

Document public  
à accès différé

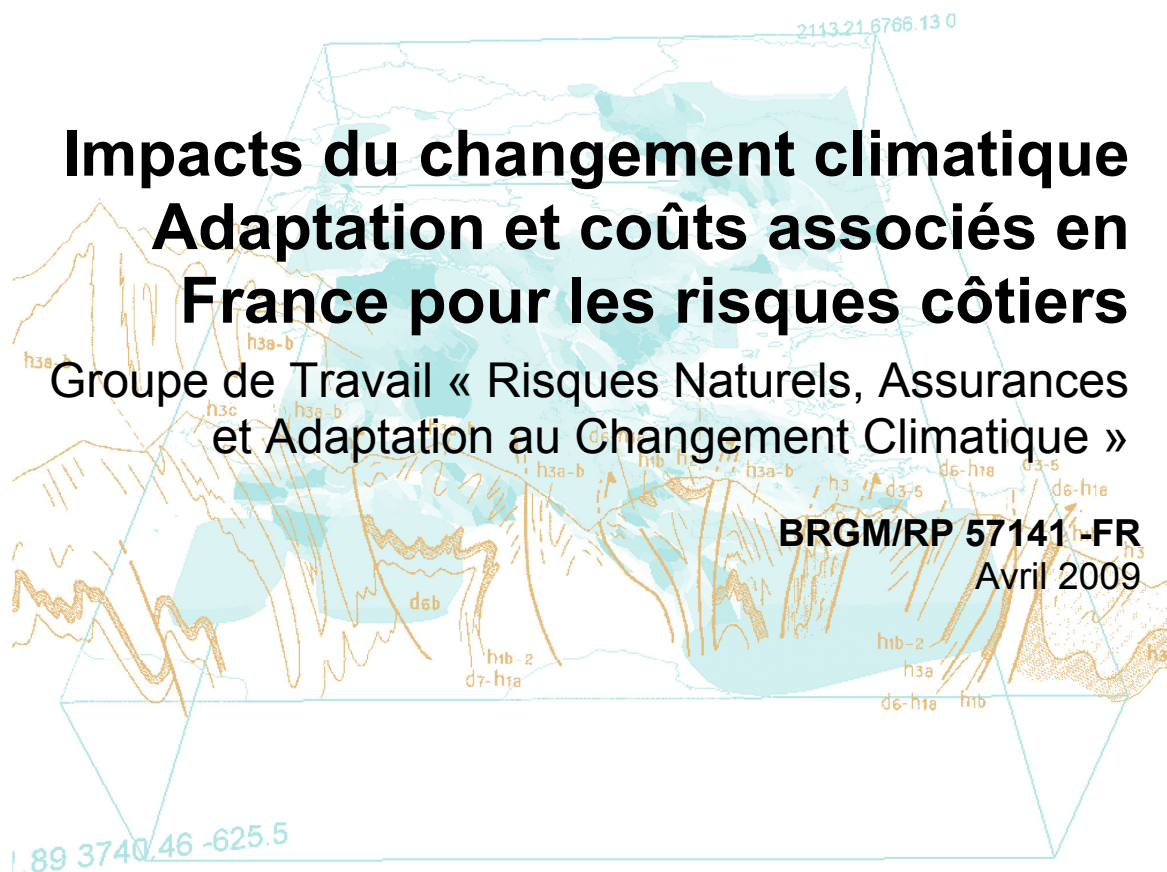


# Impacts du changement climatique Adaptation et coûts associés en France pour les risques côtiers

Groupe de Travail « Risques Naturels, Assurances  
et Adaptation au Changement Climatique »

BRGM/RP 57141-FR

Avril 2009





# Impacts du changement climatique Adaptation et coûts associés en France pour les risques côtiers

Groupe de Travail « Risques Naturels, Assurances et  
Adaptation au Changement Climatique »

**BRGM/RP 57141 -FR**  
Avril 2009

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM 2009


**G. Le Cozannet (BRGM), N. Lenôtre (BRGM), P. Nacass (Météo-France), S. Colas  
(MEEDDAT/SGDD/SoES), C. Perherin (CETMEF), C. Vanroye (DRE/LR), C.  
Peinturier (MEEDDAT/CGDD/SEEI), C. HAJJI (MRN), B. Poupat  
(MEEDDAT/CGDD/SoES), C. Azzam (MEEDDAT/DGPR/SRNH/BRM), J. Chemitte  
(MRN), F. Pons (CETE Méditerranée)**

Avec la collaboration de  
**Julien Renzoni (DIREN/LR), Stéphane Hallegate (CIRED)**

**Vérificateur :**

Nom : Carlos Oliveros

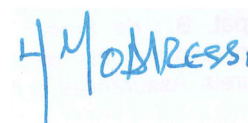
Date : 24/04/2009



**Approbateur :**

Nom : Hormoz Modaressi

Date : 27/04/2009



En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,  
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.  
**Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.**

Mots clés : changement climatique, risques côtiers, élévation du niveau marin, aléas côtiers, érosion, submersion

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Le Cozannet, G. ; Lenôtre, Nacass, P. ; N. ; Colas, S. ; Perherin, C., Vanroye C. ; Peinturier C. ; Hajji, C. ; Poupat, B. ; Azzam C. ; Chemitte, J. ; Pons, F., Impacts du Changement Climatique, Adaptation et coûts associés en France pour les Risques Côtiers ; Rapport du Groupe de Travail « Risques Naturels, Assurances et Adaptation au Changement Climatique », BRGM RP 57141, Avril 2009.

© BRGM, 2009, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

En application du Plan Climat français (2006), un groupe de travail interministériel « Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France », a été constitué afin d'engager un chantier d'évaluation des dommages potentiels et des mesures permettant de limiter le coût des impacts. Pour cela sept groupes de travail sectoriels ont été mis en place dont le groupe « Risques naturels, assurances et adaptation au changement climatique », dénommé GT RNACC. Ce GT a lui-même travaillé en sous-groupes thématiques dont le sous-groupe « Risques Côtiers », animé par le BRGM dans le cadre de la convention 2008 entre le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT/DGPR/SRNH) et le BRGM (convention n° 0001337, action 6.1). Ce rapport est le fruit d'une expertise collective. Il a été réalisé sur la base d'études et de données publiques et disponibles.

Le sous-groupe de travail a ciblé sa réflexion sur l'évolution des risques d'érosion et de submersion à échéance de la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle sur la région Languedoc-Roussillon, car plusieurs études traitant des risques côtiers actuels et futurs y ont été réalisées ou sont en cours.

En premier lieu, les hypothèses de changement climatique et leur impact possible sur les aléas côtiers sont examinés. Est ensuite étudiée l'exposition des personnes, des logements et des établissements à ces aléas. Une méthodologie d'analyse des risques et des coûts associés du fait du changement climatique a été proposée par le groupe d'experts et appliquée sur la région Languedoc-Roussillon avec une proposition d'extension à toute la France. A chaque étape du rapport, une attention particulière a été portée pour qualifier les incertitudes.

Pour terminer, ce rapport propose des mesures d'adaptation et des recommandations à court terme qui vont de l'amélioration de la connaissance aux stratégies d'adaptation en passant par les aspects de planification et de réglementation.

L'une des recommandations importantes de ce rapport est la mise en place de stratégies d'adaptation sans regrets, qui, a minima, conduiront à réduire les risques côtiers actuels. Un élément important de ces actions serait de faire en sorte de limiter l'installation de nouveaux enjeux dans les zones très exposées que sont par exemple les lidos et les embouchures des fleuves.



# Sommaire

<b>1. Introduction et rappel des objectifs .....</b>	<b>15</b>
1.1. CADRE.....	15
1.2. METHODOLOGIE .....	16
1.3. CONTRIBUTEURS .....	17
<b>2. Risques côtiers et changement climatique : concepts clés et revue bibliographique.....</b>	<b>19</b>
2.1. LES RISQUES COTIERS .....	19
2.1.1. La gestion des risques.....	19
2.1.2. Les différentes composantes du risque .....	20
2.1.3. Caractéristiques des aléas considérés dans cette étude .....	21
2.2. QUELQUES ETUDES EXISTANTES A DES ECHELLES REGIONALES, NATIONALE ET EUROPEENNES.....	22
2.2.1. Vulnérabilité actuelle du territoire national aux risques littoraux.....	22
2.2.2. Le projet Eurosion.....	24
2.2.3. Le projet Response.....	24
2.2.4. Etude de l'impact du changement climatique sur le patrimoine du conservatoire du littoral .....	28
2.2.5. Autres projets de recherche.....	28
2.3. DEMARCHE GENERALE DE CETTE ETUDE .....	29
<b>3. Hypothèses de changement climatique .....</b>	<b>31</b>
3.1. LA MODELISATION DU CLIMAT .....	31

3.1.1. Les travaux du GIEC .....	31
3.1.2. Les estimations à l'échelle globale .....	32
3.1.3. Les estimations à l'échelle régionale .....	33
3.1.4. L'élévation du niveau moyen de la mer .....	33
3.2. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET FORÇAGES DES SYSTEMES COTIERS .	37
3.2.1. Une définition des forçages des systèmes côtiers.....	37
3.2.2. Forçages susceptibles d'évoluer dans le contexte du changement climatique	37
3.2.3. Hypothèse d'élévation du niveau marin.....	38
3.2.4. Hypothèse d'évolution des régimes des tempêtes .....	39
3.2.5. Hypothèse d'évolution d'autres paramètres .....	40
3.3. IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RISQUES COTIERS AUX DIFFERENTES ECHEANCES 2030, 2050 ET 2100 .....	42
3.3.1. Situation actuelle .....	42
3.3.2. Situation en 2030.....	42
3.3.3. Situation en 2050.....	43
3.3.4. Situation à la fin du XXI <sup>ème</sup> siècle.....	43
3.4. CONCLUSION .....	44
<b>4. Modification de l'aléa .....</b>	<b>45</b>
4.1. DONNEES RATTACHEES A L'ALEA .....	45
4.1.1. Topographie.....	45
4.1.2. Morphologie de la côte .....	46
4.1.3. Autres données.....	47
4.1.4. Limites des données.....	47
4.1.5. Récapitulatif des données rattachées à l'aléa prises en compte.....	48



4.2. METHODOLOGIE .....	49
4.2.1. Erosion.....	49
4.2.2. Submersion permanente .....	50
4.2.3. Submersions temporaires.....	52
4.3. INCERTITUDES.....	56
4.4. CONCLUSION .....	56
<b>5. Les enjeux en zone littorale.....</b>	<b>58</b>
5.1. HYPOTHESE D'EVOLUTION DES ENJEUX .....	58
5.2. DEFINITION DES ZONES COTIERES .....	59
5.3. PRESSION DEMOGRAPHIQUE .....	60
5.4. OCCUPATION DES SOLS DANS LES ZONES COTIERES DE FRANCE METROPOLITAINE.....	60
5.5. OCCUPATION DES SOLS DANS LES ZONES COTIERES DE LA REGION LANGUEDOC-ROUSSILLON .....	62
5.6. ETABLISSEMENT PUBLICS ET PRIVES .....	63
<b>6. Exposition des personnes et des logements.....</b>	<b>66</b>
6.1. DONNEES.....	66
6.1.1. Données aléas.....	66
6.1.2. Données enjeux.....	67
6.2. METHODOLOGIE .....	67
6.3. LIMITES ET INCERTITUDES .....	70
6.4. RESULTATS .....	70

6.4.1. Population (Estimation).....	70
6.4.2. Nombre de logements (Estimation) .....	71
<b>6.5. POPULATIONS ET LOGEMENTS ACTUELLEMENT EXPOSES AUX ALEAS FUTURS</b> 72	
6.5.1. Aléas irréversibles d'érosion et/ou submersion permanente .....	72
6.5.2. Aléa récurrent de submersion temporaire .....	72
6.5.3. Résumé .....	74
<b>7. Exposition des établissements publics et privés .....</b>	<b>76</b>
7.1. DONNEES.....	76
7.1.1. Les données aléas.....	76
7.1.2. Les données enjeux.....	76
7.2. METHODOLOGIE .....	77
7.3. LIMITES ET INCERTITUDES .....	78
7.4. RESULTATS .....	78
7.5. ETABLISSEMENTS PUBLICS ET PRIVES EXPOSES AUX ALEAS FUTURS	80
7.5.1. Aléas irréversibles d'érosion et/ou submersion permanente .....	80
7.5.2. Aléa récurrent de submersion temporaire .....	80
7.5.3. Résumé .....	81
<b>8. Première estimation des coûts induits .....</b>	<b>83</b>
8.1. TYPES DE DOMMAGES CAUSES PAR LES ALEAS COTIERS.....	83
8.2. DONNEES ET INFORMATIONS UTILISEES .....	85
8.2.1. Bases d'estimation des coûts potentiels des dommages .....	85
8.2.2. Evaluation des coûts pour les submersions temporaires .....	86

8.2.3. Evaluation des coûts pour les submersions permanentes et l'érosion ..	87
8.3. METHODOLOGIE .....	88
8.3.1. Submersions temporaires .....	88
8.3.2. Erosion et submersions permanentes .....	88
8.3.3. Calcul du coût .....	88
8.4. RAPPEL DES LIMITES ET INCERTITUDES DE LA METHODE .....	88
8.4.1. Incertitudes des coûts des dommages potentiels aux logements .....	88
8.4.2. Incertitudes des coûts des dommages potentiels directs tangibles .....	89
8.4.3. Retour sur les incertitudes liées aux étapes précédentes de l'analyse ..	89
8.5. RESULTATS .....	90
8.5.1. Submersion temporaire .....	90
8.5.2. Erosion et submersions permanentes .....	92
8.5.3. Synthèse des résultats pour le Languedoc-Roussillon .....	92
8.5.4. Estimation des résultats pour la France Métropolitaine .....	93
8.6. ANALYSE DES RESULTATS .....	95
8.7. CONCLUSION .....	96
<b>9. Mesures d'adaptation et recommandations à court terme .....</b>	<b>99</b>
9.1. DEVELOPPER LA CONNAISSANCE .....	100
9.2. CAPITALISER LA CONNAISSANCE .....	101
9.3. INFORMATION, SENSIBILISATION, COMMUNICATION.....	102
9.4. AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET PLANIFICATION.....	103
9.5. NORMES ET REGLEMENTATION DU SECTEUR DE LA CONSTRUCTION	105

9.6. MESURES DE PROTECTION ET RELOCALISATION .....	106
9.6.1. Recul stratégique .....	107
9.6.2. Restauration du fonctionnement naturel .....	107
9.6.3. Maintien du trait de côte .....	107
9.7. MANAGEMENT ET STRATEGIE DE GESTION DES RISQUES .....	108
9.7.1. Dynamique multi-acteurs .....	108
9.7.2. Stratégie sans regrets .....	108
9.8. ÉVALUATION DES MESURES D'ADAPTATION .....	109
<b>10. Conclusion.....</b>	<b>111</b>
<b>11. Bibliographie .....</b>	<b>113</b>
11.1. PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES.....	113
11.2. AUTRES PUBLICATIONS.....	115
11.3. SITES INTERNET : .....	115
11.4. BASES DE DONNEES .....	116

## Liste des illustrations

Figure 1 : méthodologie appliquée dans le cadre de l'étude du groupe de travail Risques Côtiers du RNACC.....	16
Figure 2 : le cycle de gestion des catastrophes ; source : IGOS Geohazards ; (Salichon et al. 2007) .....	19
Figure 3 : estimation du nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles liées à la mer en Languedoc-Roussillon et Ouest Provence-Alpes-Côte d'Azur (réalisation : CETE Méditerranée).....	23
Figure 4: évolution des aléas érosion et submersion marine en 2100 sur le Lido de Sète à Marseillan dans le contexte du changement climatique. (Mise en place de la Méthodologie RESPONSE – échelle locale) Source : BRGM .....	25
Figure 5: enjeux actuellement situés dans des zones concernées par les aléas érosion et submersion marine en 2100 sur le Lido de Sète à Marseillan dans le contexte du changement climatique. (Mise en place de la Méthodologie RESPONSE – échelle locale) Source : BRGM.	26
Figure 6 : évolution possible des aléas érosion et submersion marine en Languedoc-Roussillon dans le contexte du changement climatique. (Mise en place de la Méthodologie RESPONSE – échelle régionale) Source : BRGM .....	27
Figure 7 : scénarii socio-économiques ; Note de lecture : le scénario A2 correspond à un modèle de société dans laquelle le développement est régionalisé et dans lequel la priorité est donnée aux considérations économiques. Source : GIEC.....	32
Figure 8 : somme des contributions climatiques (expansion thermique, glaces et eaux continentales) à la hausse du niveau moyen de la mer pour la période 1993-2005 ; Source, LEGOS, Cazenave, 2005.....	34
Figure 9 : carte de la distribution géographique des vitesses de variation du niveau de la mer (1993-2006) d'après Topex/Poseidon et Jason-1 ; Source, LEGOS, 2008 ; Cazenave, 2008 ; Lombard, 2004.....	35
Figure 10 : valeurs de l'élévation du niveau moyen des océans associée aux scénarii du GIEC (GIEC 2007). Trois variantes du scénario A1 sont proposées : l'une dans laquelle on a recours massivement à des énergies fossiles (A1FI), à des énergies non fossiles (A1T), à un panel équilibré d'énergies (A1B).....	36
Figure 11 : reconstitution du niveau marin de 200 après JC à aujourd'hui et estimation du niveau marin au XXI <sup>ème</sup> siècle. La reconstitution montre une réponse non-linéaire du niveau marin aux élévations de température. (Source : Grinsted) .....	43
Figure 12 : illustration de la délimitation de la zone d'érosion dans la région de Sète (en rouge).50	
Figure 14 : l'aléa submersion temporaire est supposé affecter actuellement la zone A (avec une occurrence décennale) et la zone B (avec une occurrence centennale). Avec le changement climatique, on suppose une translation de ces aléas de 1m. Ainsi, la zone A est supposée submergée (aléa de « submersion permanente »), et les submersions temporaires affecter les zones B (avec une occurrence décennale) et C (avec une occurrence centennale).....	54
Figure 15 : illustration des valeurs prises par la BD Topo ALTI pour les 5 premiers mètres NGF dans la région de Sète.....	55
Figure 16 : le littoral maritime métropolitain, communes et départements littoraux (Source SOeS) .....	59

Figure 17 : occupation du sol en métropole en 2000 ; * arrière-pays : communes non littorales des cantons littoraux ; Source : UE, SOES, CORINE Land Cover 2000, Observatoire du littoral.....	61
Figure 18 : occupation du sol en fonction de la distance à la mer en 2000 ; Source : UE, SOES, CORINE Land Cover 2000, Observatoire du littoral.....	61
Figure 19 : occupation du sol sur le littoral du Languedoc-Roussillon en fonction de la distance à la mer, en 2000 ; Source : UE, SoES, CORINE Land Cover 2000, Observatoire du littoral. ....	62
Figure 20 : surface construite annuellement en logements dans les communes littorales du Languedoc-Roussillon de 1990 à 2006 ; Indice 100 en 1999 ; Source : Meeddat / SOeS - Sitadel 1990 à 2006, Observatoire du littoral. ....	63
Figure 21 : établissements publics et privés dans les communes littorales – Répartition par départements littoraux .....	64
Figure 22 : reconstitution des densités de population dans la zone située en deçà de 5m NGF en Languedoc-Roussillon ; Source : CGDD – SOeS, IGN.....	68
Figure 23 : extension géographique des zones basses (Source : IGN 2008 – BD ALTI) et traitement permettant d’effectuer une première estimation des personnes et logements exposées à chacun des aléas en 2100. ....	69
Figure 24 : répartition et dénombrement des enjeux par catégorie d’activité sur les quatre départements de la région Languedoc Roussillon concernés (cf annexe 2 pour détails) ; Source : MRN.....	76
Figure 25 : illustration de la méthodologie adoptée pour l’étude – secteur Palavas, Carnon, La Grande-Motte, sud est Montpellier ; Source : MRN .....	77
Figure 26 : stratégies génériques d’adaptation face à la montée du niveau marin. Source: EuroSION, 2004 .....	106

## Liste des tableaux

Tableau 1 : résumé des données utilisées pour l'estimation de l'évolution de l'aléa.....	48
Tableau 2 : caractéristiques des différents aléas considérés et traitement effectué dans le cadre de cette étude. (D'après Garcin, 2008) .....	57
Tableau 3: établissements publics et privés dans les communes littorales. En gras les départements de Languedoc-Roussillon. ....	63
Tableau 4 : répartition de la population du Languedoc-Roussillon par département et altitude du sol (MNT) ainsi que dans la « zone érosion », disparue en 2100. Note de lecture : sur le littoral de la région Languedoc-Roussillon, 23 000 personnes résidaient en 1999 dans des logements situés à une altitude comprise entre 1 et 2 m NGF. Source : CGDD – SoeS, 2008/RP1999 .....	71
Tableau 5: répartition des logements en Languedoc-Roussillon par département et altitude du sol (MNT) ainsi que dans la zone supposée être érodée en 2100. Note de lecture : sur le littoral de la région Languedoc-Roussillon, 35 400 logements se situaient en 1999 à une altitude comprise entre 1 et 2 m NGF. Source : CGDD – SoeS, 2008/RP1999 .....	71
Tableau 6 : résumé de l'exposition des enjeux population et logements aux aléas érosion et submersions permanente et à l'union des deux. (Attention : noter réserves des paragraphes 4.3 et 6.3 ainsi que 6.5.1 pour le calcul des enjeux situés dans l'union des deux zones) .....	75
Tableau 7 : résumé de l'exposition des enjeux population et logements à l'aléa de submersion temporaire (Attention : noter réserves des paragraphes 4.3, 6.3, 6.5.2 ainsi que la note 48) ....	75
Tableau 8 : répartition des ACPS, entreprises agricoles, industries, établissements publics du Languedoc-Roussillon dans les zones utilisées pour caractériser l'aléa futur ; Source : MRN, BD SIRENE (INSEE). ....	79
Tableau 9 : nombre de salariés des ACPS, entreprises agricoles, industries, établissements publics du Languedoc-Roussillon dans les zones utilisées pour caractériser l'aléa futur (en nombre de salariés) ; Source : MRN, BD SIRENE (INSEE).....	79
Tableau 10: résumé de l'exposition établissements public et privés aux aléas érosion et submersions permanente et à l'union des deux, et nombre de salariés employés par ces établissements. (Attention : noter réserves des paragraphes 4.3 et 6.3 ainsi que 7.5.1 pour pour le calcul des enjeux situés dans l'union des deux zones).....	82
Tableau 11 : résumé de l'exposition des établissements publics et privés à l'aléa de submersion temporaire et nombre de salariés employés par ces établissements (Attention : noter réserves des paragraphes 4.3, 6.3, 6.5.2 ainsi que la note 48).....	82
Tableau 12 : différentes catégories de dommages et exemples pour chacune de ces catégories. Dans cette étude, seuls certains dommages directs tangibles font l'objet d'une analyse (c.f. 8.2).83	
Tableau 13 : estimation des coûts des risques côtiers de 2010 à 2100, pour la région Languedoc Roussillon, en prenant en compte les effets du changement climatique. Voir paragraphe 8.4 sur les incertitudes. ....	93
Tableau 14 : estimation des coûts annuels des risques côtiers de 2010 à 2100, pour la région Languedoc Roussillon, en prenant en compte les effets du changement climatique. Voir paragraphe sur les incertitudes.....	95

## Liste des annexes

Annexe 1 Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux .....	117
Annexe 2 : Statistiques détaillées concernant les enjeux considérés exposés aux risques côtiers en Languedoc Roussillon en 2100 .....	122
Annexe 3 Estimation des dommages dus aux submersions marines temporaires.....	126



# 1. Introduction et rappel des objectifs

## 1.1. CADRE

En application du Plan Climat français (2006), un groupe de travail interministériel « Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France », programmé sur 2 ans, a été constitué en mars 2007 afin d'engager un chantier d'évaluation des dommages et des mesures permettant de limiter le coût des impacts. Le groupe plénier a vocation à fournir les lignes directrices méthodologiques et de garantir l'homogénéité de la méthode d'évaluation qui est déclinée dans sept groupes de travail sectoriels dont le groupe « Risques naturels, assurances et adaptation au changement climatique », dénommé GT RNACC. Ce groupe de travail est présidé par Thierry Hubert (MEEDDAT/DGPR/SRNH) et animé par Sylvie De Smedt (MEEDDAT/DGPR/SRNH/BRM). La première réunion de ce groupe s'est tenue le 28 novembre 2007.

Le cadre commun de travail à tous les groupes est le suivant :

- Deux scénarios climatiques pris en compte, le scénario A2 (Continuité des tendances actuelles) : prédominance énergies fossiles et augmentation des disparités régionales et le scénario B2 (priorité au local et à la durabilité) qui se situe dans la moyenne des scénarii,
- Trois horizons temporels : 2030, 2050 et 2100,
- Scénario dit à économie constante et à enjeux constants.

Parmi les risques naturels pris en compte dans ce cadre figurent notamment les risques côtiers. Pour cela un sous-groupe technique a été constitué.

Le GT RNACC lors de la réunion du 26 février 2008 a choisi de faire porter ses efforts sur les zones basses, a priori les plus exposées.

Compte tenu des délais très contraints, il a également été décidé lors de cette réunion de concentrer le travail du sous-groupe sur la région Languedoc-Roussillon où la majorité du littoral est composée de côtes basses. Par ailleurs cette région a bénéficié de plusieurs études (projets européens, études régionales, ..) sur les risques côtiers dont certaines ont une composante qui prend en compte l'impact du changement climatique ce qui n'est généralement pas le cas des autres régions littorales. Ainsi, appliquer l'étude sur cette région permet de bénéficier de la connaissance acquise lors des précédentes études. Cependant, réaliser une extension à d'autres régions n'est pas immédiat en raison des contextes hydro-sédimentaires et morphologiques différents.

Le travail réalisé par le sous-groupe thématique Risques côtiers basé sur la prise en compte de données publiques et disponibles afin de pouvoir ultérieurement appliquer la méthodologie à l'échelle nationale.

## 1.2. METHODOLOGIE

La méthodologie appliquée pour cette étude est adaptée d'EuroSION, 2004. Elle est résumée dans la Figure 1 : les hypothèses de changement climatique choisies induisent une modification des aléas érosion et submersion. Parallèlement, les enjeux actuels sont quantifiés, puis croisés avec l'aléa. Cette L'hypothèse d'enjeux constants, bien qu'induisant des erreurs, est considérée par le groupe plénier comme la seule pouvant être mise en œuvre.

Cependant, quantifier le coût des risques côtiers érosion et submersion suppose d'être capable de mesurer les conséquences d'un événement d'une certaine ampleur, ayant une certaine probabilité d'occurrence (aléa). Les risques côtiers érosion et submersion sont ainsi la combinaison des aléas érosion et submersion pour une zone donnée, et de la vulnérabilité des enjeux situés dans cette même zone. Or les incertitudes relatives aux aléas, à la vulnérabilité des enjeux, mais aussi aux fonctions de coût qui doivent être appliquées à ces enjeux sont très importantes.

Aussi, la prise de décision ne devrait pas s'effectuer uniquement sur la base du coût induit par le changement climatique pour les risques côtiers, mais aussi au regard des enjeux qui sont menacés par la modification des aléas liée au changement climatique.

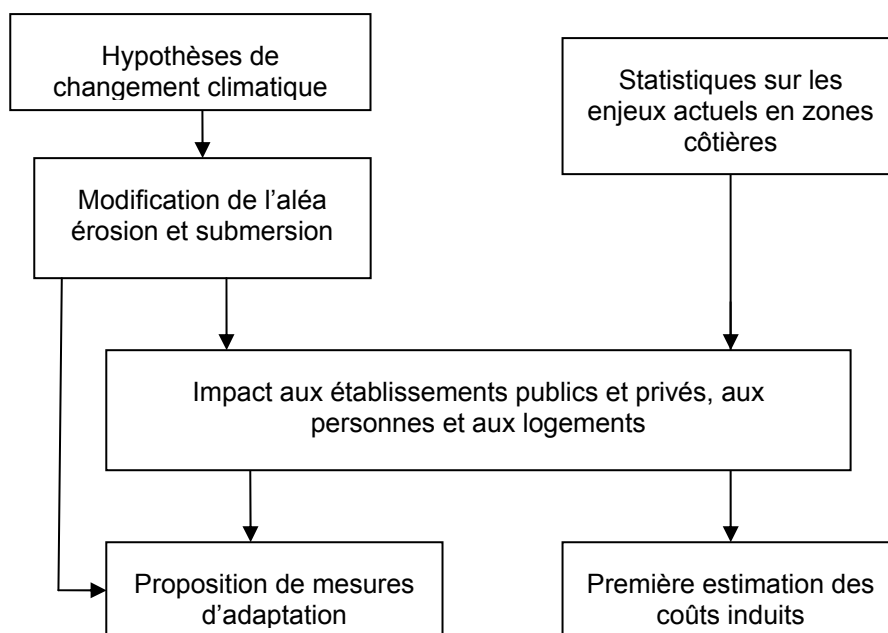


Figure 1 : méthodologie appliquée dans le cadre de l'étude du groupe de travail Risques Côtiers du RNACC.

### 1.3. CONTRIBUTEURS

Le sous-groupe de travail « RNACC Risques côtiers » a été constitué à l'initiative du MEEDDAT/DGPR/SRNH sous la coordination technique du BRGM. Il s'est réuni à quatre reprises, les 26 juin, 3 septembre, 8 octobre et 4 décembre 2008. Des séances de travail plus spécifiques entre certains partenaires se sont tenues en tant que de besoin. Le présent rapport rend compte des résultats et conclusions de ce groupe d'experts.

Les organisations suivantes ont participé aux travaux du groupe de travail Risques Côtiers du GT RNACC et à ce rapport :

- **BRGM** : Le BRGM ([www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)) est l'établissement public de référence dans le domaine des Sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol. Au sein du service Aménagement et Risques Naturels, l'unité Erosion Sol et Littoral étudie les risques côtiers érosion et submersion.
- **CETE Méditerranée** : Le CETE Méditerranée, Centre d'Études Techniques de l'Équipement est un service déconcentré du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire
  - Des domaines d'interventions multiples : la ville et l'aménagement du territoire, les transports urbains et interurbains, la conception, l'entretien et la réparation d'infrastructures et d'ouvrages d'art, l'environnement, la gestion des risques naturels, la sécurité routière, la gestion du patrimoine routier et l'informatique.
  - Des prestations variées : études, expertises, conseils, assistance à maîtrise d'ouvrage et assistance maîtrise d'œuvre, recherche, méthodologie, animations de réseaux, formation, avis techniques, essais de laboratoire et contrôles de chantier.
- **CETMEF** : Le Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales (CETMEF) est un service à compétence nationale, rattaché au MEEDDAT, chargé d'élaborer et de diffuser les techniques, de conduire des études et recherches et d'exécuter des prestations d'ingénierie et des expertises dans des domaines tels que les aménagements et les ouvrages maritimes et fluviaux ou les phénomènes hydrauliques maritimes et fluviaux. Le CETMEF a participé aux travaux du groupe de travail RNACC et du sous-groupe Risques Côtiers et a apporté une contribution spécifique sur l'adaptation au changement climatique.
- **DIREN/LR** : La Direction Régionale de l'Environnement du Languedoc Roussillon est un service de l'État qui, sous l'autorité du préfet de région et des préfets de département, exerce en Languedoc-Roussillon certaines des attributions relevant du MEEDDAT. En particulier, la direction régionale de l'environnement organise, coordonne et, le cas échéant, assure le recueil, le regroupement, l'exploitation et la diffusion de l'ensemble des données et des connaissances relatives à l'environnement. Elle participe à la définition et à la mise en œuvre de méthodes d'étude, d'aménagement, de gestion et de protection des milieux naturels et de leurs ressources, en veillant à l'adaptation de ces méthodes aux conditions régionales.
- **DRE/LR** : La Direction Régionale de l'Équipement du Languedoc-Roussillon, service déconcentré du MEEDDAT, intervient dans le domaine de la gestion des risques littoraux au travers de l'unité Aménagement et Risques littoraux. Au niveau régional, elle met en place et pilote des réseaux de mesures (houlographes et marégraphes) et d'observations (suivi morphologique). Elle mène des études d'amélioration des connaissances des aléas

littoraux et contribue à la définition de la politique de gestion régionale de l'érosion et de la submersion.

- **MEEDDAT/DGPR/SRNH/BRM** : Le bureau des risques météorologiques (BRM) a en charge l'amélioration de la connaissance, l'élaboration et le suivi de la politique de prévention concernant les risques naturels d'origines météorologiques et hydriques, au sein du Service des risques naturels et hydrauliques (SRNH) de la Direction générale de la prévention des risques (DGPR).
- **MEEDDAT/CGDD/SEEIDD/ERNR2** : Au sein du service économie du Commissariat Général au Développement Durable, la sous-direction de l'économie, des ressources et des risques a pour mission de mobiliser les outils de l'analyse économique au profit de l'évaluation des politiques publiques concernées et de leur amélioration au regard du développement durable. Au sein de cette sous-direction, le bureau de l'évaluation des politiques des risques, de l'eau et des déchets (ERNR2) évalue les bénéfices et dommages environnementaux, et propose des instruments économiques adaptés
- **MEEDDAT/CGDD/SOeS** : Le service de l'Observation et des statistiques a pour mission de produire, analyser et synthétiser l'information statistique sur le développement durable au sein du Commissariat général au développement durable. Les services du SOeS ont notamment pour mission de contribuer à la connaissance de l'exposition des personnes et des biens aux différents risques, en particulier ceux qui sont liés aux risques côtiers.
- **Météo-France** : Météo-France est l'Etablissement Public Administratif chargé de la météorologie opérationnelle (observation, prévision, recherche, ...) au service de la sécurité des personnes et des biens (missions institutionnelles), de la climatologie, mais aussi d'activités commerciales pour répondre aux besoins précis des utilisateurs et des clients. Depuis quelques années, il est également impliqué dans la recherche sur le changement climatique et participe activement aux travaux du GIEC. Au sein de la Direction des Missions Institutionnelles et Affaires Internationales de Météo-France, le Département des Missions Institutionnelles, présent dans les différents groupes de travail du RNACC, est le contact avec les partenaires en charge de la sécurité civile, la sécurité nucléaire, la pollution atmosphérique, le service des crues, les affaires maritimes et la sécurité en mer, la sécurité routière, la santé et l'action sociale, le développement durable, ...
- **MRN** : La Mission Risques Naturels (MRN) est la mission des sociétés d'assurances pour la connaissance et la prévention des Risques Naturels. Il s'agit pour la profession de l'assurance de contribuer à travers cette association à une meilleure connaissance des risques naturels et d'apporter une contribution technique aux politiques de prévention.

Le groupe de travail Risques Côtiers du RNACC remercie M. Stéphane Hallegate (CIRED, Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement) pour sa relecture attentive et ses apports concernant l'évaluation des coûts et les hypothèses de changement climatique.

## 2. Risques côtiers et changement climatique : concepts clés et revue bibliographique

La terminologie et les concepts sur les risques naturels et la gestion de ces risques utilisés dans ce rapport sont précisés dans ce chapitre. Dans un second temps, les études qui ont servi d'appui méthodologique sont présentées. La logique générale de la démarche utilisée dans cette étude est ainsi précisée et justifiée.

### 2.1. LES RISQUES COTIERS

#### 2.1.1. La gestion des risques

La gestion des risques est généralement illustrée à travers un cycle de gestion des catastrophes naturelles présenté à la Figure 2. Ce schéma représente les différents processus à travers lesquels il est possible de réduire l'impact des catastrophes naturelles en agissant avant, pendant et après la crise.

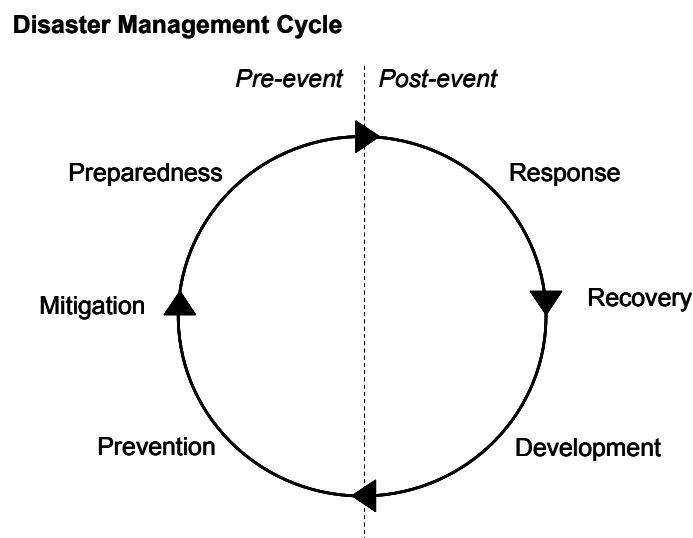


Figure 2 : le cycle de gestion des catastrophes ; source : IGOS Geohazards ; (Salichon et al. 2007)

L'étude présente a pour objet d'estimer l'évolution des risques côtiers liée au changement climatique.

Elle se situe donc en amont, en phase de prévention, pendant laquelle les efforts portent en priorité sur (c.f. *Hyogo Framework for action 2005-2015*<sup>1</sup>) :

- la caractérisation du risque dans toutes ses composantes : aléa, vulnérabilité, enjeux (c.f. 2.1.2) ;
- la création d'une dynamique visant à réduire la composante sociétale du risque, impliquant des populations exposées, des acteurs locaux et nationaux ;
- la définition d'une stratégie de réduction du risque, en agissant sur la composante la plus pertinente (c.f. 2.1.2).

En outre, s'agissant d'une étude portant sur l'évolution d'aléas avec le changement climatique, le *Hyogo Framework for action* recommande de choisir une stratégie d'actions sans regrets, qui conduira à réduire les risques actuels même si les incertitudes demeurent quant à l'évolution de ces risques.

### 2.1.2. Les différentes composantes du risque

Des définitions des différentes composantes du risque sont rappelées ci-dessous. Les définitions proposées ne sont pas uniques : un même terme peut avoir des sens sensiblement différents selon la spécialité et le champ d'étude auquel il s'applique. Des tentatives d'uniformisation de la terminologie à travers différents champs de compétences font l'objet de projets de recherche, que ce soit à travers des approches multi-risques<sup>2</sup>, ou bien plus spécifiquement sur les risques côtiers<sup>3</sup>. Les définitions proposées ici ne sont donc pas universelles mais donnent le sens des termes utilisés dans la présente étude :

- L'**aléa** est classiquement défini comme un phénomène ou la manifestation d'un phénomène, caractérisé par une probabilité d'occurrence associée à des niveaux d'intensité, pendant une période de temps donnée. Certains aléas tels que l'érosion ont des caractéristiques qui amènent à adapter la définition classique. Ainsi, l'aléa érosion n'est pas caractérisé par une probabilité d'occurrence et une intensité donnée, mais par un « temps caractéristique », c'est-à-dire une durée moyenne au bout de laquelle un lieu donné sera probablement érodé<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> <http://www.unisdr.org/eng/hfa/hfa.htm>

<sup>2</sup> Voir par exemple le projet Européen SCENARIO : <http://www.scenarioproject.eu/>

<sup>3</sup> Le projet ANR Miseeva développe un glossaire commun de termes utilisés dans le domaine des risques côtiers, y compris lorsque les effets du changement climatique sont pris en compte.

<sup>4</sup> Ces durées sont souvent estimées en extrapolant des rythmes d'érosion observés, ce qui pose un certain nombre de difficultés : quelle est la part d'événementiel et de processus « lent » dans l'érosion observée ? La durée d'observation est-elle représentative ? Quelle sera l'influence de nouvelles configurations du système côtier (nouvelle bathymétrie, nouveaux aménagements...) ? Pour prendre en compte le changement climatique et l'élévation du niveau marin, un rythme d'érosion accéléré est généralement considéré (Voir EuroSION, 2004).

- Les **enjeux** sont l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.
- La **vulnérabilité** est la capacité d'un enjeu ou d'une activité à être plus ou moins affectée, en termes de perte ou d'endommagements, par un phénomène d'intensité donnée<sup>5</sup>.
- Le **risque** résulte du croisement d'un aléa et de la vulnérabilité d'enjeux à cet aléa. Il se caractérise par une probabilité de perte pendant une période de temps, dans un lieu donné. Il peut être exprimé en termes d'espérance mathématique de dommages économiques, de pertes de vies humaines ou de dommages aux enjeux.

Réduire les risques revient donc à agir sur l'aléa (par exemple en retardant un processus érosif à travers des techniques de rechargement en sédiments), à réduire la vulnérabilité des enjeux ou bien à positionner ces enjeux dans des zones où l'intensité de l'aléa ou sa probabilité d'occurrence est plus faible ou nulle.

### 2.1.3. Caractéristiques des aléas considérés dans cette étude

Les aléas considérés ici sont l'aléa érosion marine, l'aléa de submersion permanente et l'aléa de submersion temporaire par la mer. Ces aléas sont de nature différente et amènent à adapter les définitions proposées ci-dessus (c.f. 2.1.2) :

- l'aléa érosion cause la destruction des enjeux situés dans la zone érodée. Dans le sens qui a été donné à l'expression « vulnérabilité des enjeux à l'aléa érosion » au § 2.1.2, l'étude de la vulnérabilité des enjeux physiques à l'aléa érosion n'est donc ici pas pertinente. L'aléa érosion est caractérisé par une durée caractéristique et non une période de retour (c.f. 2.1.2) : il est dit « irréversible<sup>6</sup> ».
- l'aléa de submersion permanente considéré ici correspondrait à une élévation du plan d'eau qui serait subie de manière passive par le littoral : tout se passerait alors comme si le plan d'eau se translatait de 1m vers le haut. Pour les enjeux qui sont considérés ici, cet aléa est irréversible<sup>7</sup>.
- en revanche, la submersion temporaire cause des dommages qui sont réversibles : ils sont fonction entre autres de la hauteur d'eau, de la durée de submersion et de l'exposition au

---

<sup>5</sup> Dans le sens qui lui est donné dans les rapports du GIEC, la vulnérabilité désigne l'impact du changement climatique après déduction des bénéfices de l'adaptation.

<sup>6</sup> On utilise ici ce terme d'irréversibilité par opposition aux aléas récurrents tels que la submersion temporaire, qui sont caractérisés par une probabilité d'occurrence. En effet, l'aléa érosion n'affecte les enjeux physiques qu'une seule fois puisque ceux-ci sont détruits lorsque le terrain a été érodé.

<sup>7</sup> Ce ne serait pas nécessairement le cas si l'on considérait des terrains protégés par des infrastructures de défenses côtières telles que des digues. Les digues peuvent en effet continuer à jouer leur rôle avec une élévation du niveau marin de 1m, sous réserve qu'elles ne soient pas affectées par l'érosion et qu'elles soient correctement entretenues.

choc des vagues. La prise en compte de la vulnérabilité des bâtiments à cet aléa est ici pertinente.

L'impact du changement climatique sur ces aléas fait l'objet de la partie 4.

## **2.2. QUELQUES ETUDES EXISTANTES A DES ECHELLES REGIONALES, NATIONALE ET EUROPEENNES**

### **2.2.1. Vulnérabilité actuelle du territoire national aux risques littoraux<sup>8</sup>**

Un manque d'informations de synthèse sur la vulnérabilité actuelle du territoire national aux risques littoraux (érosion des côtes, chute de falaise, avancées dunaires, submersion marine) a été mis en évidence. Aussi, une étude de la vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux pilotée par le Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales (CETMEF) a été réalisée en 2008 en collaboration avec le CETE de l'Ouest et le CETE de Méditerranée. Elle a pour objectifs de recenser les principales études régionales et départementales apportant des éléments sur la vulnérabilité des territoires aux risques littoraux, de définir des méthodes permettant la production d'informations de synthèse sur la quantification de la vulnérabilité du littoral français et d'appliquer ces méthodes afin de disposer d'une synthèse et d'une représentation simple des zones vulnérables actuelles aux risques littoraux en France métropolitaine.

La première partie de l'étude a pour objectif de recenser et synthétiser les connaissances sur la vulnérabilité aux risques littoraux à des échelles au moins départementales le long des côtes françaises. Pour cela, les principales études traitant des risques littoraux ont été recensées et pour chacune une fiche de synthèse, reprenant les thèmes traités et les principaux résultats de l'étude, a été réalisée. L'intérêt de cette synthèse bibliographique est de pouvoir prendre connaissance rapidement du fonctionnement littoral et des aléas littoraux de chaque secteur, d'identifier les principaux sites touchés par les risques d'érosion et de submersion marine. Elle permet aussi de décrire les principales méthodes de protection et stratégies de gestion et de suivi mises en places, et, finalement, d'identifier rapidement les besoins d'études complémentaires.

Le second objectif de l'étude est de déterminer des méthodes permettant la production d'informations de synthèse sur la vulnérabilité du littoral français aux risques littoraux actuels. Des indicateurs de la vulnérabilité aux risques littoraux ont ainsi été définis à partir des sources de données disponibles. Les arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophes naturelles issus de la base GASPARG<sup>9</sup> (MEEDDAT/DGPR) sont un indicateur de la vulnérabilité des communes face aux risques naturels (c.f. Figure 3). Le croisement entre les zones basses et les principaux enjeux, bâti et infrastructures de transport, entreprises SEVESO, sites de production ou de retraitement nucléaires, sites Natura 2000, a également été réalisé afin de déterminer les secteurs les plus vulnérables.

---

<sup>8</sup> Une description plus complète de l'étude est disponible en Annexe 1.

<sup>9</sup> Qui peut être consultée sous : [http://www.prim.net/professionnel/procedures\\_regl/avancement.html](http://www.prim.net/professionnel/procedures_regl/avancement.html)



Le croisement des différents indicateurs définis permet ainsi une cartographie de cette approche de la vulnérabilité aux risques littoraux en France métropolitaine.

Cette approche de la vulnérabilité est complémentaire de travaux de recherche qui portent sur la compréhension et la structuration des différentes composantes de la vulnérabilité aux risques littoraux (vulnérabilité physique des différentes catégories d'enjeux, vulnérabilité systémique, composantes économiques, sociale et culturelle de la vulnérabilité) (voir par exemple les projets européens MOVE<sup>10</sup> et SCENARIO<sup>11</sup>).

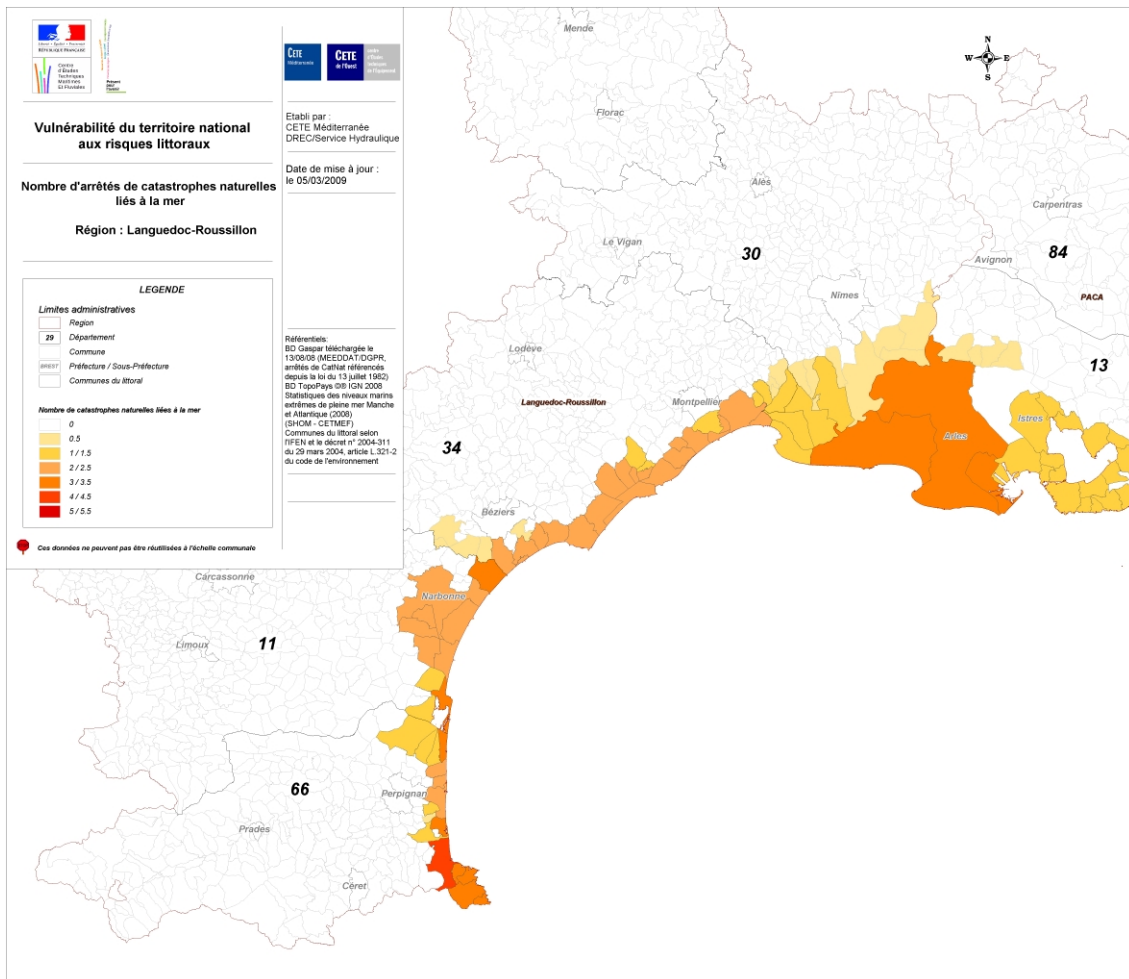


Figure 3 : estimation du nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles liées à la mer en Languedoc-Roussillon et Ouest Provence-Alpes-Côte d'Azur (réalisation : CETE Méditerranée)

<sup>10</sup> Projet Européen du 7<sup>ème</sup> Programme Cadre de Recherche et de Développement (PCRD) : <http://www.move-fp7.eu/>

<sup>11</sup> Projet Européen du 6<sup>ème</sup> PCRD : <http://www.pik-potsdam.de/events/scenario/scenario.html>

### 2.2.2. Le projet Eurosion

Le projet EUROSION ([www.eurosion.org](http://www.eurosion.org)) a répondu à une sollicitation du Parlement Européen visant encourager la réflexion sur la question de l'érosion côtière. L'objectif du projet EUROSION (2002 – 2004) était d'évaluer la situation des côtes européennes vis-à-vis de la question de l'érosion et de mettre en évidence les problèmes qui en résultent ainsi que la pertinence des mesures mises en œuvre pour lutter contre cette érosion aux différents échelons administratifs (européen, national, régional et local). Finalement, à l'issue de ce projet, des indicateurs de suivi de l'érosion et de vulnérabilité ainsi que des recommandations sur les bonnes pratiques de gestion ont été proposés.

Ce projet a permis de constituer une base de données géographique incluant une vingtaine de couches d'information, en particulier le bilan érosif actuel des côtes européennes et leur géomorphologie (c.f. 4.1.2). Une méthodologie permettant l'analyse au 1 :100 000 des enjeux concernés par la remontée du niveau marin à l'horizon 2100 avait également été développée.

La méthodologie proposée ci-après est partiellement adaptée de celle d'Eurosion. Il convient cependant de noter les différences entre les approches Eurosion d'une part, et celle du groupe de travail Risques Côtier d'autre part :

- la première propose une analyse des enjeux concernés par les risques côtiers en 2100, sans chercher à préciser les caractéristiques des aléas.
- la seconde cherche à quantifier les risques en 2100, en termes d'espérance mathématique de dommages économiques. Les deux approches sont pertinentes et apportent des informations complémentaires.

### 2.2.3. Le projet Response

RESPONSE<sup>12</sup> est un projet de démonstration du programme européen Life-Environnement. Ce projet a eu une durée de 3 ans (2003-2006) et a été coordonné par le centre de l'île de Wight pour l'environnement côtier<sup>13</sup>.

Le projet a eu pour objectifs d'améliorer la compréhension des impacts du changement climatique sur le trait de côte à l'horizon 2100. Un aspect innovant du projet a été de proposer une cartographie de l'évolution de la côte et des risques à l'échelle régionale, qui prend compte les impacts du changement climatique (Vinchon, 2008).

Cette méthodologie repose sur le « dire d'expert » : un consensus est recherché à travers les parties prenantes, expertes en risques côtiers, afin de décider si les aléas érosion et submersion s'aggraveront dans tel ou tel contexte local (c.f. Figure 4). Par la suite, toujours à l'échelle locale, ces nouvelles données d'aléa sont croisées avec des enjeux actuels, afin de proposer une

---

<sup>12</sup> <http://www.coastalwight.gov.uk/response/index.htm>

<sup>13</sup> <http://www.coastalwight.gov.uk/>

évolution des risques (c.f. Figure 5). Enfin, ces informations sont agrégées à l'échelle régionale (c.f. Figure 6).

L'hypothèse de départ reposait sur les travaux du GIEC (2001) d'une élévation du niveau marin de 88 cm, basée sur le GIEC (2001). Comme pour la présente étude, les enjeux actuels étaient considérés dans l'analyse de risques.

La méthodologie mise en place pour le projet RESPONSE a été appliquée sur cinq sites européens aux contextes géomorphologies et d'aménagements différents. En France, les deux sites d'application étaient les régions Aquitaine et Languedoc-Roussillon.

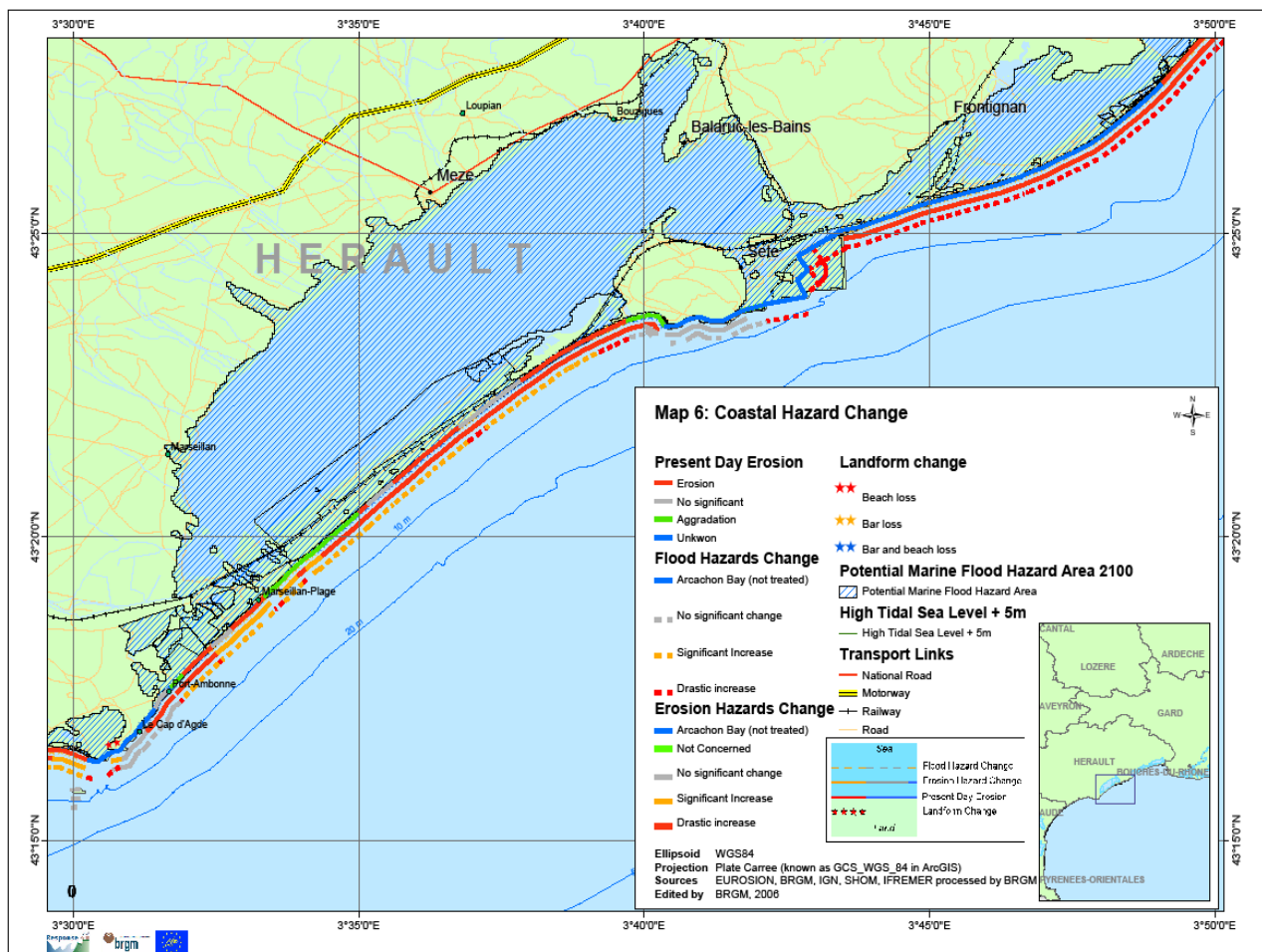


Figure 4: évolution des aléas érosion et submersion marine en 2100 sur le Lido de Sète à Marseillan dans le contexte du changement climatique. (Mise en place de la Méthodologie RESPONSE – échelle locale)  
 Source : BRGM

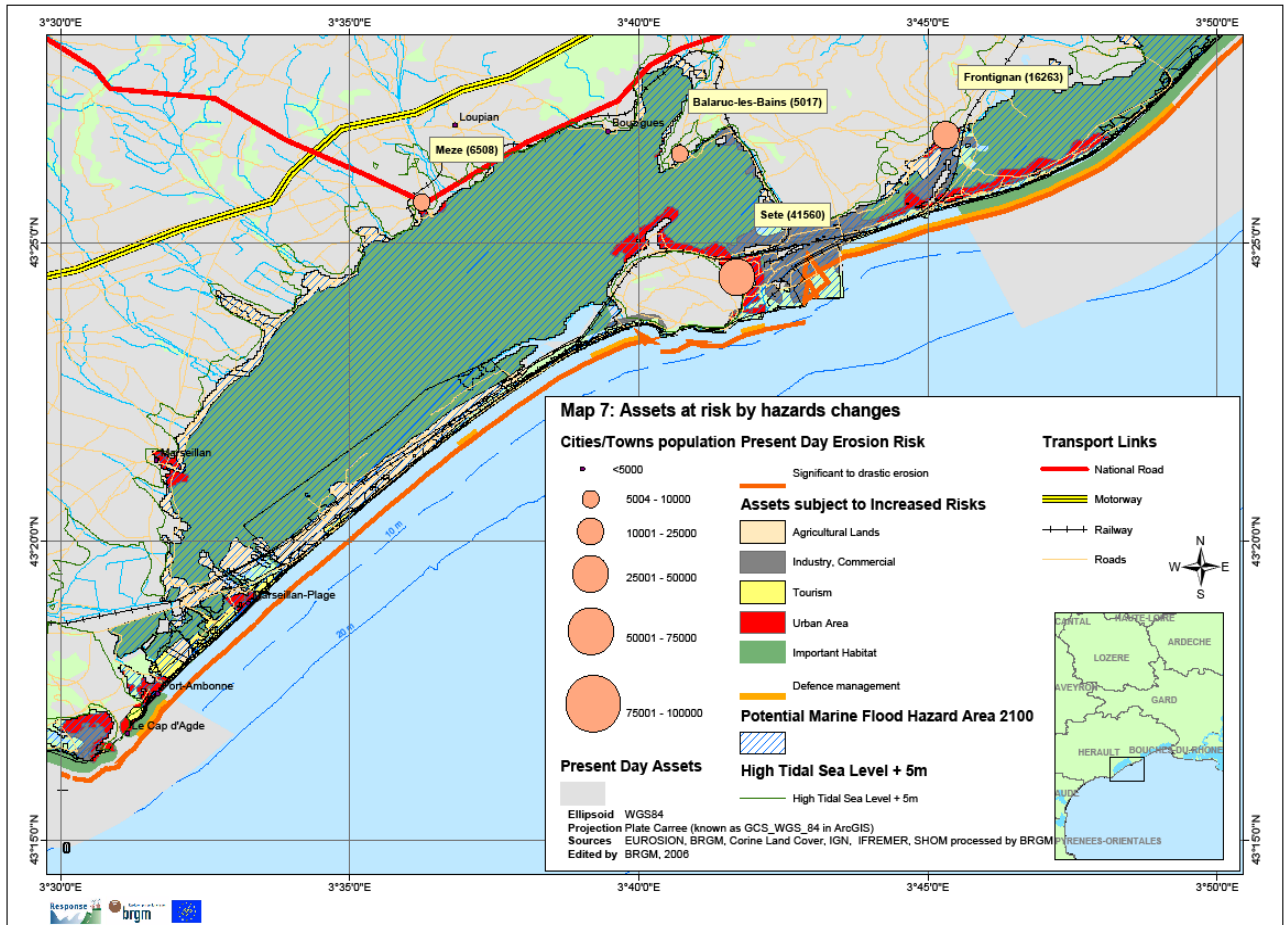


Figure 5: enjeux actuellement situés dans des zones concernées par les aléas érosion et submersion marine en 2100 sur le Lido de Sète à Marseille dans le contexte du changement climatique. (Mise en place de la Méthodologie RESPONSE – échelle locale) Source : BRGM

Un « guide des bonnes pratiques » et « un dossier de formation »<sup>14</sup> produits dans le cadre de ce projet ont été largement disséminés, en particulier vers les décideurs et les gestionnaires du trait de côte.

L'étude présente s'appuie partiellement sur la méthodologie issue de RESPONSE. Il convient de noter que les apports des deux approches sont sensiblement différents :

- RESPONSE permet une identification des zones où les aléas et/ou les risques s'aggraveront probablement.

<sup>14</sup> Le dossier de formation permet aux gestionnaires et aux décideurs locaux et régionaux de produire des cartes illustrant le modèle probable des aléas et des risques naturels côtiers futurs dans d'autres contextes côtiers et à différentes échelles, allant du local au régional.

- L'approche du groupe de travail risques côtiers du RNACC est de chercher à quantifier les risques en 2100, en termes d'espérance mathématique de dommages économiques.

Ces deux approches permettent donc d'accéder à des informations complémentaires.

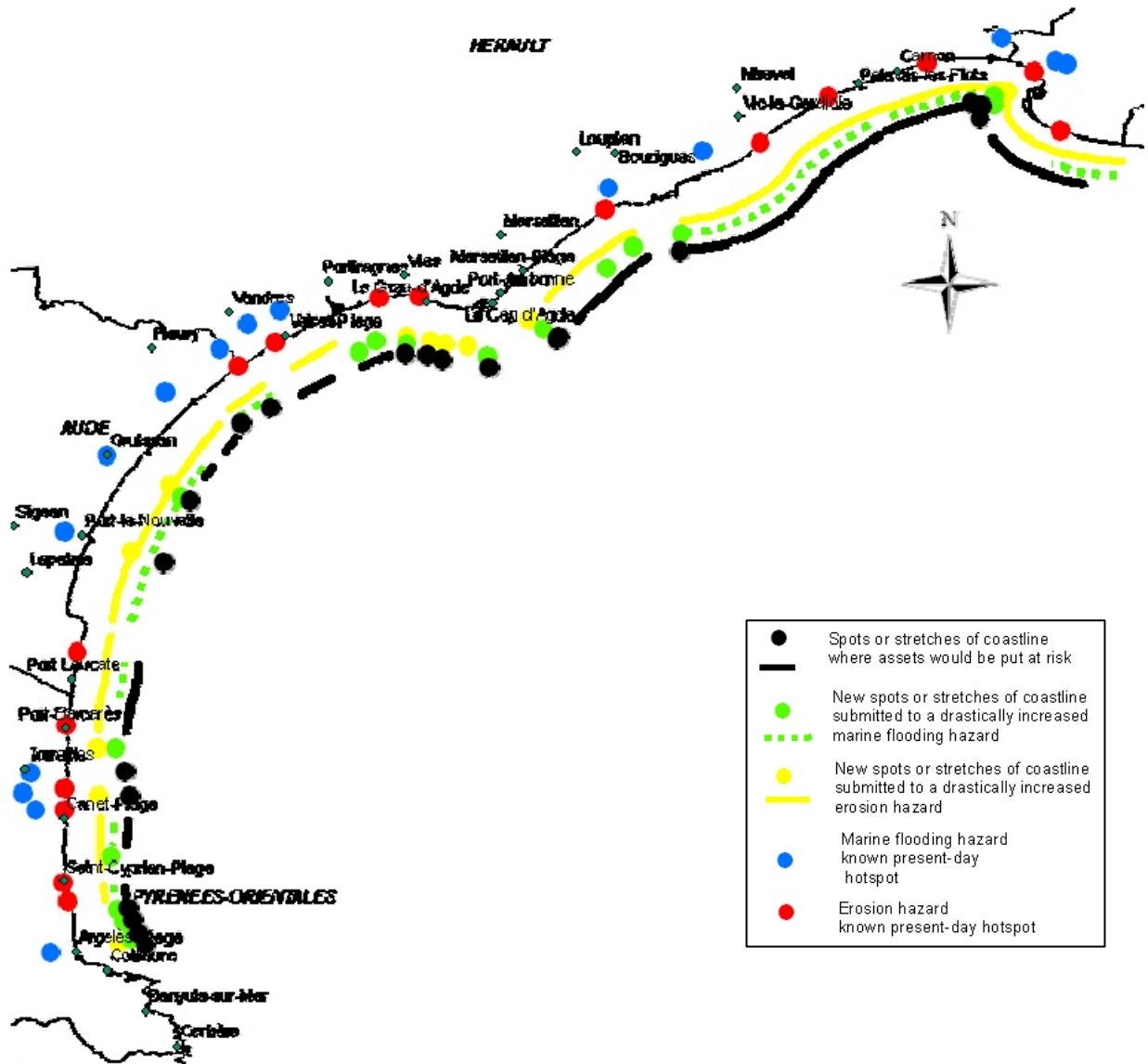


Figure 6 : évolution possible des aléas érosion et submersion marine en Languedoc-Roussillon dans le contexte du changement climatique. (Mise en place de la Méthodologie RESPONSE – échelle régionale)  
Source : BRGM

#### **2.2.4. Etude de l'impact du changement climatique sur le patrimoine du conservatoire du littoral**

Le conservatoire du littoral a une stratégie d'acquisition d'espaces naturels littoraux et confie la gestion de ces terrains à des partenaires. Il est de fait un acteur important de la gestion des zones côtières et jouera un rôle dans le choix et la mise en œuvre de stratégies d'adaptation au changement climatique.

Une étude sur l'impact du changement climatique sur le patrimoine du conservatoire du littoral (Clus-Auby et al., 2004) a été réalisée pour apporter une première réponse aux questions suivantes : le conservatoire du littoral doit-il prendre en compte les effets prévisibles du changement climatique dans sa stratégie d'acquisition foncière ? Doit-il changer sa politique de gestion des sites ? En partant d'une hypothèse de l'élévation du niveau marin de 10 à 80cm, cette étude conclut sur un impact relativement modeste de l'élévation du niveau de la mer sur les terrains du conservatoire du littoral, mais sur la pertinence d'envisager de modifier éventuellement des stratégies d'acquisition et de gestion.

Une méthodologie commune à tous les sites a été mise en place pour établir des scénarios d'érosion et de submersion à l'horizon 2100 des terrains du Conservatoire. L'évolution du trait de côte (érosion/progradation) a été estimée à partir de l'analyse diachronique de documents cartographiques et de photographies aériennes, puis de l'extrapolation de rythmes de reculs du trait de côte observés. Pour la submersion une valeur médiane d'élévation du niveau de la mer de 44 cm a été retenue (définie à partir des scénarios du GIEC 2001). L'impact de l'érosion serait faible sur les terrains du conservatoire du littoral et n'affecterait que 1% de leur surface. Il peut être significatif pour certains sites particuliers notamment le site de la Grande Cosse (1,2 ha) en Languedoc-Roussillon qui n'existera sans doute plus d'ici 2020. Le patrimoine du Conservatoire serait touché à hauteur de 2,6% par une submersion permanente et de l'ordre de 3% par des submersions épisodiques en 2100.

#### **2.2.5. Autres projets de recherche**

Un certain nombre de projets de recherche ont actuellement pour objet la question du changement climatique et des risques côtiers. Sans être exhaustif, on peut citer les projets suivants :

Concernant l'évolution des forçages du système côtier (c.f. 3.2), le projet DISCOBOLE<sup>15</sup> (c.f. 3.2.5) se propose d'améliorer l'estimation de l'évolution de certaines conséquences du changement climatique sur le climat maritime et côtier en 2100. Cette connaissance est un préalable nécessaire pour optimiser le dimensionnement et la gestion à l'horizon 2100 des ouvrages maritimes (digues, brise-lames, etc.).

---

<sup>15</sup> Piloté par EDF/LNHE, (2004-2007), ce projet est soutenu financièrement par le Ministère de l'Enseignement et de la Recherche d'une part, le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable d'autre part. Des informations supplémentaires sur ce projet sont disponibles sous : <http://discobole.cetmef.equipement.gouv.fr/discobole/>

Une autre approche consiste à identifier les événements extrêmes impactant le littoral puis à examiner la tendance d'évolution de ces événements. Dans le projet IMPLIT<sup>16</sup>, soutenu par le programme Gestion et Impact du Changement Climatique (GICC/MEEDDAT), les conditions d'apparition et l'impact des niveaux marins extrêmes sur le littoral du Golfe du Lion ont été analysés, pour examiner par la suite si de telles conditions seront plus probables en 2100. Le projet concluait à une aggravation probable des événements de submersion marine en 2100. Ce projet s'est conclu en 2008.

Concernant l'érosion, un sujet de recherche actuel est de connaître à quel rythme une plage sableuse recule face à l'élévation du niveau marin. La réponse dépend bien évidemment des conditions de houle, de marée et de bathymétrie de la plage. Le projet Vulsaco, soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR/VMC, 2007-2010) se propose d'avancer dans ce domaine en utilisant des outils de modélisation morphodynamique sur 4 sites représentatifs et complémentaires en termes de conditions marines et d'enjeux (lido de Sète, Nord Cap-Ferret, Noirmoutier et Dunkerque) et à l'horizon 2030.

Concernant la submersion temporaire, le projet ANR/VMC Miseeva (2008 – 2010) propose une approche de modélisation hydrodynamique pour mieux caractériser l'évolution possible de l'aléa submersion temporaire aux échéances 2030 et 2100. Il a également pour objet l'étude du risque de submersion temporaire dans toutes ses composantes, notamment de vulnérabilité sociétale et économique. Deux échelles complémentaires sont étudiées : l'échelle régionale avec comme site d'application le Languedoc-Roussillon et une échelle locale sur le site de Maguelone.

### **2.3. DEMARCHE GENERALE DE CETTE ETUDE**

La mise en place de ces définitions et la revue bibliographique permettent de préciser la démarche générale de cette étude. Ainsi, l'analyse comprend :

- Une analyse sémantique et bibliographique de l'évolution des risques côtiers dans le contexte du changement climatique (chapitre 2) ;
- La définition d'une hypothèse de changement climatique (chapitre 3).

Puis, pour chacun des trois aléas considérés (érosion, submersion définitive et submersion temporaire), cette analyse entreprend :

- Une modélisation conceptuelle de chacun des aléas côtiers en 2100. (chapitre 4) ;
- Une estimation des enjeux concernés par ces aléas : à l'échelle nationale (chapitre 5) et à l'échelle de la région Languedoc-Roussillon : logements et populations (chapitre 6), établissements publics et privés (chapitre 7) ;
- Une estimation des coûts induits par ces risques (chapitre 8) ;

---

<sup>16</sup> <http://medias.obs-mip.fr/implit/projet/index.php>

- Une proposition de stratégies d'adaptation et d'actions immédiates pour réduire les risques côtiers actuels tout en s'adaptant au changement climatique (Chapitre 9) ;

Cette étude repose ainsi sur une démarche classique d'évaluation des risques, à laquelle se superpose une hypothèse de changement des conditions de forçage, liées au changement climatique.



## 3. Hypothèses de changement climatique

L'objet de ce chapitre est de présenter, en les justifiant, les hypothèses de changement climatique qui ont été prises pour cette étude.

### 3.1. LA MODELISATION DU CLIMAT

#### 3.1.1. Les travaux du GIEC

Le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) a été mis en place en 1988 par l'Organisation Météorologique Mondiale et par le Programme des Nations Unis pour l'Environnement.

Depuis sa création, le GIEC a notamment produit 4 séries de 3 rapports d'évaluation correspondant aux travaux de trois groupes qui se focalisent sur les bases scientifiques du changement climatique (groupe I), sur les impacts, l'adaptation et la vulnérabilité (groupe II), et sur l'atténuation (groupe III).

Les experts travaillent sur différents scénarios socio-économiques (Figure 7). Ainsi, les deux scénarios choisis par le groupe de travail interministériel « Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France » correspondent aux évolutions suivantes :

- le scénario A2 correspond à un modèle de société dans laquelle le développement est régionalisé et dans lequel la priorité est donnée aux considérations économiques.
- Le scénario B2 correspond à un modèle de société dans laquelle le développement est régionalisé et dans lequel la priorité est donnée aux considérations environnementales.

Ces scénarii sous-tendent des évolutions démographiques, économiques, technologiques, énergétique, d'occupation des sols et de pratiques agricoles. De ce fait, ils agissent sur l'estimation de l'évolution de la concentration des gaz à effet de serre et entraînent des incertitudes exprimées par des "fourchettes" pour la projection des paramètres atmosphériques et océaniques.

Le rapport du groupe II, publié en 2007, portant sur les impacts, l'adaptation et la vulnérabilité indique que le réchauffement du système climatique est sans équivoque, car il est maintenant révélé par les observations de l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan, la fonte généralisée de la neige et de la glace, et l'élévation du niveau moyen mondial de la mer.

La compréhension des influences humaines sur le réchauffement et le refroidissement du climat conduit à une très grande confiance dans le fait que l'effet moyen global des activités humaines depuis 1750 a été un effet de réchauffement avec un forçage radiatif de  $+1,6$  ( $+0,6$  à  $+2,4$ )  $\text{Wm}^{-2}$ .

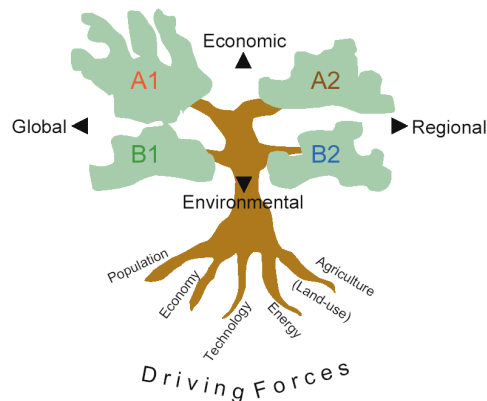


Figure 7 : scénarii socio-économiques ; Note de lecture : le scénario A2 correspond à un modèle de société dans laquelle le développement est régionalisé et dans lequel la priorité est donnée aux considérations économiques. Source : GIEC

L'essentiel de l'accroissement observé sur la température moyenne globale depuis le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle est très probablement dû à l'augmentation observée des concentrations des gaz à effet de serre d'origine humaine.

On peut maintenant discerner des influences humaines dans d'autres aspects du climat, comme le réchauffement de l'océan, les températures continentales moyennes, les températures extrêmes et la structure des vents. Des évolutions possibles sur ces aspects du climat sont brièvement discutées ci-après.

### 3.1.2. Les estimations à l'échelle globale

Les estimations les plus probables du réchauffement au XIX<sup>ème</sup> siècle sont comprises entre 1,8°C et 4°C pour différents scénarios, et probablement comprises entre 1,1°C à 6,4°C en tenant compte des incertitudes de la simulation du climat. Ces valeurs sont de 2,4°C (plage de 1,4°C à 3,8°C) pour le scénario B2 et de 3,4°C (plage de 2,0°C à 5,4°C) pour le scénario A2, scénarii de références retenus par le groupe de travail plénier.

Même si les concentrations des gaz à effet de serre étaient stabilisées, le réchauffement climatique et l'élévation du niveau moyen de la mer dus à l'homme continueraient pendant des siècles en raison des échelles de temps associées aux processus climatiques et aux rétroactions.

Les émissions de gaz à effet de serre induisent un réchauffement global qui va s'accélérer et provoquer une expansion thermique des océans ainsi qu'un retrait important de la cryosphère impliquant une élévation du niveau moyen de la mer.

Les précipitations vont augmenter aux hautes latitudes, mais diminuer dans la plupart des régions sub-tropicales. Les fortes précipitations vont globalement devenir plus fréquentes et les sécheresses plus longues et plus sévères.

Actuellement rien n'indique que le réchauffement global aura une incidence systématique sur la fréquence des cyclones tropicaux. Un déplacement de leurs trajectoires est très probable, mais

dépendra de la réponse régionale précise des températures de l'océan. Une augmentation des précipitations maximales associées aux cyclones est probable. Une augmentation conjointe de leur intensité semble possible, mais pas encore prouvée.

### **3.1.3. Les estimations à l'échelle régionale**

De nombreuses incertitudes subsistent à l'échelle régionale, mais l'aridification du pourtour du bassin Méditerranéen semble inéluctable. Des méthodes de "descente d'échelle" (de l'échelle globale à l'échelle régionale) doivent être mises en œuvre pour préciser les impacts régionaux.

La France métropolitaine va continuer à se réchauffer, les précipitations à augmenter en hiver et diminuer en été. Il est probable que les pluies intenses augmenteront en hiver et que les périodes de sécheresse estivale seront plus longues. Les vagues de chaleur estivales seront très probablement plus fréquentes, plus longues et plus intenses. Le nombre de jours de neige et de gel va diminuer.

En revanche, l'impact sur les vents forts est quasi négligeable avec une faible augmentation de la fréquence de vent fort sur le nord de la France et une variation non décelable sur le sud.

### **3.1.4. L'élévation du niveau moyen de la mer**

#### ***Observations à l'échelle globale***

Les chiffres donnés par le GIEC, pour l'élévation du niveau moyen de la mer, dans son rapport de 2007, sont basés sur les mesures faites jusqu'à 2003.

Entre 1961 et 2003, l'élévation moyenne observée du niveau moyen de la mer était annuellement de  $1.8 \pm 0.5$  mm. Cette élévation s'est accélérée entre 1993 et 2005 soit  $3.1 \pm 0.7$  mm. (Lombard, 2005).

En tenant compte des contributions de tous les phénomènes physiques connus liés directement au réchauffement climatique l'élévation annuelle estimée du niveau moyen de la mer ne serait que de  $1.1 \pm 0.5$  mm/an pour la période 1961-2003 et de  $2.8 \pm 0.7$  mm/an pour 1993-2003.

De ce fait, il apparaît une différence entre la hausse observée et la hausse estimée de  $0.7 \pm 0.7$  mm en 1961-2003 et de  $0.3 \pm 1.0$  mm.

Pour l'élévation estimée, la répartition des différents effets retenus par le GIEC apparaissent ci-dessous respectivement pour chacune des périodes 1961-2003 et 1993-2003 (Figure 8) :

- |   |             |
|---|-------------|
| • expansion thermique                           | 38 et 57 %  |
| • fonte des glaciers et des couvertures glacées | 45 et 28 %  |
| • fonte de la calotte du Groenland              | 05 et 08 %, |
| • fonte de la calotte de l'Antarctique          | 13 et 08 %  |

Pour la période 1993 à 2005, chacune des contributions a été estimée individuellement, notamment par mesure de la température de l'océan et par gravimétrie. La valeur totale obtenue est en bon accord avec les observations d'altimétrie spatiale (de 3.3 mm/an).

Si la fonte des banquises<sup>17</sup> Arctique et Antarctique ne cause pas directement d'élévation du niveau marin<sup>18,19</sup>, une fonte accélérée des calottes continentales<sup>20</sup> pourrait causer des élévations du niveau marin métriques<sup>21</sup>. La fonte accélérée des banquises Arctique et Antarctique n'en demeure pas moins préoccupante pour les écosystèmes mais aussi pour des phénomènes globaux tels que par exemple la circulation océanique thermohaline.

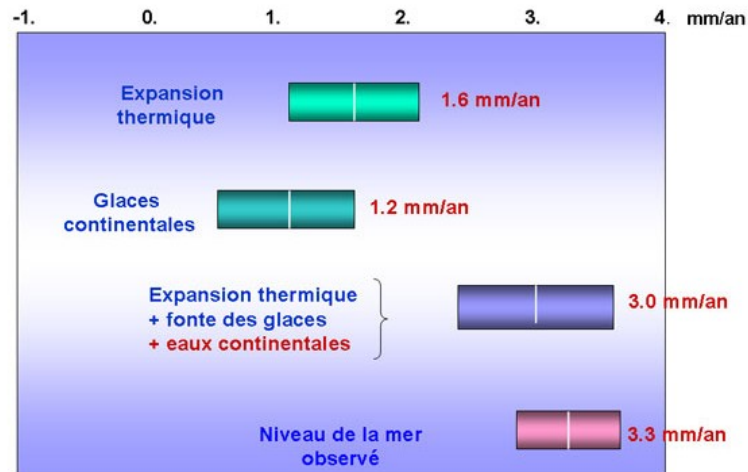


Figure 8 : somme des contributions climatiques (expansion thermique, glaces et eaux continentales) à la hausse du niveau moyen de la mer pour la période 1993-2005 ; Source, LEGOS, Cazenave, 2005.

### Observations à l'échelle régionale

Les variations régionales du niveau marin (Figure 9) sont fortement corrélées aux anomalies de température des océans. Ainsi, la variabilité régionale de l'élévation du niveau marin s'explique en premier lieu par les variations de températures de l'océan, en second lieu par des variations locales de salinité et les apports ou retraits de masses d'eau douce à l'océan.

<sup>17</sup> La banquise est une étendue de mer gelée, dont la fonte, contrairement aux calottes continentales (aussi appelée inlandsis) ne modifie pas le volume occupé de l'océan.

<sup>18</sup> Indirectement, la fonte de la banquise peut intervenir dans la dynamique de fonte des glaciers : ainsi, par exemple, lorsqu'un glacier continental est situé en amont d'une banquise en débâcle, la vitesse d'écoulement du glacier peut s'accroître. De tels phénomènes ont été observés dans la péninsule Antarctique par des mesures de déplacement par satellite (Interférométrie Radar) après la débâcle de banquises situées en aval du glacier. Voir à ce sujet le rapport du groupe I du GIEC en 2007.

<sup>19</sup> Voir par exemple à ce sujet le projet Européen Damoclès qui est réalisé dans le cadre de l'Année Polaire Internationale: <http://www.damocles-eu.org/>

<sup>20</sup> La fonte totale de la calotte du Groenland et celle du bassin occidental Antarctique causeraient une hausse du niveau des océans de 7m et 5m respectivement. La fonte totale des calottes polaires continentales – hypothèse qui n'est pas envisagée par la communauté scientifique - causeraient une hausse du niveau de la mer de 65m.

<sup>21</sup> voir à ce sujet les travaux du groupe I du GIEC (Bindoff et al. 2007)

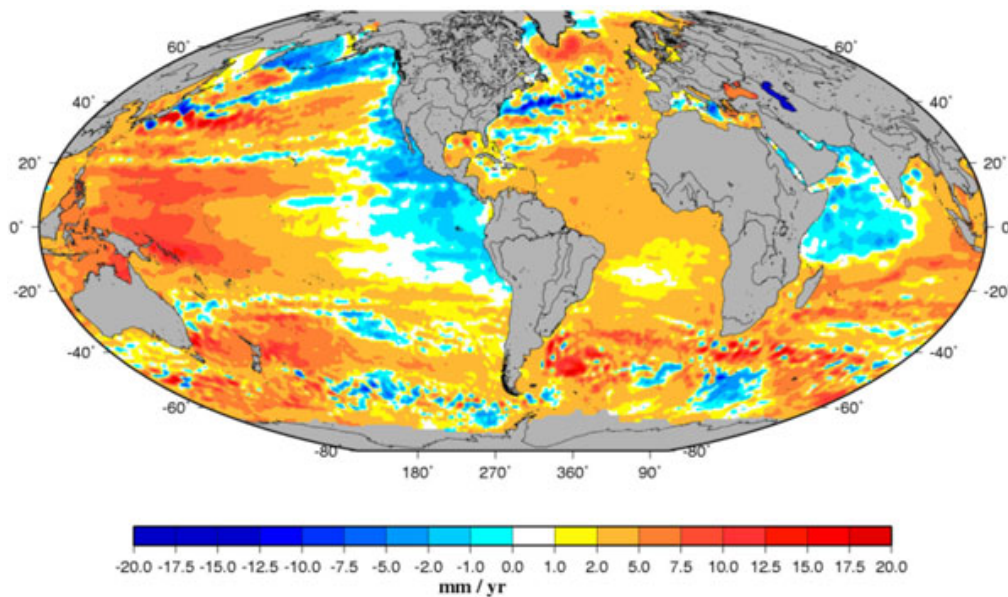


Figure 9 : carte de la distribution géographique des vitesses de variation du niveau de la mer (1993-2006) d'après Topex/Poseidon et Jason-1 ; Source, LEGOS, 2008 ; Cazenave, 2008 ; Lombard, 2004.

### **Estimations pour la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle**

Pour estimer l'élévation du niveau marin, la modélisation du climat cherche à représenter les processus physiques de dilatation et de variation de salinité des océans, de fonte des calottes polaires et d'accumulation de glace, quitte à paramétrer certains phénomènes. Ces modélisations indiquent que le changement climatique s'accompagnerait de davantage de précipitations sur l'Antarctique (Krinner, 2007). De telles modélisations conduisent le GIEC (2007) à estimer qu'à la fin du siècle, entre 2090 et 2099, l'élévation du niveau moyen de la mer sera pour la même période comprise entre 18 et 59 cm pour son scénario le plus pessimiste (A1FI, qui induit un réchauffement de 4.0 °C avec une fourchette de 2.4°C à 6.4°C °C) par rapport à 1980-1999 (Figure 10).

Néanmoins, le GIEC fait remarquer que les valeurs supérieures ne doivent pas être considérées comme des limites maximales pour le niveau moyen des océans<sup>22</sup>. En effet, les estimations paramètrent les processus liés à la dynamique des fontes des calottes polaires continentales (Meehl et al. 2007).

Ainsi, de nombreuses publications, y compris de scientifiques ayant participé aux travaux du GIEC en 2007 publient que le réchauffement climatique pourrait élever le niveau moyen des océans de 80 à 150cm à la fin du siècle (voir par exemple Rahmstorf, 2007, Grinsted, 2009), ou même

---

<sup>22</sup> Le GIEC 2007 présente des résultats de modélisations dans lesquelles une augmentation des précipitations viendrait compenser la fonte aux marges des calottes polaires continentales, en particulier en Antarctique. Cependant, les phénomènes dynamiques ne sont pas pris en compte. Aussi, le document de référence (Rapport du groupe I du GIEC, Meehl et al. 2007) ne donne pas de « best estimate » pour les prévisions d'élévation du niveau de la mer.

jusqu'à 5m (Hansen, 2007). Cette estimation est trois fois supérieure à celle formulée par le GIEC en 2007, et se situe donc au-delà du consensus formulée en 2007.

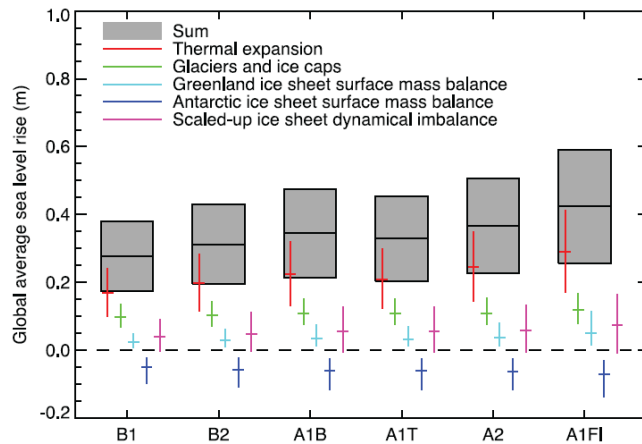


Figure 10 : valeurs de l'élévation du niveau moyen des océans associée aux scénarii du GIEC (GIEC 2007). Trois variantes du scénario A1 sont proposées : l'une dans laquelle on a recours massivement à des énergies fossiles (A1FI), à des énergies non fossiles (A1T), à un panel équilibré d'énergies (A1B).

Une partie de la communauté scientifique préoccupée par l'élévation du niveau moyen de la mer est aujourd'hui largement convaincue que ce qui avait été exprimé au consensus du GIEC de 2007 était trop conservatif. Ce nouveau discours est en particulier étayé par des observations préoccupantes sur l'accélération de la fonte des glaces continentales au Groenland et en Antarctique (Cazenave, 2006). Cela ne remet bien entendu pas en cause la qualité du travail du GIEC qui précisait bien ne pas prendre en compte les phénomènes dynamiques de fonte des glaces dans ses travaux (Meehl et al. 2007).

On peut noter qu'en Méditerranée, les résultats de Tsimplis et al. (2009) indiquent qu'il pourrait n'y avoir pas de hausse du niveau marin par dilatation thermique sur les côtes françaises méditerranéennes. Ce résultat ne repose que sur une modélisation et appelle donc d'autres études mais il est révélateur de la situation particulière de la Méditerranée.

## 3.2. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET FORÇAGES DES SYSTEMES COTIERS

### 3.2.1. Une définition des forçages des systèmes côtiers

La morphologie des systèmes côtiers<sup>23</sup> dépend de paramètres tels que les courants, la marée, la géomorphologie du littoral, les sédiments à disposition, mais aussi d'un certain nombre de variables climatiques qui influent sur le niveau marin moyen, les climats de vagues, ou les régimes de tempêtes. Les paramètres et variables hydrométéorologiques sont communément appelées « forçage du système côtier ».

Afin d'estimer l'impact du changement climatique sur les aléas côtiers, il convient tout d'abord de rechercher, parmi tous les forçages du système côtier, ceux qui sont susceptibles d'être significativement modifiés avec le changement climatique.

### 3.2.2. Forçages susceptibles d'évoluer dans le contexte du changement climatique

Le Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2007) a effectué un inventaire des forçages climatiques ayant un impact sur les systèmes côtiers qui seraient susceptibles d'évoluer avec le changement climatique. Ce sont :

- Le niveau moyen de la mer : son élévation est susceptible d'aggraver des aléas tels que l'érosion, les intrusions salines dans les aquifères (biseau salé), les submersions temporaires, mais aussi de créer un nouvel aléa de submersions permanentes de zones basses.
- Le régime des tempêtes : c'est-à-dire leur intensité, fréquence et trajectoire, qui causent des changements importants dans la morphologie du littoral.
- Le climat de vagues : c'est-à-dire de leur période, hauteur et direction, dont la modification peut entraîner des réorientations de plages, des changements dans leurs profils et des franchissements de défenses côtières artificielles (digues) ou naturelles (dunes).
- Le régime des surcotes : la modification des régimes de tempête (pression atmosphérique, direction et force du vent) peut également entraîner une modification du régime de surcotes, c'est-à-dire des élévations temporaires du plan d'eau lors d'événements de tempêtes.
- Le régime des précipitations : qui sont susceptibles d'entraîner des changements dans les apports de sédiments fluviaux, d'accroître le risque d'inondations côtières et d'aggraver les processus érosifs des roches tendres.

---

<sup>23</sup> Dans ce contexte, le système côtier est défini d'une manière très générale, incluant non seulement les processus d'érosion, d'accrétion et de submersion, mais aussi les écosystèmes côtiers.

- L'acidification des océans : liée à la dissolution du CO<sub>2</sub> dans les océans, affectant les organismes vivants sensibles au pH, en particulier les coraux, qui protègent des littoraux tropicaux de l'agression des vagues
- La température de surface de l'eau : qui augmente d'une manière générale mais avec des variabilités régionales. Ce changement entraîne une évolution du niveau marin moyen (c.f. 3.1.4), la fonte des glaces polaires en contact avec l'eau de mer, des évolutions dans la circulation océanique, et impacte les écosystèmes. L'augmentation de la température de surface des océans est également susceptible de renforcer l'intensité des cyclones tropicaux, alors qu'au contraire, leur fréquence pourrait diminuer.

Par ailleurs, pour un certain nombre d'autres questions scientifiques, l'état des connaissances actuelles ne permet pas de conclure quant aux effets du changement climatique. Ainsi, les modifications de température et l'augmentation du pH des océans pourraient conduire à modifier les habitats et à diminuer une source de sédiments calcaire détritique. Ceci pourrait avoir un impact important, tout particulièrement dans les estuaires et les lagons (Nicholls et al., 2007).

Dans les paragraphes suivants, les hypothèses de modification de ces paramètres de forçages retenues par le groupe de travail Risques Côtiers du RNACC sont justifiées.

### **3.2.3. Hypothèse d'élévation du niveau marin**

D'une manière générale, la valeur de 1m d'élévation du niveau de la mer a souvent été choisie, que ce soit pour des projets européens<sup>24</sup> ou pour décider de politiques d'adaptations. A titre d'exemples, le conseil consultatif allemand pour le changement climatique (German Advisory Council on Global Change, 2006) ainsi que le « Department for Environment, Flood and Rural Affairs » britannique dans son « Shoreline management plan »<sup>25</sup>, retiennent également ces ordres de grandeur d'élévation du niveau de la mer. Certes, ces choix sont souvent basés sur les publications antérieures du GIEC (2001) qui proposaient une élévation du niveau marin moyen de l'ordre de 1m en 2100 contre des valeurs moyennes allant de 30 à 40cm pour le rapport 2007 du GIEC.

En se basant sur les valeurs les plus récentes obtenues par des simulations semi-empiriques (c.f. 3.1.4), le groupe de travail a retenu une hypothèse d'élévation du niveau de la mer de 1m pour la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle.

Comme cela a été vu plus haut, (c.f. 3.1.4) des publications scientifiques récentes (Rahmstorf, 2007, Hansen, 2007, Grinsted, 2009) proposent des valeurs de 1m ou davantage pour l'élévation du niveau marin moyen en 2100, considérant que les bases du consensus issu du GIEC ont conduit à sous-estimer cette élévation. Cette projection peut être contestée par des approches de modélisation globale du climat dans lesquelles l'augmentation des précipitations au dessus de l'Antarctique viendrait compenser la fonte des calottes glaciaires (Krinner et al. 2007). On peut

---

<sup>24</sup> Response (2006) prenait une hypothèse d'élévation du niveau marin de 88cm en se basant sur les résultats du GIEC 2001.

<sup>25</sup> <http://www.defra.gov.uk/Environ/Fcd/guidance/smp.htm>



également noter que sur les côtes Françaises Méditerranéennes, l'élévation d'origine stérique (i.e. ne prenant pas en compte les échanges de masse d'eau avec les glaces et eaux continentales) pourrait être négligeable (Tsimplis et al. 2009, voir 3.1.4).

Le choix d'une valeur de 1m permet d'explorer une première hypothèse raisonnable d'élévation du niveau de la mer lié au changement climatique, qui, sauf évolution imprévue du climat, se poursuivra après 2100. Ainsi découplé d'une échéance temporelle précise, le choix d'une valeur de 1m apparaît ainsi pertinent pour envisager des adaptations.

Il est également important de souligner que les zones côtières peuvent être soumises à des mouvements verticaux d'origine tectonique aggravant les conséquences d'une élévation de la mer dans le cas d'une subsidence et minorant ces conséquences dans le cas d'une surrection. Pour la France, ces mouvements verticaux actuels peu étudiés sur le littoral, sont généralement inférieurs au mm/an.

Enfin, des mouvements de terrain liés par exemple à des tassements de sédiments ou des pompages (exploitations d'aquifères, extractions d'hydrocarbures) peuvent causer des subsidences qui ont pour conséquence des élévations significatives du niveau marin relatif. De tels phénomènes ne sont pas pris en compte dans le cadre de cette étude.

**Hypothèse n°1 : le niveau de la mer s'élève de 1m en 2100.**

### **3.2.4. Hypothèse d'évolution des régimes des tempêtes**

De nombreuses études ont été menées pour analyser l'évolution des régimes de tempêtes dans différents scénarii de changement climatique. Ainsi, le projet IMFREX (Déqué, 2003) analysait des données en sortie du modèle Arpège-Climat de Météo-France et concluait à « *une augmentation modérée du risque de tempêtes sur la partie nord de la France [et] aucun impact [...] décelable pour les fortes tempêtes touchant la moitié sud du pays, l'ensemble des systèmes ayant même tendance à voir une diminution de fréquence.* »

Les projections du GIEC, qui découlent de la comparaison de 8 à 15 modèles couplés atmosphère-océan, viennent confirmer ces résultats. Ainsi, l'un des changements modélisé est le déplacement vers le nord de traces des tempêtes en zones tempérées, et en particulier dans l'Atlantique nord (Yin, 2001, in GIEC, 2007). Certaines études montrent que les caractéristiques des tempêtes extratropicales pourraient ne pas changer (Watterson, 2005, in GIEC, 2007), tandis que d'autres proposent des extrêmes de vents plus forts. D'autres études (Dai, 2001, in GIEC 2007) montrent que le nombre de tempêtes en zone tempérée pourrait décroître avec une augmentation du nombre d'événements de forte intensité et une diminution des événements de faibles intensités. Enfin, sur la Méditerranée, plusieurs études ont suggéré une décroissance du nombre total de tempêtes, mais les modélisations ne permettent pas aujourd'hui de prédire l'évolution du nombre de tempêtes intenses. (Lionello, 2002, in GIEC 2007)

A défaut de résultats convergents et significatifs en termes d'intensité sur l'évolution des régimes de tempêtes, le groupe de travail retiendra l'hypothèse de régimes de tempêtes inchangés en 2100.

**Hypothèse n°2 : le régime des tempêtes est inchangé en 2100.**

### 3.2.5. Hypothèse d'évolution d'autres paramètres

Le climat de vagues est un forçage morphogène important des systèmes côtiers, dont les paramètres dépendent du régime des vents en Atlantique Nord pour toutes les façades atlantique et nord de la France.

Des changements des régimes des vents en Atlantique Nord sont ainsi susceptibles de modifier le climat des vagues aux côtes Françaises de la façade Atlantique. Une augmentation de la hauteur moyenne des vagues a ainsi été modélisée en utilisant des techniques de régression des champs de pression en sortie de modèles climatiques (Wang et Swail, 2004 et 2006). Sur les côtes françaises de l'Atlantique, cela pourrait se traduire par une augmentation de l'ordre de 20cm de la hauteur significative des vagues<sup>26</sup> à la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle.

Le projet DISCOBOLE (c.f. 2.2.5) dont l'objectif était d'améliorer l'estimation de l'évolution à long terme (à 100 ans) du climat maritime et côtier sous l'effet de certaines conséquences du changement climatique, a étudié les climatologies de houles et les régimes de surcotes passés afin de déterminer si des tendances liées à l'impact du changement climatique se dégagent. Sur les côtes atlantiques françaises, les vagues hivernales très énergétiques deviendraient plus fréquentes en atlantique nord (Le Cozannet et al., 2009). La modélisation de ces changements reste du domaine de la recherche. Par ailleurs, ces résultats ne peuvent s'appliquer à la zone d'étude choisie (Languedoc-Roussillon) et aucune modélisation de l'évolution de la hauteur des vagues en Méditerranée dans un scénario de changement climatique n'est connue des membres du groupe de travail. Cette étude suppose ainsi le régime des vagues inchangé.

#### **Hypothèse n°3 : les climats de vagues sont inchangés en 2100.**

L'étude de l'impact du changement climatique sur le régime des surcotes a été réalisée dans le cadre d'une thèse (Ullmann, 2008). L'étude part de l'observation que les conditions de surcotes extrêmes dans le golfe du Lion sont principalement liées à des régimes de temps à grande échelle (Atlantique Nord) bien identifiés. En utilisant des données du modèle climatique Arpège Climat, des régimes de surcotes possibles en 2100 pour des scénarii A2 et B2 ont été obtenus. Avec cette modélisation du climat et en faisant abstraction de l'élévation du niveau marin, la hauteur et la fréquence des surcotes reste pratiquement stationnaire en 2100 dans les scénarios A2 et B2. Les changements des hauteurs et des fréquences des surcotes extrêmes sont donc principalement liés à la hausse du niveau marin, qui, selon les connaissances actuelles, domine les effets de changements possibles dans la circulation atmosphérique et les régimes de temps.

#### **Hypothèse n°4 : le régime des surcotes (intensité, fréquence) est principalement affecté par l'élévation du niveau marin en 2100. Les effets du changement climatique sur des changements dans les régimes de temps sont négligés.**

Les changements des régimes de précipitations sont susceptibles de causer des modifications importantes des aléas érosion et submersion marine : ainsi, par exemple, des précipitations

---

<sup>26</sup> La hauteur significative des vagues est la hauteur moyenne du tiers des vagues les plus hautes. Une augmentation de 20 cm de la hauteur significative de la houle a des conséquences importantes en termes d'énergie des vagues et donc de morphodynamique côtière. En effet, l'énergie des vagues est proportionnelle à leur hauteur au carré.

accrues peuvent augmenter l'apport de sédiments à la côte et causer de l'accrétion, mais aussi fragiliser des falaises littorales de roches meubles et ainsi augmenter l'érosion. Par ailleurs, la prise en compte des phénomènes de cooccurrence d'inondations fluviales et marines sont tout particulièrement importants pour l'étude de l'aléa submersion en zone côtière. C'est ce qui se passe régulièrement dans le sud de la France avec la concomitance de d'épisodes pluvieux cévenols et des tempêtes en mer dans le golfe du Lion. La tempête provoque une surcote qui empêche l'évacuation des rivières à la mer, inondant les plaines maritimes. L'étude de ces phénomènes reste du domaine de la recherche pour le climat actuel. A plus forte raison, les conséquences du changement climatique sur des phénomènes aussi complexes ne peuvent être prises en compte dans le cadre de cette étude.

D'autres phénomènes induits par le changement climatique (acidification des océans...) ne sont pas pris en compte ici mais peuvent avoir des impacts graves sur les écosystèmes.

**Hypothèse n°5 : le régime des précipitations est inchangé en 2100.**

### **3.3. IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RISQUES COTIERS AUX DIFFERENTES ECHEANCES 2030, 2050 ET 2100**

#### **3.3.1. Situation actuelle**

La situation actuelle quant au risque érosion est préoccupante : en 2004, 25% des côtes de France (hors DOM/TOM) sont en érosion. Les 2/3 des côtes en érosion sont des plages, soit 900 km des 2200 km des plages métropolitaines (EuroSION, 2004). Pourtant, la crise érosive actuelle n'est pas une conséquence de cette élévation du niveau marin : cette situation s'explique par une pénurie de sédiments à l'échelle planétaire, liée à la longueur de l'épisode interglaciaire actuel, mais aussi à la gestion des espaces côtiers et fluviaux qui ont conduit à de nombreux aménagements réalisés pour l'essentiel au XX<sup>ème</sup> siècle (barrages et endiguement des rivières et fleuves, ports maritimes, ouvrages de défense contre la mer) qui limitent considérablement les migrations de sédiments vers la mer et le long des côtes, compromettant les mécanismes naturels de résilience des systèmes côtiers (Paskoff, 2001).

#### **3.3.2. Situation en 2030**

Le manque de données disponibles quant aux effets du changement climatique à échéance 2030 ne permet pas de donner de prédiction fiable de l'élévation du niveau marin à ces échéances. Divers modèles semi-empiriques d'évolution du niveau marin moyen au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle sont proposés dans la littérature : certains proposent qu'en réponse à une augmentation de température moyenne, le niveau marin moyen monte initialement une vitesse proportionnelle à la différence de température (Rahmstorf, 2007). D'autres modèles semi-empiriques cherchent à prendre en compte l'inertie du système<sup>27</sup> (Grinsted, 2009). Enfin, Hansen propose pour le XXI<sup>ème</sup> siècle une contribution des calottes continentales à la hausse du niveau marin moyen qui doublerait tous les 10 ans (Hansen, 2007). Ainsi, dans la plupart de ces modèles, la réponse à la variation de température n'est pas linéaire (Figure 11).

A ces incertitudes s'ajoutent le fait que, même pour ce qui concerne la hausse du niveau marin, on se situe, à ces échéances, dans des périodes de temps qui sont davantage caractéristiques de la variabilité naturelle du climat que du changement climatique<sup>28</sup>.

---

<sup>27</sup> Sur une période donnée, le niveau marin n'est en général pas le niveau d'équilibre correspondant à la température moyenne : ainsi, selon le modèle de Grinsted, si la température globale cessait d'augmenter en 2010, le niveau marin global augmenterait malgré tout de 20 à 40cm en 2100.

<sup>28</sup> A une échelle spatiale régionale la hausse du niveau marin dépend de modes de variabilité climatiques telles que l'oscillation Atlantique Nord. Même à l'échelle globale, il est pertinent de prendre en compte la variabilité climatique : ainsi, depuis 2003, la dilatation thermique de l'océan s'est atténuée tandis que la contribution des glaciers s'est accélérée (Cazenave, 2008). Ceci conduit à une élévation du niveau marin de 2.5 mm/an pour la période 2003/2008 contre 3.3mm/an pour la période 1993/2008. Cette évolution n'était pas prévisible avant 2003. En tout état de cause, ceci est révélateur de l'impact de la variabilité climatique sur l'élévation du niveau marin aux échelles de temps décennales.

D'une manière générale, le groupe de travail Risques Côtiers du RNACC considère que l'activité humaine est prépondérante sur les effets du changement climatique à l'échéance 2030. A cette échéance, ce sont avant tout les choix de gestion passés et à venir des zones côtières qui aggraveront ou modèreront les risques côtiers.

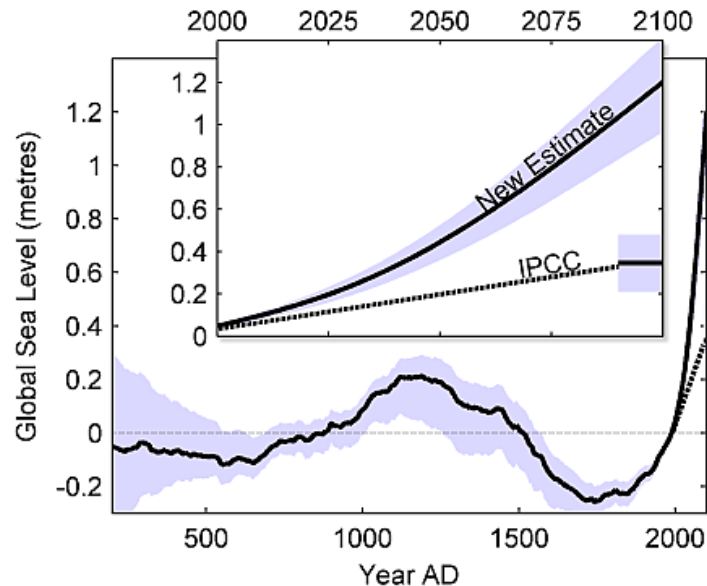


Figure 11 : reconstitution du niveau marin de 200 après JC à aujourd'hui et estimation du niveau marin au XXI<sup>ème</sup> siècle. La reconstitution montre une réponse non-linéaire du niveau marin aux élévations de température. (Source : Grinsted)

### 3.3.3. Situation en 2050

De même que pour 2030 les modèles et données disponibles ne permettent pas de donner des prédictions fiables de l'élévation du niveau marin moyen. Il est très probable que les choix de gestion des zones côtières resteront également un élément très important dans l'aggravation possible des risques côtiers à cette échéance. En revanche, les conséquences de l'élévation du niveau marin sur les risques côtiers à cette échéance ne sont pas connues : trop d'incertitudes demeurent quant à l'élévation du niveau marin à cette échéance.

Aussi, le sous-groupe risques côtiers du RNACC a pris la décision de ne pas étudier l'impact du changement climatique à l'échéance 2050 pour laquelle les incertitudes sont trop grandes.

### 3.3.4. Situation à la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle

Au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle – mais à une échéance qu'il n'est pas aujourd'hui possible de qualifier – le changement climatique jouera un rôle prépondérant sur l'évolution de la morphologie et de la dynamique côtière, et, partant, des risques côtiers (Nicholls, 2007). Sous l'hypothèse d'une élévation du niveau marin de 1m en 2100, les risques côtiers s'aggraveront sensiblement notamment pour les côtes sableuses et les falaises de roches tendres où l'érosion sera plus active. Du fait de l'élévation du niveau de la mer, les côtes basses subiront une érosion ou des

submersions définitives et de nouvelles zones seront l'objet de submersions temporaires (Lenôtre et Pedreros, 2006).

**Limitation n° 1 : Seule l'échéance 2100 est prise en compte.**

### **3.4. CONCLUSION**

Cinq hypothèses d'évolution des forçages côtiers dans le contexte du changement climatique ont été choisies par le groupe de travail Risques Côtiers RNACC :

**Hypothèse n°1 : le niveau de la mer s'élève de 1m en 2100** : en s'appuyant sur les travaux du GIEC, mais aussi des publications plus récentes sur l'élévation du niveau de la mer, les incertitudes associées, et sur les limites des données disponibles.

Les membres du groupe de travail risques côtiers du RNACC se sont accordés sur le fait que cette hypothèse de travail restait compatible avec la précision des données disponibles à l'échelle nationale (c.f. 4.1)<sup>29</sup>.

**Hypothèse n°2 : le régime des tempêtes est inchangé en 2100** : en s'appuyant sur les travaux du GIEC et sur des résultats de projets de recherche auxquels a participé Météo-France.

**Hypothèse n°3 : les climats de vagues sont inchangés en 2100.**

**Hypothèse n°4 : le régime des surcotes (intensité, fréquence) est principalement affecté par l'élévation du niveau marin en 2100. Les effets du changement climatique sur des changements dans les régimes de temps sont négligés.**

**Hypothèse n°5 : le régime des précipitations est inchangé en 2100.**

Les phénomènes qui découlent de la modification de ces forçages sont trop complexes pour être étudiés dans le cadre des travaux du groupe de travail Risques Côtiers du RNACC, fortement contraint en temps et soumis à une obligation de résultats.

Enfin, une limitation du cadre de l'étude est introduite par rapport à la demande du groupe interministériel :

**Limitation n° 1 : Seule l'échéance 2100 est prise en compte.**

Cette échéance est la seule pertinente pour l'étude des risques côtiers et du changement climatique compte tenu de l'état actuel des connaissances.

---

<sup>29</sup> Ceci ne signifie pas pour autant que les données dont on dispose aujourd'hui pour l'étude des risques côtiers sont suffisantes. Au contraire, on tirerait profit de l'acquisition régulière de données terrain, ainsi que de l'acquisition de nouvelles données telles que le lidar qui permet de disposer de modèles numériques de terrain plus précis que ce qui est actuellement disponible à l'échelle nationale (voir 9.1)

## 4. Modification de l'aléa

Le changement climatique aggravera deux aléas : l'érosion et la submersion temporaire liée aux ondes de tempête. Il créera un nouvel aléa : la submersion permanente liée à la hausse du niveau marin. Dans ce chapitre sont successivement présentés les données disponibles, la méthodologie utilisée pour évaluer l'aléa, les résultats et les incertitudes associées.

La méthodologie la plus appropriée pour l'étude des risques côtiers futurs à une échelle régionale consisterait à agréger des résultats obtenus à l'échelle locale, soit par des techniques de modélisation hydrodynamique ou morphodynamique, soit par l'analyse géomorphologique et par « consensus d'experts ». Toutefois de tels résultats n'existent pas à l'échelle locale sur toutes les façades maritimes et une telle démarche n'est pas envisageable dans les délais impartis au GT RNACC. Aussi, seules des données disponibles à l'échelle nationale ou régionale peuvent être utilisées.

### 4.1. DONNEES RATTACHEES A L'ALEA

Cette partie examine les données utilisables à l'échelle régionale, et justifie les choix qui ont été faits d'utiliser tel ou tel jeu de données.

#### 4.1.1. Topographie

La connaissance d'une topographie fine (altitude) est une condition préalable nécessaire pour estimer les zones concernées par les submersions temporaires. Elle est également souvent utilisée pour délimiter les zones potentiellement affectées par des submersions permanentes. La topographie est classiquement disponible sous la forme d'un modèle numérique de terrain (MNT).

Une base de données altimétriques (BD ALTI de l'IGN) est disponible sur l'ensemble du territoire français. Dans sa version la plus précise, une grille au pas de 50m donne une altitude pour chacun des éléments du quadrillage, avec une résolution métrique : le « pas » en Z est de 1 mètre ce qui donne une topographie en « marches d'escalier » qui ne correspond pas à la réalité notamment dans les zones très plates.

Les valeurs altimétriques pour chaque maille de cette grille sont constituées par l'IGN à partir des courbes de niveau et des points cotés des cartes IGN. Puis, une interpolation est effectuée pour estimer l'altitude en tout point de la grille. Des techniques avancées (reconnaitances de talwegs, filtrage) sont également appliquées dans la chaîne de traitement. Dans les plaines côtières, la distance verticale séparant deux courbes de niveau est souvent de 5m. De plus, la ligne des 2,5m est souvent représentée sur les cartes IGN au 1 : 25 000. La BD ALTI est un produit de résolution métrique, dont la précision dépend notamment de celle des courbes de niveau de l'IGN (Source : BD ALTI, descriptif technique).

La base de données BD Topo Pays de l'IGN repose sur une grille au pas de 25m. Cette grille est constituée à partir de la BD ALTI et permet d'avoir accès à une résolution altimétrique supérieure

en agglomération. (Source : BD Topo Pays, descriptif technique) Elle n'est pas utilisée dans le cadre de cette étude car le géotraitement aurait requis des ressources en personnel et en capacité de calcul importantes.

Des MNT commerciaux plus précis existent. Ils ne sont pas mis à disposition gratuitement.

Pour réaliser une étude plus précise des risques côtiers (aléas en enjeux impactés) notamment pour définir les submersions possibles, la précision requise est décimétrique<sup>30</sup>.

Les données de la BD ALTI de l'IGN, au pas de 50m, sont compatibles avec l'échelle régionale adoptée pour cette étude et sont donc utilisées dans le cadre de cette étude.

#### **4.1.2. Morphologie de la côte**

Dans le cadre du projet EuroSION (2004), un trait de côte européen a été produit sur lequel a été reportée une information sur la morphologie de la côte. Cette information, disponible au 1:100 000, permet d'identifier les différents types de plages, les côtes de roches dures, de roches tendres, les côtes vaseuses, les rivages artificiels et les estuaires.

Le tracé du trait de côte d'EuroSION<sup>31</sup> ne se superpose pas parfaitement avec le trait de côte de Corine Land Cover (base de données de l'occupation des sols), ce qui pose un certain nombre de difficultés lorsque l'on cherche à croiser aléas et enjeux. Aussi, les données portées sur le trait de côte EUROSION ont été recalées géographiquement par le SOeS sur le trait de côte de la base de données CORINE Land Cover (base de données sur l'occupation du sol) afin de permettre des analyses et statistiques.

Il existe depuis 2007 un trait de côte commun IGN-SHOM sur la France Métropolitaine tiré de la base de données Histolitt<sup>32</sup>, dont la précision est adaptée aux études aux 1 : 10 000 et 1 : 25 000. Ce trait de côte, sans information morphologique associée, n'était pas adapté à l'échelle de travail du RNACC qui est régionale (1 : 100 000).

Les données EuroSION (2004) de morphologie de la côte, reportées sur le trait de côte Corine Land Cover (Base de données du SOeS) sont utilisées dans le cadre de cette étude. Elles sont compatibles avec l'échelle régionale adoptée pour cette étude.

---

<sup>30</sup> Elle peut être obtenue par des levés laser aéroportés (Lidar). Il existe des Lidar altimétriques terrestres et bathymétriques (eaux claires et peu profondes). Des levés systématiques ont été réalisés sur les côtes basses en Angleterre, aux Pays Bas et en Belgique. En France, il existe quelques levés très localisés sur le littoral notamment dans l'Hérault où des levés financés par le DRE/LR et la département sont en cours. Un programme national de cartographie précise de l'interface terre-mer a été lancé par le SHOM et l'IGN, le programme Litto3D. Il a été testé sur le golfe du Morbihan et le secteur de Toulon. D'autres secteurs doivent être prochainement couverts.

<sup>31</sup> Ce trait de côte a été construit à partir de la première version de Corine Coastal Erosion pour les pays membres de l'union Européenne en 1990. Ces données ont été corrigées à partir de données Landsat distribuées par la NASA. Finalement, le trait de côte a été corrigé localement au moyen de cartes au 1 :25 000 ou 1 : 50 000. Le trait de côte ainsi obtenu a une précision moyenne estimée à 50m sur l'Europe.

<sup>32</sup> [http://www.shom.fr/fr\\_page/fr\\_prod\\_num/tch\\_licence.html](http://www.shom.fr/fr_page/fr_prod_num/tch_licence.html)



### **4.1.3. Autres données**

#### ***Limites administratives***

La BD Carto de l'IGN a été utilisée pour déterminer les limites administratives.

#### ***Données de surcotes***

Les données de surcotes sont disponibles sur la façade Atlantique. Ces données, produites par le SHOM, représentent le travail le plus complet sur le sujet disponible actuellement sur le sujet. Les niveaux extrêmes de pleine mer avec hauteurs de surcotes en Atlantique et Manche y sont représentés. Ces données devront être utilisées si la méthodologie est reproduite sur la façade Atlantique ou de la Manche.

En Méditerranée, la donnée utilisée (c.f. 4.2) provient du Guide PPR submersion marine, DIREN Languedoc-Roussillon.

#### ***Atlas des zones inondables***

L'Atlas des zones inondables par submersion marine (Esposito, 2008) a été produit sous la maîtrise d'ouvrage de la DRE, sur la région Languedoc-Roussillon. Ces données incluent la cartographie des inondations historiques et délimitent l'enveloppe maximale des inondations constatées pour le climat actuel. Elles ne sont pas utilisées pour cette étude, compte tenu des délais impartis, mais sont exploitées dans le cadre de projets de service public et de recherche tels que par exemple le projet MISEEVA (c.f. 2.2.5).

### **4.1.4. Limites des données**

Le MNT utilisé est un produit métrique qui n'a pas une précision suffisante pour cartographier de manière précise les zones potentiellement soumises à l'aléa actuel ou futur. Les cartes produites dans le cadre de cette étude ne doivent ainsi pas être considérées comme des cartes d'aléa.

Pour autant, le groupe de travail Risques Côtiers du RNACC s'est accordé pour admettre qu'en moyenne, ce MNT était suffisant pour effectuer un géotraitement permettant une première quantification des enjeux, à une échelle régionale. Ainsi, dans ce rapport, aucune carte spatialisant l'aléa n'est produite.

Le trait de côte et les informations qui y sont portées sont utilisables à une échelle régionale et jusqu'au 1 : 100 000. Il n'est pas adapté à une étude locale, pour laquelle l'utilisation du trait de côte Histolitt serait plus appropriée.

On retiendra que :

- Les données utilisées ne permettent pas de spatialiser l'aléa d'une manière satisfaisante, c'est-à-dire que cette étude ne produira aucune carte de l'aléa futur. En revanche, elles permettent une première quantification des enjeux.

- Cette étude ne permet pas de conclure que tel site sera affecté par un aléa côtier en 2100. En revanche, elle permet d'estimer, à une échelle régionale, combien de logements ou d'entreprises sont potentiellement menacées par la modification de l'aléa (une première quantification est possible).

#### 4.1.5. Récapitulatif des données rattachées à l'aléa prises en compte

Le Tableau 1 récapitule les données utilisées pour l'estimation de l'aléa dans cette étude.

Données utilisées	Organisme producteur de la donnée	Justification
Trait de côte Corine Land Cover sur lequel ont été reportées les données EuroSION	Agence Européenne de l'environnement (EEA, consortium EuroSION), SOeS	Donnée actuellement disponible sur l'ensemble du territoire
BD Topo ALTI	IGN, via BRGM	Utilisable à l'échelle régionale (pas de 50m)
BD Carto	IGN, via BRGM	Limites administratives

Tableau 1 : résumé des données utilisées pour l'estimation de l'évolution de l'aléa.

Les données utilisées dans cette étude sont publiques et disponibles sur l'ensemble du territoire national. La méthodologie exposée ci-après pourrait ainsi être suivie pour d'autres régions françaises.

Il est important qu'une certaine cohérence soit conservée entre les précisions des différents jeux de données et l'échelle de l'étude. Aussi, la plupart des données utilisées ici ne sont utilisables qu'à l'échelle régionale (1 : 100 000) et ne conviennent pas pour des études locales.

## **4.2. METHODOLOGIE**

Ce paragraphe examine qualitativement les effets de la hausse du niveau marin sur les systèmes côtiers (EuroSION, 2004, Response, 2006, Paskoff, 2001, Clus-Auby et al, 2004) afin de motiver les hypothèses sur l'évolution de l'aléa et les géotraitements qui sont effectués.

La méthodologie développée dans le cadre du projet EuroSION (2004) consistait à créer une zone multi-aléas-côtiers en faisant l'union des zones situées à moins de 500m des côtes susceptibles d'être érodées et des zones situées en dessous de 5m d'altitude. Cette zone constitue une première approximation des zones qui pourraient être soumises à l'érosion, ou aux submersions temporaires ou permanentes. Elle est utilisée pour identifier les enjeux.

Cette méthodologie est retenue par le sous-groupe de travail risques côtiers du RNACC, mais doit être adaptée ici pour répondre aux besoins du projet.

### **4.2.1. Erosion**

#### ***Justification***

Le déferlement des vagues à la côte est la cause d'une agression mécanique des littoraux sableux et de roches tendres. Avec l'élévation du niveau marin, la houle atteindra des parties plus élevées du rivage, érodant des zones jusqu'alors épargnées des forçages hydrodynamiques. D'autre part, toute chose étant égale par ailleurs, une élévation du plan d'eau a pour conséquence un moindre amortissement des vagues qui déferlent ainsi avec davantage d'énergie sur le rivage, causant de l'érosion. Le plus souvent, les fonds littoraux se réorganisent, et les sédiments nécessaires à cette réorganisation sont généralement prélevés sur les plages et petits fonds. Paskoff (2001) décrit cette tendance générale en précisant que, localement, la bathymétrie, la topographie et les courants engendreront des conséquences différentes.

#### ***Extension géographique de l'aléa érosion***

Dans cette étude, la zone d'aléa pour l'érosion en 2100 est représentée par une zone tampon de 500m autour des côtes susceptibles d'être érodées. La valeur de 500m est un compromis qui prend en compte d'une part des reculs qui pourront varier considérablement selon la morphologie de la côte (falaises tendres, plages) et les forçages hydrodynamiques, et d'autre part la précision des données utilisées ultérieurement pour quantifier l'aléa. Les données de géomorphologie sont contenues dans le trait de côte Corine Land Cover sur lequel l'SOeS a reporté les données EuroSION (c.f. 4.1.2).

#### ***Incertitudes liées à l'extension géographique de l'aléa érosion***

Les données de géomorphologie issues d'EuroSION (c.f. 4.1.2) sont utilisables à l'échelle de l'étude et sont exemptes d'incertitudes au lissage près des morphologies à faible extension géographique.

Concernant l'aggravation attendue de l'aléa érosion pour les côtes de falaises friables et les plages (GIEC, 2007), les incertitudes proviennent des éléments suivants :

- aucun effet de site, tel que des rythmes d'érosion plus ou moins rapides liés à des bathymétries spécifiques n'est pris en compte ici (voir le projet RESPONSE pour une méthodologie, basée sur le consensus d'experts, permettant d'évaluer certains phénomènes de sites ; c.f. 2.2.3)
- la valeur de 500m de recul par érosion est arbitraire. Il n'est pas possible aujourd'hui de quantifier le recul, par érosion, du trait de côte soumis à une élévation du niveau marin de l'ordre du mètre (Cooper, 2004)

### **Illustration**

La délimitation de la zone d'aléa pour l'érosion en 2100 est illustrée en Figure 12. Les plages sableuses verront leur érosion s'aggraver en raison de l'élévation du niveau marin. Une zone tampon (en rouge sur la Figure 12) est délimitée pour croiser l'aléa érosion avec les enjeux.

Les cartes mises à disposition dans le cadre de cette étude sont destinées uniquement à illustrer la méthodologie utilisée. Elles ne constituent en aucun cas un zonage pertinent pour des plans de prévention des risques.

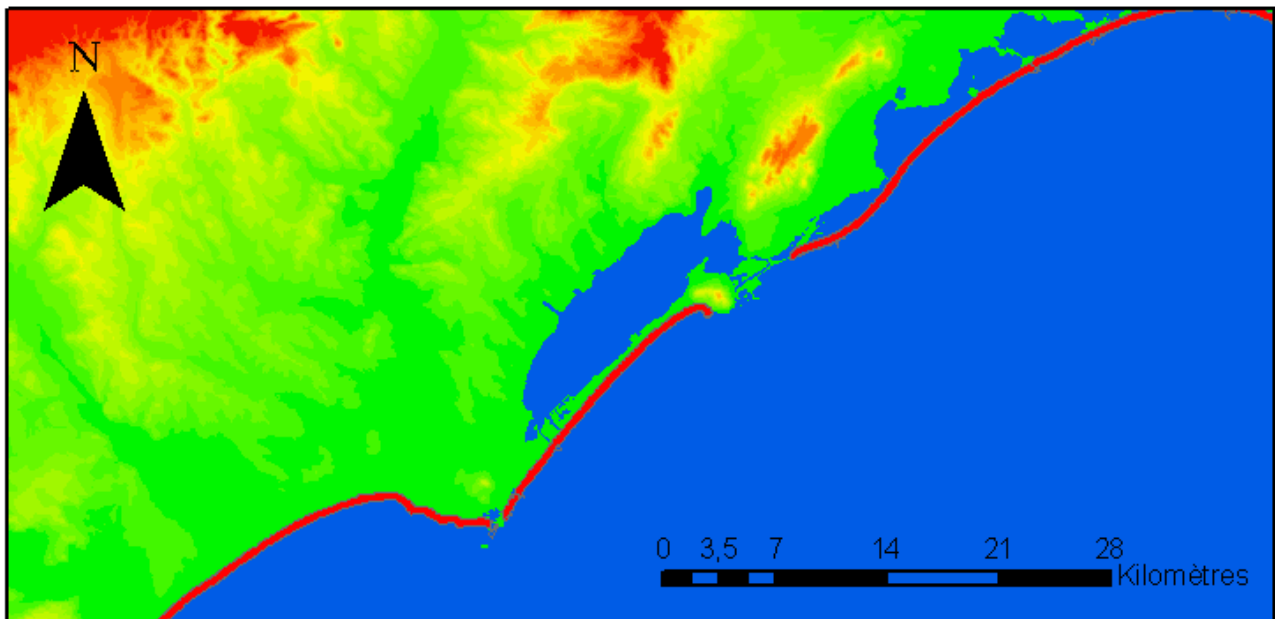


Figure 12 : illustration de la délimitation de la zone d'érosion dans la région de Sète (en rouge).

