

# DEBAT PUBLIC

du 3 mars au 3 juillet 2009



ALGERIE—ARABIE SAOUDITE—AUTRICHE—BELGIQUE—BULGARIE—CANADA—CHYPRE—CROATIE—DANEMARK—ESPAGNE—ESTONIE—FINLANDE—FRANCE—ALLEMAGNE—GRÈCE—IRLANDE—ISRAËL—ITALIE—JAPON—CORÉE DU SUD—LITHUANIE—LUXEMBOURG—MAGYARORZSÁG—MALTE—MEXIQUE—NETHERLANDE—NORVÈGE—PAYS-BAS—POLYNEésie FRANÇAISE—PORTUGAL—ROUMANIE—ROYAUME-UNI—SLOVAQUIE—SLOVÉNIE—ESPAGNE—SUISSE—TAÏWAN—TCHÉCOSLOVAQUIE—TURQUIE—URUGUAY—ÉTATS-UNIS—VENEZUELE

LISBOA—SALAMANCA—MADRID—BARCELONA—NARBONNE—MARSEILLE—VILNIUS—LYON—MILANO—BERN—STRASBOURG

LONDON SAINT PANCRAS—DUBLIN HEUSTON STATION—PRAHA HLAVNI NADRAZY—ROMA TERMINI—VENEZIA SANTA LUCIA—GARE DE LYON—MADRID ATOCHA

BERLIN HAUPTBAHNHOF—LONDON SAINT PANCRAS—DUBLIN HEUSTON STATION—PRAHA HLAVNI NADRAZY—ROMA TERMINI—VENEZIA SANTA LUCIA—GARE DE LYON—MADRID ATOCHA—LISBOA SANTA APOLONIA—KIFJHOEK—WOIPPY—MASCHEN—VALENTON—PORT DE DUNKERQUE

—ESPAÑA—POLSKA—FRANCE—ÖSTERREICH—IRELAND—NEDERLAND—ITALIA—MALTA—KYPROS—MAGYARORSZÁG—LATVIA

BERLIN HAUPTBAHNHOF—LONDON SAINT PANCRAS—DUBLIN HEUSTON STATION—PRAHA HLAVNI NADRAZY—ROMA TERMINI—VENEZIA SANTA LUCIA—GARE DE LYON—MADRID ATOCHA—LISBOA SANTA APOLONIA—KIFJHOEK—WOIPPY—MASCHEN—VALENTON—PORT DE DUNKERQUE

## Etude complémentaire n°4

Evaluation des incidences du réchauffement climatique  
sur l'infrastructure ferroviaire existante  
entre Montpellier et Perpignan





Cette étude a été réalisée dans le cadre des pré-études fonctionnelles du projet de Ligne Nouvelle Montpellier Perpignan.

Les auteurs sont :

**Michel MOUSEL**, expert indépendant, ancien président de l'ADEME (1992-1994), ancien dirigeant de la Mission Interministérielle de l'Effet de Serre (1997-2002) et ancien président du Comité français pour le sommet mondial du Développement Durable de Johannesburg (2002)

**Daphné de FELIGONDE**, de l'association 4D

***Risque = enjeu x aléa x vulnérabilité***

Principe fondateur de la cindynique

## **1 - L'enjeu : une infrastructure d'avant le changement climatique, demain au cœur des réponses à lui apporter**

Atténuation globale et locale  
Adaptation locale au réchauffement global  
Une voie, la mer, les étangs, des plaines inondables, un territoire

## **2 - La prospective des aléas climatiques : les réponses apportées par le GIEC**

Que nous apprend le GIEC sur l'évolution du niveau des mers ?  
Quel lien de causalité le GIEC fait-il apparaître entre élévation du niveau des mers et réchauffement de l'atmosphère ?  
Comment s'articulent les impacts du changement climatique ?  
Comment se situe le bassin méditerranéen en regard de ces visions de l'avenir ?

## **3 – Aléas futurs pour la plaine littorale des trois départements (Aude, Hérault, Pyrénées Orientales)**

Le contexte général  
Evolution du niveau permanent de la Méditerranée sur les côtes françaises  
Les évolutions météorologiques  
Les conséquences pour la côte

## **4 – Vulnérabilité de la ligne par secteur géographique**

Du Bassin versant « Lez-Mosson » à Sète  
Lido de Sète et Etang de Thau  
De l'Hérault à l'Orb  
Les basses plaines de l'Aude  
Les étangs de la Narbonnaise  
Le Roussillon

## **5 – Pistes pour la gestion des aléas**

Synthèse  
Recherche

## **Annexe méthodologique et technique**

**Abréviations et sigles**  
**Documentation**

## **L'enjeu : une infrastructure d'avant le changement climatique, demain au cœur des réponses à lui apporter**

Les territoires les plus vulnérables au changement climatique ne sont pas nécessairement ceux qui y contribuent le plus, et réciproquement. Cette dualité spatiale ainsi que la désynchronisation des causes et des effets – le retard de la perception des conséquences par rapport au fait générateur – sont des handicaps majeurs à une réactivité à la fois planétaire et rapide, et elles appellent d'autant plus l'efficacité des systèmes de gouvernance.

Sans pouvoir être comparée à des situations configurations géographiques où ce paradoxe territorial est poussé à l'extrême, la région Languedoc-Roussillon l'illustre toutefois à sa façon.

Elle participe aux émissions de gaz à effet de serre d'une nation qui, comme la moyenne de tous les pays industrialisés, en rejette par habitant de l'ordre de quatre fois ce qui serait compatible avec un retour à la stabilité de la température à la surface du globe – ce qui en dépit de la remarque suivante ne saurait donc l'exonérer de toute participation à l'action pour ce retour ; elle contribue cependant à l'effet de serre proportionnellement moins que d'autres régions (3 % du total national) : deux facteurs propres à la région ont jusqu'à présent atténué l'intensité des émissions de la région, son climat peu exigeant en chauffage domestique, et sa relativement faible industrialisation<sup>8</sup>.

Le contraste est donc frappant si l'on considère sa vulnérabilité au changement climatique, vulnérabilité potentielle mais dont les signes commencent nettement à apparaître sous la forme de températures estivales, d'aridité, de modifications de la flore et de la faune terrestres et maritimes, de menaces sur le trait de côte pour ne prendre que ceux dont la liaison avec le climat est la plus établie. Cette exposition aux risques est en rapport avec le changement climatique *global*, et, si elle ne doit rien au contexte *local* d'émissions de gaz à effet de serre, elle procède en revanche aussi d'éléments locaux qui contribuent à sa vulnérabilité, comme l'évolution de la démographie et des concentrations de population sur la bande littorale dont près du tiers de la superficie est inondable et 40 communes sont submersibles.

---

<sup>8</sup> Profil environnemental régional. Diren Languedoc-Roussillon. 2006.

Pourtant les deux ordres de préoccupation – contribution au changement climatique, impacts négatifs de celui-ci - tendent maintenant à converger vers le haut, dans un face à face qui va faire surgir de nouveaux problèmes de stratégie territoriale, de choix à opérer et de contradictions à surmonter, particulièrement en matière d'habitats et de mobilité.

C'est en effet de ce dernier domaine, - partout central en matière d'effet de serre - que l'on voit apparaître les sources d'une plus forte contribution de la Région au changement climatique, faisant passer au second plan les deux avantages dont elle pouvait disposer au regard de la moyenne des territoires<sup>9</sup>. Or on est ici au cœur de questions d'ordre démographique, culturel, comportemental, urbanistique (rôle de la périurbanisation) et économique (pour ce qui concerne notamment l'offre de services).

La densité de population de la Région est certes moyenne (90 ha/m<sup>2</sup>) mais il faut considérer surtout la densité de la plaine littorale (218 ha/m<sup>2</sup> en 2000) qui s'étend sur 230Km où se concentrent les 2/3 de la population avec un « chapelet » de villes : Nîmes, Lunel, Montpellier, Sète et la communauté du Bassin de Thau, Agde, Béziers, Narbonne et le littoral de la Narbonnaise, Perpignan, et l'apparition de conurbations : la population vivant aujourd'hui dans les aires urbaines du littoral atteint un million cinq cent mille habitants.

Cet ensemble est desservi par un réseau routier dont l'épine dorsale est constituée par les voies parallèles que sont l'A9 et l'axe N9-N113, couloirs de circulation extrêmement sollicités et où se concentrent les émissions de CO<sub>2</sub> de la région. Déplacements de la population locale et grandes migrations touristiques, avec une population saisonnière d'autant plus captive de l'automobile qu'elle ressent une absence d'alternative dans l'offre, sans compter la représentation courante des vacances indissociables d'une voiture au rôle multifonctionnel ; trafic fret international également dont c'est l'un des plus importants axes. Les travaux de prospective, ceux notamment conduits dans le cadre du PREDIT<sup>10</sup> montrent la tendance à l'« hypermobilité » dans tous ces domaines.

Quant à la troisième voie, celle du chemin de fer, elle n'assure que 10 % des transports régionaux de personnes<sup>11</sup>, malgré les efforts consentis pour le TER et face à des menaces de saturation qui les limitent, et il ne faut probablement pas attendre de la ligne nouvelle qu'elle se substitue à toutes les fonctions. **La capacité d'absorption de trafic par le rail devient donc un enjeu majeur de la capacité de la Région à participer à l'« atténuation » des émissions de gaz à effet de serre.**

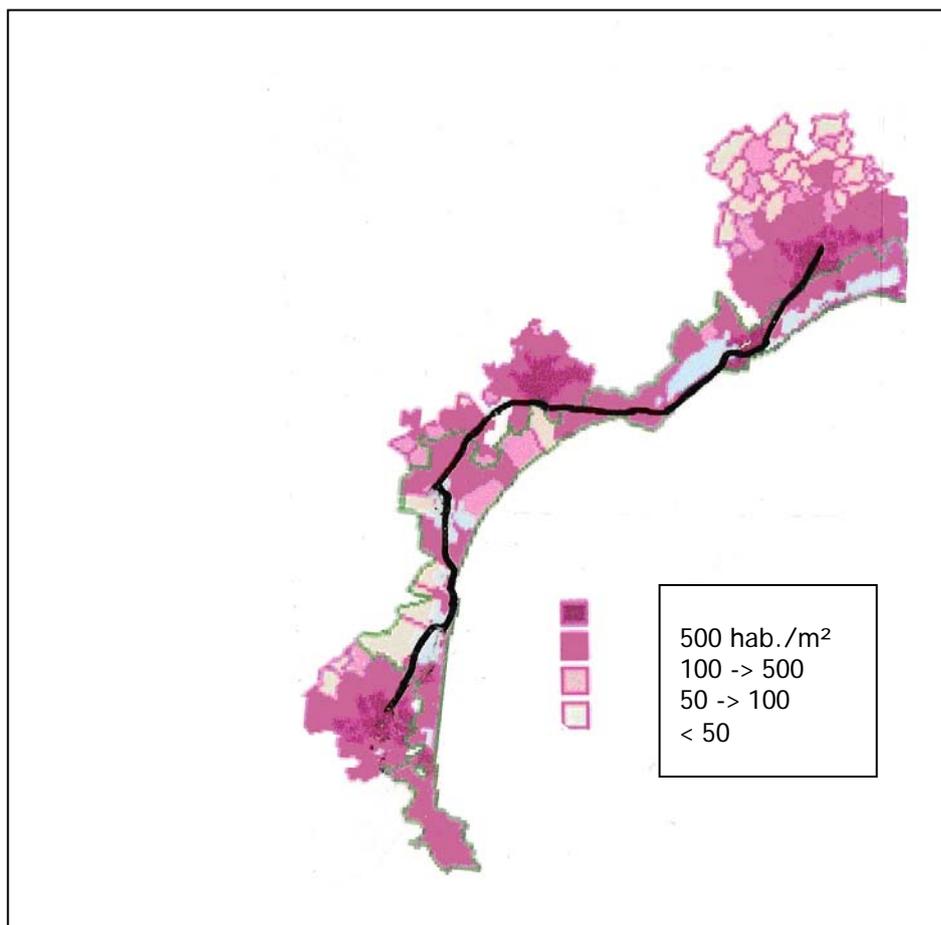
---

<sup>9</sup>. A supposer que le danger d'un cercle vicieux lié à une généralisation mal maîtrisée de la climatisation comme réponse à l'élévation des températures soit efficacement conjuré.

<sup>10</sup> source INSEE.

<sup>10</sup> Programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres (groupe 11 notamment).

## Densité du littoral autour de l'axe ferroviaire



Source : INSEE

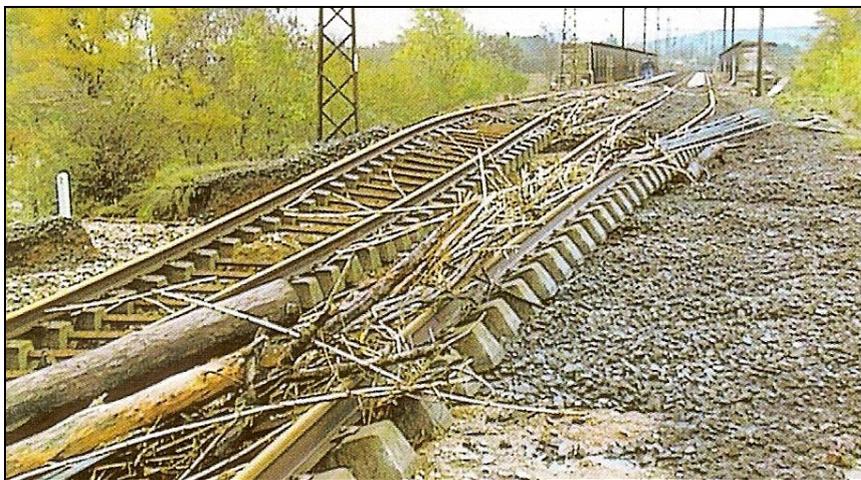
## Adaptation locale au changement global

Or, simultanément, les impacts prévisibles croissants du changement climatique vont concerner tout particulièrement les infrastructures de transport (en même temps que les villes, l'agriculture de plaine, les sites touristiques). Jusqu'à présent la Région n'était certes pas épargnée, surtout par les inondations eaux continentales dont la chronique fut souvent spectaculaire et parfois meurtrière, y compris dans les trois départements directement concernés par ce rapport.

« Des épisodes de plusieurs mois sans précipitations sont assez fréquents, provoquant

des sécheresses d'été ou d'hiver auxquelles l'homme a su s'adapter (prépondérance de la culture de la vigne, ressource pour l'eau potable issue des nappes souterraines...). À l'opposé, des précipitations dites diluviennes, de très fortes intensités (100 mm en quelques heures ou plus de 200 mm en 24 heures) mais souvent assez localisées surviennent chaque année en plusieurs endroits de la région. (...)Aucun secteur géographique n'est à l'abri de ce type d'aléa. »<sup>12</sup>

Ni aucune infrastructure : le réseau routier en a souvent souffert, mais le réseau ferroviaire aussi. Rien ne permet de penser que cette fragilité historique<sup>13</sup> de la météo et du régime hydrique de la Région aurait des chances de s'atténuer avec le changement global, sous prétexte de l'augmentation de la sécheresse des sols – bien réelle par ailleurs<sup>14</sup> ; bien au contraire, si les experts du GIEC reconnaissent une forte incertitude sur le risque d'une augmentation des événements extrêmes en Europe en général, ils font une exception pour la bordure Nord de la Méditerranée qu'ils pointent comme menacée au même titre que les régions du monde concernées par les épisodes météorologiques violents qu'ils considèrent très probablement en accroissement (ce qui ne veut pas dire : avec la même intensité ). De ce fait la baisse annoncée des précipitations en moyenne annuelle dans le Sud européen n'aurait pas pour effet de réduire les risques liés au régime hydrique. Ainsi en est-il de l'assèchement des sols, qui contribue déjà à l'aggravation des impacts des orages d'automne. « La réactivité des bassins versants en régime méditerranéen s'exprime par des crues subites. Quelques heures séparent l'apparition des pluies intenses et la montée de l'eau dans la rivière. Cette montée peut atteindre un mètre par heure ! »<sup>15</sup>



Revue Générale des Chemins de Fer - mai 2000

*Un exemple : au Nord-Ouest de Narbonne, quelques kilomètres après avoir quitté l'artère qui nous intéresse – dans une configuration qui lui est tout à fait comparable - , la voie ferrée vers Carcassonne traverse la plaine alluviale de l'Orbieu sur un remblai qui peut atteindre jusqu'à 6 mètres. Lors de la tempête*

<sup>12</sup> Les régimes hydrologiques des cours d'eau en Languedoc-Roussillon  
DIREN Languedoc-Roussillon

<sup>13</sup> Des séries chronologiques de tempêtes et inondations remontant jusqu'au 14<sup>ème</sup> siècle avec des fréquences élevées ont été établies par BRL.

<sup>14</sup> La Région pourrait être la plus concernée en France par l'élévation des températures et la sécheresse (voir p. 29 – 30.

<sup>15</sup> DIREN, ibid.

*des 11 au 13 novembre 1999, le remblai a été emporté, la voie affouillée et retournée, les installations caténaïres arrachées ; la locomotive d'un train de fret a déraillé et la submersion a même atteint le niveau de la voie sur le viaduc de l'Orbieu. La circulation des trains a été interrompue 14 jours. La même tempête, vue du côté maritime, a provoqué une surcote du niveau de la mer de 1,30 mètre (à Port-Vendres), et une houle significative de 6 mètres (à Sète).*

Or, symétriquement (par rapport à l'axe de la bande littoral), vient s'ajouter aux aléas d'origine continentale l'accélération de l'élévation du niveau de la mer désormais identifiée par la communauté scientifique comme rattachable au réchauffement global. « Les littoraux à lagunes sont caractérisés par des cordons de sable ou de galets qui isolent la mer des plans d'eau à salinité variable. L'élévation du niveau de la mer est à l'origine d'une migration, en direction de la terre, de ces cordons. Lors des tempêtes, les vagues de débordement les font rouler sur eux-mêmes, en même temps qu'ils s'amincissent et se tronçonnent. Le résultat d'ensemble est une maritimisation accrue des lagunes.<sup>16</sup> »<sup>17</sup>

On ne saurait ignorer non plus que les formes d'urbanisation de la bande littorale, actives et pas toujours maîtrisées, ont fragilisé les réseaux souterrains en les exposant à des risques tant d'intrusion marine que de pollutions, qui à leur tour peuvent avoir des répercussions à la surface du sol. **Souvent les problèmes d'adaptation au changement climatique sont révélateurs de vulnérabilités préexistantes, et l'opportunité comme la nécessité d'y apporter des remèdes.**

Une voie, la mer, les étangs,  
des plaines inondables, un territoire

La ligne Montpellier – Perpignan se trouve précisément au centre de cet univers soumis à une dynamique hydrique complexe sur la plus grande partie de son parcours. Sur les 170 kilomètres de son parcours, 110 sont aujourd'hui dans une zone soumise à des aléas du type de ceux qui viennent d'être évoqués (cf. carte page 11).

Elle participe aussi elle-même au système qui en résulte dans la mesure où le remblai qui lui sert d'assise dans les terrains les plus bas de son parcours, et au bord des plans d'eau, joue un rôle dans la séparation des espaces ou leur capacité à communiquer entre eux, dans le confinement des écosystèmes ou la continuité des chaînes biologiques, etc.

---

<sup>16</sup> Roland PASKOFF. Le changement climatique, l'élévation de la mer et les espaces côtiers : synthèse et perspectives. In « Le changement climatique et les espaces côtiers », MIES, 2001 (rapport du colloque éponyme tenu en Arles).

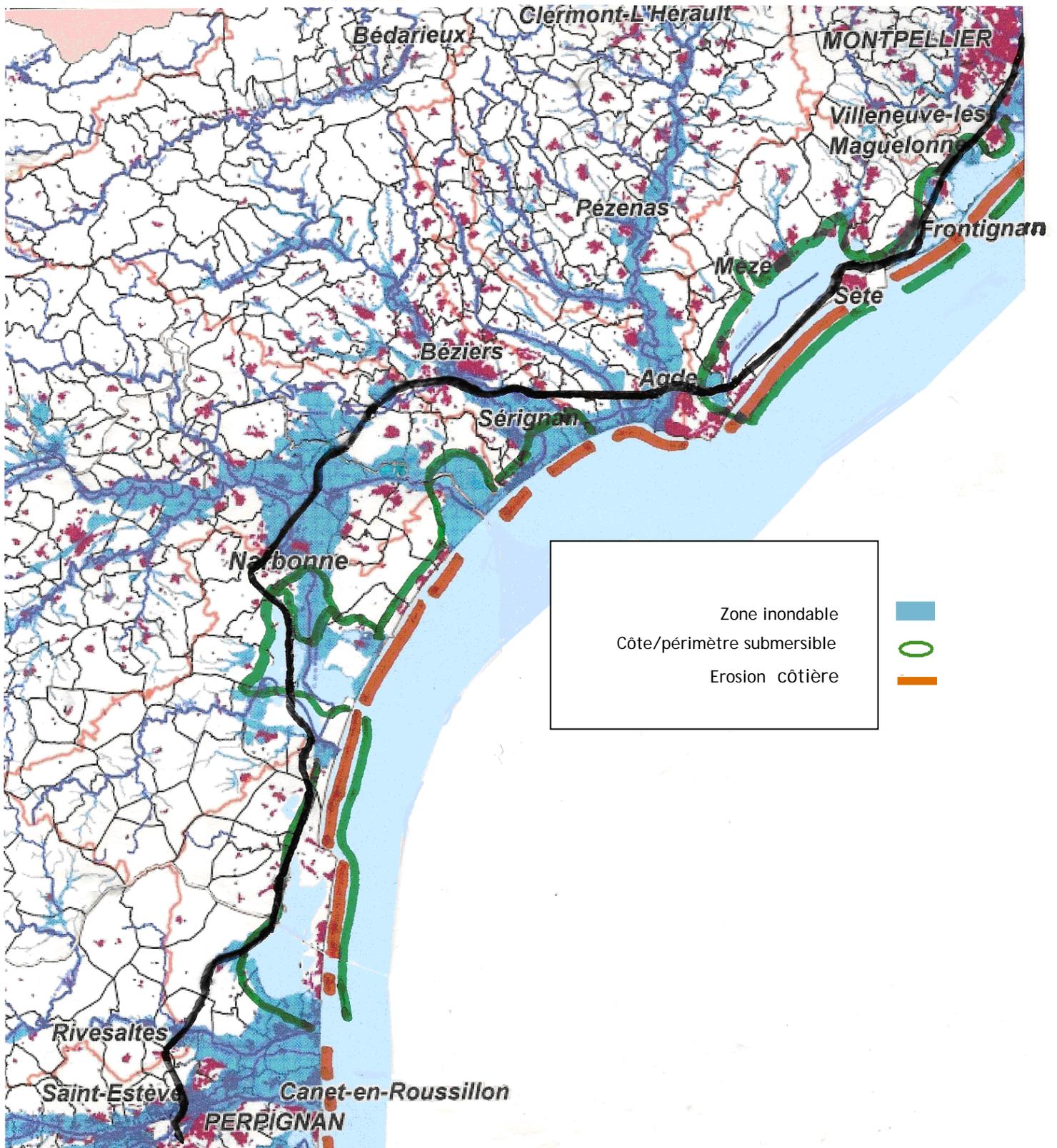
<sup>17</sup> Depuis une vingtaine d'années les connaissances sur les questions d'ordre hydrogéologique de cette côte ont progressé, du fait notamment de programmes européens. Une synthèse vient d'en être faite, accompagnée de liens avec les aspects socio-économiques, par le BRGM dans le cadre du projet européen RESPONSE (C. VINCUON, E. MARTIN, Y. BALOUIN et alii) auquel ce rapport fera plusieurs fois référence (cf Documentation).

Elle peut même alors être amenée à jouer le rôle de digue lorsque le remblai est susceptible de faire obstacle à la progression de la mer à l'intérieur des terres. Le déplacement vers l'intérieur du trait de côte par érosion ou submersion permanente est donc susceptible de l'exposer elle-même à des aléas dont elle avait été jusqu'alors généralement protégée.

Cette ligne a été ouverte au service dès 1839 (ce fut donc l'une des toutes premières en France) pour la section Montpellier Sète, l'une des plus exposées, et en 1857/1858 pour les autres, donc à une époque plutôt stable du niveau de la mer et du trait de côte, et où il ne paraissait sans doute pas risqué de côtoyer le front de mer, et où l'on pouvait probablement traiter de la constitution d'une plate-forme ferroviaire dans des termes analogues à ceux d'une digue fluviale non destinée à une trop forte sollicitation.. Aujourd'hui, les diverses variantes du projet de ligne à grande vitesse prennent une beaucoup plus grande distance à l'égard des zones à risques ou, si elles se rapprochent de la ligne existante comme dans le littoral bitterrois, ce n'est pas dans le secteur où se présente la plus importante conjonction d'aléas, sauf peut-être à hauteur de l'intersection des lignes ancienne et nouvelle au sud-ouest de Montpellier. Mais la ligne nouvelle peut-elle être appelée à se substituer à toutes les fonctionnalités de cet axe (transit fret de et vers l'Espagne, TGV sud-européen, fret régional, desserte « grandes lignes » vers le nord, le sud-ouest et le sud-ouest, relations inter-villes de la bordure méditerranéenne, desserte de type TER du « chapelet urbain », lui-même probablement confronté dans nombre de cas aux mêmes aléas)? Ou bien un partage de ces fonctionnalités est-il envisageable, compte tenu notamment des contraintes qui vont s'exercer sur l'ancienne infrastructure ?

Page suivante :

*ligne Montpellier Perpignan dans son environnement hydrologique.*



Sources : DIREN Languedoc-Roussillon / BRGM (Response)/Auteurs

En tout cas, la question ne peut être esquivée.

Ni dans le rôle que cette desserte ferroviaire peut être amenée à jouer dans un plan d'ensemble. Puisque « la question des transports se pose avec acuité qu'il s'agisse, d'une part, de la saturation des grandes infrastructures de niveau européen ou national qui doit trouver des solutions notamment par le développement de l'intermodalité ou, d'autre part, de l'organisation des territoires qui dépend en grande partie de l'établissement de plans de déplacements urbains et interurbains. La mise en oeuvre de ces orientations stratégiques doit prendre en compte le réchauffement climatique. En effet, si ce n'était pas le cas, celui-ci serait demain un amplificateur des désordres annoncés ». <sup>18</sup>

Ni dans son exposition aux risques des mêmes changements climatiques. La commande passée par Réseau Ferré de France vise à les mettre en lumière. .

Cela implique d'abord de bien interpréter et traduire dans le contexte régional la logique suivie par le GIEC dans sa modélisation de l'avenir et des aléas qu'elle conduit à mettre en exergue. Mais cela implique dans le même temps une forte intégration de la stratégie double « atténuation-adaptation » aux stratégies de développement durable territoriales.

---

<sup>18</sup> Agropolis.

## La prospective des aléas climatiques : les réponses apportées par le GIEC

L'exposition des côtes et des littoraux océaniques et maritimes de tous les pays constitue certainement l'une des connaissances les plus vulgarisées sur les conséquences du changement climatique. Le sort des petites îles de basse altitude a beaucoup contribué, dans les années 90, à faire connaître l'existence du problème, celui des populations installées dans des régions submersibles a également donné l'alarme, et le cyclone Katrina a donné la mesure des possibles événements extrêmes aggravés par des masses d'eau subissant le réchauffement.

L'élévation, et de la température, et de la hauteur des mers, est un sujet qui a donc été pris en charge d'emblée par le GIEC, qui est désormais la source de diffusion des savoirs communs à toute la planète dans cette matière par nature commune à toute l'humanité. C'est à cette source qu'il faut d'abord se référer sans pour autant prétendre lui faire dire la totalité de ce qui est à connaître, dans l'espace, ou dans le temps, ou dans l'état de la science.

On rappelle que le GIEC ([Groupe intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat – IPCC pour son acronyme anglais] est chargé depuis 1988 d'expertiser l'information scientifique, technique et socioéconomique qui concerne le changement climatique provoqué par l'homme. Il est co-piloté par l'Organisation Météorologique Mondiale et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement. Ses trois premiers rapports (le troisième date de 2001), qui résultent des échanges entre scientifiques et représentants des pays, ont rythmé la prise de conscience mondiale du problème et les efforts pour mettre sur pied une régulation internationale des politiques à l'égard des émissions de gaz à effet de serre [GES] dans le cadre de la Convention des Nations Unies sur le changement climatique (qui inclut le Protocole de Kyoto). Le quatrième Rapport [en abrégé AR4], établi au cours de l'année 2007 et plus vulgarisé qu'auparavant par les médias, a dans un premier temps fait le point sur l'état des bases scientifiques physiques permettant d'explorer l'avenir.<sup>19</sup>

On se propose ici de résumer les connaissances que nous apporte le GIEC (et les limites de celles-ci) sur le sujet qui nous occupe, en commençant par la question à l'origine de cette étude.

---

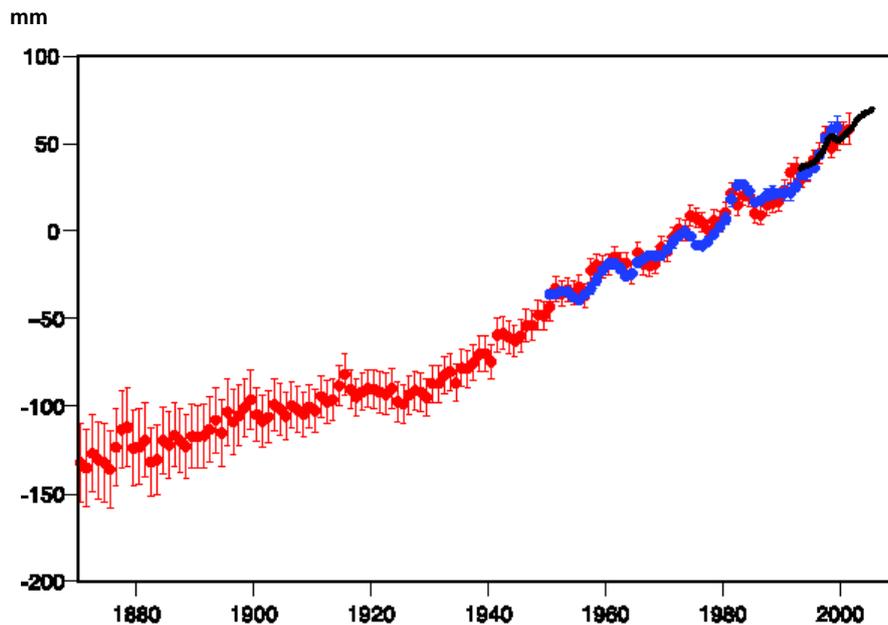
<sup>19</sup> Cf Michel MOUSEL, « Encyclopédie du Développement Durable », article 2114 – février 2007.

## Que nous apprend le GIEC sur l'évolution du niveau des mers ?

Déjà mise en évidence dans les deux précédents rapports, l'observation du phénomène a été confirmée, et sa prolongation au cours du 21<sup>ème</sup> siècle fait consensus, moyennant des fourchettes d'estimation assez ouvertes. .

**1 - Le passé.** Le niveau moyen de la mer s'est élevé de 0,25 mètre depuis l'ère préindustrielle et son augmentation depuis lors a connu deux phases d'accélération. Une première inflexion s'est produite vers la fin de la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle. Une seconde sur le dernier quart de celui-ci, atteignant une augmentation moyenne de 3,1 mm par an (maximum 3,8) depuis 1993 (1,7 sur toute la durée du 20<sup>ème</sup> siècle), sans que l'on puisse encore discerner avec certitude s'il s'agit d'une variation décennale ou d'une amplification marquée de la tendance à moyen et long terme. Les mesures altimétriques effectuées par les satellites TOPEX/Poséidon, puis Jason depuis le début de cette décennie permettent des observations plus précises et de tenir compte des nombreux effets de variation dans l'espace ou dans le temps que connaissent les océans et les mers grâce à leur couverture et leur technologie, mais elles ne démentent pas les tendances obtenues auparavant par les marégraphes.

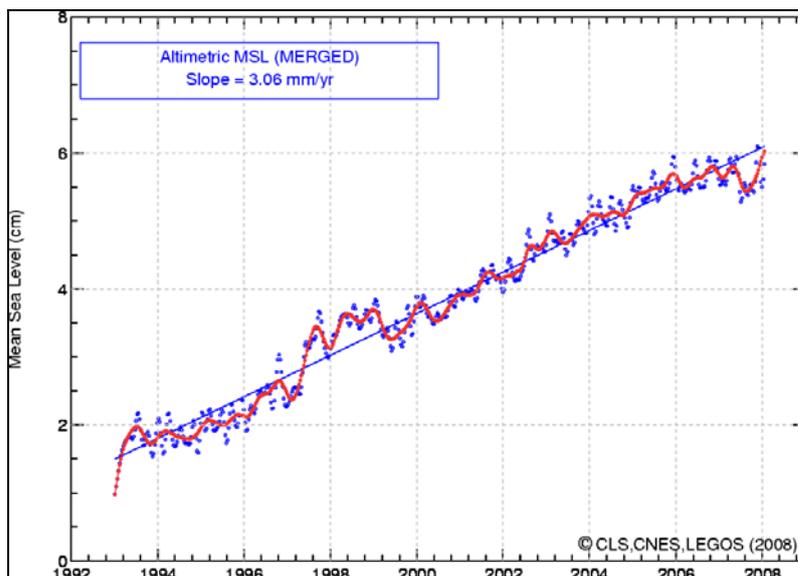
### élévation du niveau moyen des océans



Source : GIEC AR4 Technical summary

*Les courbes rouge et bleue correspondent à deux époques de travaux scientifiques de reconstitution (il n'y a pas de statistiques globales avant 1870), et de collecte des données marégraphiques. La courbe noire donne le résultat des mesures altimétriques satellitaires, reproduites ci-dessous.*

## élévation du niveau des océans (satellites, depuis 1993)



L'élévation du niveau marin depuis les années 90 vue par les satellites s'est encore accélérée au passage d'un siècle à l'autre (3,06 mm par an)

**2. - Pour le 21<sup>ème</sup> siècle**, le GIEC s'accorde à prévoir une poursuite de l'élévation du niveau, prenant en compte l'accélération récente, quoique avec des écarts assez significatifs : entre 2 et 6 mm par an pour les résultats donnés en moyenne par les modèles qu'il utilise, et surtout les scénarios auxquels il se réfère. Car il ne s'agit pas de simples extrapolations, mais de modélisations réalisées sous diverses hypothèses d'évolution du monde, et fondées sur une analyse des causes qui met en lumière le rôle du réchauffement climatique (cf Annexe Technique).

### Quel lien de causalité le GIEC fait-il apparaître entre élévation du niveau des mers et réchauffement de l'atmosphère ?

Le GIEC a rassemblé les éléments permettant d'établir les éléments de causalité établissant la liaison entre les deux phénomènes. Le premier est *la dilatation de la masse d'eau sous l'effet de son réchauffement*. « Les observations depuis 1961 montrent que la température moyenne de l'océan mondial a crû jusqu'à des profondeurs d'au moins 3 000 m et que l'océan a absorbé plus de 80 % de la chaleur ajoutée au système climatique. Un tel réchauffement provoque une expansion de l'eau de mer, contribuant à l'augmentation du niveau de la mer<sup>20</sup> ». On constate un triplement de la vitesse de réchauffement à nouveau à partir de 1993 (tableau ci-dessous).

Les autres phénomènes identifiés sont également tous en rapport avec l'effet du réchauffement sur les glaces continentales, glaciers de montagne ou polaires, fonte des calottes glaciaires et de celle du Groenland, sujets sur lesquels les connaissances étaient jugées encore insuffisantes il y a quelques années.

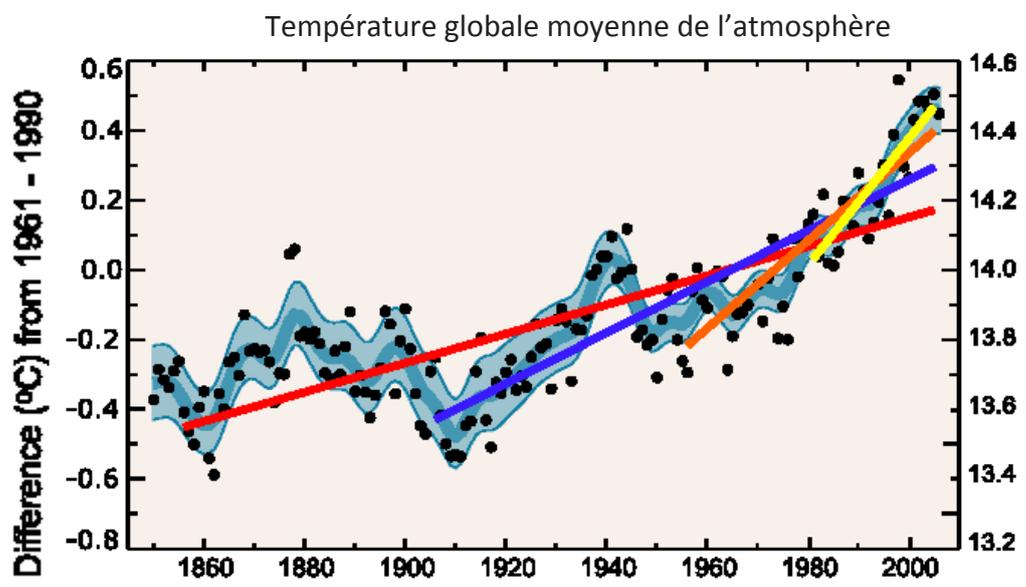
<sup>20</sup> GIEC, AR4, groupe 1, résumé pour les décideurs. Les observations satellitaires in situ ont également permis d'en savoir beaucoup plus qu'auparavant sur les modalités de réchauffement des océans et des mers.

Au total, cette analyse fait apparaître que sans encore tout expliquer, ces effets directs du réchauffement expliquent 90 % de l'élévation des surfaces maritimes (tableau ci-dessous).

Causes de l'élévation	Vitesse d'élévation du niveau de la mer (mm par an)	
	1961-2003	1993-2003
Dilatation thermique	0,42 ± 0,12	1,6 ± 0,5
Glaciers et calottes glaciaires	0,50 ± 0,18	0,77 ± 0,22
Fonte du Groenland	0,50 ± 1,2	2,1 ± 0,7
Fonte de l'Antarctique	1,4 ± 4,1	2,1 ± 3,5
Somme des contributions liées au climat	1,1 ± 0,5	2,8 ± 0,7
Elévation totale observée du niveau de la mer	1,8 ± 0,5	3,1 ± 0,7
Différence (Observation moins somme des contributions du climat)	0,7 ± 0,7	0,3 ± 1

Source: Giec 6 ar4 - SPM wg 1

Cette analyse apporte une confirmation à ce qui ne serait encore que l'observation d'une concomitance, la proximité manifeste entre les courbes représentant l'élévation du niveau des mers et celles relatives à l'augmentation de la température moyenne globale de l'atmosphère. La courbe ci-dessous, qui représente l'évolution de celle-ci sur la même période, peut être rapprochée de celle de la page précédente sur le niveau des mers. : similitude des tendances pluriannuelles, inflexions à la hausse, soulignées par les droites d'ajustement de périodes d'évolution de plus en plus rapprochées.



Source : GIEC AR3 - SPM wg 1

Constatant ces tendances de long ou moyen terme, dans leur ensemble les scientifiques appellent par ailleurs à ne pas en inférer toute idée de liaison purement mécanique entre le réchauffement et le niveau de la mer, et surtout à court terme ; séparément, la température à la surface du globe et la température des océans sont affectées par des facteurs de variation à court terme qui leur sont propres ; d'autre part, des facteurs tels que les différences de pression sur la mer peuvent faire varier sensiblement les niveaux mesurés à un instant t ou en un lieu donné.

Enfin, il convient de rappeler que l'une des incertitudes majeures concernant la prospective générale du climat réside dans l'éventuelle réciprocity de ces relations réchauffement du climat – réchauffement de la mer : dans quelle mesure et dans quel sens les effets du climat sur les océans peuvent-ils rétroagir sur le mécanisme du réchauffement climatique, par exemple : comment se comporte une mer plus chaude y compris en profondeur, à l'égard de l'absorption du CO<sub>2</sub> ; les interactions aboutissent-elles à des décélérations ou à des accélérations ; peut-il y avoir des effets de compensation ? ? Questions à laquelle il est d'autant plus difficile de répondre dans le court terme d'une manière empirique que son observation est nécessairement tributaire de l'inertie de la température maritime.

Il reste que dans la phase actuelle en tout cas, le lien est suffisamment avéré pour permettre de projeter la variation du niveau des mers en relation avec l'ensemble du processus de dérèglement climatique.

## **Comment s'articulent les impacts du changement climatique ?**

Le réchauffement climatique prend deux formes principales, l'une terrestre (continentale) et l'autre maritime, à partir d'une même origine : l'intensification du forçage radiatif à partir du rayonnement solaire.

1.-La cause en est l'augmentation de la teneur en carbone et dérivés de l'atmosphère (concentration), elle-même due à un excédent des émissions brutes sur le captage (naturel, aujourd'hui : par la photosynthèse et les océans) des gaz qu'elles contiennent ; cet excédent est essentiellement imputable aux activités humaines qui ont rompu l'équilibre existant sur la planète depuis des millénaires, alors que le captage a peu varié. Telle se présente en résumé la loi fondamentale du changement climatique, accompagnée de son corollaire : tant qu'on ne change pas les termes de ce déséquilibre, il ira croissant et même probablement en s'accéléralant.

Dans ce système, la variable origine des phénomènes étudiés est constituée par les émissions de GES, la variable directement active est la concentration qu'en résulte. On sait donc que le déséquilibre des premières crée la dangerosité de la seconde ; mais « *on ne sait pas aujourd'hui quelle serait la concentration ne conduisant pas à des dommages irréversibles* »<sup>21</sup>

2.- On peut dire en simplifiant, comme le fait le schéma ci-dessous, que les deux grandes branches, continentale d'une part et maritime de l'autre, poursuivent leurs impacts propres (température à la surface avec aridité, fonte des glaces, déséquilibres

---

<sup>21</sup> Les Recherches françaises sur le changement climatique, INSU, 2007.

hydrologiques d'un côté, augmentation des niveaux marins, pressions atmosphériques, accentuation des extrêmes météorologiques, etc., de l'autre). Cet aspect est important dans le cas qui nous intéresse ici : dans la représentation qu'en donne ce schéma, nous avons insisté sur l'aspect « prise en tenaille » parce qu'il est la forme la plus aigüe du risque encouru par des établissements humains, des infrastructures etc. dans un contexte tel que celui du littoral méditerranéen. Mais nous y avons aussi figuré quelques échantillons significatifs des interactions entre les deux branches qui expliquent pour une part les effets cumulatifs du dérèglement climatique.

Selon cette logique, les scénarios pour l'avenir étudiés par le GIEC associent à la variable pilote qu'est l'émission des six gaz à effet de serre identifiés par le Protocole de Kyoto, supposée évoluer pour chaque famille de scénarios dans un contexte socio-économique global donné comme environnement exogène, celles qui s'enchaînent les unes sur les autres :

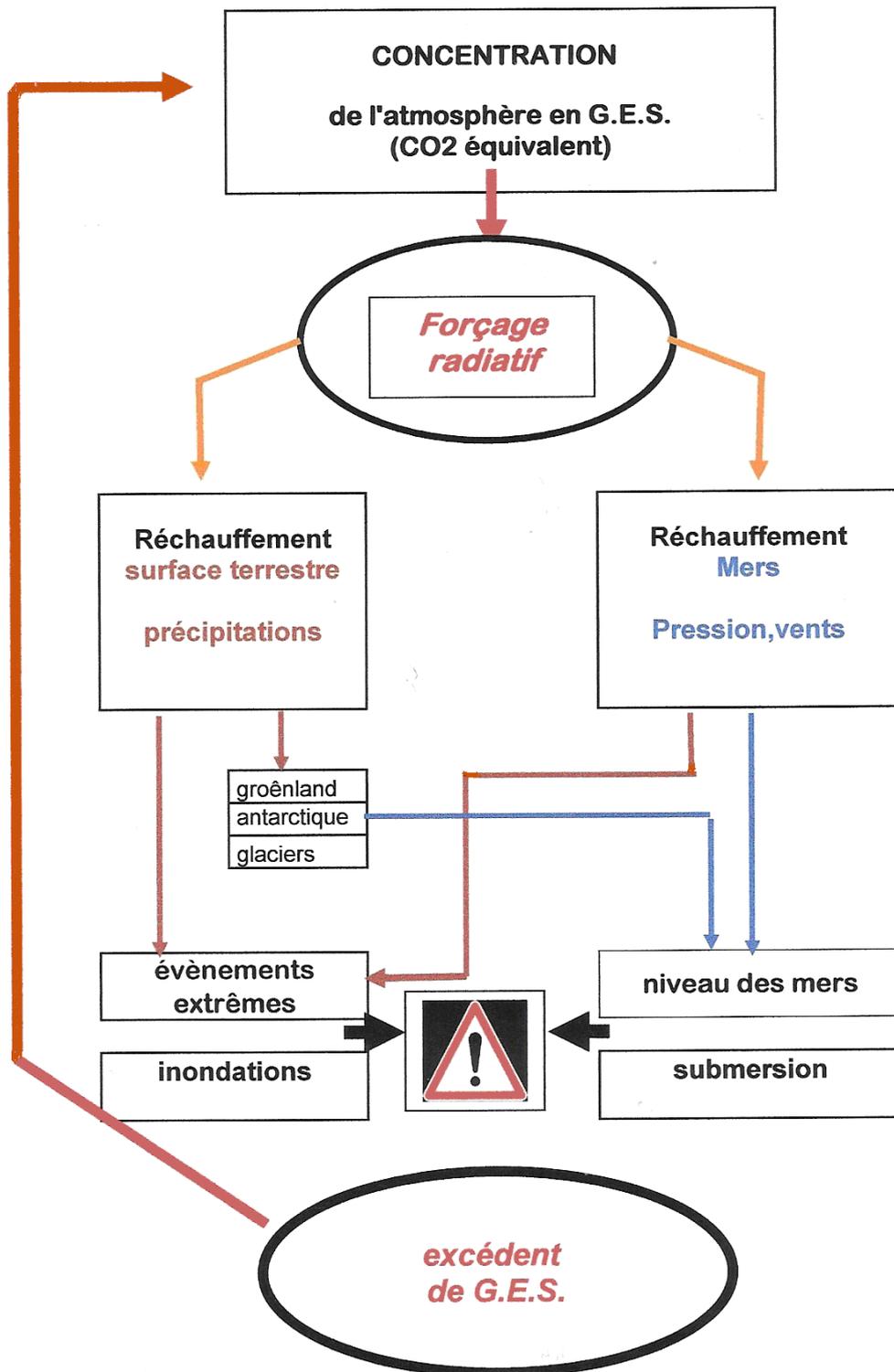
- la concentration de gaz à effet de serre (exprimée en parties par million : ppm) dans l'atmosphère où ils s'accumulent avec des durées de vie fortement variables mais souvent inversement proportionnelles à leur poids spécifique, ce qui fait qu'aucun ne peut être négligé<sup>22</sup> ;
- le forçage radiatif (exprimé en W/m<sup>2</sup>), augmentation de l'énergie projetée à la surface du globe par une variation, soit du rayonnement solaire direct (forçage naturel), soit de ce rayonnement intensifié par la concentration des gaz à effet de serre (forçage anthropique). Dans une hypothèse tendancielle, le doublement des concentrations en question peut intervenir au milieu de ce siècle ;
- la variation de la température globale, qui résulte de la sensibilité climatique, « mesure de la réponse du système climatique à un forçage radiatif constant. Ce n'est pas une simulation mais elle est définie comme le réchauffement global de surface à la suite d'un doublement de la concentration du dioxyde de carbone. Elle est *vraisemblablement* située dans la fourchette 2 à 4,5 °C. »<sup>23</sup>.
- la variation du niveau moyen des mers et des océans ;
- les changements des régimes hydrologiques et les événements météorologiques extrêmes, qui sont pour notre étude des données aussi importantes que la seule variation du niveau de la mer avec laquelle elles interfèrent et peuvent produire des effets cumulatifs complexes.

Ainsi que bien entendu toutes sortes d'impacts pas nécessairement aussi directement quantifiables ni homogènes sur le plan planétaire, et aux interactions complexes (glaces, sols, humidité et sécheresse, courants marins, grandes tendances de la météo, etc.).

---

<sup>22</sup> Il ne s'agit donc pas uniquement du CO<sub>2</sub> ; sa prépondérance a conduit à utiliser une unité commune d'« équivalent CO<sub>2</sub> » pour comptabiliser les gaz à effet de serre, parfois source de confusion. Une insuffisante attention portée au méthane par exemple pourrait être source d'erreurs préjudiciables dans les politiques d'atténuation et l'équité qu'elles réclament. Cf. B. Dessus et B. Laponche, Global Chance 2008.

<sup>23</sup> IPCC, AR4, WG1, SPM.



Graphique MM

On trouvera ci-dessous quelques précisions sur la prospective à 2100 concernant chacun de ces items.

a) Les projections sur les causes sont effectuées à des horizons de moyen ou long terme, dont celui de 2100 qui nous intéresse ici. Elles peuvent être effectuées avec divers corps d'hypothèses exogènes, relatives à des évolutions possibles de l'humanité, ou décrivant des types politiques consacrées spécifiquement à contrecarrer la progression du déséquilibre émissions/absorption pour tester la sensibilité des autres variables. La plus élémentaire de ces hypothèses est d'abord celle où aucune politique de dimension significative n'est mise en œuvre, et où aucun type de pression autre que marginal ne s'exerce sur la consommation de combustibles fossiles au niveau mondial (comme leur raréfaction physique). C'est donc la poursuite de la tendance actuelle<sup>24</sup> à laquelle on se réfèrera ici, avec un niveau de **35 MdsT d'équivalent carbone émis en 2100** (cf Annexe méthodologique).

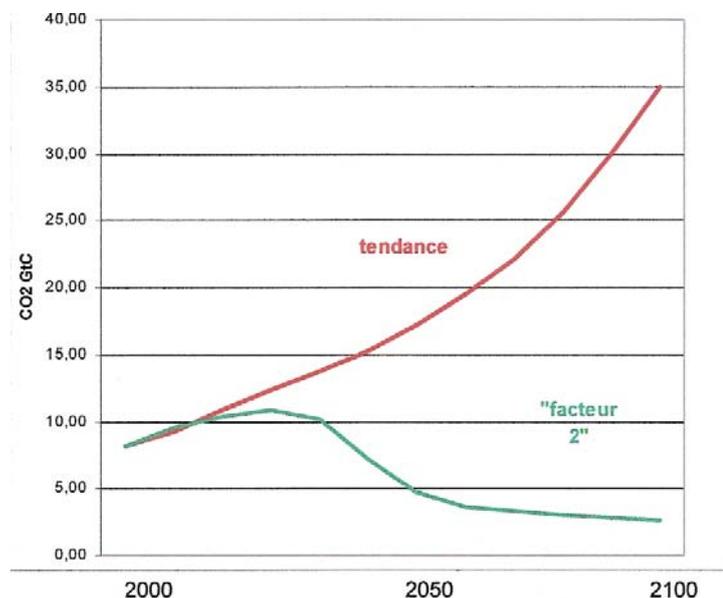
A l'exact opposé se trouve une hypothèse souvent adoptée comme référence pour ce qui serait à la fois souhaitable et réalisable au cours<sup>25</sup> de ce siècle pour plafonner à la fin de celui-ci l'augmentation de température à + 2°C par rapport à l'époque préindustrielle. Il suppose que la trajectoire des émissions s'inverse très rapidement (ce qu'impliquait déjà pour les pays industrialisés le protocole de Kyoto de 1977 – mais plus fort et plus vite) vers une réduction de moitié (« facteur 2 ») des émissions mondiales en 2050, soit une division par 4 des émissions du monde aujourd'hui industrialisé, (« facteur 4 ») déjà été préconisé, dans son principe, en Europe, France comprise). Pour être suivie, une telle trajectoire suppose à la fois de fortes volontés nationales et une véritable gouvernance internationale mobilisant des moyens juridiques et financiers sans commune mesure avec ceux qui étaient jusqu'à présent en débat, pour organiser « l'atténuation » (baisse des émissions et augmentation du captage). Mais, compte tenu des inerties considérables du système, un niveau d'« adaptation » sera nécessaire : la part incontournable correspondant à 2°C d'augmentation de la température à la surface du globe impliquera un « seuil minimum » déjà élevé, conduisant à relativiser les coûts souvent invoqués des politiques d'atténuation

---

<sup>24</sup> Rien ne permettant de dire encore exactement combien de temps, en l'absence de toute politique, l'augmentation des prix sur les marchés du pétrole ou du gaz n'enrayent pas significativement la consommation de combustibles et carburants fossiles. