R.A., Sallenger A.H., 1985. Set-up and swash on a natural beach. *Journal of Physical Research*, 90 (C1), 945-953.
- IPCC, 2007. *Working Group I: The physical basis of Climate change*. Contribution of working group I to the Fourth Final report. Site web : <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>
- Komar P.D., 1998. *Beach processes and sedimentation*. 2nd edit., Printice Hall, 544 p.
- Levoy F., 1997. Cartographie des risques d'érosion et de submersion des côtes du Calvados. Rapport pour le CG du Calvados, 110 p.
- Levoy F., 2003. *Conséquences d'une élévation du niveau moyen de la mer sur le littoral des marais de Meuvaines et de Ver-sur-Mer*. Rapport final pour le Conservatoire du Littoral et la Fondation Procter & Gamble, 19 p.
- Meur-Férec C., Deboudt Ph., Deldreve V., Flanquart H., Hellequin A.-P., Herbert V., Longuépée J., Morel V., 2004, *La vulnérabilité des territoires côtiers : évaluation, enjeux et politiques publiques*, PNEC, ART n° 6, Rapport final, juin 2004, 22 p.
- Paskoff R., 1994. La cartographie prospective de l'évolution du trait de côte; un instrument indispensable pour l'aménagement des espaces littoraux. *Cahiers Nantais*, 41-42, 291-297.
- Paskoff R., 2000 (édit.). *Le Changement Climatique Et Les Espaces Côtiers*. Mission Interministérielle de l'Effet de Serre, Paris, 97 p.
- Paskoff R., 2004 Potential implications of sea-level rise for France. *Journal of Coastal Conservation*, 20, 424-434.
- Pirazzoli P.A., 2000. Surges, atmospheric pressure and wind change and flooding probability on the Atlantic coast of France. *Oceanologica Acta*, 23, 6, 643-661
- Sabatier F., 2001. *Fonctionnement et dynamiques morpho-sédimentaires du littoral du delta du Rhône*. Thèse de doctorat de géosciences de l'environnement, option géographie. Université Aix-Marseille III, 244 p.
- Suanez S., Fichaut B, Sparfel L., Postec A., 2006. Erosion dunaire et risques associés, le cas de la plage du Vougot (Guissény – Finistère). Natura 2000 et Contrat Nature. *Actes du colloque international de la Baule, Interactions Nature-Société, analyse et modèles*, mai 2006
- Ullmann A., Pirazzoli P.A., 2007, Caractéristiques spatiales de la formation des surcotes marines dans le Golfe du Lion. *Cybergeo* 362, 18 janvier 2007, 12 p.
- Ullmann A., Pirazzoli P.A., Tomasin A., 2007. Sea surges in Camargue (French Mediterranean coast) : evolution and statistical analysis on the 20th century. *Continental Shelf Research* , doi.10.1016/j.csr.2006.12.00.

Vinet F., Defossez S., 2006. La représentation du risque d'inondation et de sa prévention, *in* : Laganier. (éd.), *Territoires, inondation et figures du risque. La prévention au prisme de l'évaluation*, L'Harmattan, 257 p.