#### **4.2.2. Submersion permanente**

A terme, le changement climatique créera un nouvel aléa de submersion permanente de zones côtières, par élévation du niveau marin. Cet aléa est distingué de l'érosion : il concerne les zones

où l'on suppose que le littoral subira une submersion permanente de manière passive ou quasi passive. Cet aléa est irréversible et continu. Il a un temps caractéristique pluri-décennal (c.f. 2.1.2). Ses effets sur les enjeux sont identiques à ceux générés par l'érosion.

### ***Justification***

Le GT Risques Côtiers du RNACC a décidé de considérer que les zones situées en deçà de la cote 1m NGF seront submergées de manière permanente en 2100. Il se place ainsi sous l'hypothèse que le littoral, soumis progressivement à de nouvelles situations (niveau de la mer, action des vagues) n'est pas en mesure de s'adapter<sup>33</sup>.

### ***Extension géographique de l'aléa submersion permanente***

L'extension géographique de l'aléa submersion permanente est constituée des zones situées en deçà de la cote 1m NGF. Ainsi, tout se passe comme si une translation du niveau marin affectait le littoral, qui la subirait de manière passive (Figure 13).

### ***Incertitudes liées à l'extension géographique de l'aléa submersion permanente***

Les incertitudes sont liées à l'hypothèse de submersion passive du littoral d'une part, et à la résolution et la précision verticale du MNT utilisé (BD ALTI), et donc de la localisation de la ligne altimétrique égale à +1m NGF d'autre part (c.f. 4.1.4).

L'observation de la zone ainsi délimitée montre que :

- sur les lidos, cette zone vient compléter la zone tampon érosion en ouvrant certains lidos d'une largeur supérieure à 500m.
- en arrière des étangs, des zones qui n'étaient pas concernées par la spatialisation de l'aléa érosion sont intégrées dans celles de l'aléa de submersion permanente. Ces espaces, qui sont aujourd'hui hors de l'influence de la dynamique littorale (vagues, transits sédimentaires...), se trouveraient de fait en 2100 en domaine maritime ouvert si les lidos s'ouvrent.
- pour les côtes sableuses en arrière desquelles aucun étang n'est situé, la zone délimitée pour l'aléa de submersion permanente est située à l'intérieur de la zone délimitée précédemment pour l'aléa érosion.

---

<sup>33</sup> En réalité, pour des élévations du niveau marin de l'ordre du cm/an, les systèmes côtiers ont une capacité d'auto-adaptation aux nouveaux forçages et se réorganisent, ce qui se traduit par une érosion du littoral, et non à proprement parler une submersion permanente (Paskoff, 2001). Les processus en jeu font l'objet de projets de recherche tels que le projet Vulsaco. Il n'est donc pas du tout certain qu'une vitesse d'élévation du niveau marin annuelle centimétrique (correspondant à 1m en 2100) sera suffisante pour que des littoraux sableux soient affectés par une submersion quasi-passive. La réalité terrain sera plus probablement une érosion aggravée des zones très basses.

- pour les embouchures des fleuves les plus importants, la zone délimitée précédemment pour l'aléa érosion est généralement située à l'intérieur de la zone délimitée pour l'aléa submersion permanente
- pour les autres côtes, en Roussillon notamment, le relief et la géomorphologie font qu'elles sont peu affectées par les aléas irréversibles érosion et submersion permanente.

Ainsi, la spatialisation de l'aléa de submersion permanente vient compléter d'une manière intéressante celle de l'aléa érosion. Il faut souligner cependant que derrière ce traitement automatique nécessairement simplificateur, se cache en réalité la question du devenir à long terme des lidos et des côtes sableuses, qui reste un sujet de recherche. Dans ce projet, le traitement automatique effectué amène à considérer l'hypothèse d'une ouverture des lidos et un début d'érosion en arrière des étangs.

### 4.2.3. Submersions temporaires

#### ***Justification***

Plusieurs phénomènes se superposent et peuvent causer l'inondation temporaire des côtes basses.

Lors des tempêtes, un phénomène d'élévation temporaire du niveau marin se produit, la surcote. La surcote est une élévation du niveau d'eau par rapport à la marée astronomique. En risques côtiers, elle se compose de<sup>34</sup>:

- la surcote atmosphérique : il s'agit d'un phénomène à grande emprise spatiale qui comprend deux phénomènes distincts :
  - l'effet du vent (tensions de radiation), lorsqu'il pousse les masses d'eau à la côte
  - l'effet de la pression atmosphérique (effet baromètre inverse): une baisse de 10hPa de la pression atmosphérique provoque une élévation du plan d'eau de 10cm
- le setup : il s'agit de la surcote liée au déferlement des vagues. C'est un phénomène très local qui a lieu dans la zone de déferlement des vagues.

Pour estimer la limite d'inondation instantanée il est donc nécessaire de prendre en compte la surcote dans toutes ses composantes, de la superposer à la marée astronomique, et finalement de superposer à ce niveau moyen le niveau instantané, c'est-à-dire prendre en compte le jet de rive<sup>35,36</sup>. Une topographie et une bathymétrie fine sont souvent indispensables au calcul précis de la surcote et de la limite d'inondation instantanée en milieu côtier<sup>37</sup>.

---

<sup>34</sup> Les communautés travaillant en milieu ouvert peuvent utiliser des définitions différentes.

<sup>35</sup> Le jet de rive est la nappe d'eau qui monte sur le rivage d'une plage sous l'impulsion que lui a donné une vague lors de son déferlement. Le jet de rive atteint des élévations d'autant plus importantes que l'énergie contenue dans la vague était forte. La connaissance de la cote topographique maximum atteinte par le jet de rive pour un événement donné (run-up) permet le calcul de la limite d'inondation instantanée.

Par ailleurs, les interactions avec des inondations continentales sont des phénomènes particulièrement importants et complexes, qui font l'objet de sujets de recherche. Enfin, les vagues de forte énergie causent l'érosion des côtes meubles ou déstabiliser des enrochements par affouillement.

### ***Extension géographique de l'aléa submersion temporaire***

Il n'est pas envisagé ici de déterminer avec précision quelles zones seraient concernées par un événement de tempête en 2100. Ceci supposerait en effet de modéliser un événement de tempête complet, en prenant en compte toute l'hydrodynamique (niveau du plan d'eau, vagues, pression atmosphérique) et de disposer d'une bathymétrie et topographie fine représentative de la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle.

Pour délimiter la zone d'aléa, on suppose en première approximation que le changement climatique aura pour effet une élévation uniforme de 1m du plan d'eau. Cette élévation est reportée sur le modèle numérique de terrain.

En Languedoc Roussillon, en l'absence de niveau historique connu supérieur, le niveau + 2,00 m NGF<sup>3839</sup> est utilisé pour définir le niveau marin centennal<sup>40</sup> dans les plans de prévention des risques dans les zones concernées pour les submersions marines. Par ailleurs, dans les zones soumises au déferlement des vagues, la valeur de +3m NGF est introduite (Source : guide PPR submersion marine élaboré par la DIREN Languedoc-Roussillon).

Dans l'hypothèse d'une remontée du niveau marin de 1m, la ligne des 3m NGF correspondrait ainsi au niveau marin centennal (Figure 13) dans les zones non soumises au déferlement des vagues. Pour les besoins de cette étude, le sous-groupe risques côtiers du RNACC a retenu la valeur de 1m pour le niveau marin décennal.

---

<sup>36</sup> Les dommages liés à une tempête sont liés à la conjonction de plusieurs phénomènes et pas uniquement de la surcote : pris individuellement, chacun des paramètres (hauteur des vagues, surcote, marée) peut-être caractérisé par une probabilité d'occurrence. Pour autant, le caractère extrême d'une valeur donnée est souvent découplé des dommages causés par une tempête : ainsi, les plus fortes houles de la tempête du 24/01/2009 ont eu lieu à marée basse et n'ont pas causé de dégâts (au contraire des vents forts). Un autre exemple est la tempête du 10 mars 2008 qui a affecté les côtes bretonnes a causé de nombreux dommages (en particulier liés à des inondations) alors que, pris individuellement, chacun des paramètres n'était pas extrême : vents de 130 à 140km/h, hauteur significative de houle de 10m sur la bouée des Pierres Noires<sup>36</sup> mouillée au sud de Ouessant, marée de coefficient 105 (Sources : Météo-France, Previmer, Cetmef).

<sup>37</sup> Ceci est vrai en milieu côtier et pour l'étude de l'aléa de submersion temporaire. En milieu ouvert, des formules permettent de calculer une surcote sans utiliser de bathymétrie.

<sup>38</sup> NGF (Nivellement Général de la France) : réseau de repères altimétrique officiel de la France, opéré par l'IGN.

<sup>39</sup> La valeur de 2m NGF est déterminée à partir des niveaux mesurés sur les marégraphes en Languedoc-Roussillon, ainsi que d'après les observations lors des fortes tempêtes connues de 1982 et 1999. Ces valeurs ne sont pas transposables à d'autres contextes tels que la côte Atlantique.

<sup>40</sup> Événement centennal : qui peut se produire avec une probabilité de 1/100 chaque année.

Par la suite, on utilise abusivement les termes « tempête décennale » et « tempête centennale » pour désigner des tempêtes associées à des niveaux marins de +1 m et +2 m NGF respectivement.

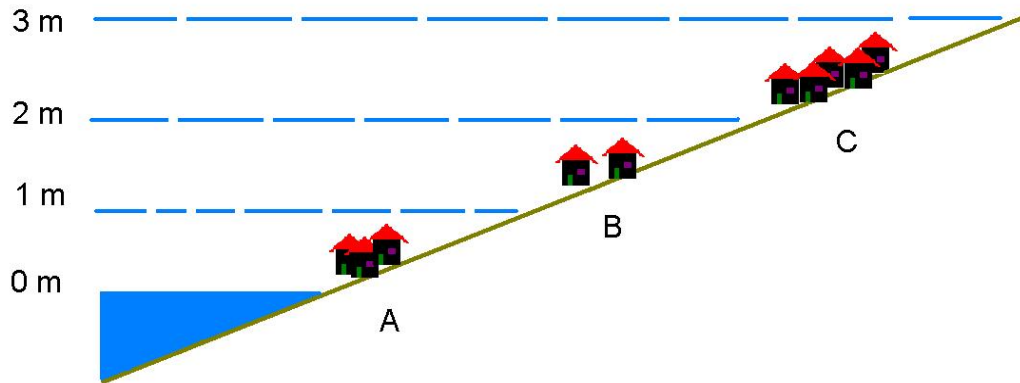


Figure 13 : l'aléa submersion temporaire est supposé affecter actuellement la zone A (avec une occurrence décennale) et la zone B (avec une occurrence centennale). Avec le changement climatique, on suppose une translation de ces aléas de 1m. Ainsi, la zone A est supposée submergée (aléa de « submersion permanente »), et les submersions temporaires affecter les zones B (avec une occurrence décennale) et C (avec une occurrence centennale).

### **Périodes de retour associées à l'aléa submersion temporaire**

L'aléa submersion temporaire est caractérisé par une probabilité d'occurrence qui a été simplement modélisée de la manière suivante (Voir aussi Annexe 2) :

Pour l'aléa actuel :

- Les zones comprises en deçà de +1 m NGF peuvent être affectées par un événement de submersion temporaire de période de retour inférieure à 10 ans, l'aléa de période de retour 10 ans atteignant +1 m NGF.
- Les zones comprises entre +1 m et +2 m NGF peuvent être affectées par un événement de submersion temporaire de période de retour inférieure à 100 ans, l'aléa de période de retour 100 ans atteignant +2 m NGF.

Avec le changement climatique, l'occurrence de l'aléa submersion temporaire est supposée se modifier de la manière suivante :

- Les zones comprises en deçà de +2 m NGF peuvent être affectées par un événement de submersion temporaire de période de retour inférieure à 10 ans, l'aléa de période de retour 10 ans atteignant +1 m NGF.
- Les zones comprises entre +2 m et +3 m NGF peuvent être affectées par un événement de submersion temporaire de période de retour inférieure à 100 ans, l'aléa de période de retour 100 ans atteignant +2 m NGF.

Ceci correspond à traduire l'élévation du niveau marin de 1m en une translation verticale de l'aléa submersion temporaire de +1 m.



### ***Incertitudes liées à l'estimation de l'aléa submersion temporaire***

Deux sources d'incertitudes sont liées à la spatialisation de l'aléa de submersion temporaire :

- La résolution et la précision verticale du MNT utilisé (BD ALTI), et donc de la localisation des lignes altimétriques égales à +2 m et +3 m NGF (c.f. 4.1.4).
- Les incertitudes liées aux niveaux marins correspondant à un événement centennal et décennal.

En Méditerranée, les surcotes associées à une tempête centennale ou décennale ne sont actuellement pas déterminées d'une manière suffisamment satisfaisante par les méthodes statistiques habituelles. En conséquence, la valeur de +2 m NGF choisie pour les tempêtes centennales pour la définition des PPR littoraux correspondent plutôt à un majorant. Par ailleurs, l'effet des vagues n'est ici pas pris en compte, ni les effets de sites en estuaires.

Ainsi, sous l'hypothèse que le niveau marin s'élève de 1m, la zone spatialisée dans cette étude serait plutôt majorée dans les zones de l'arrière pays, plutôt sous estimée à proximité des estuaires et aux abords immédiats du rivage (effet des vagues). Il n'est donc pas pertinent d'utiliser ces zones comme cartes d'aléa. Elles n'ont pour finalité que de permettre une première quantification des enjeux.

La

Figure 14 montre, à titre d'exemple, les valeurs d'élévation des 5 premiers mètres NGF de la BD Topo ALTI autour du Lido de Sète. Ces zones servent à définir la zone multi-aléas qui est croisée ultérieurement avec les enjeux.

On rappelle que les cartes mises à disposition dans le cadre de cette étude sont destinées uniquement à illustrer la méthodologie utilisée. Elles ne constituent en aucun cas un zonage pertinent pour des plans de prévention des risques.

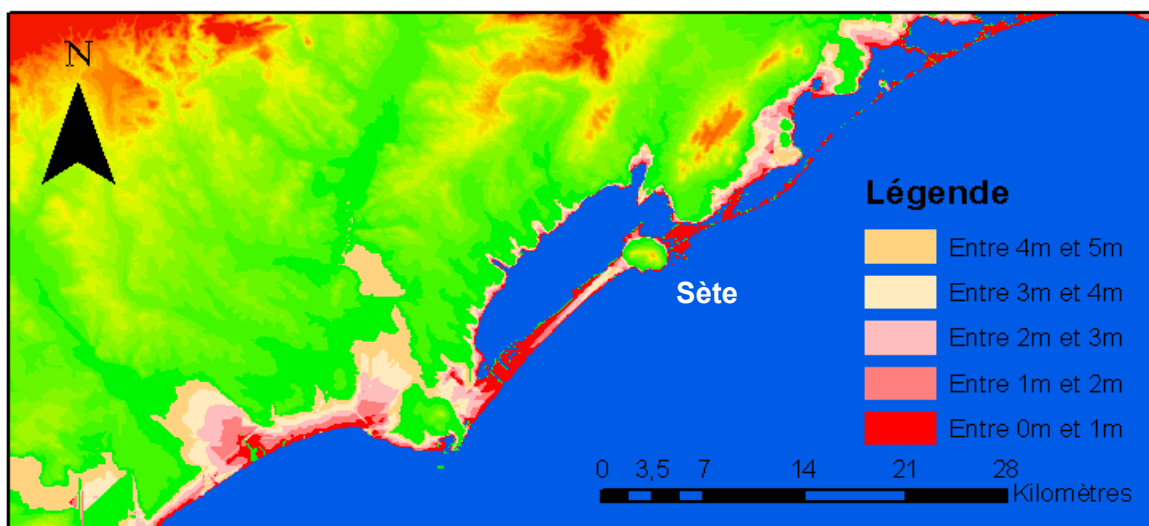


Figure 14 : illustration des valeurs prises par la BD Topo ALTI pour les 5 premiers mètres NGF dans la région de Sète.

### 4.3. INCERTITUDES

Au stade de l'estimation de l'évolution de l'aléa, les incertitudes sont liées :

- aux hypothèses faites quant aux effets du changement climatique (élévation du niveau de la mer) ;
- au manque de précision des données altimétriques (résolution, précision) ;
- aux approximations faites lors de la délimitation de la zone de l'aléa ;
- aux approximations faites pour l'occurrence de l'aléa submersion temporaire ;
- aux nécessaires simplifications induites par un traitement semi-automatique, ne prenant pas en compte les effets de sites ;
- dans le cas des submersions temporaires : au fait que les protections éventuelles contre l'inondation situées à l'intérieur des terres ne sont pas visibles sur le MNT. Ces protections peuvent être naturelles ou artificielles, dédiées ou non (par exemple : remblais de surélévation de route).

A l'échelle régionale, ces incertitudes demeurent acceptables dans le but de quantifier les enjeux. Elles ne le seraient bien évidemment pas s'il s'agissait de produire une carte d'aléa.

Les hypothèses formulées conduisent-elles à une estimation optimiste (minorante) ou pessimiste (majorante) de ce qu'il pourrait se produire sous l'influence du changement climatique ? Sous l'hypothèse que l'élévation du niveau marin reste de 1m en 2100, les zones délimitées correspondraient plutôt à :

- pour l'aléa submersion temporaire un scénario pessimiste (majorant), hors lidos et embouchures. Il pourrait être trop optimiste (minorant) dans les zones d'embouchures et sur les lidos.
- pour l'aléa submersion permanente et érosion, il n'est pas possible de dire si l'estimation de l'aléa correspond à un scénario équilibré, optimiste ou pessimiste, en raison des incertitudes concernant le devenir des lidos sur le long terme.

### 4.4. CONCLUSION

La demande de quantifier, par un coût, les effets du changement climatique sur les risques côtiers nécessite de séparer conceptuellement trois aléas (Tableau 2) :

- Un aléa « irréversible » d'érosion, supposé affecter les zones situées à moins de 500m des côtes érodables (plages, falaises tendres) entre 2000 et 2100.
- Un aléa « irréversible » de submersion permanente, supposé affecter les zones situées en deçà de +1 m NGF entre 2000 et 2100

- Un aléa « réversible » de submersion temporaire, atteignant 1m NGF avec une occurrence décennale et +2 m NGF avec une occurrence centennale. Cet aléa est supposé se translater verticalement de +1 m avec le changement climatique.

Aléa	Effet du changement climatique	Type	Durée caractéristique	Réversibilité des effets	Modélisation à l'échelle régionale pour l'étude RNACC
Erosion	aggravation	continu	infra-annuelle à pluriannuelle	irréversible	zone tampon de 500m autour des côtes érodables
Submersion temporaire	aggravation	discontinu	quelques heures à quelques jours	réversible	création d'une zone pour les z compris entre 0 et 3m, à laquelle est soustraite la zone correspondant aux aléas ayant des effets irréversibles
Submersion permanente	Création d'un nouvel aléa	continu	pluriannuelle à pluri-décennale	irréversible	création d'une zone pour les z compris entre 0 et 1m, selon la morphologie de la côte

*Tableau 2 : caractéristiques des différents aléas considérés et traitement effectué dans le cadre de cette étude (D'après Garcin, 2008)*

En raison des caractéristiques voisines des deux aléas « irréversibles », les dommages qu'ils pourront causer seront la plupart du temps considérés simultanément par la suite.

Ces hypothèses de changement d'aléa sont suffisantes pour quantifier les enjeux mis à risques à l'échelle régionale. Elles ne le sont pas pour représenter ces aléas sur une carte. Les effets de sites et locaux tels que des érosions ou des aggradations liées à une géomorphologie et une topobathymétrie particulières ne sont pas pris en compte.

Ainsi, il est important de noter que ces hypothèses ne correspondent pas nécessairement à un scénario pessimiste (i.e. majorant). Elle correspond à une ouverture partielle des lidos et à un début d'érosion de certains rivages en arrière des étangs.

## 5. Les enjeux en zone littorale

Les zones côtières sont soumises à une pression anthropique croissante du fait de leur attractivité. En 50 ans, la pression démographique s'y est considérablement accrue, la population des communes côtières européennes ayant doublé au cours de cette période, pour atteindre 70 millions d'habitants en 2001. Subséquemment, les enjeux se sont concentrés dans ces zones littorales : zones urbaines et périurbaines, mais aussi enjeux industriels, touristiques, agricoles et environnementaux.

En 2004, 25% des côtes françaises sont en érosion. Pourtant, entre 1975 et 1990, l'urbanisation de la bande côtière (zone située à moins de 10km de la côte) a crû de 14% en France (Eurosion, 2004). Dans cette même étude Eurosion, l'exposition à l'érosion côtière est ainsi considérée comme très élevée (sur une échelle à 4 états allant de faible à très élevée) dans 4 régions françaises (Languedoc-Roussillon, Poitou-Charentes, Nord Pas de Calais, Aquitaine), élevée dans 5 régions (Pays de la Loire, Bretagne, Basse Normandie, Provence-Alpes Côte d'Azur, Haute Normandie) et moyenne dans deux (Picardie et Corse)<sup>41</sup>.

Ce chapitre donne les éléments sur les enjeux actuels nécessaires au projet dans les zones côtières françaises.

### 5.1. HYPOTHESE D'EVOLUTION DES ENJEUX

Le cadre de travail défini par le groupe plénier est le scénario dit à économie constante et à enjeux constants quelle que soit la période de temps considérée. La modification des enjeux à ces échelles de temps relève de ce que les sciences humaines et sociales appellent le « récit prospectif », puisqu'il n'est pas possible, à ces échéances, d'extrapoler les tendances actuelles. Ce sont des travaux qui sont du domaine de la recherche amont<sup>42</sup>.

#### **Hypothèse n°6 : les enjeux sont supposés inchangés entre 2000 et 2100 en zone côtière.**

Il est important de bien noter qu'elle n'est bien évidemment pas représentative de la situation et des tendances actuelles des zones côtières françaises qui sont de plus en plus attractives. Les dernières décennies ont vu une forte croissance de la population et le développement de nombreuses activités, et l'on n'assiste pas actuellement à un arrêt des migrations (populations, entreprises, services...) vers la zone littorale. Aussi, une seconde hypothèse dite à « exposition constante des enjeux » sera introduite dans cette étude pour l'aléa de submersion temporaire (c.f. 6.5.2).

---

<sup>41</sup> <http://www.eurosion.org/reports-online/part2.pdf>

<sup>42</sup> Voir par exemple le projet MISSEEVA

## 5.2. DEFINITION DES ZONES COTIERES

Estimer les enjeux en zones côtières sous-tend la définition de cet espace. D'après la loi Littoral de 1986, le littoral maritime métropolitain comprend 885 communes riveraines des mers, océans et lagunes.<sup>43</sup> Un certain nombre de statistiques publiées sur l'occupation des sols en zones côtières font référence à cet espace délimité par l'ensemble de ces 885 communes (c.f. Figure 15).

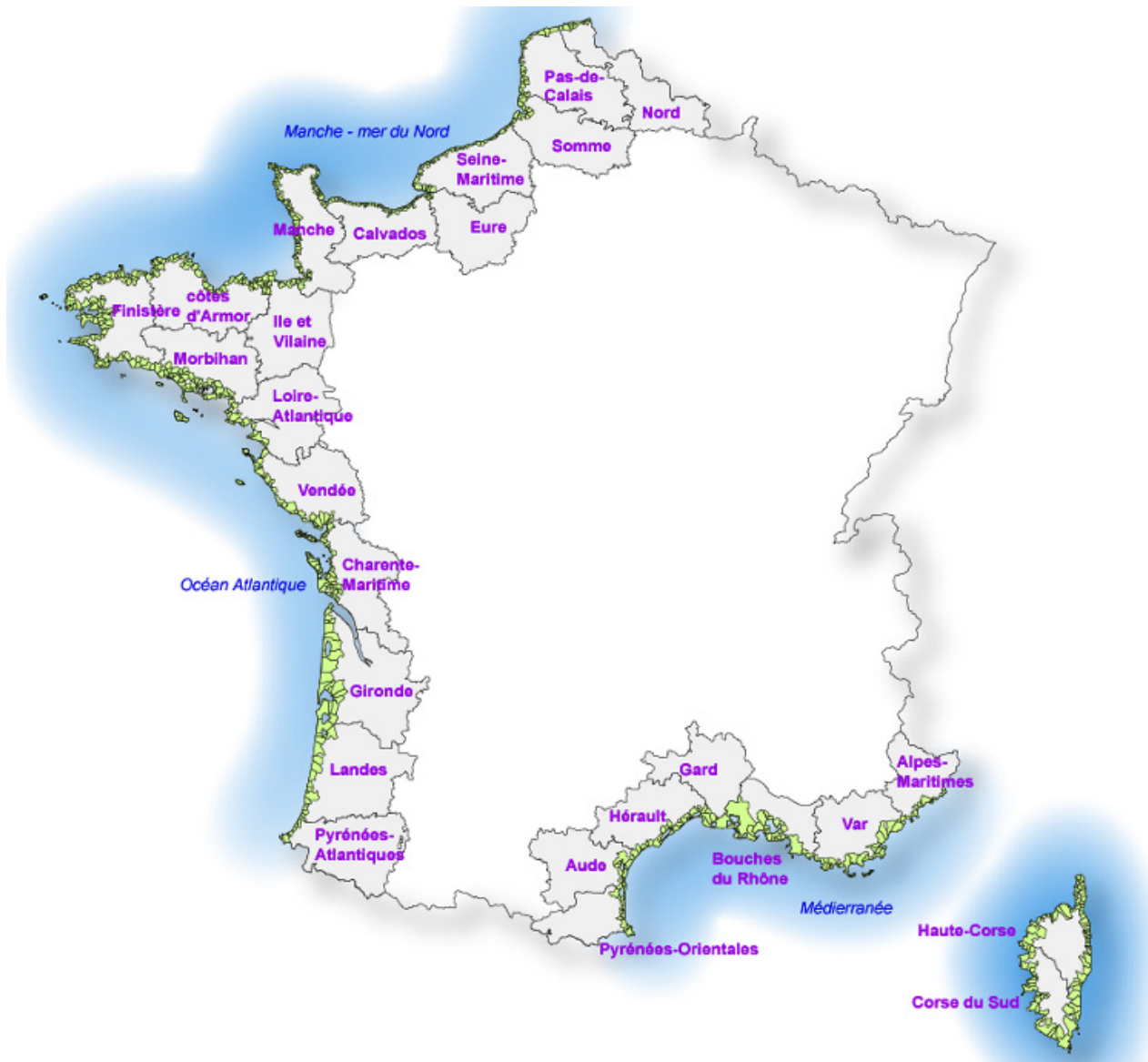


Figure 15 : le littoral maritime métropolitain, communes et départements littoraux (Source SOEs)

<sup>43</sup> Voir par exemple : <http://www.littoral.ifen.fr/La-notion-de-littoral-terrestre.217.0.html#c1047>

Une autre manière de représenter la zone côtière est de la définir en fonction de la distance à la côte, par exemple, en prenant toutes les zones situées à moins de 500m de la côte.

Enfin, d'autres études (Eurosion, 2004), prennent en compte à la fois un critère de distance et un critère d'élévation, afin de prendre en compte les zones basses.

Dans cette étude, ces trois définitions sont utilisées et précisées à chaque fois qu'une statistique est produite.

### **5.3.           PRESSION DEMOGRAPHIQUE**

La pression démographique est très forte sur les zones côtières. Sur un peu plus de 4 % du territoire se concentre près de 10 % de la population, soit environ 6 millions d'habitants. A cela, il faut ajouter une très forte pression touristique. On estime ainsi, que chaque commune littorale dispose en moyenne de près de 8 000 lits touristiques (hôtels, campings et résidences secondaires), soit 16 fois plus que la moyenne métropolitaine et une capacité totale d'accueil estimée à 7 millions de lits. En période estivale, ce sont théoriquement 13 millions de personnes qui peuvent résider en même temps, en bord de mer.

La population résidente littorale augmente fortement depuis des décennies, principalement du fait de soldes migratoires nettement positifs. Ceci permet de discuter l'hypothèse d'enjeux constants qui a été formulée au niveau du groupe plénier.

### **5.4.           OCCUPATION DES SOLS DANS LES ZONES COTIERES DE FRANCE METROPOLITAINE**

A cette forte densité humaine, correspond un haut niveau d'artificialisation des territoires. Les terres urbanisées représentent 9,8 % du territoire des communes littorales contre 4 % dans l'arrière-pays et 3,7 % sur l'ensemble de la métropole. Ces territoires artificialisés jouxtent des milieux naturels ouverts et des zones humides très présents en bord de mer alors que les terres agricoles sont sous-représentées par rapport à la moyenne métropolitaine (c.f. Figure 16).

Cette artificialisation est d'autant plus forte que l'on se rapproche des rivages. Un quart des terres situées à moins de 500 m de la mer sont urbanisées (c.f. Figure 17).

D'une manière générale, plus on se rapproche de la mer et plus les territoires artificialisés occupent une part importante. Ainsi ils occupent 6,0% entre 5 000 et 10 000 m de la mer, alors que c'est en moyenne 27,2% des terres qui sont artificialisées à moins de 500 m de la mer, ce taux atteignant 48% en PACA. Les zones industrielles sont également plus représentées dans cette zone.

L'artificialisation du territoire se fait principalement au détriment des terres agricoles et des milieux naturels. Les surfaces dévolues à l'agriculture ont ainsi diminué de 20 % depuis 1970 (170 000 ha) soit 3 fois plus que la moyenne métropolitaine.

Ainsi, le recul du trait de côte et les submersions marines sont des risques naturels pouvant avoir des impacts importants sur des territoires fortement anthropisés.

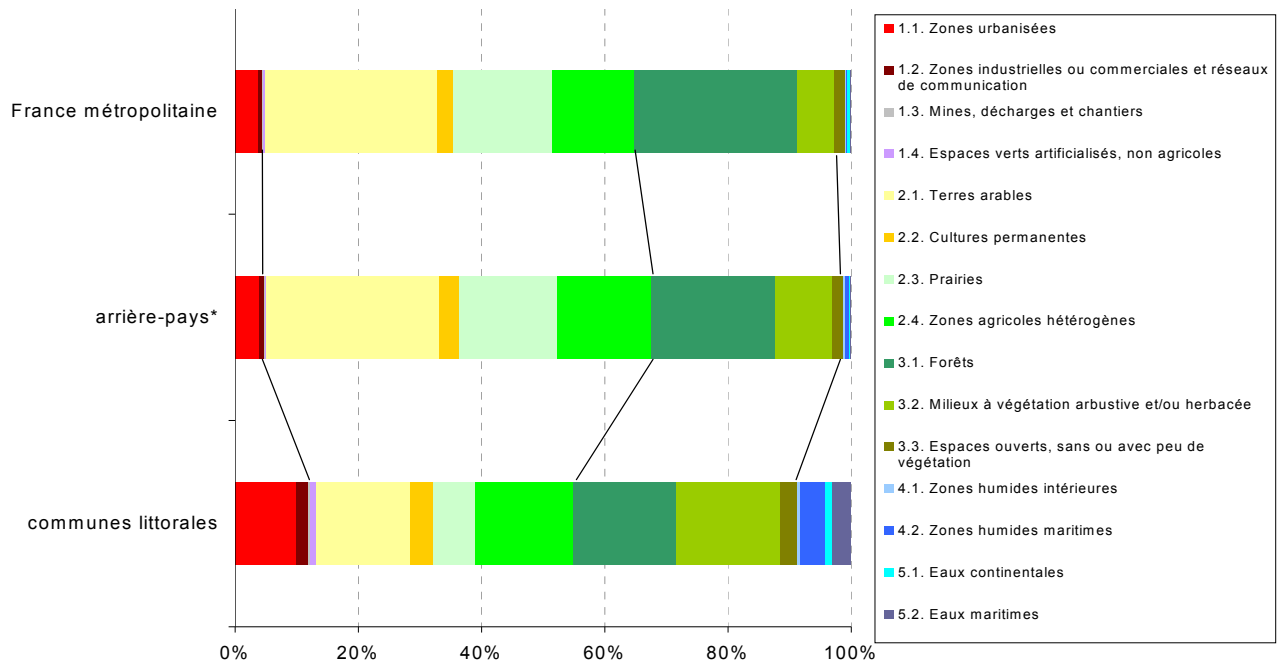


Figure 16 : occupation du sol en métropole en 2000 ; \* arrière-pays : communes non littorales des cantons littoraux ; Source : UE, SOES, CORINE Land Cover 2000, Observatoire du littoral

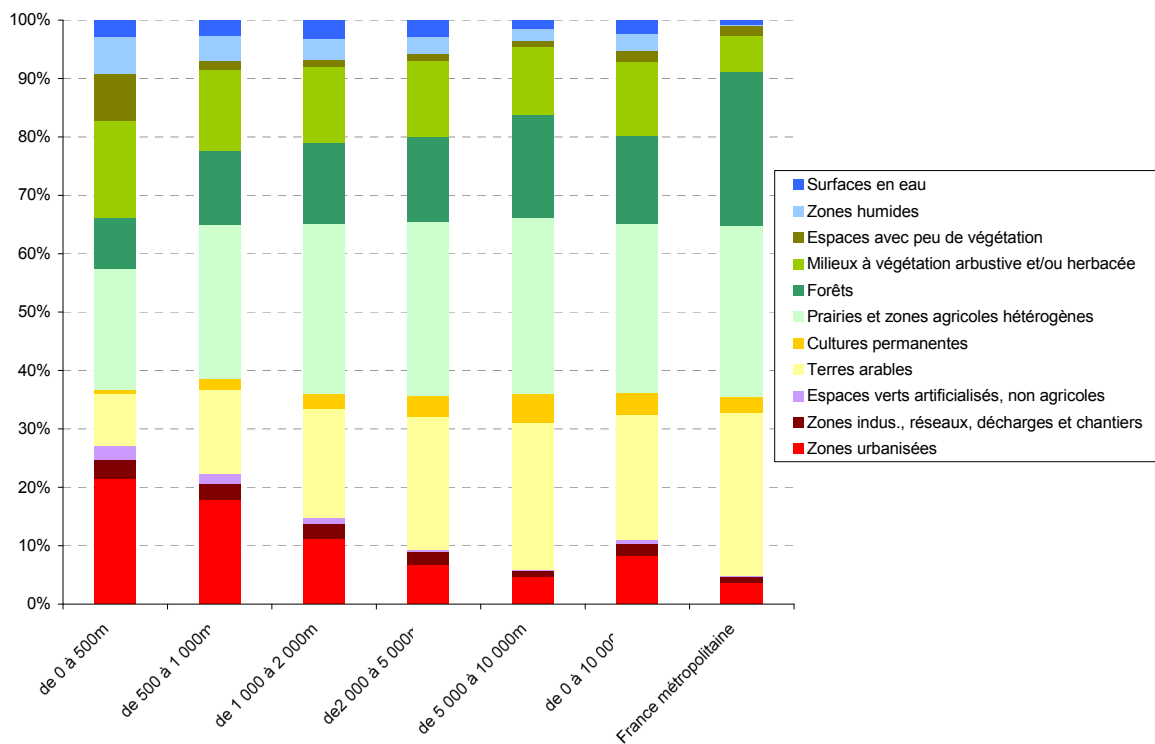


Figure 17 : occupation du sol en fonction de la distance à la mer en 2000 ; Source : UE, SOeS, CORINE Land Cover 2000, Observatoire du littoral

## 5.5. OCCUPATION DES SOLS DANS LES ZONES COTIERES DE LA REGION LANGUEDOC-ROUSSILLON

La région Languedoc-Roussillon est la zone d'étude du groupe de travail Risques Côtiers du RNACC. L'occupation du sol du littoral de cette région varie fortement en fonction de la distance à la mer. A moins de 500 m des côtes, les espaces artificialisés occupent près de 40 % du territoire. C'est l'un des taux les plus importants sur les différentes façades littorales régionales avec le littoral des régions Paca et Pays de la Loire. Cette part décroît en s'éloignant de la mer. Les zones humides et les surfaces en eau sont importantes entre 500 et 5 000 m des côtes. Cela correspond aux lagunes et zones humides associées. Enfin, plus on s'éloigne de la mer, plus l'agriculture occupe une part importante du territoire. Elle ne couvre qu'environ 10 % de l'espace à moins de 500 m de la mer et près de 60 % de 5 000 à 10 000 m (c.f. Figure 18).

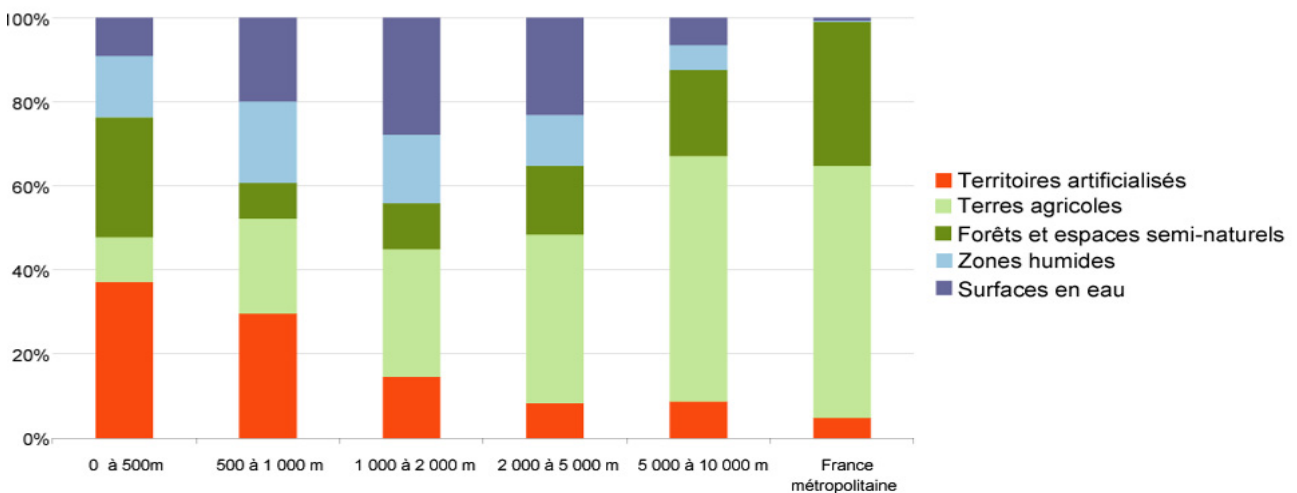


Figure 18 : occupation du sol sur le littoral du Languedoc-Roussillon en fonction de la distance à la mer, en 2000 ; Source : UE, SoES, CORINE Land Cover 2000, Observatoire du littoral.

Le nombre de m<sup>2</sup> de logements construits annuellement a nettement diminué dans les communes littorales du Languedoc-Roussillon de 1990 à 1995. Depuis, il se maintient. Cette tendance est assez différente de l'évolution de la construction dans l'ensemble des communes littorales métropolitaines (Figure 19).

Annuellement, ce sont environ 400 000 m<sup>2</sup> shon (surface hors œuvre nette) de logements qui sont construits dans les communes littorales du Languedoc-Roussillon, soit l'équivalent de la construction sur le littoral d'Aquitaine ou des Pays de la Loire. Ce niveau, malgré la forte baisse enregistrée, reste donc assez élevé.



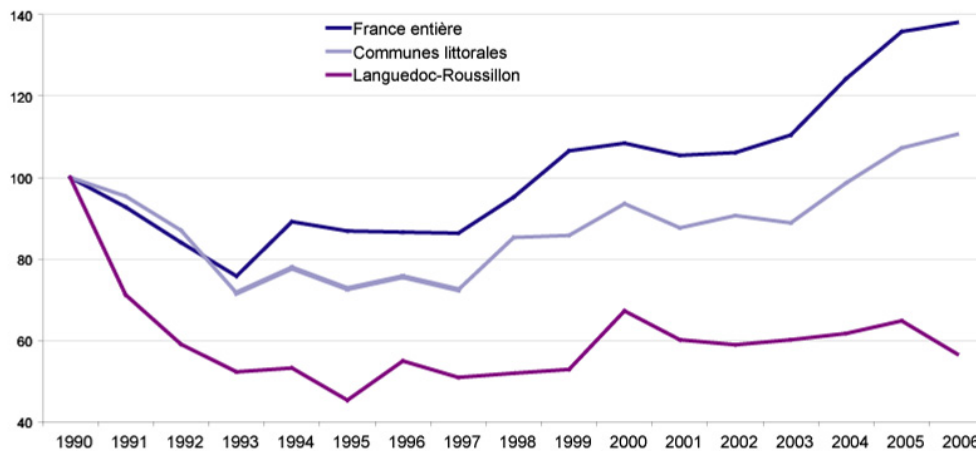


Figure 19 : surface construite annuellement en logements dans les communes littorales du Languedoc-Roussillon de 1990 à 2006 ; Indice 100 en 1999 ; Source : Meeddat / SOeS - Sitadel 1990 à 2006, Observatoire du littoral.

## 5.6. ETABLISSEMENT PUBLICS ET PRIVES

La base de données SIRENE de l'INSEE permet de produire des statistiques quant à la répartition des établissements publics et privés dans les communes littorales françaises en date de janvier 2008 : artisans, commerçants et prestataires de services (ACPS), industrie, entreprises agricoles et établissements publics (c.f. Tableau 3 et Figure 20).

DEPARTEMENTS	ACPS	INDUSTRIE	PUBLICS	AGRICOLE	SANS CATEGORIE	TOTAL
06	53 956	11 479	10 483	770	3	76 691
<b>11</b>	<b>5 256</b>	<b>1 158</b>	<b>1 061</b>	<b>989</b>	<b>1</b>	<b>8 465</b>
13	63 184	13 151	17 167	1 718	2	95 222
14	5 277	1 070	972	761	0	8 080
17	14 382	3 522	2 956	2 130	0	22 990
22	10 302	2 558	2 570	1 890	2	17 322
27	37	15	8	21	0	81
29	18 837	4 974	5 229	4 862	0	33 902
2A	8 350	2 105	1 675	690	2	12 822
2B	8 310	2 658	1 937	1 271	0	14 176
<b>30</b>	<b>1 632</b>	<b>294</b>	<b>212</b>	<b>313</b>	<b>0</b>	<b>2 451</b>
33	7 547	1 900	1 573	1 071	0	12 091
<b>34</b>	<b>14 753</b>	<b>3 366</b>	<b>2 650</b>	<b>2 073</b>	<b>0</b>	<b>22 842</b>
35	5 156	1 210	1 152	678	0	8 196

Tableau 3 : établissements publics et privés dans les communes littorales. En gras les départements de Languedoc-Roussillon.

DEPARTEMENTS	ACPS	INDUSTRIE	PUBLICS	AGRICOLE	SANS CATEGORIE	TOTAL
40	4 805	1 223	865	572	0	7 465
44	8 858	2 125	1 877	656	0	13 516
50	7 363	1 670	1 963	2 452	0	13 448
56	16 485	4 359	4 131	2 183	4	27 162
59	4 156	763	1 234	147	0	6 300
62	8 243	1 532	2 230	488	0	12 493
64	7 937	1 702	1 833	321	0	11 793
<b>66</b>	<b>4 878</b>	<b>1 160</b>	<b>888</b>	<b>1 426</b>	<b>0</b>	<b>8 352</b>
76	10 693	1 952	2 834	624	0	16 103
80	1 084	245	197	372	0	1 898
83	37 568	9 104	8 104	1 905	3	56 684
85	7 607	2 192	1 311	1 432	2	12 544
<b>Total</b>	<b>336 656</b>	<b>77 487</b>	<b>77 112</b>	<b>31 815</b>	<b>19</b>	<b>523 089</b>

Tableau 3 (suite) : établissements publics et privés dans les communes littorales. En gras les départements de Languedoc-Roussillon.

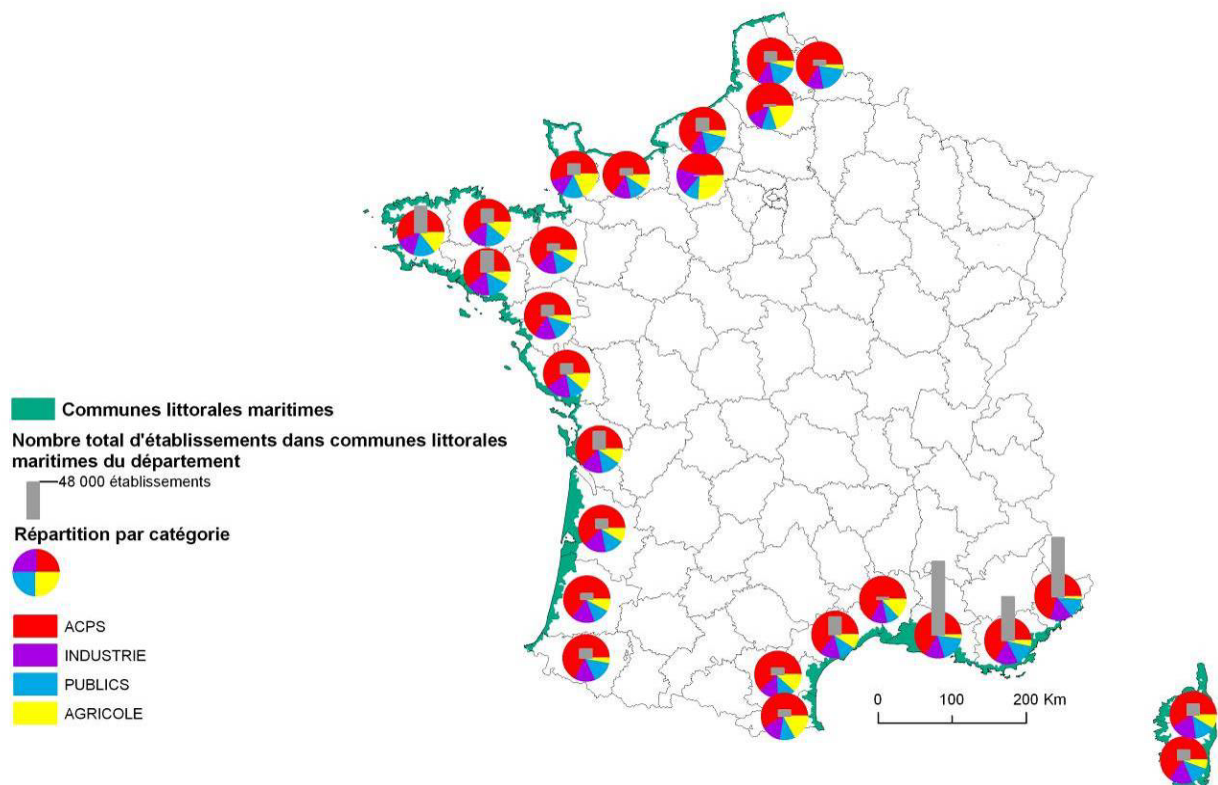


Figure 20 : établissements publics et privés dans les communes littorales – Répartition par départements littoraux

Plus de 500 000 établissements sont donc domiciliés dans les communes côtières, 65% d'entre eux étant des ACPS. Par ailleurs, le Languedoc-Roussillon représente 8% des établissements publics et privés du littoral français, la moitié étant concentrée dans l'Hérault (département 34).

## 6. Exposition des personnes et des logements

Pour évaluer les enjeux sociaux et économiques exposés aux inondations en France et suivre leur évolution, le CGDD/SOeS développe des outils exploitant les données de la statistique publique et les contours numérisés des zones à risque, notamment celles qui sont mises à disposition sur le site cartorisque<sup>44</sup>. Ainsi, une méthodologie permettant une modélisation de la population et des logements en zones inondables a été adaptée pour estimer les populations et logements exposés à chacun des aléas érosion et inondation marine décrits au chapitre 4.

L'exposition des personnes et des logements est évaluée dans ce chapitre. Par exposition des personnes, il convient de souligner que si des événements extrêmes peuvent causer la mort de personnes, ce n'est généralement pas le cas de processus érosifs lents<sup>45</sup>: dans ce cas, les habitations sont généralement évacuées avant la destruction de l'habitation. Pour cette raison, certains spécialistes des risques côtiers qualifient le processus lent d'érosion de pression et non d'aléa, par opposition aux processus rapides de submersion temporaire et d'érosion événementielle telle que des ruptures de cordons au cours de tempêtes. Le nombre de personnes exposées à l'érosion correspond ici à une estimation du nombre de personnes qui seraient affectées par la perte de leur logement d'ici à 2100 et non à une espérance mathématique de décès des populations exposées.

Comme cela a été vu dans les chapitres précédents, l'exposition des logements fait référence à deux types de dommages : une destruction de l'habitation, lorsque la zone sur laquelle celui-ci est construit est érodée, ou bien des dommages qui sont fonction notamment de la hauteur d'eau, du choc des vagues et de la durée de submersion dans le cas de submersions temporaires.

### 6.1. DONNEES

#### 6.1.1. Données aléas

Les données aléas sont issues des hypothèses et valeurs retenues précédemment (Chapitre 4) :

- une couche représente l'extension de l'érosion de la côte (cf. 4.2.1) ;
- une autre issue du MNT de L'IGN, sert à caractériser la submersion : 6 zones (en deçà de 0m NGF, de 0 à 1m NGF, ... de 4 à 5m NGF) correspondant aux 6 étages altimétriques sont représentées avec une résolution métrique (cf. 4.2.2 et 4.2.3)<sup>46</sup>.

---

<sup>44</sup> <http://cartorisque.prim.net/>

<sup>45</sup> Certains experts des risques nomment ces processus « pression » au lieu d'aléa.

<sup>46</sup> Les logements et la population actuellement situés entre 3 et 5m NGF sont également publiés dans ce rapport. En effet, compte tenu de la spatialisation de l'aléa qui a été choisie, il est souvent recommandé (voir par exemple EuroSION, 2004) d'examiner l'ensemble des enjeux situés en deçà de 5m NGF pour avoir une mesure majorante de l'ensemble des enjeux susceptibles d'être exposés à un risque côtier en 2100 compte tenu du changement climatique. D'autre part, la

### 6.1.2. Données enjeux

Des modèles développés par le CGDD/SOeS estiment les densités de population et de logements en fonction de l'occupation du sol. Ils exploitent des données nationales, issues du MEEDDAT, de l'IGN et de l'INSEE :

- CORINE Land Cover 2000 (UE- CGDD/SOeS) : Corine Land Cover (CLC) est une base de données géographique environnementale européenne qui constitue un inventaire de l'occupation des terres<sup>47</sup>. Elle permet ici d'obtenir une spatialisation des tissus urbains.
- la BDcarto 2000 (IGN) : la taille minimale des polygones de CLC est de 25 ha. Aussi, pour identifier le tissu urbain de petites communes, la BD Carto de l'IGN est utilisée. Elle complète l'information issue de CLC qui retient toutes les zones d'habitation supérieures à 8 ha.
- les contours Iris 1999 (IGN/INSEE) : cette donnée représente les contours d'îlots urbains à caractéristiques communes. Chaque Iris contient environ 2000 habitants au recensement de 1999. Cette donnée infracommunale existe sur la plupart des communes de plus de 5000 habitants et toujours pour les communes de plus de 10 000 habitants.
- la BDCom 1999 (INSEE) : cette base de données de l'INSEE fournit des statistiques de population et logement pour chaque Iris. Ces données sont issues du recensement de l'INSEE de 1999.

Les estimations de populations correspondent ici à la population statistique au recensement de population 1999, dite sans double compte, population qui réside habituellement sur la commune et ne comprend pas la population "saisonnier".

## 6.2. METHODOLOGIE

L'évaluation du nombre d'habitants et de logements exposés au risque de submersion ou d'érosion consiste à modéliser des densités de population et de logement à une échelle infracommunale, alors que les données initiales de population et de logement, issues des bases de données de l'INSEE, sont à l'échelle communale.

Ainsi, des données cartographiques, d'occupation des sols, de population des communes, et administratives sont croisées pour estimer, au moyen d'un modèle linéaire, la population et le nombre de logements de chacune des zones délimitées<sup>48</sup> (voir Figure 21).

---

représentation de l'isoligne des 5m issue de la BD ALTI est considérée comme plus fiable que celle des isolignes comprises entre 1 et 4m. (voir 4.1.1).

<sup>47</sup> Pour plus d'information voir sur le site web de l'Ifen : <http://www.ifen.fr/donIndic/Donnees/corine/presentation.htm>

<sup>48</sup> Pour plus de détails, voir la présentation de la méthodologie, en ligne sur le site [http://www.ifen.fr/fileadmin/publications/Documents\\_techniques/methodologie\\_enjeux\\_expositions\\_inondations.pdf](http://www.ifen.fr/fileadmin/publications/Documents_techniques/methodologie_enjeux_expositions_inondations.pdf) ou le document complet présentant les premières applications des modèles sur les zonages inondables téléchargées sur

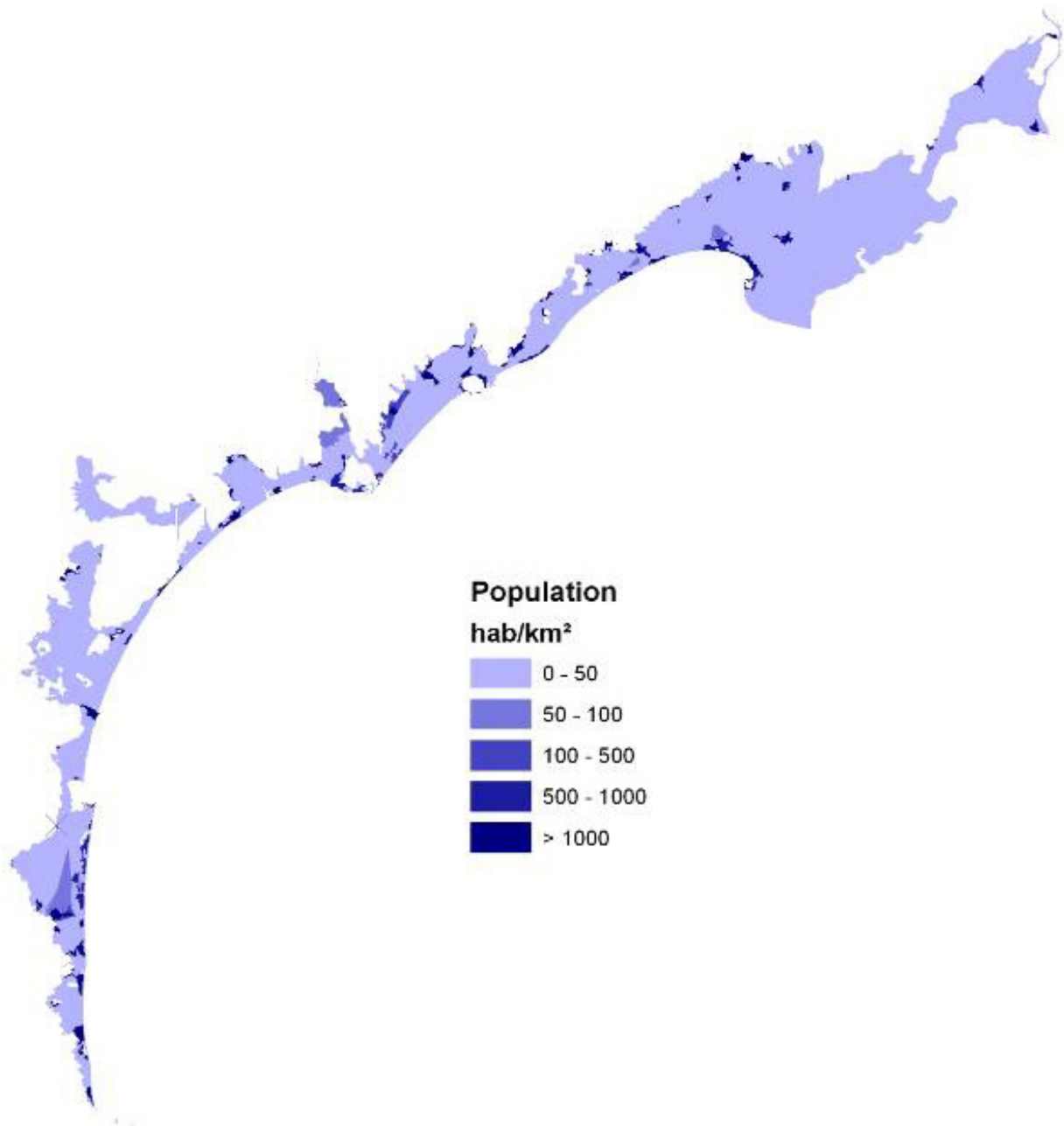


Figure 21 : reconstitution des densités de population dans la zone située en deçà de 5m NGF en Languedoc-Roussillon ; Source : CGDD – SOeS, IGN

Ces données d'enjeux sont ultérieurement croisées avec les différentes zones utilisées pour caractériser l'aléa (voir chapitre 4 et Figure 22). Plus précisément, la zone concernée par l'érosion ainsi que chacune des zones d'altitudes i-1 à i (pour i allant de 0 à 5) ont été croisées par le

---

cartoriques en juillet 2007 (diffusion limitée aux services de l'Etat) : Observation des enjeux - Estimation des populations et des logements en zone inondable. MEEDDAT, janvier 2008.

CGDD/SOeS avec les densités de populations et de logements infracommunales reconstruites suivant la méthode présentée au paragraphe précédent. Les données résultantes permettent d'estimer les populations et logements concernés par chacun des aléas en chaque lieu (Figure 22).

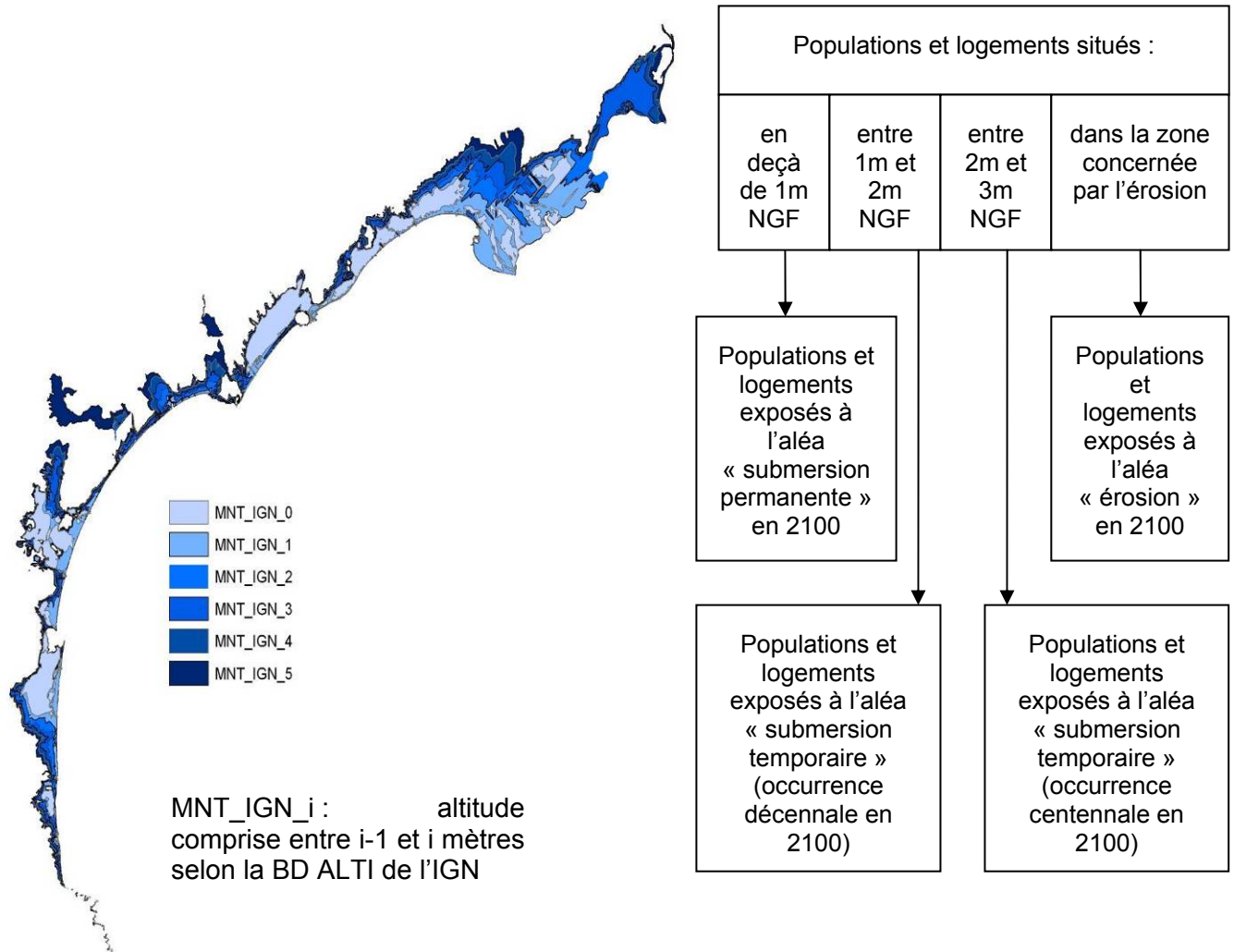


Figure 22 : extension géographique des zones basses (Source : IGN 2008 – BD ALTI) et traitement permettant d'effectuer une première estimation des personnes et logements exposés à chacun des aléas en 2100.

### **6.3. LIMITES ET INCERTITUDES**

Ces modèles d'estimation du nombre de logements et de densité de population présentent l'avantage d'être applicables à tout le territoire, dès lors que les contours des zones exposées sont disponibles. Cependant, les résultats ne sont fiables que lorsqu'ils portent sur des territoires suffisamment étendus. En outre, l'estimation se limite à dénombrer la population et les logements.

Ainsi, les résultats de cette modélisation ne sont statistiquement significatifs qu'au niveau départemental.

Par ailleurs, les logements comptabilisés ici comprennent les résidences principales, secondaires et les logements vacants ou occasionnels. Ils peuvent être individuels (maison) ou se trouver dans un immeuble collectif, à plusieurs étages. Dans cet exercice, il n'est pas tenu compte de la hauteur des immeubles : tous les logements situés dans une zone située à une altitude donnée sont exposés à l'identique aux risques de submersion et d'érosion. Dans le cas de l'érosion, si le rez-de-chaussée est atteint par l'érosion l'ensemble de l'immeuble devient inhabitable, ce qui n'est pas nécessairement le cas lors de submersion temporaires.

Par ailleurs, dans le calcul qui est effectué, les surfaces situées en retrait d'éventuelles protections naturelles ou artificielles restent exposées. Ceci est un facteur lié à la spatialisation de l'aléa qui conduit à surestimer les enjeux concernés, pour l'aléa de submersion temporaire.

Pour autant, il convient de rappeler que la modélisation de l'aléa proposée ici reste un scénario dont on ne peut dire s'il s'avérera optimiste ou pessimiste par rapport à la réalité (c.f. 4.3). Il est donc préférable de n'interpréter ces résultats que comme des estimations et non comme des majorants ou des minorants de l'exposition finale des biens et populations.

On peut finalement conclure que les incertitudes quant aux hypothèses formulées plus haut sur les effets du changement climatique et pour la modélisation des aléas sont d'un ordre de grandeur plus grandes que les incertitudes résultant de l'estimation des densités de population et de logements actuelles.

### **6.4. RESULTATS**

Les résultats du croisement des densités de population et de logement avec les différentes couches utilisées pour modéliser l'aléa sont donnés ci-dessous.

#### **6.4.1. Population (Estimation)**

Les résultats bruts du croisement des données concernant les aléas (zone d'érosion et zones issues de la BD ALTI) et de la densité de population sont présentés dans le Tableau 4. Les modèles d'estimation indiquent que 84 000 personnes environ vivent à une altitude inférieure à 2m, sur le littoral du Languedoc – Roussillon, la plus grande partie étant située dans l'Hérault. Par ailleurs, 37 000 personnes sont concernées par l'aléa érosion en Languedoc-Roussillon.



Ces informations sont traduites en termes d'exposition aux aléas dans le paragraphe 6.5.1.

Département	Population en zone « érosion »	Répartition de la population par tranches d'altitude des lieux de résidence					
		1m NGF et moins	De 1m à 2m NGF	De 2m à 3m NGF	De 3m à 4m NGF	De 4m à 5m NGF	5m NGF et moins
11 (Aude)	4 000	6 000	3 000	1 000	1 000	7 000	18 000
30 (Gard)	3 000	10 000	2 000	4 000	4 000	5 000	25 000
34 (Hérault)	17 000	37 000	10 000	12 000	12 000	26 000	97 000
66 (Pyrénées Atlantiques)	13 000	8 000	9 000	6 000	6 000	4 000	33 000
<b>Total</b>	<b>37 000</b>	<b>61 000</b>	<b>24 000</b>	<b>23 000</b>	<b>23 000</b>	<b>42 000</b>	<b>173 000</b>

Tableau 4 : répartition de la population du Languedoc-Roussillon par département et altitude du sol (MNT) ainsi que dans la « zone érosion », disparue en 2100. Note de lecture : sur le littoral de la région Languedoc-Roussillon, 23 000 personnes résidaient en 1999 dans des logements situés à une altitude comprise entre 1 et 2 m NGF. Source : CGDD – SoeS, 2008/RP1999

#### 6.4.2. Nombre de logements (Estimation)

De la même manière, les résultats bruts du croisement des données concernant les aléas (zone d'érosion et zones issues de la BD ALTI) et des logements sont présentés dans le Tableau 5.

Département	Logements en zone « érosion »	Répartition des logements par tranches d'altitude					
		1m NGF et moins	De 1m à 2m NGF	De 2m à 3m NGF	De 3m à 4m NGF	De 4m à 5m NGF	5m NGF et moins
11 (Aude)	15 000	15 000	5 500	3 500	3 000	5 500	33 000
30 (Gard)	9 000	16 000	2 200	1 800	1 900	2 000	23 900
34 (Hérault)	43 000	53 000	12 900	12 200	10 300	15 200	103 600
66 (Pyrénées Atlantiques)	18 000	20 000	14 800	7 500	3 900	3 300	49 500
<b>Total</b>	<b>85 000</b>	<b>104 500</b>	<b>35 400</b>	<b>25 000</b>	<b>19 100</b>	<b>26 000</b>	<b>210 000</b>

Tableau 5 : répartition des logements en Languedoc-Roussillon par département et altitude du sol (MNT) ainsi que dans la zone supposée être érodée en 2100. Note de lecture : sur le littoral de la région

*Languedoc-Roussillon, 35 400 logements se situaient en 1999 à une altitude comprise entre 1 et 2 m NGF.  
Source : CGDD – SoeS, 2008/RP1999*

Actuellement, 140 000 logements seraient exposés à un événement centennal dont le niveau marin atteindrait 2m NGF (avec les réserves formulées en 4.3 et 6.3). Par ailleurs, 85 000 logements, secondaires comprises, seraient concernés par le risque érosion en 2100 (toujours avec les réserves formulées en 4.3 et 6.3).

On remarque que le nombre de logements est supérieur à la population alors que le ratio habituel est de deux habitants par logements. Ce résultat est caractéristique des zones touristiques littorales, où les résidences secondaires sont très nombreuses, surtout en bord de mer.

## **6.5. POPULATIONS ET LOGEMENTS ACTUELLEMENT EXPOSES AUX ALEAS FUTURS**

Les données brutes résultant du croisement de l'information géographique sont réanalysées en termes d'exposition des enjeux à chacun des aléas. Comme cela a été rappelé en introduction, il convient de souligner que le nombre de personnes exposées à l'érosion correspond ici à une estimation du nombre de personnes qui seraient affectées par la perte d'un logement d'ici à 2100 et non à une espérance mathématique de décès ou atteintes physiques.

### **6.5.1. Aléas irréversibles d'érosion et/ou submersion permanente**

Selon les choix qui ont été faits au chapitre 2, 140 000 logements et 80 000 personnes sont actuellement situées dans une zone qui aura été affectée par un aléa irréversible (érosion et/ou submersion permanente) en 2100 (avec les réserves formulées en 4.3 et 6.3).

Les zones qui seront potentiellement affectées par l'érosion et celles situées en deçà de 5 m NGF ne sont pas disjointes. Aussi, pour calculer l'exposition à l'aléa, il est nécessaire de tenir compte du fait que 18 000 personnes et 49 000 logements sont concernés simultanément par le risque érosion et par une submersion supérieure à 1 m NGF.

Cette valeur ne doit pas être interprétée comme un majorant ou un minorant des logements et populations exposés à cet aléa irréversible (voir incertitudes en 4.3 et 6.3).

### **6.5.2. Aléa récurrent de submersion temporaire**

#### **Résultats**

23 000 personnes et 35400 logements seraient susceptibles d'être affectés par une tempête décennale en 2100. 23 000 personnes et 25 000 logements supplémentaires seraient susceptibles d'être affectés par une tempête centennale en 2100 (avec les réserves formulées en 4.3 et 6.3)<sup>49</sup>.

---

<sup>49</sup> Les enjeux affectés par l'aléa submersion temporaire ont été estimés séparément des enjeux affectés pas les aléas « irréversibles ». Aussi, dans le géotraitement qui a été effectué, les bâtiments et personnes affectées par l'aléa érosion

## ***Discussion des résultats***

Selon les hypothèses retenues, 61 000 personnes et 104 000 logements seraient actuellement susceptibles d'être affectés par une tempête décennale. De manière évidente, ces chiffres ne correspondent pas à la réalité.

Deux explications peuvent être données pour expliquer des erreurs aussi importantes :

- Le MNT utilisé, bien que pertinent pour une étude à l'échelle régionale, a des limites qui ont été exposées en 4.1.1. Il est utilisé à la limite de sa résolution altimétrique, mais aussi de la résolution de sa maille : par exemple, les cordons dunaires qui jouent un rôle de protection naturelle contre les submersions temporaires lors des tempêtes ne sont pas visibles sur le MNT.
- En moyenne sur l'ensemble du littoral de Languedoc-Roussillon, les niveaux marins centennaux et décennaux retenus dans cette étude sont vraisemblablement trop hauts (c.f. 4.2.3)

Il convient donc de considérer les chiffres concernant le risque de submersion temporaire avec une grande prudence et de se rappeler qu'ils amènent à des estimations pour le présent qui ne correspondent pas à la réalité.

## ***Impact de l'hypothèse d'enjeux constants***

Une seconde difficulté découle du fait que, selon l'approche retenue ici, la nouvelle zone concernée par l'aléa de submersion temporaire en 2100 contient moins d'enjeux que celle qui est concernée par cet aléa en 2000. Ceci est dû au fait que les enjeux se concentrent davantage à proximité du trait de côte.

Ceci est en contradiction avec les tendances passées, actuelles et les perspectives démographiques. De fait, selon le travail de prospective démographique à 2030 effectué en 2003 par le groupement de la statistique publique Languedoc-Roussillon « dans tous les scénarios [démographiques], les zones littorales [de Languedoc-Roussillon] devraient rester en tête de la croissance démographique ».

Dans la suite du rapport, deux interprétations différentes de l'hypothèse « d'enjeux constants » sont proposées :

- Dans le premier cas, les enjeux restent positionnés de manière identique en dépit des mouvements du trait de côte : cette hypothèse conduit à proposer une réduction de l'exposition des logements et des personnes aux risques côtiers en 2100, chose qui est en contradiction flagrante avec la tendance actuelle d'aggravation de l'exposition.

---

n'ont pas été retirés pour le dénombrement des enjeux concernés par la submersion temporaire. Cela induit des erreurs qui sont négligeables devant les incertitudes liées à l'estimation de l'extension géographique de l'aléa de submersion temporaire.

- Dans le second cas, l'exposition des enjeux reste ce qu'elle est aujourd'hui. Ceci correspond à une situation dans laquelle les parties prenantes de l'aménagement du territoire mettraient en œuvre des mesures telles que l'exposition des enjeux à l'aléa submersion temporaire d'origine marine resterait constante au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle<sup>50</sup>.

Par la suite, la première interprétation est qualifiée « d'hypothèse d'enjeux strictement constants », la seconde « d'hypothèse d'exposition constante des enjeux ».

### 6.5.3. Résumé

Avec les réserves formulées en 4.3, 6.3 et 6.5.2, l'impact du changement climatique sur la population et les logements en Languedoc-Roussillon pour les phénomènes côtiers serait:

- l'évacuation, entre 2000 et 2100, de 80 000 personnes dont les logements pourraient être affectés par un aléa irréversible d'érosion (bande de 500m) ou de submersion permanente (altitude inférieure à 1m) (voir Tableau 6).
- la destruction, entre 2000 et 2100, de 140 000 logements affectés par un aléa irréversible d'érosion ou de submersion permanente (voir Tableau 6).
- L'exposition, en 2100, de personnes et de logements à des submersions temporaires d'occurrence décennale, alors que ces personnes et logements n'étaient concernées que par des submersions temporaires d'occurrence centennale en 2000 : ceci pourrait concerner entre 20 000 et 60 000 personnes (entre 40 000 et 100 000 logements) selon les hypothèses d'évolution des enjeux (voir Tableau 7).
- L'exposition, en 2100 de personnes et de logements à des submersions temporaires d'occurrence centennale, alors que ces personnes et logements n'étaient concernées que par des submersions temporaires d'occurrence inférieure à 1/100 chaque année en 2000 : ceci pourrait concerner 20 000 personnes supplémentaires (entre 20 000 et 40 000 logements supplémentaires) selon les hypothèses d'évolution des enjeux (voir Tableau 7).

Pour ce qui concerne les deux derniers points, le niveau de confiance dans les estimations est très bas.

Ces chiffres ne prennent pas en compte la population saisonnière. Par ailleurs, la situation est très hétérogène selon les départements : l'essentiel de la population résidant en deçà de 2m d'altitude est située dans l'Hérault.

---

<sup>50</sup> En d'autres termes, si le littoral reste un pôle d'attraction en 2100, la partie du territoire actuellement située en deuxième ligne et qui est moins urbanisée actuellement le sera davantage en 2100. Ceci aura pour conséquence une exposition aggravée aux submersions temporaires. De telles conditions pourraient par exemple se réunir dans un scénario où l'on souhaiterait conserver les mêmes aménagements le long du trait de côte, quelque soit le recul du trait de côte. Ce scénario consisterait à ne plus installer de nouveaux aménagements dans la zone côtière soumise à un aléa de submersion temporaire dans un premier temps, puis, lorsque des infrastructures sont détruites par l'érosion, à les repositionner dans une zone soumise à un niveau d'aléa identique à l'actuel.

Les estimations de la densité de population et de logements actuelles sont fiables comparées aux incertitudes qui découlent des hypothèses de changement climatique, de modélisation de l'aléa, et des hypothèses formulées pour les enjeux.

Aléa	En 2100		
	Aléa érosion	Aléa submersion permanente	Aléa irréversible de submersion permanente ou érosion
Population	37 000	61 000	80 000 personnes
Logements	85 000	104 500	140 000 logements

Tableau 6 : résumé de l'exposition des enjeux population et logements aux aléas érosion et submersions permanente et à l'union des deux. (Attention : noter réserves des paragraphes 4.3 et 6.3 ainsi que 6.5.1 pour le calcul des enjeux situés dans l'union des deux zones)

Aléa de submersion temporaire	Situation actuelle		En 2100			
			sous une hypothèse d'enjeux strictement constants		Submersion temporaire (sous une hypothèse d'exposition constante des enjeux) – situation identique à l'actuel en termes d'exposition des enjeux	
	Occurrence décennale	Occurrence centennale	Occurrence décennale	Occurrence centennale	Occurrence décennale	Occurrence centennale
Population	60 000 personnes	80 000 personnes	25 000 personnes	50 000 personnes	60 000 personnes	80 000 personnes
Logements	100 000 logements	150 000 logements	35 000 logements	60 000 logements	100 000 logements	150 000 logements

Tableau 7 : résumé de l'exposition des enjeux population et logements à l'aléa de submersion temporaire (Attention : noter réserves des paragraphes 4.3, 6.3, 6.5.2 ainsi que la note 48)

## 7. Exposition des établissements publics et privés

Cette partie présente l'étude consistant à évaluer le nombre d'établissements publics et privés soumis aux risques côtiers. Elle a été réalisée à partir de méthodologies développées par la Mission Risques Naturels (MRN).

### 7.1. DONNEES

#### 7.1.1. Les données aléas

Les données aléas sont issues des traitements précédents :

- une couche représente l'érosion de la côte (c.f. 4.2.1)
- une autre issue du MNT de L'IGN, représente les zones de submersion (c.f. 4.2.2 et 4.2.3)

#### 7.1.2. Les données enjeux

Le répertoire SIRENE 2008 de l'INSEE est utilisé pour modéliser une représentation spatiale des entreprises sur les territoires concernés. Le répertoire SIRENE est la base de données de toutes les entreprises et leurs établissements. Elle contient, pour la plupart d'entre eux quelques paramètres économiques : le secteur d'activité, la tranche de chiffre d'affaire, l'effectif salarié ainsi que la date de création. La base de données SIRENE est constituée lors de recensements effectués par l'INSEE.

Afin d'analyser la gamme d'établissements sur le territoire d'étude, les établissements sont regroupés en quatre types (c.f. Figure 23) :

- Artisans, commerçants et prestataires de services (ACPS)
- Entreprises agricoles
- Industries
- Etablissements publics

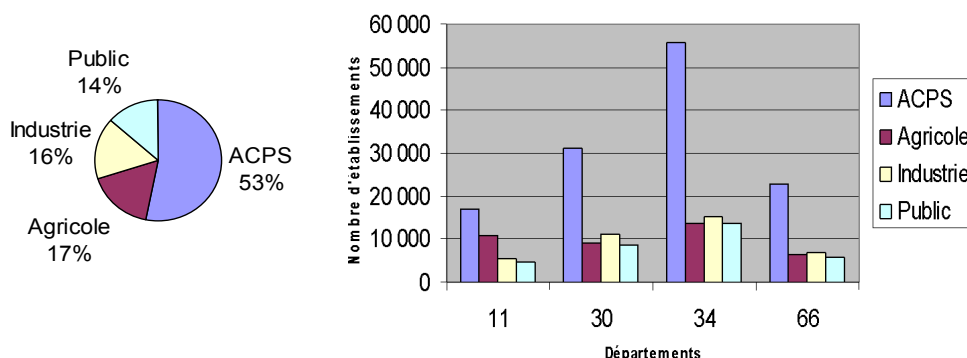


Figure 23 : répartition et dénombrement des enjeux par catégorie d'activité sur les quatre départements de la région Languedoc Roussillon concernés (cf annexe 2 pour détails) ; Source : MRN

Ainsi, les quatre départements de la région Languedoc Roussillon concernés rassemblent environ 240 000 professionnels, dont plus de la moitié d'Artisans commerçants et prestataires de services (ACPS).

## 7.2. METHODOLOGIE

L'ensemble des établissements publics et privés contenus dans la base de données SIRENE a été géocodé à partir de l'adresse de chacun d'eux. Ces enjeux sont ainsi positionnés sur le territoire.

De manière très similaire à ce qui a été fait dans le chapitre 6, la méthode d'appréciation de l'exposition des enjeux aux risques côtiers se fait par intersection géographique de données spatialisées (c.f. Figure 24). Les résultats du dénombrement des enjeux peuvent être déclinés par communes, départements, régions, etc.

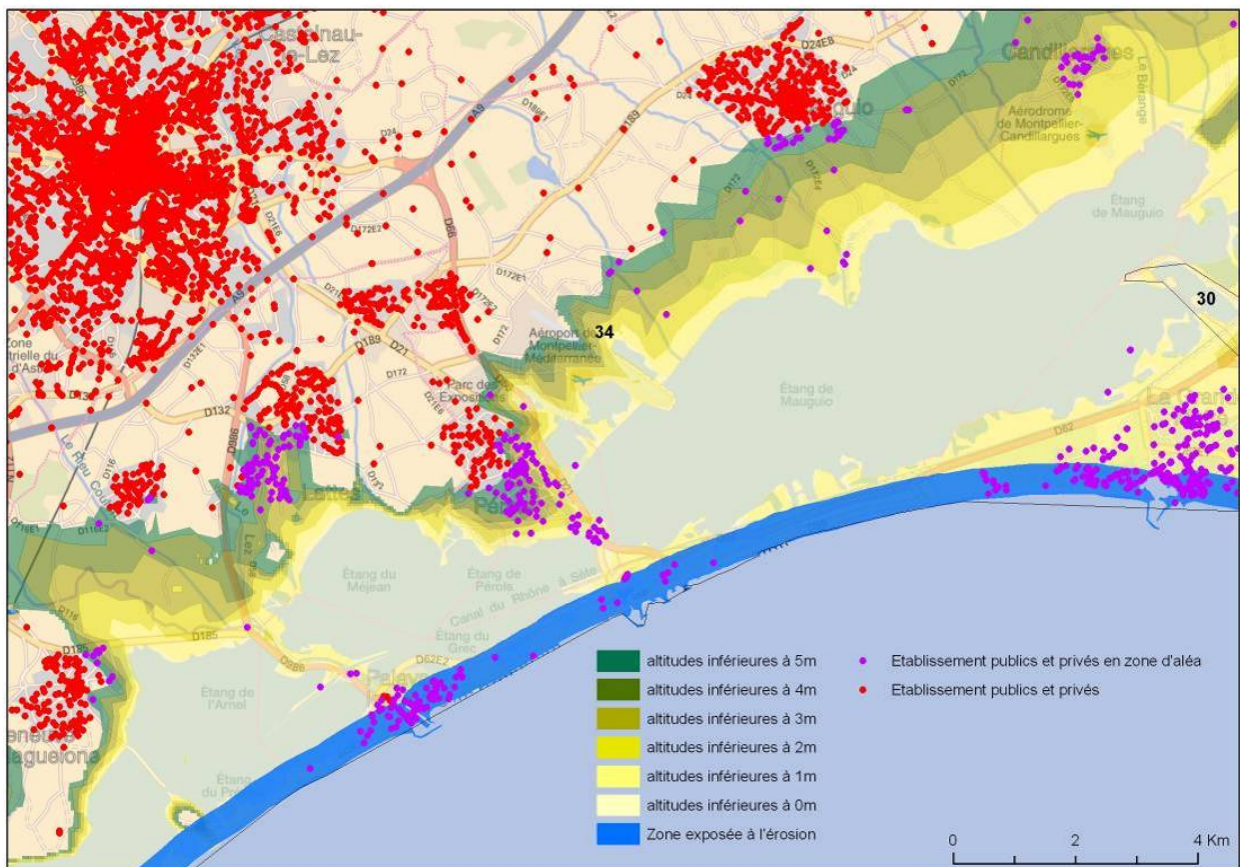


Figure 24 : illustration de la méthodologie adoptée pour l'étude – secteur Palavas, Carnon, La Grande-Motte, sud est Montpellier ; Source : MRN

### 7.3. LIMITES ET INCERTITUDES

Une première cause d'incertitudes est liée aux lacunes de la base de données SIRENE : certains établissements ne sont pas renseignés dans la base de données, ce qui cause une sous-estimation de cette classe d'enjeux. La proportion d'établissements non renseignés n'est bien évidemment pas connue. Par ailleurs, l'économie informelle<sup>51</sup> n'est bien évidemment pas prise en compte, alors qu'elle représente une source de revenus non négligeable dans les zones concernées.

De plus, une seconde cause d'incertitudes est liée au processus de géocodage permettant de positionner les établissements sur le territoire. En effet, bien que 75% soient considérés de bonne qualité (numéro de voie ou centroïde de celle-ci), le positionnement des 25% restant n'est pas satisfaisant : dans ce cas, l'établissement est positionné sur le centroïde de la commune ou de l'Iris. Selon que ce centroïde est situé ou non dans telle ou telle zone d'aléa, cela peut conduire à surestimer ou sous-estimer le nombre d'établissements exposés aux aléas visés au chapitre 4.

Troisièmement, les paramètres économiques ne sont pas renseignés pour un certain nombre d'établissements. Pour les zones considérées, cela peut représenter 10% pour les effectifs et plus de 80% pour les chiffres d'affaire. Cela conduit alors à sous-estimer les effectifs et les chiffres d'affaires exposés.

D'une manière générale, il convient d'interpréter le résultat comme une estimation et non comme un majorant ou un minorant des effets des aléas côtiers en 2100.

Enfin, ces incertitudes se cumulent avec celles citées précédemment (c.f. notamment 4.3).

### 7.4. RESULTATS

Le nombre et la proportion des établissements et le chiffre d'affaires dans chacune des couches géographiques utilisées pour caractériser l'aléa sont présentés dans le Tableau 8 et Tableau 9<sup>52</sup>. En raison du grand nombre d'établissements dont le chiffre d'affaires n'est pas renseigné (souvent plus de 80%), cette donnée n'est pas utilisée.

---

<sup>51</sup> C'est-à-dire l'économie familiale et domestique, l'économie conviviale et l'économie souterraine et clandestine.

<sup>52</sup> Comme précédemment, les données économiques des établissements actuellement situés entre 3 et 5m NGF sont également publiées dans ce rapport. Ces données ne sont pas utiles ici pour la mesure de l'exposition, compte tenu de la spatialisation de l'aléa qui a été choisie, il est souvent recommandé (voir par exemple Eurosion, 2004) d'examiner l'ensemble des enjeux situés en deçà de 5m NGF pour avoir une mesure majorante de l'ensemble des enjeux susceptibles d'être exposés à un risque côtier en 2100 compte tenu du changement climatique. D'autre part, la représentation de l'isoligne des 5m issue de la BD ALTI est considérée comme plus fiable que celle des isolignes comprises entre 1 et 4m. (voir 4.1.1).



Département	Établissements en zone « érosion »	Répartition des établissements par tranches d'altitude					
		1m NGF et moins	De 1m à 2m NGF	De 2m à 3m NGF	De 3m à 4m NGF	De 4m à 5m NGF	5m NGF et moins
11 (Aude)	5 000	6 550	5 400	1 950	1 900	1 900	2 500
30 (Gard)	400	650	450	250	400	500	800
34 (Hérault)	600	1 100	850	300	400	500	700
66 (Pyrénées Atlantiques)	500	850	650	250	300	400	600
<b>Total</b>	<b>6 500</b>	<b>9150</b>	<b>7 350</b>	<b>2 750</b>	<b>3 000</b>	<b>3 300</b>	<b>4 600</b>

Tableau 8 : répartition des ACPS, entreprises agricoles, industries, établissements publics du Languedoc-Roussillon dans les zones utilisées pour caractériser l'aléa futur ; Source : MRN, BD SIRENE (INSEE).

Paramètre	En zone « érosion »	Répartition par tranches d'altitude					
		1m NGF et moins	De 1m à 2m NGF	De 2m à 3m NGF	De 3m à 4m NGF	De 4m à 5m NGF	5m NGF et moins
<b>Nbre de salariés</b>	14 400	24 600	7 600	7 600	11 300	15 300	66 000
<b>Nombre d'établissements</b>	6 500	9 150	2 750	3 000	3 300	4 500	23 000
<b>Nombre d'établissements avec 0 salariés</b>	3 800	5 100	1 600	1 800	1 700	2 600	13 000
<b>Nombre d'établissements avec effectifs non renseignés</b>	800	1 100	300	300	400	500	2 600
<b>Nombre d'établissements avec chiffre d'affaires non renseigné</b>	3 200	8 600	2 600	2 900	3 000	4 200	21 000

Tableau 9 : nombre de salariés des ACPS, entreprises agricoles, industries, établissements publics du Languedoc-Roussillon dans les zones utilisées pour caractériser l'aléa futur (en nombre de salariés) ; Source : MRN, BD SIRENE (INSEE).

## **7.5. ETABLISSEMENTS PUBLICS ET PRIVES EXPOSES AUX ALEAS FUTURS**

Les données brutes résultant du croisement de l'information géographique sont réanalysées en termes d'aléas.

### **7.5.1. Aléas irréversibles d'érosion et/ou submersion permanente**

Selon les choix de modélisation de l'aléa qui ont été faits au chapitre 4 et avec les réserves formulées en 4.3 et 7.3, environ 10 000 établissements employant 26 000 salariés sont actuellement situés dans une zone qui aura été affectée par un aléa irréversible (érosion et/ou submersion permanente) en 2100. Ceci comprend une majorité d'ACPS (les  $\frac{3}{4}$  des établissements concernés sont des ACPS).

Notons que les zones qui seront potentiellement affectées par l'érosion et celles situées en deçà de 5m NGF ne sont pas disjointes. Aussi, pour calculer l'exposition à l'aléa, il est nécessaire de tenir compte du fait que 600 établissements employant 1600 salariés sont concernés par le risque érosion dans une zone située au-delà de 5m NGF.

Il convient de rappeler que cette valeur ne doit pas être interprétée comme un majorant des établissements exposés à cet aléa irréversible, en raison des incertitudes sur l'aléa et sur l'identification des enjeux exposés.

D'autre part, il convient de moduler ces chiffres par secteur d'activité : le fait que des établissements industrialo-portuaires (pétroliers et autres) soient affectés par un aléa irréversible aurait des conséquences systémiques très importantes dans la société actuelle. Pour l'évaluer dans une société de la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle, il faudrait être en mesure de disposer de récits de scénarios socio-économiques plausibles.

### **7.5.2. Aléa récurrent de submersion temporaire**

En première approximation et avec les réserves formulées en 4.3 et 7.3, 2750 entreprises employant 7600 personnes seraient susceptibles d'être affectées par une tempête décennale en 2100. 3000 entreprises employant 7600 personnes supplémentaires seraient susceptibles d'être affectés par une tempête décennale en 2100.

La discussion effectuée en 6.5.2 demeure pertinente ici. Elles aboutissent à la situation suivante :

- Premièrement, les valeurs estimées pour la situation actuelle sont de manière évidente trop importantes.
- Deuxièmement, cette analyse aboutit à une réduction des risques de submersion temporaire en 2100. Ceci est en contradiction avec les tendances actuelles, passées et prédites par les instruments de prospectives, qui attestent d'une augmentation de la pression démographique en zone côtière. Aussi, si le littoral reste un pôle d'attraction en 2100, la partie du territoire actuellement située en deuxième ligne et qui est moins urbanisée actuellement le sera davantage en 2100. Le scénario « d'exposition constante

des enjeux» permet d'envisager une situation dans laquelle la côte demeure un pôle d'attraction en 2100. (C.f. 6.5.2)

Ainsi, selon nos hypothèses simplificatrices, environ 10000 entreprises employant 25000 personnes seraient actuellement susceptibles d'être affectées par une tempête décennale.

Dans l'hypothèse d'enjeux strictement constants

- 3000 entreprises employant 8000 salariés pourront être affectées par une tempête décennale en 2100 ;
- 3000 entreprises supplémentaires, employant 8000 salariés pourront être affectés par une tempête centennale en 2100.

Dans l'hypothèse d'exposition constante des enjeux :

- 10000 entreprises employant 25000 salariés pourront être affectés par une tempête décennale en 2100 ;
- 3000 entreprises supplémentaires, employant 8000 salariés pourront être affectés par une tempête centennale en 2100.

### **7.5.3. Résumé**

Ainsi, avec les réserves formulées en 4.3 6.3 et 7.5.2, l'impact du changement climatique sur les établissements publics et privés en Languedoc-Roussillon pour les phénomènes côtiers serait en première approximation:

- la destruction, entre 2000 et 2100, de 10 000 établissements, employant 26 000 salariés affectés par un aléa irréversible d'érosion ou de submersion permanente. Pour les  $\frac{3}{4}$ , il s'agit d'ACPS. (Voir Tableau 10) ;
- L'exposition, en 2100, d'établissements à des submersions temporaires d'occurrence décennale, alors que ces établissements n'étaient concernés que par des submersions temporaires d'occurrence centennale en 2000 : ceci pourrait concerner entre 3000 et 10000 établissements employant entre 8000 et 25000 salariés selon que l'on raisonne en termes d'enjeux strictement constants ou en termes d'exposition des enjeux constante. (voir Tableau 11) ;
- L'exposition, en 2100, d'établissements à des submersions temporaires d'occurrence centennale, alors que ces établissements n'étaient auparavant concernés que par des submersions temporaires d'occurrence inférieures à 1/100 chaque année en 2000 : ceci pourrait concerner 3000 établissements supplémentaires, employant 8000 salariés. (voir Tableau 11).

Pour ce qui concerne les deux derniers points, le niveau de confiance dans les estimations est très bas.

Les estimations du nombre d'établissements et de salariés actuellement situés dans les zones considérées sont fiables comparées aux incertitudes qui découlent des hypothèses de changement climatique, de modélisation de l'aléa, et d'hypothèse d'enjeux constants. Pour autant, l'hypothèse d'enjeux constants ne correspondent pas à la réalité.

Aléa	En 2100		
	Aléa érosion	Aléa submersion permanente	Aléa irréversible de submersion permanente ou érosion
<b>Nombre d'entreprises</b>	6 500	9 150	10 000 établissements
<b>Salariés</b>	14 400	24 600	26 000 salariés

Tableau 10 : résumé de l'exposition établissements public et privés aux aléas érosion et submersions permanente et à l'union des deux, et nombre de salariés employés par ces établissements. (Attention : noter réserves des paragraphes 4.3 et 6.3 ainsi que 7.5.1 pour le calcul des enjeux situés dans l'union des deux zones)

Aléa de submersion temporaire	Situation actuelle		En 2100			
			sous une hypothèse d'enjeux strictement constants		Submersion temporaire (sous une hypothèse d'exposition des enjeux constante) – situation identique à l'actuel en termes d'exposition des enjeux	
	Occurrence décennale	Occurrence centennale	Occurrence décennale	Occurrence centennale	Occurrence décennale	Occurrence centennale
<b>Entreprises</b>	9 000 établissements	12 000 établissements	3 000 établissements	6 000 établissements	9 000 établissements	12 000 établissements
<b>Salariés</b>	25 000 salariés	33 000 salariés	8 000 salariés	16 000 salariés	25 000 salariés	33 000 salariés

Tableau 11 : résumé de l'exposition des établissements publics et privés à l'aléa de submersion temporaire et nombre de salariés employés par ces établissements (Attention : noter réserves des paragraphes 4.3, 6.3, 6.5.2 ainsi que la note 48)

## 8. Première estimation des coûts induits

La demande initiale du groupe interministériel est une estimation des coûts liés aux risques côtiers en 2030, 2050 et 2100, en identifiant la part qui pourrait être attribuée au changement climatique. Les coûts liés aux risques côtiers actuels n'étant pas connus précisément et compte tenu des incertitudes et des limites de données existantes, le groupe de travail a centré ses travaux sur l'estimation des coûts liés aux dommages aux logements. Le risque associé est important en raison de l'attrait que constitue la bande littorale.

Pourtant, les dommages potentiels ne se limitent pas aux logements : ils comprennent aussi des destructions d'infrastructures de transport, d'industries, destruction de paysages et de plages, pertes d'exploitations, etc. Certes, les données disponibles pour ce qui concerne les entreprises ne permettent pas de proposer une estimation des coûts (voir chapitre 7). Pourtant, la valeur obtenue pour les coûts induits par les risques côtiers des logements est utilisée pour estimer les coûts, pour le système Catnat, puis la somme des coûts des dommages potentiels tangibles. La valeur obtenue pour la région Languedoc-Roussillon est utilisée pour proposer un coût pour les dommages potentiels à l'échelle de la France.

### 8.1. TYPES DE DOMMAGES CAUSES PAR LES ALEAS COTIERS

Les différents aléas côtiers cités dans ce rapport (érosion, submersion permanente et temporaire) sont chacun des sources de dommages qui varient dans leur nature. Ainsi de la même manière qu'en droit un dommage est un préjudice pouvant être aussi bien matériel que moral, les pertes économiques causées par les risques naturels couvrent un large champ et peuvent être séparées en plusieurs catégories (c.f. Tableau 12).

Exemples de dommages	Tangibles	Intangibles
Directs	Destruction d'un bien économique (ex. bâtiments, infrastructures de transport, de télécommunications, etc.)	Perte d'une vie humaine, destruction d'un paysage
Indirects	Pertes d'exploitation, coupure de réseau (ex. pertes imputables au non-usage d'un bien détruit ou endommagé par la catastrophe)	Augmentation de la vulnérabilité des populations touchées après la crise

Tableau 12 : différentes catégories de dommages et exemples pour chacune de ces catégories. Dans cette étude, seuls certains dommages directs tangibles font l'objet d'une analyse (c.f. 8.2).

Les dommages directs résultent de l'exposition physique à l'agent naturel. Les dommages indirects peuvent être attribués sans ambiguïté à la catastrophe, mais les conséquences les plus graves sont différées dans le temps et/ou dans l'espace. Il s'agit généralement des pertes imputables au non-usage d'un bien détruit ou endommagé par la catastrophe. Par exemple, une entreprise touchée par une submersion temporaire subira l'indisponibilité de ses locaux ou de matériel comme des dommages directs (destruction physique), alors que les pertes d'exploitations seront des dommages indirects, car causés a-posteriori par la catastrophe.

Les dommages sont également classables en deux autres catégories : les dommages tangibles et intangibles (également appelés marchands et non-marchands). Les dommages tangibles, ou marchands, sont des dommages économiques concrets, dont la valeur est appréciable à l'aune du marché. La destruction d'un bien, la non-production inhérente à la destruction de moyens de production, ... sont des pertes économiques chiffrables. Les dommages intangibles rentrent par contre dans la catégorie des externalités économiques, à savoir les pertes dont l'expression n'est pas prise en compte par le marché. Il n'existe ainsi pas de « prix » au sens conventionnel du terme pour la perte d'image d'une région, la valeur d'une vie humaine ou encore le traumatisme psychologique d'un individu.

L'évaluation des dommages intangibles, ainsi que celle des dommages tangibles mais indirects, sont des domaines de recherche. Aussi, cette étude porte sur une estimation des dommages potentiels directs et tangibles uniquement.

D'autre part, les données concernant les entreprises ont été jugées difficiles à exploiter pour une estimation du coût par le groupe de travail risques côtiers du RNACC, en raison notamment du faible nombre d'entreprises dont le chiffre d'affaire est renseigné dans la base de données SIRENE (voir 7.3). Ainsi, cette étude se limite à l'estimation du coût des dommages potentiels aux logements qui pourront être imputés aux risques côtiers dans le contexte du changement climatique. Les logements étant le principal poste de dommages économiques directs privés lors des inondations, cette évaluation donnera ainsi un bon ordre de grandeur des dommages à attendre.

Une autre source de coûts importants non évaluée ici est liée aux dommages aux ouvrages de défense : le point 3 de l'encadré sur la gestion des risques littoraux en Languedoc-Roussillon (voir en fin de ce chapitre) montre l'importance des coûts directs et tangibles induits par les deux tempêtes en 1997 et 2003 sur les cordons dunaires et ouvrages de défense contre la mer qui se montent respectivement à 18,6 millions € et 13,4 millions €.

**Limitation n°2** : cette étude porte uniquement sur l'estimation du coût des dommages potentiels directs et tangibles aux logements qui pourront être imputés aux risques côtiers dans le contexte du changement climatique et ne prend pas en compte, entre autres, les coûts aux entreprises, ainsi que toutes les pertes indirectes (pertes d'exploitation, emplois, et revenu des taxes pour les collectivités, mais aussi impacts sur la santé, les communautés, le patrimoine historique et culturel, le patrimoine naturel) et non tangibles (dégradation d'espaces naturels, pertes de paysages...).

## **8.2. DONNEES ET INFORMATIONS UTILISEES**

Outre les données produites dans les parties précédentes de cette étude, un certain nombre de données économiques ont été utilisées. La démarche utilisée ici a consisté à étudier, pour chacun des aléas, le coût moyen résultant de ces dommages. Pour cela, les informations actuellement disponibles sur le coût actuel des dommages liés aux risques côtiers ont été analysées et extrapolées.

### **8.2.1. Bases d'estimation des coûts potentiels des dommages**

Les dommages provoqués par une catastrophe naturelle sont difficiles à évaluer et leur coût peut être considérable. Dans certains pays, les assurances couvrent les risques associés aux catastrophes naturelles exceptionnelles auprès de sociétés de réassurance. En France, le régime des CATastrophes NATurelles CATNAT s'applique : l'Etat apporte sa garantie par l'intermédiaire d'une société anonyme dont il détient 100% du capital, la Caisse centrale de réassurance (CCR), auprès de laquelle les sociétés d'assurances peuvent en partie se réassurer. L'état de catastrophe naturelle est décrété via un arrêté interministériel. Cette garantie ne s'applique qu'aux biens assurés.

Les seules bases de données exploitables pour les risques côtiers sont donc celles traitant des dommages directs tangibles. Ces derniers peuvent être, concernant la sphère privée, connues par l'entremise du système assurantiel.

On estime généralement que les dommages assurés représentent 50% des pertes économiques totales directes<sup>53</sup>. En effet, d'une part, certaines infrastructures et biens publics ne sont pas assurés (l'Etat étant son propre assureur), d'autre part, la couverture par le contrat d'assurance n'est pas toujours complète, certains effets « systémiques » ou « collatéraux » étant difficiles à quantifier. Enfin, certains biens des particuliers et des professionnels ne sont pas assurés.

Par ailleurs, la prise en compte des pertes économiques indirectes peut amener à doubler l'estimation faite des pertes économiques directes. Les dommages assurés représenteraient alors 25% des pertes économiques réelles. Cependant, il convient de noter qu'en raison des connaissances actuelles limitées sur les pertes indirectes, ce chiffre de 25% reste une approximation fragile.

Finalement, quand bien même le coût moyen des indemnisations pour les sinistres relevant du régime CATNAT serait connu, il conviendrait de tenir compte du fait que seuls les biens assurés sont garantis, mais aussi du fait que les dommages indirects ne sont pas pris en compte.

---

<sup>53</sup> Ce chiffre de 50% provient d'évaluations faites principalement aux USA et en Grande-Bretagne. Cependant, ce ratio de 50% est considéré valable dans les pays où la souscription de l'assurance contre les effets des catastrophes naturelles est importante. C'est le cas en France métropolitaine où 90-95% des foyers assurent leurs biens et sont automatiquement couverts. Dans d'autres pays, selon le système de financement, avec plus ou moins d'assurance, la balance peut être déséquilibrée.

A partir des éléments précédents, les membres du groupe de travail ont convenu que les coûts potentiels des dommages directs tangibles totaux soient calculés en multipliant par deux les coûts potentiels des dommages directs tangibles indemnisés aux logements. Les coûts potentiels des dommages indirects tangibles sont estimés égaux aux coûts des dommages directs tangibles totaux. Les dommages tangibles totaux sont donc finalement estimés au quadruple des coûts des dommages aux logements indemnisés. Les dommages intangibles ne sont pas estimés.

Outre toutes les réserves qui ont été émises précédemment sur les incertitudes associées à l'estimation des coûts des dommages dans un cas très général, il convient également de noter que les ratios évoqués plus haut sont admis sur la base de considérations effectuées à une échelle macro-économique. Il ne peut être vérifié qu'ils sont fondés pour le cas particulier des dommages aux biens en zones côtières. Tous les chiffres présentés ici devront aussi être examinés avec une grande prudence.

### **8.2.2. Evaluation des coûts pour les submersions temporaires**

En ce qui concerne les submersions temporaires, une difficulté supplémentaire provient du fait qu'il est souvent impossible, en utilisant les bases de données existantes, de savoir si les dommages relevés sont liés à des inondations d'eau douce ou d'origine marine. A cela s'ajoute une ambiguïté sur le terrain qu'il n'est pas toujours possible de lever, en particulier dans les zones d'embouchures et à proximité des étangs.

Ainsi, l'indicateur monétaire ad hoc retenu comme base élémentaire de calcul est le coût moyen observé sur un sinistre causé par une inondation d'eau douce, soit 5000 Euros (Source : Fédération Française des Sociétés d'Assurance). Ce coût de 5000 euros est une moyenne extrapolée à partir du nombre de sinistres "inondations" estimés tous les ans par la FFSA (enquête interne) et de l'enveloppe totale estimée des indemnités "inondations" pour les particuliers. La donnée de coût moyen sur un sinistre de submersion marine est en effet inconnue, il sera approché donc par cet indicateur. Il ne tient pas compte des dommages supplémentaires dus à la salinité de l'eau et au choc mécanique des vagues.

Cette valeur n'est pas sans poser un certain nombre de difficultés : comment sont comptés les bâtiments comportant plusieurs logements dans cette estimation ? Les logements situés dans une zone ayant été inondée mais n'ayant pas subi de dommages, par exemple parce que la hauteur d'eau était trop faible pour passer les seuils des portes, sont-ils pris en compte dans le calcul de la moyenne ? Faute d'autres données, cette valeur a été malgré tout utilisée.

Enfin, la franchise, qui est de l'ordre de 400 Euros par sinistre pour les inondations en moyenne n'est pas prise en compte dans le calcul des coûts. Cette franchise apparaît négligeable devant les incertitudes qui ont été mentionnées précédemment.

**Hypothèse n°7 : le coût moyen d'un sinistre est déterminé à partir du coût moyen observé d'un sinistre causé par une inondation d'eau douce, soit 5000 Euros.**



### 8.2.3. Evaluation des coûts pour les submersions permanentes et l'érosion

Le cas des submersions permanentes et l'érosion se traduit par la destruction définitive d'un bien, et non un dommage partiel réparé par le système assurantiel. Ici, ce n'est donc pas le montant moyen des indemnités assurantielles en cas de sinistre qui sera pris comme indicateur, mais la valeur vénale du bien sis sur le terrain détruit. Concernant la valeur du terrain définitivement submergé et donc perdu par son propriétaire, deux hypothèses de travail sont considérées :

- Le terrain érodé n'a plus de valeur et d'autre part, si les terrains en front de mer demeurent attractifs, la valeur des terrains se transfèrera vers la nouvelle zone côtière. Dans ce cas, il y a un impact redistributif de la perte des terrains érodés, et non une perte économique à proprement parler. Alors, seul le coût de reconstruction est pris en compte, soit de l'ordre de 100 000 Euros par logement
- Le terrain érodé constitue une perte financière pour son propriétaire. le coût moyen de la destruction d'un logement est calculé à partir de la valeur vénale des logements en Languedoc-Roussillon (200 000 euros environ d'après le site des Notaires de France), majoré sur la base des prix d'échange dans les agglomérations littorales de la région. Dans ce cas, le coût du logement et du terrain (valeur vénale) est pris en compte soit 250 000 Euros

Par ailleurs, il existe une autre manière d'estimer les pertes. Celle-ci n'a pas été appliquée dans le cadre des travaux du groupe de travail risques côtiers du RNACC. Cette méthode part de la constatation que la perte en capital installé n'est effective que dès lors que cette perte n'a pas été anticipée. Ainsi, la construction d'infrastructures dans des zones qui seront probablement érodée après 2050 demeure justifiée dès lors que ces infrastructures ont une durée de vie inférieure à 50 ans. Dans le cas où l'anticipation est parfaite, il n'y a pas de coût<sup>54</sup>.

Mettre en œuvre une telle méthodologie nécessiterait d'affecter à chaque type d'enjeu une durée de vie, ce qui ne semble pas réalisable dans le cadre de cette étude. Aussi, cette manière d'estimer les pertes économiques, si elle reste la plus pertinente du point de vue des sciences

---

<sup>54</sup> Ceci est faux dans deux cas :

- Dans le cas d'anticipations imparfaite, c'est-à-dire lorsque la perte du terrain n'est pas anticipée. Dans ce cas, si un acteur construit une maison de durée de vie de 50 ans sur un terrain perdu 10 ans plus tard, la perte est de 40/50 de la valeur de la maison
- Dans le cas où des protections sont ajoutées.

Les protections posent deux difficultés pour l'estimation des coûts. Tout d'abord, un acteur peut construire une maison sur un terrain qui sera perdu dans 10 ans s'il pense que l'Etat ou tout autre acteur protégera sa maison par une défense. D'où une première conclusion: l'Etat doit dire très tôt quelles zones il veut protéger et quelles zones il veut abandonner, pour éviter que des anticipations fausses mènent à des investissements perdus.

Deuxièmement, une maison exposée et protégée par une défense côtière n'en demeure pas moins susceptible d'être détruite en cas de défaillance de la défense côtière ou d'un événement plus important qu'attendu. Dans ce cas, le capital protégé n'est pas perdu mais il est mis en danger, sans que l'on puisse facilement caractériser la probabilité de défaillance de la protection.

Ainsi, par exemple, si la montée du niveau de la mer mène à une multiplication de la construction de digues, elle mènera également à une forte augmentation de l'exposition au risque inondation. Dans ce cas, un aléa de rupture de digue s'est substitué à l'aléa de submersion temporaire. Le calcul de l'aléa, de la vulnérabilité et du risque est alors totalement différent.

économiques, n'a pas été appliquée dans le cadre des travaux du groupe de travail risques côtiers du RNACC.

**Hypothèse n°8 : 2 hypothèses de coût sont retenues : la valeur de 250 000 euros par logement en prenant en compte la valeur du terrain et le coût de reconstruction du logement estimé à 100 000 Euros.**

### **8.3. METHODOLOGIE**

Dans le chapitre 6, le nombre de biens (logements) mis en danger sur le siècle par chacun des aléas côtiers a été évalué. Une évaluation financière moyenne par dommage est attachée à chacun des aléas et à leurs caractéristiques.

#### **8.3.1. Submersions temporaires**

Deux zones sont ici considérées (c.f. 4.2.3) : en reprenant les notations de la Figure 13, dans les zones B (zone inférieure à 2m d'altitude) et C (zone comprise entre 2 et 3 m d'altitude), l'aléa submersion temporaire se translate de 1m en vertical à l'horizon 2100, de sorte que la zone B est affectée par un aléa de submersion temporaire d'occurrence décennale et inférieure, la zone C étant alors affectée par un aléa de submersion temporaire d'occurrence centennale et inférieure.

#### **8.3.2. Erosion et submersions permanentes**

Les biens situés dans les zones où sont modélisés un aléa irréversible (submersion permanente ou érosion côtière) se verront affecter un montant des dommages égal à la valeur vénale moyenne du bien considéré sur les communes littorales de Languedoc-Roussillon (terrain compris ou non compris).

#### **8.3.3. Calcul du coût**

Une fois le nombre moyen annuel de sinistres connus, les résultats du chapitre 6 concernant l'exposition des logements sont multipliés par le coût moyen d'un sinistre (c.f. 8.2), afin d'obtenir la valeur des dommages moyens annuels sur le littoral de la région Languedoc-Roussillon (voir l'annexe 2 pour plus de détails).

### **8.4. RAPPEL DES LIMITES ET INCERTITUDES DE LA METHODE**

#### **8.4.1. Incertitudes des coûts des dommages potentiels aux logements**

L'estimation des coûts liés aux dommages des logements doit être examinée avec prudence :

- Les données disponibles pour le calcul des coûts sont parcellaires, difficiles à interpréter. Les membres du groupe risques côtiers du GT RNACC ont fait cette estimation tout en

sachant pertinemment que ces données étaient insuffisantes pour estimer les coûts de dommages potentiels de manière rigoureuse.

- L'estimation formulée ici repose sur l'hypothèse que les risques côtiers n'auront pas été anticipés
- les valeurs de coût retenues sont des moyennes qui ne sont pas nécessairement représentatives des zones côtières. Le coût d'une maison en bordure de plage est très élevé en dépit des aléas côtiers
- l'hypothèse d'enjeux constants est en contradiction avec les tendances actuellement observées d'urbanisation du littoral
- cette estimation s'appuie sur l'hypothèse que les indemnités versées pour des sinistres relevant du régime des Catastrophes Naturelles représenteraient 50% des dommages directs tangibles aux logements subis lors du sinistre.

Ces dommages aux logements ont servi également à produire une estimation des coûts des dommages potentiels totaux, qui doit être utilisée avec une grande prudence (voir les remarques formulées au 8.2.1).

#### **8.4.2. Incertitudes des coûts des dommages potentiels directs tangibles**

Les dommages potentiels intangibles et indirects tangibles ne sont pas calculés directement dans cette analyse. Seuls les dommages potentiels tangibles directs aux logements sont calculés (c.f. 8.1). Compte tenu des lacunes importantes quant aux données de chiffre d'affaire des établissements publics et privés situés dans la zone concernée par l'aléa, les données issues de la partie 7 ne font pas l'objet d'une étude de coût. D'autres dommages potentiels directs tangibles non pris en compte peuvent être les infrastructures de transport, de communication. Les dommages directs intangibles peuvent être les plages sableuses (dont la valeur économique peut être chiffrée à une trentaine d'Euros par m<sup>2</sup> par certains économistes), les espaces naturels, etc....

En d'autres termes, seuls les dommages potentiels aux logements sont calculés ici directement, sous des conditions qui ont été précisées au 8.2.3.

#### **8.4.3. Retour sur les incertitudes liées aux étapes précédentes de l'analyse**

Les incertitudes des précédentes étapes de la démarche se répercutent dans l'estimation des coûts. Sans revenir sur l'ensemble de ces incertitudes qui sont développées dans le paragraphe incertitudes de chacun des chapitres de ce rapport, on peut citer celles qui semblent les plus importantes :

- L'hypothèse d'élévation du niveau marin de 1 m en 2100. La fonte des glaces continentales polaires sera-t-elle plus rapide ? Moins rapide ? Ceci aura un impact important sur le niveau marin qui sera effectivement observé en 2100.

- L'estimation de l'extension spatiale des aléas irréversibles. Ils correspondent à une hypothèse d'ouverture des lidos et de début d'érosion des rivages des étangs, supposés être face à un milieu maritime ouvert en 2100. La connaissance actuelle des processus morphodynamiques de long terme ne permet pas de justifier ou d'infirmer un tel scénario, à plus forte raison de le qualifier de pessimiste ou d'optimiste.
- L'extension spatiale de l'aléa de submersion temporaire repose sur un modèle numérique de terrain qui est utilisé à la limite de sa résolution altimétrique, mais aussi de la résolution de sa maille. Ainsi, on constate qu'il ne représente pas les protections naturelles que constituent les dunes.
- Le calcul de la période de retour de l'aléa de submersion temporaire : habituellement, on ajuste des valeurs extrêmes à une loi de Gumbel, Weibull ou Pareto généralisée. Ici, une loi plus simple a été ajustée à partir de deux valeurs vraisemblablement surestimées (voir annexe 3)

Ainsi, les incertitudes concernant l'estimation des coûts sont très importantes.

## **8.5. RESULTATS**

La méthodologie et les données citées ci-dessus conduisent aux résultats suivants.

### **8.5.1. Submersion temporaire**

#### ***Résultats***

En utilisant la méthodologie du paragraphe 8.3.1 et les données du paragraphe 8.2.1 et du chapitre 6, les coûts annuels moyens en 2100 suivants sont obtenus<sup>55</sup> :

- En 2100, sur la base des enjeux présents à l'heure actuelle sur le littoral (hypothèse d'enjeux strictement constants ; voir 6.5.2): l'espérance mathématique des dommages indemnisables causés annuellement aux logements par submersion temporaire<sup>56</sup> serait de 5 Millions d'Euros, soit autour de 10 Millions d'Euros pour tenir compte de l'ensemble des dommages directs tangibles
- En 2100, dans l'hypothèse d'exposition des enjeux constante (voir 6.5.2) le long du trait de côte : l'espérance mathématique des dommages indemnisables causés annuellement aux logements par toutes les tempêtes possibles jusqu'à la centennale serait de 15 Millions

---

<sup>55</sup> Le coût d'une tempête centennale et d'une tempête décennale ne sont pas précisés ici. En effet, la valeur prise pour le coût d'une submersion temporaire est une moyenne, alors que calculer le coût des dommages d'une submersion centennale requiert de connaître le coût pour telle ou telle hauteur d'eau.

<sup>56</sup> Ici sont prises en compte toutes les tempêtes possibles jusqu'à la centennale. En revanche, des tempêtes lors desquelles le niveau marin serait supérieur à celui d'une tempête centennale ne sont pas prises en compte.

d'Euros, soit autour de 30 Millions d'Euros pour tenir compte de l'ensemble des dommages directs tangibles

Il est important de noter que cette estimation ne prend pas en compte uniquement les tempêtes décennales et centennales, mais intègre l'ensemble des événements jusqu'à la tempête centennale (Voir annexe 3).

## **Discussion**

A titre de comparaison, la tempête du 16/12/1997, pour laquelle les hauteurs de houle et de niveau marin sont proches des valeurs cinquantenales et vingtenales (IMPLIT, 2007), a fait l'objet d'indemnisations de 37 Millions d'Euros (Source : CCR). Ces coûts correspondent aux dommages provoqués par le "chocs mécaniques liés à l'action des vagues" mais également aux inondations consécutives à la tempête. Cette valeur est de l'ordre de grandeur de l'espérance mathématique des dommages indemnisables causés annuellement aux logements par toutes les tempêtes possibles jusqu'à la centennale<sup>57</sup>. Certes, on compare ici le coût d'un événement donné au coût des événements intégrés sur un an, mais ces données sont le seul élément de comparaison dont le groupe de travail risques côtiers du RNACC disposait pour ce qui concerne le coût des submersions marines.

En moyenne annuelle, le système Catnat indemnise environ 300 millions d'Euros au titre des inondations de toutes natures (d'origine marine, fluviale, remontée de nappe, etc.). Lors de l'estimation des logements concernés par des tempêtes décennales, le chiffre obtenu initialement a été divisé par 10 (voir 6.5.2). Si l'on n'avait pas divisé par 10 le nombre de logements concernés par cet aléa, le chiffre obtenu pour l'espérance mathématique des indemnisations pour des submersions d'origine marine dans la situation actuelle et dans la seule région Languedoc Roussillon serait de 150 Millions d'Euros. Ceci correspond à la moitié des indemnisations du système Catnat pour toutes les inondations en France et ne correspond donc pas à la réalité. Ceci justifie à posteriori les rectifications faites au 6.5.2.

Plusieurs hypothèses ont été formulées pour expliquer ceci : sans revenir sur l'ensemble des incertitudes associées à la modélisation de l'aléa et sur le calcul du nombre de logements, des membres du groupe de travail risques côtiers du RNACC mettent en avant le fait que les effets des protections (dunes notamment) ne sont pas pris en compte (ceci est développé dans le 6.5.2). Les incertitudes qui pèsent sur l'hypothèse n°7 sur le coût moyen d'un sinistre et l'utilisation qui est faite de cette donnée (voir 8.2.2) jouent également un rôle important.

Dans tous les cas, les membres du groupe de travail s'accordent à dire que les données disponibles sont insuffisantes et que le chiffre obtenu pour le coût des submersions temporaires, que ce soit pour le climat actuel ou le climat futur, doit être utilisé avec une grande prudence, en mentionnant toutes les incertitudes qui lui sont associées.

---

<sup>57</sup> Rappelons que le terme « tempête centennale » est utilisé ici pour caractériser le niveau marin qui peut être atteint chaque année avec une probabilité de 1/100, et non pour caractériser une probabilité de dommages. (voir 4.2.3).

### **8.5.2. Erosion et submersions permanentes**

Environ 140 000 logements sont considérés comme étant situés dans une zone concernée par un aléa irréversible la fin du siècle.

Si la valeur moyenne totale par logement (maison et terrain) est estimée à 250 000 euros 2008 en Languedoc-Roussillon, on trouve donc une valeur totale détruite d'environ 35 milliards d'euros 2008 (sans actualisation). Ce nombre représente donc le coût total de l'effacement des logements de la zone concernée par l'aléa irréversible, en l'absence de politiques de défense du trait de côte, et ce sur l'ensemble du siècle à venir. Rapportée à un coût moyen annuel entre 2010 et 2100, cette destruction de logements revient environ à 350 millions d'Euros de dommages par an<sup>58</sup>.

Sous l'hypothèse que la perte économique causée par la destruction des terrains est compensée par une augmentation de la valeur de ceux situés au-dessus, il peut être considéré que la valeur perdue se limite à celle de reconstruction des logements. En prenant alors un coût moyen de reconstruction de 100 000 euros, le coût total de relogement obtenu alors en lieu et place du coût précédent est de 15 milliards d'Euros 2008, que l'on peut également ramener à un coût annuel de 150 millions d'Euros par an.

### **8.5.3. Synthèse des résultats pour le Languedoc-Roussillon**

Les résultats issus de l'analyse pour les submersions temporaires et ceux pour les aléas irréversibles ne s'agrègent pas facilement : dans un cas (érosion et submersion temporaire), on calcule un coût cumulé sur 100 ans, dans l'autre, on calcule le coût d'une tempête en 2100.

Calculer le coût intégré pour l'ensemble du XXI<sup>ème</sup> siècle dans l'hypothèse « d'enjeux strictement constants » nécessite au préalable de faire une hypothèse sur l'évolution de l'exposition à l'aléa tout au long du XXI<sup>ème</sup> siècle. Cela est d'autant plus délicat que l'on a vu que l'on ne disposait pas d'informations fiables quant à l'évolution du niveau marin au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle (c.f. 3.3). On a vu plus haut que cette hypothèse conduisait à la réduction des risques de submersion temporaire en 2100, si rien n'est fait, ce qui semble en contradiction avec les tendances observées et projetées.

Au contraire, si l'on considère l'hypothèse d'exposition des enjeux constante tout au long du XXI<sup>ème</sup> siècle, le coût des submersions temporaire n'évolue alors pas. On peut alors calculer une estimation du coût cumulé qui pourrait être la conséquence de ces submersions temporaires. Ce coût serait supérieur au coût correspondant à l'hypothèse d'enjeux strictement constants.

Les résultats sont présentés dans le Tableau 13. Ils doivent être utilisés en rappelant les sources d'incertitudes mentionnées au 8.4, ainsi que les différentes hypothèses de travail. Ils font apparaître des coûts dominés par ceux liés aux aléas d'érosion et de submersion temporaire.

---

<sup>58</sup> En 2007, le PIB estimé de la région Languedoc-Roussillon est de 60.2 milliards d'euros, soit 3.2% de celui de la France qui est de 1859.6 milliards d'euros (données INSEE).

Ainsi, dans l'hypothèse « d'enjeux strictement constants » comme dans celle « d'exposition des enjeux constante », les coûts apparaissent dominés par ceux liés à l'érosion et la submersion permanente. Il convient de souligner que l'hypothèse dans laquelle l'exposition des enjeux s'aggraverait considérablement au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle n'est pas considérée. Au regard des tendances observées et projetées, il serait pertinent de les étudier dans autre cadre que celui de cette étude.

Estimation des coûts annuels et cumulés des risques côtiers liés au changement climatique, en région Languedoc-Roussillon	Coût des dommages potentiels aux logements	Coût des dommages directs tangibles (estimation)	Coût des dommages directs et indirects tangibles (estimation)
Coût pour les aléas « irréversibles » érosion et submersion permanente (si seule la valeur de reconstruction bâtiments détruits est prise en compte)	150 Millions € / an  Soit 15 Milliards € sur le XXI <sup>ème</sup> siècle	300 Millions € / an  Soit 30 Milliards € sur le XXI <sup>ème</sup> siècle	600 Millions € / an  Soit 60 Milliards € sur le XXI <sup>ème</sup> siècle
Coût pour les aléas « irréversibles » érosion et submersion permanente (si les bâtiments et les pertes de terrain sont pris en compte)	350 Millions € / an  Soit 35 Milliards € sur le XXI <sup>ème</sup> siècle	700 Millions € / an  Soit 70 Milliards € sur le XXI <sup>ème</sup> siècle	1400 Millions € / an  Soit 140 Milliards € sur le XXI <sup>ème</sup> siècle
Coût pour l'aléa de submersion temporaire	15 Millions € / an  Soit 1,5 Milliards € sur le XXI <sup>ème</sup> siècle	30 Millions € / an  Soit 3 Milliards € sur le XXI <sup>ème</sup> siècle	60 Millions € / an  Soit 6 Milliards € sur le XXI <sup>ème</sup> siècle

Tableau 13 : estimation des coûts des risques côtiers de 2010 à 2100, pour la région Languedoc Roussillon, en prenant en compte les effets du changement climatique. Voir paragraphe 8.4 sur les incertitudes.

#### 8.5.4. Estimation des résultats pour la France Métropolitaine

La possibilité d'estimer les coûts pour toute la France en appliquant la méthodologie décrite dans ce rapport à chaque région française individuellement a été rapidement écartée en raison des contraintes de temps et les obligations de résultat du groupe de travail risques côtiers du RNACC. Aussi, certains membres du groupe de travail Risques Côtiers du RNACC ont proposé une première estimation des coûts pour toute la France en multipliant le résultat obtenu pour la région Languedoc-Roussillon par 5.

Ce facteur 5 est obtenu par élicitation à partir des considérations suivantes :

- A l'issue d'EuroSION, quatre régions françaises ont vu leur susceptibilité aux risques côtiers placée au niveau le plus élevé (very high, sur une échelle à 5 niveaux). Il s'agissait de Nord Pas-de-Calais, Poitou-Charentes, Aquitaine, Languedoc-Roussillon. 5 régions étaient au niveau high (régions PACA, Pays de la Loire, Bretagne, Basse et Haute Normandie).
- Par ailleurs les statistiques établies par le MEEDDAT/CGDD/SOeS montrent que :

- Le littoral du Languedoc-Roussillon ne représente que 230 km sur les 5500 km de linéaire côtier de la France métropolitaine soit 0,5 % mais il s'agit essentiellement de zones basses pouvant être submergées. Les autres zones basses sont assez nombreuses et bien réparties sur les différentes façades maritimes, qui sont pour les principales, du Nord au Sud : la plaine flamande, le secteur des 3 estuaires (Canche, Authie, et Somme), l'estuaire de la Seine, la côte Fleurie, la baie des Veys, les polders de la baie du Mont Saint Michel, l'estuaire de la Vilaine, l'essentiel du littoral de Loire Atlantique, les marais breton, poitevin et de Brouage, l'estuaire de la Gironde et la pointe du Médoc, le delta du Rhône, la presqu'île de Gien et la plaine orientale corse
- Outre les zones basses, les falaises de roches tendres (falaises de craie de Haute Normandie ou falaises argileuses de l'embouchure de la Vilaine par exemple) pourraient être fragilisées par une élévation du niveau de la mer qui sapera plus fréquemment le pied de falaises, mais surtout, les plages situées entre des caps rocheux (composés de roche dure) seront affectées par la remontée du niveau de la mer et verront une accélération de l'érosion voire leur disparition. La disparition de ces plages aura des conséquences notables sur le plan touristique (comme en PACA)
- Par ailleurs la densité de population dans les communes littorales est très variable d'une région à l'autre avec 726 hab./km<sup>2</sup> pour la région Provence Alpes Côte d'Azur qui représente à elle seule près du tiers de la population littoral, la plus forte densité étant enregistrée dans les Alpes-Maritimes avec 2 653 hab./km<sup>2</sup>, vient ensuite le Nord avec 827 hab./km<sup>2</sup>. les plus faibles densités sont localisées en Gironde (67) dans les Landes (67) en Corse (63)

L'utilisation de ce facteur 5, qui est bien entendu discutable, offre une alternative intéressante et rapide à mettre en place pour proposer un chiffre à l'échelle de la France. Les paragraphes traitant des incertitudes à chaque étape de ce rapport permettent une analyse comparative de ces incertitudes à chaque étape de l'estimation des coûts. Cette analyse est utile et pertinente pour finalement relativiser les incertitudes associées à ce facteur 5.

Les résultats sont présentés dans le Tableau 14. Ils sont dominés par les coûts des dommages potentiels liés aux aléas irréversibles d'érosion et de submersion permanente ce qui est cohérent avec la géomorphologie et la topographie des côtes françaises. Ils doivent être utilisés en rappelant les sources d'incertitudes mentionnées au 8.4, ainsi que les différentes hypothèses de travail.

Les remarques du paragraphe 8.5.3 sur les coûts des dommages potentiels liés à la submersion temporaire dans les différentes hypothèses d'évolution des enjeux demeurent pertinentes.



Estimation des coûts annuels et cumulés des risques côtiers liés au changement climatique, en France	Coût des dommages potentiels aux logements	Coût des dommages directs tangibles (estimation)	Coût des dommages directs et indirects tangibles (estimation)
Coût pour les aléas « irréversibles » érosion et submersion permanente (si seule la valeur de reconstruction bâtiments détruits est prise en compte)	750 Millions € / an Soit 75 Milliards € sur le XXIème siècle	1.5 Milliard € / an Soit 150 Milliards € sur le XXIème siècle	3 Milliard € / an Soit 300 Milliards € sur le XXIème siècle
Coût pour les aléas « irréversibles » érosion et submersion permanente (si les bâtiments et les pertes de terrain sont pris en compte)	1,75 Milliards € / an Soit 175 Milliards € sur le XXIème siècle	3.5 Milliard € / an Soit 350 Milliards € sur le XXIème siècle	7 Milliard € / an Soit 700 Milliards € sur le XXIème siècle
Coût pour l'aléa de submersion temporaire	75 Millions € / an Soit 7,5 Milliards € sur le XXIème siècle	150 Millions € / an Soit 15 Milliards € sur le XXIème siècle	300 Millions € / an Soit 30 Milliards € sur le XXIème siècle

Tableau 14 : élicitation des coûts annuels des risques côtiers de 2010 à 2100, pour la France métropolitaine, en prenant en compte les effets du changement climatique. Voir paragraphe sur les incertitudes.

## 8.6. ANALYSE DES RESULTATS

On constate que selon les hypothèses de chiffrage prises en compte, les montants varient d'une large fourchette ce qui est révélateur des incertitudes concernant l'estimation des coûts. En revanche, on ne voit pas dans ce tableau les incertitudes liées à la modélisation conceptuelle de l'aléa érosion, bien que celles-ci demeurent très importantes : il convient de rappeler que dans le chapitre 4, il a été implicitement supposé en modélisant les aléas d'érosion et de submersion permanente, que les lidos s'ouvriraient, au moins partiellement, que les côtes basses de sédiments meubles seraient significativement érodées ou submergées. C'est pourquoi il n'est pas déraisonnable d'associer un facteur 10 d'incertitude aux chiffres proposés ici.

Dans la plupart des cas, les coûts qui dominent sont ceux liés aux aléas irréversibles d'érosion et de submersion permanente. Ceci est d'autant plus vrai que l'on a vu que l'estimation des coûts pour les dommages potentiels liés aux submersions temporaires étaient peut-être fortement surestimés (voir 8.5.1). Si l'on ne considère que les coûts de reconstruction des bâtiments détruits par érosion ou submersion permanente, et que l'on considère que les enjeux se réalignent le long de trait de côte malgré le recul de celui-ci (hypothèse d'exposition constante des enjeux), les coûts

des submersions temporaires en 2100 apparaissent équivalents à ceux des aléas irréversibles. Ceci met en évidence l'impact important qu'auront les politiques d'adaptation.

## 8.7. CONCLUSION

Les chiffres présentés ici ne prennent pas en compte les ouvrages de défenses actuels et les politiques d'adaptation qui pourront être mises en œuvre. Aussi, au moins pour ce qui concerne les submersions temporaires, ces coûts pourront-être réduits via des politiques d'adaptation adaptées.

Toutefois, ces chiffres permettent de mettre en relation les poids relatifs des différents problèmes et quelques conclusions peuvent être tirées de cette étude :

- Premièrement, cette première analyse ne permet pas d'affirmer que le coût des risques côtiers actuels est négligeable devant le coût des risques côtiers en 2100. La question d'isoler, au sein du coût des dommages liés aux risques côtiers en 2100, ceux qui seront spécifiquement liés au changement climatique reste donc ouverte.
- Deuxièmement, le coût des dommages potentiels liés à l'érosion et à la submersion permanente dominant ceux liés aux submersions temporaires.
- Troisièmement, les coûts des travaux actuellement menés au Lido de Sète pour procéder à un recul stratégique des enjeux et renforcer le Lido donne un ordre de grandeur des investissements nécessaires à l'adaptation. Ceux-ci ne sont pas nécessairement négligeables devant ceux des coûts potentiels si rien n'est fait. L'analyse coûts bénéfiques reste donc à faire.

Ainsi, malgré ces importantes incertitudes, cette étude met en évidence le besoin de définir stratégie d'aménagement durable des zones côtières, prenant davantage en compte les risques côtiers actuels, mais aussi l'aggravation prévisible des aléas côtiers liée au changement climatique. Une réflexion approfondie sur ce sujet serait justifiée au regard des risques actuels, des coûts qui pourraient être imputés aux risques côtiers futurs mais également au regard des coûts importants des mesures d'adaptation.

A-minima, il serait souhaitable, au regard de la réduction des risques côtiers à court terme et dans la perspective du changement climatique, qu'une telle réflexion permette de renforcer les mesures qui conduisent à décourager les plans d'urbanisme des lidos et des embouchures des fleuves<sup>59</sup>. De fait, selon le travail de prospective démographique à 2030 effectué en 2003 par le groupement de la statistique publique Languedoc-Roussillon « dans tous les scénarios [démographiques], les zones littorales [de Languedoc-Roussillon] devraient rester en tête de la croissance démographique ».

---

<sup>59</sup> A cet égard, Sfez (2006) apporte un éclairage intéressant sur la complexité du système d'acteurs en présence dans certaines zones littorales exposées à l'aggravation des risques côtiers dans le contexte du changement climatique.

## La gestion des risques littoraux en Languedoc-Roussillon

Auteur : Cyril Vanroye, DRE Languedoc Roussillon

### 1. Le contexte régional

La façade littorale du Languedoc-Roussillon d'un linéaire d'environ 220 km concerne 30 communes sur quatre départements.

La côte est essentiellement sableuse (190 km) et est ponctuée par la présence de vastes étendues d'eaux marines ou saumâtres, les lagunes, délimitées par des langues sableuses étroites, les lidos.

La frange littorale a pendant longtemps été jugée inhospitalière et il a fallu attendre les années soixante et l'opération d'Aménagement Touristique du Languedoc-Roussillon portée par la Mission interministérielle Racine pour engager son développement.

Aujourd'hui, le littoral du Languedoc-Roussillon est le moteur de l'attractivité du territoire et de l'économie régionale (le tourisme représente 8 % du PIB régional). C'est un espace où se concentrent les enjeux économiques, les infrastructures de transport et les zones d'urbanisation. Sur le plan écologique, les milieux lagunaires et marins contribuent à l'exceptionnelle diversité des milieux de la région (les ZNIEFF couvrent 47 % de la superficie régionale).

Il constitue un espace « sous tension » aussi bien des activités humaines que des éléments naturels au travers des aléas érosion et submersion.

### 2. Le Contrat de projet Etat-Région 2007-2013

Conscients de ces enjeux, l'Etat et la Région ont défini pour la période 2007-2013 un programme d'actions intitulé « Gérer durablement le littoral » dont l'objectif est de soutenir les projets d'aménagement des collectivités.



Photo DRE LR

*Le recul stratégique de la route du lido de Sète à Marseillan : une nécessaire adaptation à l'évolution du trait de côte ; Source : DRE/LR*

Ce programme est constitué par des opérations de gestion intégrée du littoral et l'investissement total représente près de 100 millions d'euros.

L'opération de protection et d'aménagement durable du Lido de Sète à Marseillan est un des projets emblématique de l'évolution des politiques de protection en Languedoc-Roussillon. Le projet consiste à réaliser le recul stratégique d'une route existante sur près de 12 km et à réaménager de manière cohérente et durable les activités présentes sur le site. Coût total de l'opération 54 millions d'euros.

### **3. Les dégâts liés aux tempêtes en Languedoc-Roussillon**

Lors des tempêtes, le choc mécanique des vagues ou les submersions temporaires induisent des dégâts et des dommages sur les installations et les activités humaines.

L'évaluation du montant des dommages recouvre plusieurs champs :

- les biens des particuliers
- les biens des entreprises
- les équipements publics

Compte tenu des données disponibles, la dernière catégorie est difficilement évaluable.

A titre d'illustration, le tableau ci-après reprend l'évaluation financière des dommages réalisée par les services du Service Maritime et de Navigation du Languedoc-Roussillon (SMNLR) pour les deux derniers événements significatifs à l'échelle du Golfe du Lion décrits synthétiquement dans le tableau ci-dessous :

	Hauteur significative maximale <i>(houlographe de Sète)</i>	Niveau marin maximum <i>(marégraphe de Sète)</i>
Tempête de décembre 1997	6,98 m	1,06 m
Tempête de décembre 2003	5,72 m	0,85 m

Catégories de dommages	Estimation tempête 1997 (en € 2007)	Estimation tempête 2003 (en € 2007)
Cordon dunaire	5 300 000	3 700 000
Digues	4 210 000	330 000
Embâcles	1 277 000	644 000
Infrastructures portuaires	6 011 000	7 100 000
Ouvrages de protection en mer	1 800 000	1 600 000
<b>Total</b>	<b>18 598 000</b>	<b>13 374 000</b>

N.B.: les estimations ont été réalisées peu de temps après les événements et ont été ramenés en euros valeur 2007 en utilisant l'évolution de l'indicateur du pouvoir d'achat. Les données ne donnent en aucun cas les investissements réellement réalisés.

## 9. Mesures d'adaptation et recommandations à court terme

Les stratégies de réponse face au changement climatique sont de deux ordres, atténuation et adaptation. L'Union européenne a adopté en 2009 des dispositions législatives relatives à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (mesures d'atténuation). Toutefois, même si l'on parvient au niveau mondial à limiter, voire à réduire les GES, les incidences du changement climatique se feront encore sentir pendant plusieurs dizaines d'années. Il est donc nécessaire de prévoir des mesures d'adaptation<sup>60</sup>.

L'adaptation vise à réduire les risques et les dommages liés aux incidences négatives actuelles et futures de manière économiquement efficace et, le cas échéant, à tirer parti des avantages possibles. [...] L'adaptation peut englober des stratégies nationales ou régionales et des mesures concrètes prises au niveau communautaire ou individuel<sup>61</sup>.

L'adaptation se définit par l'« ajustement des systèmes naturels ou humains face à un environnement changeant ; l'adaptation peut être anticipée ou réactive, publique ou privée, autonome ou planifiée »<sup>62</sup>.

Pour ce qui concerne les risques côtiers, de nombreux acteurs de la prévention des risques sont convaincus que les coûts des mesures d'adaptation prises par anticipation, planifiées et raisonnées, seront inférieurs aux coûts des dommages évités en conséquence des événements à venir et des mesures d'adaptation prises dans l'urgence ensuite.

Dans les chapitres précédents, il a été justifié que les effets du changement climatique seront majeurs sur les risques côtiers, fortement liés aux phénomènes hydrométéorologiques. En particulier, l'élévation prévisible et durable du niveau de la mer augmentera les risques d'érosion et de submersion marine et menacera soit durablement, soit de façon beaucoup plus fréquente certains secteurs du littoral.

Les mesures d'adaptation envisageables ne peuvent faire l'objet d'une liste exhaustive. Elles peuvent être classées selon le degré de spontanéité ou d'irréversibilité de l'action d'adaptation, selon les acteurs impliqués. Dans ce chapitre, les principaux types de mesures envisageables dans le cadre d'une réflexion concertée sont listés ci-dessous. Nous nous limiterons ici aux mesures publiques planifiées prises par anticipation, avec pour point de départ la gestion actuelle des risques littoraux. C'est en effet dès maintenant qu'il faut s'assurer que les outils, mesures et

---

<sup>60</sup> Commission des Communautés européennes – LIVRE BLANC - Adaptation au changement climatique : vers un cadre d'actions européen - 1/04/2009

<sup>61</sup> D'après le Livre vert « Adaptation au changement climatique en Europe : les possibilités d'action de l'Union Européenne » de la Commission des communautés européennes (2007)

<sup>62</sup> D'après la « Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique » - ONERC (2007)

équipements en place (la politique actuelle de gestion de ces risques) sont suffisants et adaptés à une augmentation des risques, à renforcer ou à infléchir, et qu'il convient de recenser les principaux points de vulnérabilité.

## 9.1. DEVELOPPER LA CONNAISSANCE

Développer la connaissance est le premier axe stratégique d'adaptation cité par l'ONERC dans la « Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique » (2007). En effet, seule une bonne connaissance de l'évolution des phénomènes naturels permettra de prendre les mesures d'adaptation les plus appropriées.

La connaissance du littoral passe par la production et la capitalisation de données. Les systèmes d'observation et de suivi de sites de référence doivent être renforcés et pérennisés. Seul un grand nombre de mesures des phénomènes naturels permet de comprendre les phénomènes physiques en jeu et l'évolution des aléas dans un contexte de changement climatique (par exemple détermination de la période de retour associée à un événement et de son éventuel changement). L'observation des phénomènes hydrauliques marins et éoliens, par des instruments de mesures tels que courantomètres, houlographes ou marégraphes, pièges à sédiments, etc. doit être assurée dans le temps, afin d'acquérir les mesures nécessaires au calcul des périodes de retour et afin d'estimer la capacité de résilience des littoraux. Ces instruments de mesures, qui sont ponctuels, doivent également être en nombre suffisant afin de disposer le long des côtes de plusieurs points de référence. Ils serviront également à calibrer les modèles numériques produisant des scénarios à l'échelle de l'ensemble du littoral.

L'observation des événements extrêmes est particulièrement importante. Un recensement des données liées à ces événements extrêmes doit être effectué. Pourront ainsi être décrits, localisés et quantifiés le recul du trait de côte, les brèches et ruptures de cordons naturels ou d'ouvrages de défense contre la mer, les surfaces inondées, les dégâts engendrés.

L'acquisition de données topographiques et bathymétriques de résolution suffisante est importante pour la réalisation de cartographie fine des aléas sur le littoral. La résolution pertinente pour une étude des risques côtiers, à savoir de l'ordre de 10 à 20 cm en vertical, peut actuellement être obtenue à travers des acquisitions Lidar topo-bathymétriques. Ces données apportent une aide dans la compréhension du fonctionnement du littoral et des transports sédimentaires, résultant de l'action de l'ensemble des phénomènes météo-marins. Le littoral est en constante évolution. Il est donc important de garder trace de cette évolution et de faire des campagnes régulières de levés. Ces acquisitions sont particulièrement importantes dans les zones basses. Les pays comme les Pays-Bas ont un programme d'acquisition annuel, et l'Angleterre a déjà réalisé un tel levé sur toutes les zones basses littorales et alluviales et prévoit de le renouveler tous les 5 ans. Ceci amène le groupe de travail du RNACC à souligner la pertinence, pour l'étude des risques côtiers, d'un projet tel que le projet Litto3D du SHOM et de l'IGN<sup>63</sup> en particulier sur les zones basses.

La connaissance des enjeux est relativement bonne au regard des autres aspects. Il serait toutefois bénéfique de connaître de façon plus détaillée les différents types d'enjeux.

---

63

[http://www.shom.fr/fr\\_page/fr\\_act\\_Litto3D/index\\_litto3D.htm](http://www.shom.fr/fr_page/fr_act_Litto3D/index_litto3D.htm)

La connaissance des coûts doit être améliorée car c'est elle qui guidera les actions d'adaptation. Des enquêtes sont à mener pour connaître les coûts des logements dans les bandes de submersion et d'érosion. Il serait également nécessaire de compléter la base SIRENE de l'INSEE.

La mise en œuvre d'une méthodologie d'analyse des risques côtiers et des coûts associés présentée dans ce rapport a mis en évidence le fait que les membres du groupe de travail risques côtiers du RNACC ne disposaient pas aujourd'hui des connaissances de base nécessaires pour effectuer des analyses coûts bénéfiques. En particulier, des interactions avec des spécialistes de l'économie des risques dans le contexte du changement climatique sont nécessaires et devraient être développées. Le développement de la connaissance des aléas, de la vulnérabilité et des risques actuels, et de la capacité de représenter des futurs possibles demeure donc une priorité de recherche dans ce contexte<sup>64</sup>.

**Recommandation n° 1 : acquisition régulière et coordonnée de nouvelles données sur plusieurs sites représentatifs pour analyser et modéliser l'évolution des phénomènes ainsi que lors d'évènements extrêmes.**

**Recommandation n° 2 : acquisition d'une couverture topo-bathymétrique haute résolution de type Litto3D sur le littoral. Des répétitions régulières, sur un pas de temps à définir seront à prévoir.**

**Recommandation n° 3 : affiner l'estimation des coûts liés aux enjeux menacés qui impacteront les solutions d'adaptation qui seront retenues.**

## 9.2. CAPITALISER LA CONNAISSANCE

La capitalisation des connaissances est indispensable pour une meilleure appréhension des phénomènes naturels et des risques. Ce recensement ne peut être réalisé qu'à une échelle agrégée par bassins de risques et doit être disponible pour tous les acteurs du littoral (recherche, gestionnaires du littoral, ...). A titre d'exemple, l'Observatoire de la côte Aquitaine<sup>65</sup> recense notamment, depuis la fin des années 1990, l'évolution du littoral, ainsi que les entailles d'érosions le long des 230km de plages sableuses de cette côte.

Le rapport Bersani relatif au «schéma d'organisation des dispositifs de recueil de données et d'observation sur le littoral » (2006) a émis des recommandations qu'il serait judicieux de retenir. Il recommande notamment l'interconnexion des 3 bases nationales :

- La base « BOSCO », « Base d'observation pour le suivi des côtes », base nationale

---

<sup>64</sup> Voir à ce sujet les programmes de l'Agence Nationale de la Recherche Risknat et VMCS (Vulnérabilité, milieux, climats, sociétés).

<sup>65</sup> <http://littoral.aquitaine.fr/>; Cet observatoire rassemble des parties prenantes de la gestion des zones côtières dans cette région, en particulier le conseil régional, les conseils généraux de Gironde, des Landes et des Pyrénées Atlantiques, la DDE des Pyrénées Atlantiques, l'Office national des Forêts, le conseil des élus du Pays Basque, le syndicat intercommunal du Bassin d'Arcachon, le Secrétariat Général des Affaires Régionales d'Aquitaines, la Direction Régionale de l'Équipement.

- d'informations sur l'évolution du trait de côte et la lutte contre l'érosion littorale<sup>66</sup>,
- le Géolittoral (CETE – Normandie) qui diffuse les orthophoto littorales et l'IPLI (Inventaire permanent du littoral),
- l'observatoire du littoral de l'ex-IFEN qui produit des indicateurs.

La collecte d'information ne doit pas se limiter à la caractérisation de l'aléa, mais doit aussi permettre le recensement, de manière systématique, de l'ensemble des informations pertinentes pour l'analyse du risque dans toutes ses composantes : données relatives aux sinistres (pour pouvoir les utiliser en lien avec les autres bases de données de la statistique publique telles que celles de l'INSEE), données relatives aux dommages faits aux biens publics (Etats, Collectivités Territoriales, etc....) et aux entreprises. Affiner la connaissance des coûts des dommages pourrait passer par la mise en place d'une convention entre les services de l'Etat et la CCR (Caisse Centrale de Réassurance), tout en donnant à la CCR les moyens de centraliser l'ensemble des données sur les sinistres. Il convient de noter cependant que les informations de la CCR relatives aux coûts des dommages demeurent partielles (c.f. 8.2).

La capitalisation et l'analyse des données existantes, telles que celles issues des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle qui donnent des informations précieuses sur les coûts, doivent être développées.

**Recommandation n°4 : capitaliser et gérer les données de façon coordonnée aux différents niveaux (national, régional voire local) pour réunir l'ensemble des données pertinentes pour l'étude des risques côtiers dans toutes leurs composantes : phénomènes naturels, aléas, vulnérabilités, enjeux, dommages et coûts.**

### 9.3. INFORMATION, SENSIBILISATION, COMMUNICATION

On constate que les actions de prévention des risques sont souvent décidées suite à l'occurrence d'un événement important, plus rarement dans le cadre de la mise en œuvre préalable d'une stratégie de prévention. Et de nombreuses actions de prévention sont négligées lorsque le risque est mal perçu. C'est le cas du suivi et de l'entretien régulier des ouvrages de protection par exemple.

L'appréhension des risques est complexe du fait de l'occurrence d'événements d'intensité variable. Il est en effet difficile d'imaginer un événement d'intensité jamais observée auparavant (à l'échelle d'une vie) et donc de l'anticiper. Il est encore plus difficile d'imaginer la non-stationnarité d'un aléa (conséquence potentielle du changement climatique) et l'éventuelle modification de la période de retour d'un aléa d'intensité donnée. Les confusions sont nombreuses, tout comme les attentes en matière de compréhension de ces phénomènes et des impacts du changement climatique. Quels sont les phénomènes naturels à l'origine du risque ? Comment détermine-t-on l'aléa ? Les enjeux ? Que se passera-t-il si rien n'est fait maintenant ?

---

<sup>66</sup> Cette base de donnée, à destination des Administrations de l'Etat, des Collectivités Territoriales, des Etablissements Publics, des Instances de Recherche Scientifique et Technique et des Bureaux d'Etudes assure déjà la mise à disposition de l'information sur les données et métadonnées existantes sur l'évolution du trait de côte et peut héberger certaines données spécifiques. Cette base est gérée en partenariat par le BRGM et le CETMEF



Communiquer sur les impacts du changement climatique est donc une action essentielle, afin d'améliorer le partage des connaissances sur le sujet, de permettre une prise de conscience et l'adhésion à une stratégie d'adaptation. C'est également l'occasion de communiquer sur les risques actuels, les actions de prévention et de gestion menées, le système de prévision, et le réseau d'alerte, et de répondre ainsi à un fort besoin.

Il existe déjà divers document d'information du public sur les risques naturels :

- Le Dossier Départemental des Risques Majeurs est un document ayant pour objectif l'information du public. Il contient la description des risques majeurs auxquels les communes du département sont soumises, leurs conséquences prévisibles pour les personnes, les biens et l'environnement, et les mesures prévues pour limiter leurs effets.
- Les Atlas de Zones Inondables, documents publiés dans le cadre d'une politique de prévention des risques, portent à la connaissance des collectivités locales et du public, les informations disponibles sur les risques d'inondation. Ils comportent une série de cartes thématiques sur l'aléa dont la carte des plus hautes eaux connues. Ils sont établis à partir de simulations réalisés par modélisation et des données des événements historiques.

#### **9.4. AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET PLANIFICATION**

Les risques identifiés sur un territoire sont autant d'éléments à prendre en compte dans une réflexion autour de l'aménagement durable du territoire. L'aménagement concerne tous les acteurs publics, communes, collectivités territoriales, chargés d'élaborer des outils de planification ainsi que les services de l'État, en particulier chargés du contrôle de légalité. Les différents outils disponibles en matière de planification sont présentés ci-après sous l'angle de leur contribution potentielle à l'adaptation du territoire aux risques identifiés.

Les directives territoriales d'aménagement (DTA) sont un outil juridique qui s'impose aux documents d'urbanisme (SCoT, PLU, carte communale). Ainsi, les schémas de cohérence territoriale (SCoT), ou, à défaut, les plans locaux d'urbanisme (PLU) doivent être compatibles avec les DTA. L'élaboration d'une DTA relève de la compétence de l'Etat en association avec les collectivités locales. Il s'agit d'un outil de planification à long terme (20 à 25 ans), c'est-à-dire à une échéance à laquelle il est tout à fait pertinent d'agir pour éviter d'aggraver l'exposition aux risques côtiers et préparer une adaptation « sans regrets » au changement climatique. Pour ce faire, un volet littoral pourrait donc être ajouté au DTA, voire au SCoT ou au PLU.

Les schémas de mise en valeur de la mer (SMVM) déterminent la vocation générale de différentes zones d'une entité géographique consistante. Ils ont la même valeur juridique que les DTA et peuvent être élaborés dans le cadre des schémas de cohérence territoriale (SCoT), ou bien par l'Etat, la procédure d'approbation étant alors déconcentrée. Les SMVM peuvent constituer un élément important de réduction durable des risques côtiers, en particulier pour répondre au besoin de gestion durable des stocks sédimentaires (voir les recommandations d'Eurosion, 2004).

La prise en compte d'un risque avéré sur une commune peut se faire par l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques (PPR), procédure aboutissant à des documents cartographiques ainsi qu'un règlement. La priorité d'un tel outil est d'éviter l'exposition d'enjeux supplémentaires. Il

interdit, suivant le niveau de risque, la construction ou prescrit des restrictions sur les constructions futures, et ainsi permet d'adapter l'aménagement du territoire aux phénomènes naturels. Les PPR sont réalisés pour un aléa de période de retour a minima de 100 ans (dit événement de référence<sup>67</sup>).

Une attention particulière doit donc être portée à la réalisation de tels documents dans le contexte de l'adaptation au changement climatique. L'impact du changement climatique doit être pris en compte le plus tôt possible dans la définition de l'aléa de référence ; l'élévation du niveau de la mer exposera en effet de nombreux secteurs jusqu'à présent épargnés. Cette prise en compte anticipée permettra aussi d'éviter des coûts de protection et d'indemnisation qui à l'avenir pourraient être très importants.

Il serait également utile de mettre en place des plans de gestion des sédiments littoraux aux échelles appropriées, afin de définir des réserves stratégiques de sédiments (sables, graviers, galets) et de gérer les stocks sur le long terme dans une perspective de changement climatique. En effet, on constate une pénurie de sédiments littoraux quasi-générale sur les côtes françaises. Ce déficit est en grande partie du aux aménagements terrestres (barrages, digues, ...) qui retiennent les sédiments, et accentué par les aménagements littoraux (ports, digues, épis, ...) et les urbanisations installées sur les dunes et cordons dunaires qui ont perturbé la circulation de sédiments littoraux le long du littoral et les échanges dune-plage-mer. Cet aspect pourrait être inclus dans la stratégie d'acquisition du Conservatoire du Littoral qui pourrait se porter acquéreur de zones de production de sédiments ou de réserves jugées stratégiques. Cela permettrait de prendre en compte les effets du changement climatique dans la gestion de son patrimoine acquis ou lors de futures acquisitions.

Enfin, la loi Littoral de 1986, en limitant l'urbanisation du littoral, est un facteur de limitation de l'aggravation des risques côtiers. Le bilan de la loi littoral de la Délégation interministérielle à l'aménagement et à la compétitivité des territoires (DIACT, 2007) souligne la pertinence d'une législation spécifique au littoral, même si cette législation n'a pas pu éviter l'aggravation de l'urbanisation dans les zones côtières au cours des 20 dernières années. Ce rapport invite à mener une réflexion sur les mesures qui pourraient être prises en faveur du littoral dans le contexte du changement climatique. L'une de ces mesures pourrait être le renforcement de cette loi ou du moins son strict respect dans les plans d'urbanisme. De telles mesures auraient un effet de prévention des effets du changement climatique, mais aussi de réduction des risques côtiers actuels.

**Recommandation n°5 : Renforcer l'application des dispositifs règlementaires et de planification existants, et la prise en compte des risques côtiers actuels et des effets prévisibles du changement climatique sur les risques côtiers dans ces documents : plan de prévention des risques (PPR), plans locaux d'urbanisme (PLU), schémas de cohérence territoriale (SCoT), directives territoriales d'aménagement (DTA), schémas de mise en valeur de la mer (SMVM).**

---

<sup>67</sup> Ceci ne signifie pas qu'un événement d'intensité supérieure ne peut pas se produire. On ne peut se protéger contre tous les événements. Le choix de cet aléa de référence revient à dire que l'on s'adapte uniquement aux événements les plus courants et qu'on accepte les conséquences potentielles d'événements rares, ayant chaque année moins d'une chance sur 100 de se produire.

**Recommandation n°6 : Prendre en compte les effets du changement climatique dans les plans de gestion des stocks sédimentaires littoraux, par exemple via une stratégie de gestion et d'acquisition de terrains par le Conservatoire du Littoral prenant en compte le changement climatique.**

## **9.5. NORMES ET REGLEMENTATION DU SECTEUR DE LA CONSTRUCTION**

Une part importante des mesures d'adaptation concerne les enjeux futurs. Les projets de constructions lourdes sur le littoral (ouvrages, infrastructures routières ou portuaires,...) doivent être étudiés avec une attention particulière. Compte tenu des effets du changement global, celles-ci devront en effet faire face à des conditions extérieures pouvant être différentes des conditions actuelles. Assurer la pérennité d'une telle construction nécessite donc de prendre en compte les effets du changement climatique lors de sa construction (dimensionnement). Lors d'investissements importants, une étude de risque approfondie est nécessaire à l'échelle du phénomène afin de réduire les éventuels impacts négatifs sur les zones adjacentes et d'évaluer la pertinence et la rentabilité du projet en fonction des différentes hypothèses d'impacts du changement climatique. Tous les maîtres d'ouvrages du littoral, ports autonomes, départements, collectivités locales, sont donc concernés.

Dans des zones où l'aléa est modéré, les dommages liés à un événement, et donc le risque, peuvent être réduits par la mise en œuvre de mesures réduisant la vulnérabilité. Des règles de construction propres à chaque zone peuvent par exemple être élaborées (matériaux résistants à l'eau salée, surélévation des bâtiments, façades résistant aux projections de galets, ...). Ce type de prescriptions peut être mis en œuvre par le biais d'un PPR.

En ce qui concerne les enjeux existants, des mesures seront également nécessaires. Des zones où l'aléa actuel est modéré pourraient être soumises à un aléa fort. Les constructions de ces zones ne seront plus adaptées aux conditions extérieures. Le besoin de connaissance de l'aléa sur ces zones sera indispensable tout comme une forte communication et concertation afin de prendre les mesures nécessaires : mesures à prescrire sur le bâti existant lorsque la sécurité est en jeu, construction d'ouvrages de protection...

Les dégâts causés aux constructions situées dans ces nouvelles zones à risques demanderont une position claire en matière d'indemnisation, de réparation et de reconstruction. Dans quelle mesure reconstruire après destruction ? Si oui faut-il reconstruire ou réparer à l'identique ? Comment favoriser la reconstruction en structures et matériaux moins vulnérables ? Faut-il revoir les procédures d'indemnisation ? Des réponses claires seront à apporter au niveau réglementaire à ce sujet. Les documents de planification seront des outils incontournables dans les réponses à apporter.

**Recommandation n°9 : Lors des études préalables aux aménagements (ouvrages de défense contre la mer, infrastructures portuaires, ...) réaliser les études d'impact à l'échelle des phénomènes et introduire, dans la réglementation existante sur les constructions et aménagements la prise en compte des conditions climatiques futures anticipées, en fonction de la durée de vie prévisible de la construction.**

**Recommandation n°10 :** initier un processus afin de décider et d'annoncer au plus tôt, lorsque c'est possible, quelles seront les zones protégées et les zones abandonnées et à quel terme. L'objectif est de maximiser la prise en compte de la donnée "montée du niveau de la mer" par les investisseurs publics et privés et de permettre que ces acteurs anticipent en toute connaissance de cause.

## 9.6. MESURES DE PROTECTION ET RELOCALISATION

Le guide national de gestion du trait de côte (à paraître) émet les recommandations suivantes : « Le littoral est en constante évolution à toutes les échelles spatiales et temporelles. La gestion du trait de côte pour la protection contre l'érosion ou les submersions marines doit prendre en compte cette variabilité. Ainsi, quelle que soit la technique mise en œuvre, la solution de gestion doit s'inscrire dans cette dynamique. Gérer de façon dynamique un littoral implique de renoncer à l'idée de réaliser un aménagement définitif mais demande au contraire d'intégrer un cycle alternant des phases d'observation, de prise de décision et d'action. La seule action définitive envisageable reste le recul stratégique hors de la zone menacée par les risques d'érosion ou de submersions marines. »

Lorsque des enjeux sont déjà présents dans des zones menacées, la gestion dynamique est parfois plus difficilement envisageable. Les mesures citées ci-dessous concernent des zones à enjeux déjà existants et menacés. Elles sont coûteuses et sont donc réservées à de tels cas. En effet les zones sans enjeux ne nécessitent pas de gestion particulière. Cette absence de gestion qui peut être considérée comme un mode de gestion à part entière est adoptée par le Conservatoire du Littoral qui acquiert des terrains à vocation naturelle dans un objectif de laisser libre court aux phénomènes naturels.

Le Projet Euroérosion a émis plusieurs recommandations de gestion du trait de côte qui sont de plus en plus adoptées au niveau européen (Figure 25).

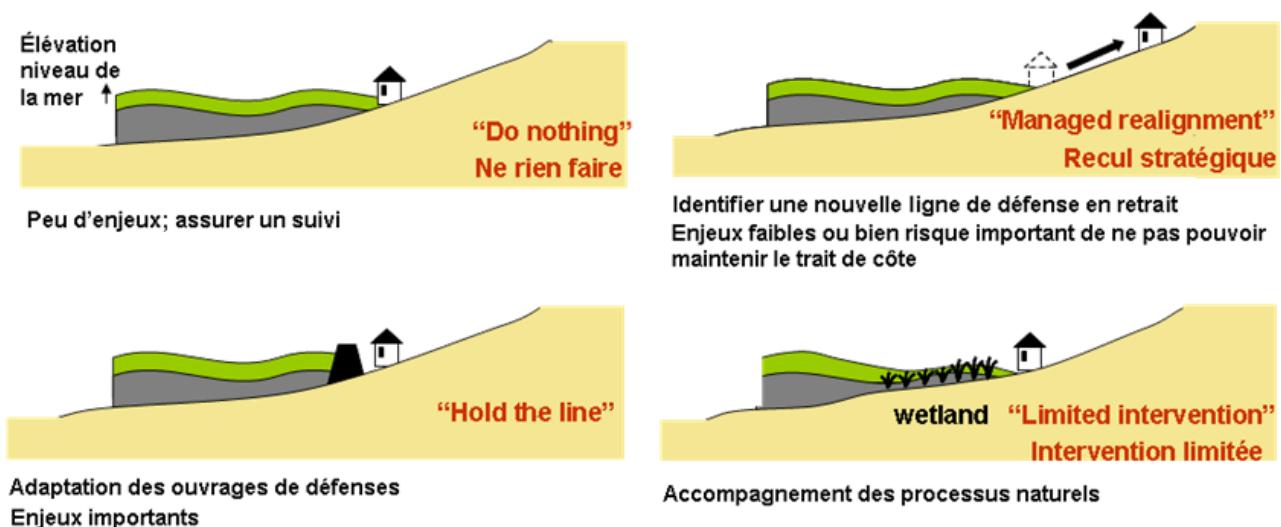


Figure 25 : stratégies génériques d'adaptation face à la montée du niveau marin. Source: Euroérosion, 2004

Les mesures décrites ci-dessous sont déjà mises en œuvre sur le littoral. Le changement climatique, qui vient modifier les phénomènes naturels, peut remettre en cause les stratégies de protection actuelles. Parmi les différentes stratégies d'adaptation proposées (protection, recul stratégique, etc.), il n'existe pas de solution unique à appliquer uniformément partout. Au contraire, la stratégie la plus adaptée au contexte local doit être choisie pour chaque entité géographique consistante. Ce rapport ne promeut donc pas une stratégie particulière aux dépens des autres.

### **9.6.1. Recul stratégique**

Le recul stratégique consiste à déplacer des enjeux existants sur une zone où les risques sont plus faibles. Dans ce cas, l'homme s'adapte au milieu et non l'inverse. Cette solution est à étudier avec une analyse coûts-bénéfices tenant compte des coûts de protection, des coûts des enjeux, mais également du rôle de la zone à protéger et de la valeur socio-économique associée (tourisme, loisir, nature...).

Pour l'instant, deux exemples français peuvent être cités, celui du Lido de Sète et celui de la commune de Criel-sur-Mer en Seine-Maritime où une dizaine de maison situées en bord de falaise ont été frappées d'arrêté de péril et leurs habitants expropriés. L'élévation du niveau de la mer rendra les solutions de protection de plus en plus coûteuses et de plus en plus difficiles à mettre en œuvre ; le recul stratégique devra alors être envisagé dans un grand nombre de cas de manière plus systématique.

### **9.6.2. Restauration du fonctionnement naturel**

La restauration du fonctionnement naturel est envisageable lorsque les enjeux sont peu nombreux et le risque modéré. Elle peut également être utilisée comme action de prévention. La revégétalisation des massifs dunaires, l'encadrement, voire la suppression, de la fréquentation touristique permettant de limiter le piétinement, sont autant d'actions permettant au littoral de retrouver son fonctionnement naturel et d'assurer un rôle de protection. La suppression d'ouvrages de protection, épis ou ouvrages de haut de plage, peut également être envisagée lorsque les conséquences négatives en termes d'érosion sont supérieures aux gains en termes de protection.

### **9.6.3. Maintien du trait de côte**

Les ouvrages de défense contre la mer maintenant le trait de côte sont des techniques à réserver aux zones à enjeux importants. Ces techniques sont de deux types couramment appelées méthodes douces ou dures. Ces techniques viennent à modifier le transit sédimentaire. Les méthodes douces agissent plus ou moins fortement sur ce transit en tenant compte du fonctionnement naturel. Les méthodes dures au contraire s'opposent au fonctionnement naturel et peuvent entraîner des modifications non négligeables pouvant avoir des conséquences négatives en d'autres points du littoral que celui de l'implantation de l'ouvrage. Les méthodes douces, comme le rechargement de plage, sont donc à privilégier.

Cependant, sur des zones à forts enjeux et où les risques sont déjà forts, le choix est souvent restreint : maintien du trait de côte par des méthodes lourdes ou douces comme le rechargement de plage, ou recul stratégique. Dans les cas de protections existantes jugées insuffisantes,

l'ouvrage peut être redimensionné (augmentation de la hauteur, de la taille des blocs d'enrochement...). Cependant cette possibilité ne doit pas donner un faux sentiment de sécurité.

On peut souligner la nécessité de renforcer la surveillance régulière des ouvrages de défense contre la mer, afin d'assurer l'entretien nécessaire et de suivre leur efficacité pour au besoin prévoir des travaux complémentaires lorsqu'ils ne remplissent pas entièrement leur rôle.

## **9.7. MANAGEMENT ET STRATEGIE DE GESTION DES RISQUES**

### **9.7.1. Dynamique multi-acteurs**

De multiples acteurs sont amenés à participer à des actions de gestion du littoral et la question de la maîtrise d'ouvrage sur le littoral est régulièrement posée. Ainsi, la mise en place d'un ouvrage de protection incombe aux riverains, d'après la loi du 16 septembre 1807. Cependant les collectivités locales, départements, communes, syndicats mixtes et leurs groupements, peuvent intervenir en tant que maître d'ouvrage lorsque le projet de défense contre la mer a un caractère d'intérêt général ou d'urgence. De même, leur financement peut faire intervenir de multiples acteurs : État, conseils généraux, communes...

La secrétaire d'Etat, chargée de l'écologie, a demandé au Conseil Général de l'environnement et du développement durable de diligenter une mission d'expertise sur la « défense contre la mer sur la façade Manche-Mer du Nord ». Cette mission qui devrait rendre son rapport en 2009, porte sur la clarification de la maîtrise d'ouvrage sur les plans juridique, technique et financier ainsi que sur l'analyse de la prise en compte de la gestion du trait de côte dans les outils de planification, et ce afin d'examiner la pertinence de ces outils en termes d'échelle spatiale et d'échelle de temps.

La prévention des risques concernant de multiples acteurs, l'adaptation face à l'évolution des risques côtiers doit être pensée à chaque niveau de décision et une gestion coordonnée des risques entre tous les acteurs est indispensable. La création d'une dynamique visant à réduire la composante sociétale du risque, impliquant des populations exposées, des acteurs locaux et nationaux, doit constituer une partie de la réponse à l'aggravation des aléas liés au changement climatique, mais aussi aux risques actuels<sup>68</sup>.

### **9.7.2. Stratégie sans regrets**

L'Etat a élaboré un guide de gestion de trait de côte et mettra en place, dans le cadre du Grenelle de la mer, une stratégie nationale de gestion du trait de côte, pour le recul stratégique et la protection contre la mer, prenant en compte l'adaptation au changement climatique.

---

<sup>68</sup> Il est souvent pertinent d'agir sur la composante sociétale du risque dans le but de réduire durablement celui-ci. A titre d'exemple concret, on peut citer le phénomène de déni de l'expérience : en dépit de la connaissance qu'une communauté côtière a des risques côtiers et du changement climatique, en dépit des efforts d'information, peu de mesures de protection durables sont prises localement (Sfez, 2006). Cette attitude, finalement assez courante, constitue un facteur d'aggravation de la vulnérabilité des communautés exposées aux risques côtiers, mais aussi, elle est la source de réponses inadaptées à un stress. Pour réduire cette composante de la vulnérabilité, des sociologues proposent de mener une réflexion, à l'échelle locale, en impliquant tous les acteurs concernés.

Les mesures d'adaptation au changement climatique doivent viser à mettre en place une stratégie d'action « sans regrets », qui, a minima, conduira à réduire les risques actuels, en agissant sur la composante la plus pertinente du risque à l'échelle locale, régionale et nationale. En particulier, les systèmes de prévision des événements marins et leur accessibilité, les réseaux d'alerte et plans d'évacuation devront être développés.

**Recommandation n°7 : La mise en place ou l'extension de dynamiques multi-acteurs à l'échelle nationale, régionale et locale, visant à réduire les risques côtiers est une étape nécessaire à la mise en place d'une stratégie de réduction de ces risques.**

**Recommandation n°8 : Les mesures d'adaptation « sans regrets », qui conduisent à minima à réduire les risques actuels, doivent être identifiées et encouragées.**

## 9.8. ÉVALUATION DES MESURES D'ADAPTATION<sup>69</sup>

Les mesures d'adaptation à l'impact du changement climatique sur les risques côtiers sont pour le moment très difficiles à évaluer. Ceci résulte principalement du manque de données et du suivi non suffisant des actions contre les risques à l'échelle nationale, mais aussi des incertitudes quant à l'impact du changement climatique et des difficultés de l'évaluation économique qui ont été soulignées dans ce rapport<sup>70</sup>.

Malgré la difficulté d'évaluer le coût des mesures d'adaptation et, à plus forte raison, de proposer une analyse coûts-bénéfices, il est cependant possible de proposer des actions à mettre en œuvre qui permettront à la fois de limiter les risques côtiers actuels, mais aussi de s'adapter aux effets du changement climatique.

**La mesure la plus importante est celle d'éviter l'exposition de nouveaux enjeux.** Les coûts liés aux dommages des biens futurs sont loin d'être négligeables en comparaison des coûts liés

---

<sup>69</sup> On rappelle ici ce qui a été déjà formulé au paragraphe 9.6 au sujet du choix d'une stratégie : parmi les différentes stratégies d'adaptation proposées ci-dessus (protection, recul stratégique, etc.), il n'existe pas de solution unique à appliquer uniformément partout. Au contraire, la stratégie la plus adaptée au contexte local doit être choisie pour chaque entité géographique consistante. Ce rapport ne promeut donc pas une stratégie particulière au dépend des autres.

<sup>70</sup> A titre de comparaison, l'étude PESETA du Centre Européen de recherche de la Commission Européenne a présenté une évaluation de l'impact des mesures d'adaptation à l'échelle européenne pour ce qui concerne la perte de terrains agricoles dans le contexte de la remontée du niveau de la mer. Si le sujet est sensiblement différent de celui étudié dans ce rapport, il n'en demeure pas moins intéressant d'examiner les conclusions qui en ont découlé quant aux mesures d'adaptation. Ainsi, si aucune mesure d'adaptation n'est mise en œuvre, le coût des dommages annuel en termes de pertes de terrains agricoles est estimé en 2020 à 6 milliards d'euros par an en Europe. En cas d'adaptation, ce coût, auquel s'ajoute celui des mesures prises, s'élèverait à 2 milliards. En 2080, sous l'hypothèse d'une élévation de 56,4 cm du niveau de la mer, le coût des dommages annuel en termes de pertes de terrain agricole est alors estimé à 18 milliards d'euros si aucune mesure d'adaptation n'est mise en œuvre. En cas d'adaptation, ce coût, auquel s'ajoute celui des mesures prises, s'élèverait à 3 milliards d'Euros par an. L'étude démontre donc clairement la nécessité de mettre en place des mesures d'adaptation au changement climatique ne serait-ce que sur le plan financier, pour la question de la perte de terrains agricoles face à la remontée du niveau marin.

aux enjeux existants<sup>71</sup>. Les perspectives démographiques indiquent que dans tous les scénarios, la pression démographique sur le littoral du Languedoc-Roussillon s'accroît. Afin d'éviter d'aggraver l'exposition aux risques côtiers, une réflexion approfondie doit dès maintenant être engagée pour décider des mesures à mettre en œuvre et pouvoir adapter les futures réalisations et constructions aux conditions extérieures rencontrées actuellement, tout en envisageant des représentations possibles de ce que pourraient être des conditions futures dans le contexte du changement climatique.

Cependant, dans un certain nombre de cas, des mesures de protection seront à mettre en œuvre. Ces mesures sont les plus coûteuses. Une étude interne du CETMEF de 2002, basée sur une enquête de terrain, a porté sur l'« Analyse des coûts des différents types d'ouvrages de défense contre la mer réalisés sur le littoral français », actualisant ainsi les résultats d'une étude traitant des coûts des ouvrages sur les côtes sableuses effectuée en 1986 par le LCHF à la demande du CETMEF (ex-STCPMVN). Par le biais d'une enquête sur l'ensemble du littoral français et l'étude des coûts des ouvrages de défense contre la mer construits entre 1985 et 2002, le coût moyen des ouvrages a été déterminé. Ces coûts sont très variables suivant la façade maritime où l'ouvrage est situé, son dimensionnement, les conditions extérieures, les matériaux employés, les techniques mises en œuvre, les facteurs économiques et financiers... Les coûts des principaux types d'ouvrages rencontrés sur le littoral français ont ainsi été évalués en 2002:

- entre 4300 et 5300 €/ml pour un brise lame en enrochement,
- entre 300 et 5300 €/ml pour un épi en enrochement,
- entre 47 et 51 €/tonne de matériau pour un rechargement de plage,
- entre 400 et 2800 €/ml pour un perré en maçonnerie, en enrochement ou en béton,
- entre 28 et 47 €/ml pour la mise en place de ganivelles et plantations.

---

<sup>71</sup> Deux rapports d'études de 1992 de l'« Etude globale de défense contre la mer » du Conseil Général de La Manche réalisée par le Centre de Recherche en Environnement Côtier de l'université de Caen, estimaient qu'à une échéance de 100 ans les coûts des dommages des biens existants seraient compris entre 384 et 442 millions de francs et les coûts des dommages des biens futurs seraient compris entre 170 et 245 millions de francs.



## 10. Conclusion

Le sous-groupe de travail « Risques côtiers » a ciblé sa réflexion sur l'évolution des risques d'érosion et de submersion à échéance de la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle et sur la région Languedoc-Roussillon. Les travaux de ce groupe d'experts ont été réalisés sur la base d'études et de données publiques et disponibles.

En premier lieu, les hypothèses de changement climatique et leur impact possible sur les aléas côtiers ont été examinés. L'élévation du niveau de la mer aura pour conséquence l'aggravation des aléas érosion et submersion temporaire, et l'apparition d'un nouvel aléa qui a les mêmes caractéristiques que l'érosion : la submersion permanente des zones les plus basses. L'exposition, en 1999, des personnes, des logements et des établissements aux aléas de la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle a ensuite été estimée. Une méthodologie d'analyse des risques et des coûts associés du fait du changement climatique a été proposée par le groupe d'experts et appliquée sur la région Languedoc-Roussillon avec une proposition d'extension à toute la France. Les experts se sont attachés à chaque étape du rapport à estimer les incertitudes afin qu'il en soit tenu compte lors de la présentation des résultats.

Avec les réserves du paragraphe 8.4, le coût des risques-côtiers intégré sur l'ensemble du XXI<sup>ème</sup> siècle pourrait être :

- compris entre 15 et 35 Milliards d'Euros pour les dommages potentiels aux logements en région Languedoc Roussillon.
- compris entre 60 et 140 Milliards d'Euros pour les dommages potentiels tangibles directs et indirects en région Languedoc Roussillon.
- compris entre 75 et 175 Milliards d'Euros pour les dommages potentiels aux logements en région Languedoc Roussillon.
- compris entre 300 et 700 Milliards d'Euros pour les dommages potentiels tangibles directs et indirects en région Languedoc Roussillon.

Ces coûts seraient principalement induits par l'érosion et la submersion permanente. Ils prennent en compte les effets du changement climatique à travers une hypothèse d'élévation du niveau marin de 1m.

Le rapport se conclue par des propositions de mesures d'adaptation ainsi que des recommandations à court terme. Ces propositions sont de différents ordres depuis l'amélioration de la connaissance aux stratégies d'adaptation en passant par les aspects de planification et de réglementation.

Pour l'amélioration des connaissances, les points principaux portent sur i) la connaissance d'une topographie fine qui permettrait d'améliorer l'estimation de la submersion ou ii) la mise en place de réseaux de mesures pérennes sur des sites représentatifs afin de suivre l'évolution des risques et de calibrer ensuite les scénarii d'évolutions possibles.

Il est recommandé d'effectuer une analyse coûts/bénéfices avant tout choix d'aménagement même si elle repose sur une représentation du futur nécessairement subjective. L'analyse économique, couplée à une connaissance des risques actuels et du changement climatique permet d'envisager des facteurs de réduction des risques intéressants : favoriser l'anticipation économique des acteurs, réduire la composante sociétale du risque, limiter autant que possible l'exposition de nouveaux enjeux. Le groupe d'expert souligne le besoin d'améliorer la connaissance des coûts indirects, des dommages directs intangibles (écosystèmes, paysages, aménités, etc.) ainsi que le besoin d'une analyse par enjeux.

Les connaissances sur le changement climatique et leur impact sur l'évolution des risques côtiers ne permettent pas de prendre des mesures d'adaptation sur des bases aussi solides que les décideurs le souhaiteraient (Roe and Baker, 2007). C'est pourquoi des actions « sans regrets », permettant au moins de réduire les risques côtiers actuels sont proposées dans ce rapport. On insiste sur le caractère préoccupant que revêt l'aggravation de l'exposition aux risques côtiers dans les zones basses et l'intérêt de limiter l'exposition de nouveaux enjeux dans des zones où les aléas sont importants tels que les embouchures et les lidos en région Languedoc-Roussillon.

La nécessité de prendre dès maintenant des mesures à même de permettre une anticipation par les différents acteurs publics et privés en charge de la gestion du littoral a été mise en évidence dans ce rapport. Une telle démarche « d'action sans regrets » apporte le bénéfice de réduire les risques actuels tout en s'adaptant aux effets prévisibles du changement climatique.

## 11. Bibliographie

### 11.1. PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES

Bindoff, N.L., J. Willebrand, V. Artale, A. Cazenave, J. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C. Le Quéré, S. Levitus, Y. Nojiri, C.K. Shum, L.D. Talley and A. Unnikrishnan, 2007: **Observations: Oceanic Climate Change 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* [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.

Cazenave, A., *How fast are the Ice Sheets melting?* Science, VOL 314, 24 November 2006

Cazenave, A., Lombard, A., Llovel, W. present day sea level rise: a synthesis; C. R. Geoscience 340 (2008) 761–770, September 2008.

Cooper, J. A., Pilkey, O.H., *Sea level rise and shoreline retreat : time to abandon the Bruun rule*, 2004, Global planetary change, v. 43, issue 3-4 p. 157-171

Déqué et al. 2003, IMFREX ; Impact des changements anthropiques sur la fréquence des phénomènes extrêmes de vent de température et de précipitations ; Rapport final, <http://medias.cnrs.fr/imfrex/web/documents/index>

Garcin M., Desprats J. F., Fontaine M., Pedreros R., Attanayake N., Fernando S., Siriwardana C. H. E. R., De Silva U., Poisson B., 2008, *Integrated approach for coastal hazards and risks in Sri Lanka*, Natural Hazards and Earth Systems science

Grinsted A., Moore Æ J. C., Jevrejeva Æ S. ,Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD, Climate Dynamics, 2009.

Esposito, C., élaboration d'un atlas numérique des zones inondables par submersion marine du littoral sableux du Languedoc Roussillon, X<sup>ème</sup> Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, 14-16 octobre 2008, Sophia Antipolis

Hansen, J. E., Scientific reticence and sea level rise, Environmental research letter 2 (April-June 2007) [http://www.iop.org/EJ/article/1748-9326/2/2/024002/erl7\\_2\\_024002.html](http://www.iop.org/EJ/article/1748-9326/2/2/024002/erl7_2_024002.html)

Krinner, G. and J. Julien (2007): High-resolution simulation of the surface mass balance of Greenland at the end of this century. The Cryosphere Discuss., 1, 351-383.

Le.Cozannet G., Lecacheux.S., Delvallee.E., Desramaut. N. Oliveros.C., Pedreros.R., Influence de la NAO sur le climat de vague dans le Golfe de Gascogne., in Ateliers de modélisation de l'atmosphère 2009 - Toulouse - France - 27-29 janvier 2009

- Lenôtre N., Pedreros R., Impact du changement climatique sur le littoral, revue Géosciences, 2006 ; [http://www2.brgm.fr/Fichiers/revue\\_03/impact.pdf](http://www2.brgm.fr/Fichiers/revue_03/impact.pdf)
- Lenôtre, N., Thierry, P., Blanchin, R. & Brochard, G. 1999 Two comparative levelling methods for demonstrating current vertical movements and their application to Brittany (France). *Tectonophysics*, 301, p. 333-344
- Lombard, 2005, Les variations actuelles du niveau de la mer : observations et causes ; Thèse de doctorat de l'université de Toulouse III.
- Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.-C. Zhao, 2007: **Global Climate Projections**. 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* [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.
- Paskoff, 2001, L'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers, Institut océanographique, ISBN 2-903581-27-4
- Rahmstorf, S., A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise; *Science*, VOL 215, 19<sup>th</sup> January 2007, p. 368, 369
- Roe et Baker, Why is climate sensitivity so unpredictable ?, *Science*, 318, 2007
- Salichon.J., Labrecque.J., Dobson.C., Giardini.D., Takara.K., Fukuoka.H., Casagli.N., Marzocchi.W., Gibson.A., Plag.H.P., Jaxa.C.I., Le.Cozannet.G., Modaresi.H., Hosford.S., Missotten.R., Mc.Manus.K., Marsh.S., Paganini.M., Quick.J., Reeves.H., 2007 *Los Geohazards Theme Report*, BRGM/RP-55739-FR
- Sfez L., Cauquelin, A., attitudes face à l'adaptation au changement climatique : le cas de la camargue, CREDAP, CREDATIC, juin 2006
- Tsimplis, M., Marcos M., Somot M., 2008, 21st century Mediterranean sea level rise: Steric and atmospheric pressure contributions from a regional model, *Global and Planetary Change* Volume: 63 Issue: 2-3 Pages: 105-111
- Ullmann, A., 2008, surcotes dans le golfe du Lion et conditions atmosphériques : variabilité contemporaine et future (1905-2100), thèse de doctorat de l'université Aix-Marseille I.
- Vinchon, C., Aubie S., Balouin Y., Closset L., Garcin M., Idier D., Mallet C., 2008, Anticipate response of climate change on coastal risks at regional scale in Aquitaine and Languedoc-Roussillon (France) *Ocean and Coastal Management*.
- Wang X.L., F.W. Zwiers and V.R. Swail, 2004: North Atlantic ocean wave climate change scenarios for the twenty-first century. *J. Climate*, 17, 2368- 2383.

Wang, X. L. and V. R. Swail 2006: Climate change signal and uncertainty in projections of ocean wave heights, *Clim. Dyn.*, 26, 109-126, doi:10.1007/s00382-005-0080-x.

## **11.2. AUTRES PUBLICATIONS**

Guide national de gestion du trait de côte, CETMEF

German Advisory Council on Global Change, "The future oceans: warming up, rising high, turning sour," (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen Special Report, Berlin, 2006); ([www.wbgu.de/wbgu\\_sn2006\\_en.pdf](http://www.wbgu.de/wbgu_sn2006_en.pdf)).

Bilan de la loi Littoral et des mesures en faveur du littoral. Délégation interministérielle à l'aménagement et à la compétitivité des territoires. Secrétariat général de la mer ; Paris; 2007;127 pages <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/074000695/index.shtml>

Étude de la vulnérabilité des côtes du département de la Manche vis-à-vis des risques d'érosion et de submersion – Etude globale concernant la défense contre la mer (CREC – Université de Caen, 1992)

Êtes vous prêt ? Une guide pour l'adaptation à l'attention des collectivités locales (ONERC, mars 2004)

Impact du changement climatique sur le patrimoine du Conservatoire du Littoral, scénarios d'érosion et de submersion à l'horizon 2100, Clus-Auby C., Paskoff R. Verger F., 2004

Le projet Litto3D, IGN, SHOM, 2004, [http://www.ign.fr/telechargement/P./Publications/litto\\_3D.pdf](http://www.ign.fr/telechargement/P./Publications/litto_3D.pdf)

Livre vert « Adaptation au changement climatique en Europe : les possibilités d'action de l'Union Européenne » (Commission des communautés européennes, Juin 2007)

Shoreline management guide EUROSION A guide to coastal erosion management practices in Europe, juin 2004

Shoreline management plan, Department for Environment, Flood and Rural Affairs (UK) <http://www.defra.gov.uk/Environ/Fcd/guidance/smp.htm>

Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique. La documentation française. (ONERC, 2007)

Surélévation future du niveau de la mer – Conséquences et stratégies dans l'aménagement du littoral (CETMEF, 1992)

Orientations stratégiques pour la gestion de l'érosion en Languedoc-Roussillon (Service Maritime et de la Navigation du Languedoc-Roussillon, Juin 2003)

## **11.3. SITES INTERNET :**

Base de données GASPAR : <http://public.gaspar.ecologie.gouv.fr/>

DISCOBOLE, 2008 : <http://discobole.cetmef.equipement.gouv.fr/discobole/>

EUROSION, 2004 : [www.euroasion.org](http://www.euroasion.org)

IMPLIT – Impact des événements extrêmes (tempêtes et surcotes) sur les hydrosystèmes du littoral méditerranéen dans le cadre du changement climatique :  
<http://medias.obs-mip.fr/implit/>

Indicateurs "emploi" sur le littoral, avec notamment la répartition par secteur d'activité qui donne un cadrage sur les enjeux dans ce domaine pour les communes littorales :  
<http://www.littoral.SOeS.fr/Economie-Emploi.194.0.html>

MOVE, 2008-2010 : <http://www.move-fp7.eu/>

RESPONSE, 2006 : [http://www.coastalwight.gov.uk/RESPONSE\\_webpages/fr\\_response.htm](http://www.coastalwight.gov.uk/RESPONSE_webpages/fr_response.htm)

SCENARIO : <http://www.scenarioproject.eu/>

Site de l'UNISDR (United Nation International Strategy for Disaster Reduction):  
<http://www.unisdr.org/eng/hfa/hfa.htm>

Site de l'Observatoire du Littoral (SOeS): <http://www.littoral.ifen.fr/>

Site de l'Observatoire du littoral de la région Aquitaine : <http://littoral.aquitaine.fr/>

Site « cartorisque » <http://cartorisque.prim.net/>

#### **11.4. BASES DE DONNEES**

BD Topo Pays, descriptif technique, version 1.2, Institut Géographique National, IGN, Mars 2003  
[http://www.ign.fr/telechargement/MPro/produit/BD\\_TOPO/JT\\_Aglo/DT\\_BDTopoPays\\_1\\_2.pdf](http://www.ign.fr/telechargement/MPro/produit/BD_TOPO/JT_Aglo/DT_BDTopoPays_1_2.pdf)

BD ALTI, descriptif technique, Edition 2, Institut Géographique National, IGN, Janvier 1998  
[http://www.ign.fr/telechargement/MPro/produit/BD\\_ALTI/DT\\_BDALTI.pdf](http://www.ign.fr/telechargement/MPro/produit/BD_ALTI/DT_BDALTI.pdf)



## Annexe 1

# Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux

Maître d'ouvrage : CETMEF

Réalisation : CETE Méditerranée, CETE de l'Ouest, CETMEF

Une étude de la vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux piloté par le Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales (CETMEF) est en cours. Elle a pour objectif d'établir une représentation simple des zones vulnérables actuelles en France métropolitaine.

L'étude est liée à l'existence du groupe de travail « Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés » mis en place par le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du territoire » (MEEDDAT) et de l'Observatoire National des Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) dont l'objectif est d'évaluer l'impact du changement climatique et de quantifier les coûts d'adaptation. Le sous-groupe chargé de l'impact du changement climatique sur les risques naturels a mis en évidence le manque d'informations de synthèse sur la vulnérabilité actuelle du territoire national aux risques littoraux (érosion des côtes, chute de falaise, avancées dunaires, submersion marine). Malgré les nombreuses études réalisées à différentes échelles, aucun document ne présente de manière homogène la vulnérabilité des côtes françaises. Cette donnée est cependant nécessaire afin d'évaluer les impacts du changement climatique sur les risques littoraux à l'échelle nationale.

Le CETMEF a donc lancé une étude ayant pour objectifs de recenser les principales études régionales et départementales apportant des éléments sur la vulnérabilité des territoires aux risques littoraux, de définir des méthodes permettant la production d'informations de synthèse sur la quantification de la vulnérabilité du littoral français et d'appliquer ces méthodes afin de disposer d'une synthèse de la vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux actuels.

## 1. Synthèse bibliographique :

La première partie de l'étude a pour objectif de recenser et synthétiser les connaissances sur la vulnérabilité aux risques littoraux le long des côtes françaises. Pour cela, les principales études traitant des risques littoraux ont été recensées. Seules les études concernant un linéaire important ont été retenues afin, d'une part, de limiter le nombre d'études et, d'autre part, de pouvoir bénéficier d'une vision la plus globale possible.

Pour chaque étude retenue une fiche de synthèse a été réalisée (cf. Figure 1). Elle reprend les principales informations concernant l'étude (maître d'ouvrage, maître d'oeuvre, année, secteur, concerné...), recense les thèmes traités et les principaux apports de l'étude. L'intérêt majeur des fiches est de pouvoir prendre connaissance rapidement des principales études et de leurs principaux résultats sur un secteur et d'identifier rapidement les besoins d'études complémentaires.

Des synthèses régionales permettent ensuite une description rapide du fonctionnement littoral et des aléas littoraux de chaque secteur, d'identifier les principaux sites touchés par les risques d'érosion et de submersion marine et de décrire les principales méthodes de protection et stratégies de gestion et de suivi mises en place.

## 2. Définition d'indicateurs de vulnérabilité aux risques littoraux :

Le second objectif de l'étude est de déterminer des méthodes permettant la production d'informations de synthèse sur la vulnérabilité du littoral français aux risques littoraux actuels. Des indicateurs de la vulnérabilité aux risques littoraux ont ainsi été définis à partir des sources de données disponibles.

La base de données GASPARE (Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques naturels et technologiques) réunit des informations sur les documents d'information préventive ou à portée réglementaire comme les Plans de Prévention des Risques Littoraux ou les arrêtés interministériels de « reconnaissance de l'état de catastrophes naturelles ».

Ces derniers sont un indicateur de la vulnérabilité des communes face aux risques naturels. Une méthodologie a été mise au point afin de déterminer le nombre d'événements liés à la mer déclarés catastrophes naturelles par commune sur l'ensemble du territoire français (cf. Figure 2). La principale difficulté réside dans le traitement de la terminologie employée pour la description de l'événement météorologique ayant entraîné un arrêté de reconnaissance de l'état de catastrophes naturelles. Certains intitulés, comme « Tempête », peuvent définir un événement à l'origine de dégâts causés par la mer ou non. Afin de définir au mieux le nombre d'arrêtés liés à l'action de la

Fiche n° BN 3	
<b>Titre</b>	Étude globale concernant la défense contre la mer
<b>Maître d'Ouvrage</b>	Conseil général de la Manche
<b>Maître d'Oeuvre</b>	Centre Régional d'Études Côtières (CREC) – Université de Caen
<b>Auteurs</b>	Levoy F., Lansonneur C.
<b>Année</b>	1994
<b>Type d'ouvrage</b>	Synthèse d'études
<b>Source</b>	CETE
<b>Nombre de pages</b>	115
<b>Région</b>	Basse-Normandie
<b>Départements</b>	Manche
<b>Diffusion</b>	
<b>Disponibilité des données</b>	Papier
<b>Mots-clés</b>	Risques littoraux, politique d'aménagement, évaluation économique, vulnérabilité des côtes, biens menacés, Cotentin.

Thèmes	Manière dont le thème est traité
Aléas → Erosion côtière	++
→ Submersion marine	++
Engins	++
Vulnérabilité	++
Protections	++

Légende	
/	Non Traité
+	Légèrement Traité
++	Traité
+++	Thème principalement Traité

Résumé
Cette étude présentant la défense contre la mer sur la côte Ouest du Cotentin s'est faite en plusieurs phases. Tout d'abord, une description fine des conditions morphologiques et des caractéristiques dynamiques de la zone permet d'apprécier les phénomènes à l'origine du recul de la côte.
Le Cotentin a subi une évolution différente selon les sites. Le linéaire n'est pas menacé partout mais certains lieux présentent néanmoins un retrait jusqu'à près de 200 m en 45 ans.
...
<b>Intérêt par rapport à la vulnérabilité aux risques littoraux</b>
L'étude du milieu naturel permet de mieux comprendre le fonctionnement hydrosédimentaire de la côte Ouest du Cotentin.
Dans cette région, quatre grandes orientations sont retenues. Il s'agit d'arrêter les extractions de sédiments ; de mettre en place des ouvrages longitudinaux de protection dans le cas d'une vulnérabilité immédiate ; des dispositifs actifs de protection, combinant différents types d'aménagements (épis, rechargement de plage, renforcement de cordons dunaires) et des mesures de type réglementaire afin d'éviter l'accroissement de la vulnérabilité des zones côtières.

Fig. 1 : Exemple de fiche bibliographique (réalisation CETE de l'Ouest)



mer, un coefficient a été affecté à chaque arrêté. Ce coefficient a été placé à 0 pour les arrêtés liés à un événement non lié à l'action de la mer et 1 pour ceux liés à l'action de la mer. Lorsqu'il n'a pas été possible de déterminer si l'arrêté était lié à la mer, un coefficient de 0.5 a été affecté. Ainsi, les arrêtés des communes situées sous les niveaux marins centennaux (SHOM-CETMEF, 2008) ou ayant un intitulé non lié à l'action de la mer tel que « Avalanche » ou « Éboulement de terrain » ont été placés à 0. Les arrêtés des communes dont l'intitulé est lié à la mer tel que « Chocs mécaniques liés à l'action des vagues » ont été placés à 1. La somme de ces coefficients permet de déterminer les communes les plus vulnérables. Cette méthodologie permet de visualiser à l'échelle nationale les communes régulièrement affectées par l'action de la mer. Ainsi, la région Languedoc-Roussillon comptait en août 2008 environ 8 400 arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophes naturelles référencés depuis la loi du 13 juillet 1982. Au total, d'après la méthodologie décrite ci-dessus, ce sont 116 arrêtés pris suite à des dégâts causés par l'action de la mer.

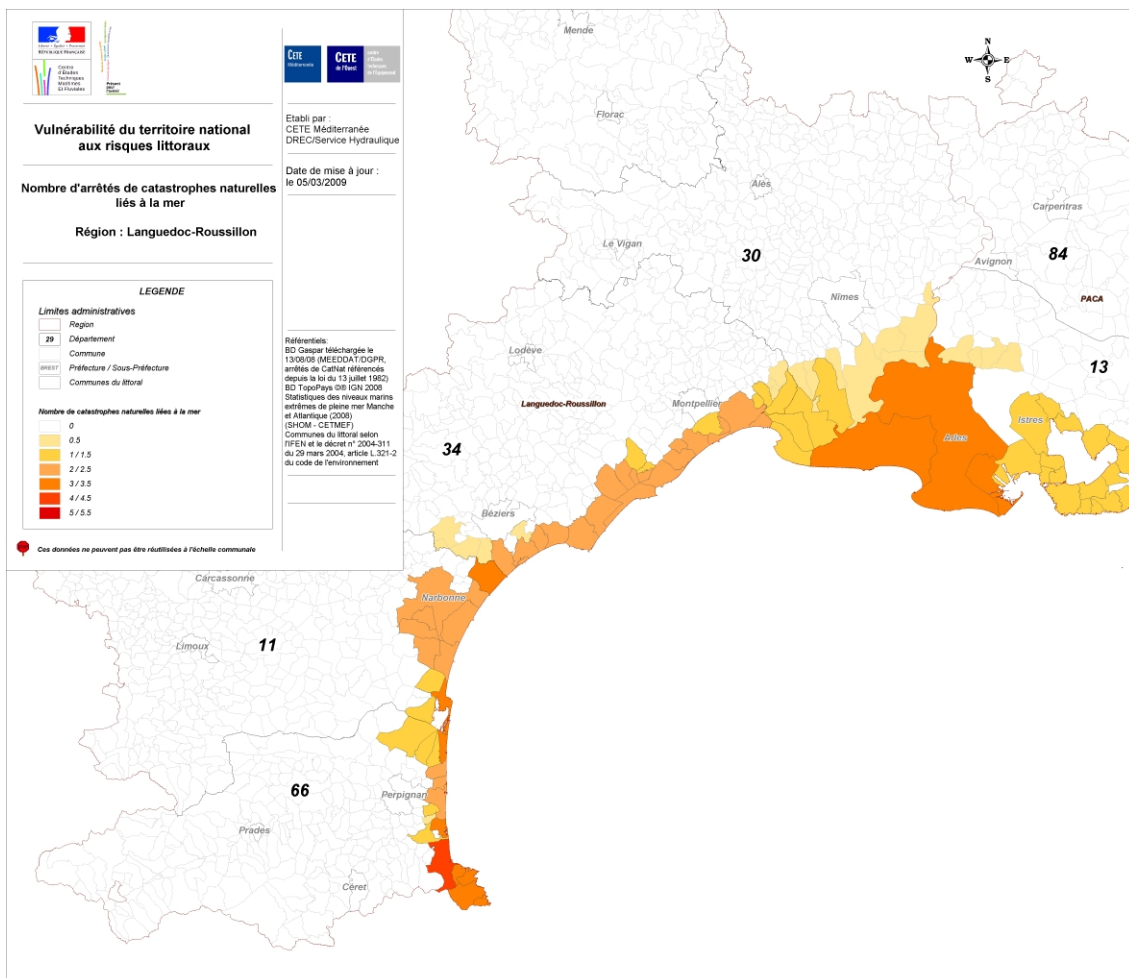


Fig. 2 : Nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles liées à la mer en Languedoc-Roussillon (réalisation CETE Méditerranée)

Les dégâts liés aux submersions marines interviennent sur les zones terrestres basses par rapport aux niveaux marins extrêmes. Une cartographie de ces zones basses est possible après croisement de la topographie à un niveau marin, le niveau marin choisi dans cette étude étant le niveau marin centennal. Une cartographie des zones basses peut ainsi être obtenue d'après les données du Modèle Numérique de Terrain de la BD Topo Pays de l'IGN, des études « Statistiques des niveaux marins extrêmes Manche et Atlantique » (SHOM-CETMEF, 2008) et « Guide d'élaboration des PPR submersion marine en Languedoc-Roussillon » (DIREN LR) (cf. Figure 3).

Un croisement entre les zones basses déterminées et les principaux enjeux, bâti et infrastructures de transport, entreprises SEVESO, sites de production ou de retraitement nucléaires, sites Natura 2000, est également réalisé afin de déterminer les secteurs les plus vulnérables.

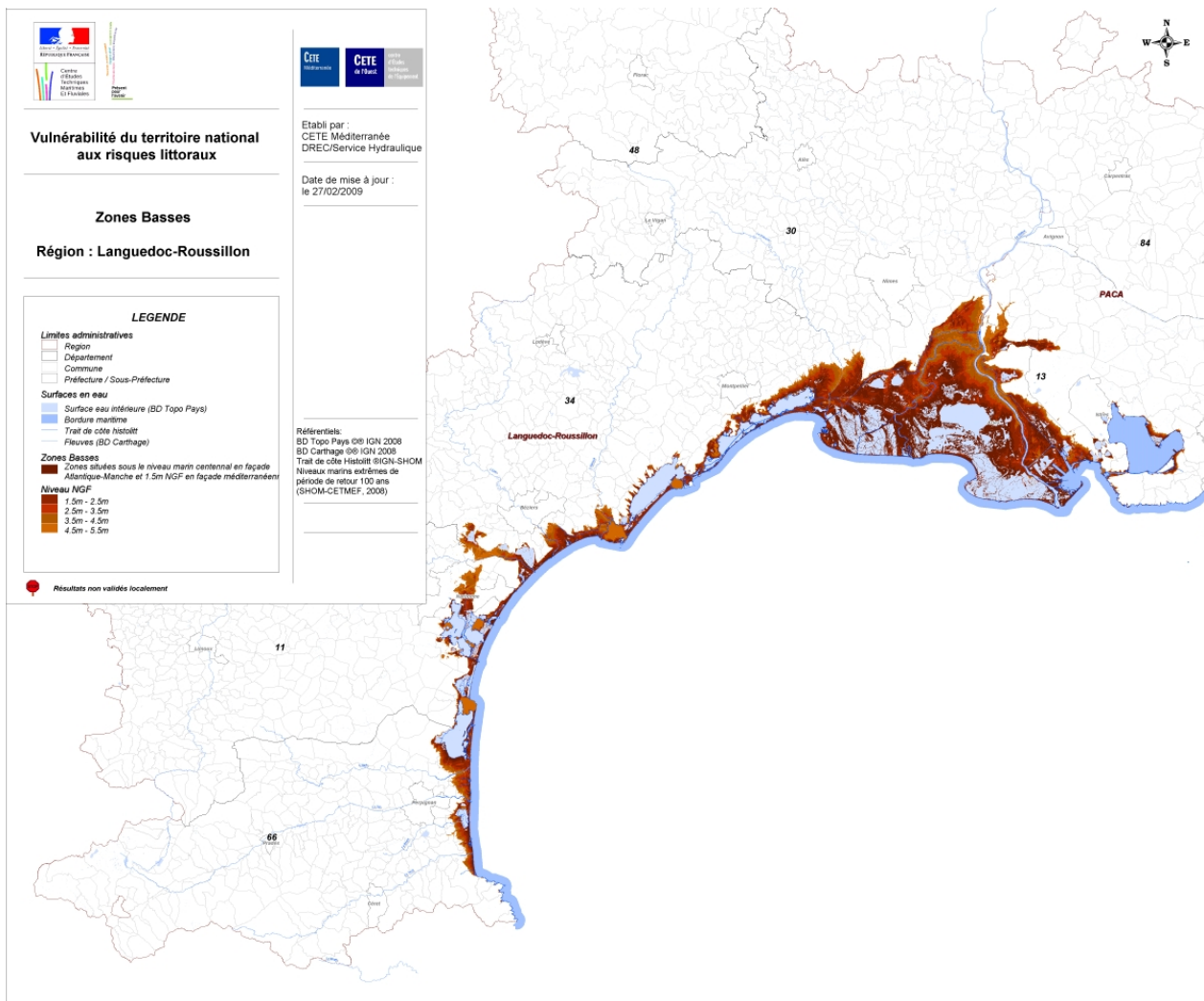


Fig. 3 : Zones basses en Languedoc-Roussillon (réalisation CETE Méditerranée)

Plusieurs indicateurs, dont les principaux sont décrits ci-dessus, ont été déterminés à l'échelle nationale. Il est apparu qu'un indicateur seul ne donnait qu'une image partielle de la vulnérabilité. Une méthodologie de croisement des indicateurs, prenant en compte les enjeux bâtis contenus dans les zones basses et le nombre d'arrêtés de reconnaissance de catastrophes naturelles, a donc été élaborée. Le croisement des différents indicateurs définis permet ainsi la cartographie de la vulnérabilité aux risques littoraux en France métropolitaine.

L'étude de la « Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux » permet donc de synthétiser les principales connaissances existantes, et propose une méthodologie de détermination des principaux secteurs vulnérables aux risques littoraux permettant de recenser les principaux secteurs soumis aux risques actuels et d'estimer l'évolution de la vulnérabilité.

Les résultats de cette étude peuvent être consultés dans le rapport suivant :

Pons, F. ; Roux, I. ; Desire, G. ; Boura, C. ; Perherin, C. ; Roche, A., Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux, CETMEF, 2009.

## Annexe 2 : Statistiques détaillées concernant les enjeux considérés exposés aux risques côtiers en Languedoc Roussillon en 2100

Cette annexe présente des résultats détaillés issus du croisement de la base de données SIRENE avec les différentes couches utilisées pour représenter les différents aléas côtiers étudiés.

Départements	Nombre de professionnels total	ACPS	Agricole	Industrie	Public
11	38 224	16 921	11 009	5 540	4 754
30	59 798	31 256	8 930	11 078	8 534
34	98 634	55 789	13 870	15 168	13 807
66	42 194	22 814	6 680	6 955	5 745
<b>TOTAL</b>	<b>238 850</b>	<b>126 780</b>	<b>40 489</b>	<b>38 741</b>	<b>32 840</b>

*Répartition des enjeux sur les quatre départements de la région Languedoc-Roussillon concernés*

Départements	TCA Total	Nombre d'établissements avec TCA Non renseigné	Effectif Total	Nombre d'établissements avec 0 salarié	Nombre d'établissements avec l'effectif Non renseigné
11	119 368	36 358	118 165	23 298	4 223
30	189 002	56 674	227 839	34 048	6 239
34	346 492	92 875	382 049	55 849	11 643
66	132 751	39 970	150 610	24 985	4 292
<b>TOTAL</b>	<b>787 613</b>	<b>225 877</b>	<b>878 662</b>	<b>138 180</b>	<b>26 397</b>

*Répartition des paramètres économiques sur les quatre départements de la région Languedoc-Roussillon concernés*

Zones	Départements	Nombre de professionnels total	ACPS	Agricole	Industrie	Public
MNT_0	TOTAL	1 787	1 164	189	251	183
MNT_0	% du total LR	1%	1%	0%	1%	1%
MNT_1	TOTAL	9 135	6 545	654	1 087	849
MNT_1	% du total LR	4%	5%	2%	3%	3%
MNT_2	TOTAL	11 912	8 489	918	1 436	1 069
MNT_2	% du total LR	5%	7%	2%	4%	3%
MNT_3	TOTAL	14 935	10 353	1 328	1 852	1 402
MNT_3	% du total LR	6%	8%	3%	5%	4%
MNT_4	TOTAL	18 165	12 340	1 750	2 326	1 749
MNT_4	% du total LR	8%	10%	4%	6%	5%
MNT_5	TOTAL	22 662	14 685	2 528	3 094	2 355
MNT_5	% du total LR	9%	12%	6%	8%	7%
EROSION	TOTAL	6 527	5 011	385	592	539
EROSION	% du total LR	3%	4%	1%	2%	2%

*Nombre et proportion d'établissements dans chacune des couches géographiques*

<b>Zones</b>	<b>Départements</b>	<b>TCA Total Millions €</b>	<b>Effectif Total</b>
<b>MNT_0</b>	<b>TOTAL</b>	7 333	5 879
<b>MNT_0</b>	<b>% du total LR</b>	1%	1%
<b>MNT_1</b>	<b>TOTAL</b>	24 392	24 604
<b>MNT_1</b>	<b>% du total LR</b>	3%	4%
<b>MNT_2</b>	<b>TOTAL</b>	32 431	32 162
<b>MNT_2</b>	<b>% du total LR</b>	4%	5%
<b>MNT_3</b>	<b>TOTAL</b>	41 504	39 770
<b>MNT_3</b>	<b>% du total LR</b>	5%	7%
<b>MNT_4</b>	<b>TOTAL</b>	51 551	51 124
<b>MNT_4</b>	<b>% du total LR</b>	7%	8%
<b>MNT_5</b>	<b>TOTAL</b>	63 193	66 361
<b>MNT_5</b>	<b>% du total LR</b>	8%	10%
<b>EROSION</b>	<b>TOTAL</b>	10 663	14 375
<b>EROSION</b>	<b>% du total LR</b>	1%	3%

*Nombre et proportion des paramètres économiques dans chacune des couches géographiques*

Zones	Départements	Nombre d'établissement avec TCA Non renseigné	Nombre d'établissements avec 0 salarié	Nombre d'établissements avec l'effectif Non renseigné
MNT_0	TOTAL	1 655	975	203
MNT_0	% du total LR	1%	1%	1%
MNT_1	TOTAL	8 610	5 145	1 101
MNT_1	% du total LR	4%	4%	4%
MNT_2	TOTAL	11 215	6 710	1 433
MNT_2	% du total LR	5%	5%	5%
MNT_3	TOTAL	14 073	8 498	1 750
MNT_3	% du total LR	6%	6%	7%
MNT_4	TOTAL	17 091	10 209	2 106
MNT_4	% du total LR	8%	7%	8%
MNT_5	TOTAL	21 347	12 794	2 622
MNT_5	% du total LR	9%	9%	10%
EROSION	TOTAL	6 206	3 800	790
EROSION	% du total LR	3%	3%	3%

*Nombre et proportion des paramètres économiques non renseignés dans chacune des couches géographiques*

## Annexe 3

### Estimation des dommages dus aux submersions marines temporaires

On suppose qu'une submersion marine temporaire en Méditerranée est caractérisée par le niveau marin maximal atteint. On s'intéresse au comportement de la variable  $H$ , « surcote maximale atteinte dans l'année », et notamment à la définition d'une distribution de probabilité adaptée pour cette variable.

On suppose que la probabilité  $F_{ND}(h)$  pour que la variable  $H$  ne dépasse pas la valeur  $h$  s'exprime comme suit :

$$F_{ND}(h)=1-10^{-h/h_0}=1-1/T_H(h)$$

où  $h_0=1\text{m}$ , et  $T_H(h)$  est la période de retour, soit l'intervalle de temps moyen séparant 2 années où le maximum est supérieur à  $h$ .

On a :

$$F_{ND}(1)=0,9=1-1/10$$

$$F_{ND}(2)=0,99=1-1/100$$

La forme de cette fonction a été retenue en réunion du groupe technique « risques côtiers » en raison de sa simplicité. Elle s'appuie également sur l'hypothèse qu'un niveau marin décennal en Région Languedoc-Roussillon est généralement de l'ordre d'un mètre, tandis que la centennale monte à deux mètres. Cette hypothèse est étayée par le choix du niveau marin de deux mètres dans le cas des PPRL en Languedoc-Roussillon, sensés se baser sur l'événement centennal.

#### **1. Bande cotiere comprise entre 0 et 1 m NGF**

On suppose que le nombre de foyers  $F(H)$  touchés par l'événement de hauteur  $H$  est de la forme :

$$F(H) = Q \cdot H / H_0$$

avec  $Q$  le nombre total de foyers dans cette bande et  $H_0=1\text{mètre}$ .

**Si  $H = 0$ , pas de surcote et pas de foyer sinistré, et si  $H = H_0$ , la submersion affecte toute la zone et touche l'ensemble des habitations. Cette hypothèse revient à dire que les habitations sont réparties de manière homogène dans la zone  $[0-1\text{m}]$ .**



Compte-tenu de cette hypothèse, le nombre moyen de foyers touchés par an dans la zone [0-1m] peut être défini comme l'espérance de  $H/H_0$  sur l'intervalle [0,1] que multiplie Q, soit :

$$0,29*Q$$

## **2. Bande côtière comprise entre 1 et 2 m NGF**

On suppose que le nombre de foyers  $F(H)$  touchés par l'événement de hauteur H est de la forme :

$$F(H) = Q*(H-H_0)/H_0$$

Compte-tenu de cette hypothèse, le nombre moyen de foyers touchés par an dans la zone [1-2m] peut être défini comme l'espérance de  $(H-H_0)/H_0$  sur l'intervalle [1,2] que multiplie Q, soit :

$$0,029*Q$$

Les deux formules obtenues, pour les zones [0,1] et [1,2], sont donc celles à appliquer dans le cas présent. Pour transposer ces formules dans le cadre du changement climatique et d'une montée d'un mètre du niveau de l'eau, il suffit d'appliquer le coefficient de la zone [0,1] à la zone [1,2], et le coefficient de la zone [1,2] à la zone [2,3].











**Centre scientifique et technique  
Service ARN**

3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34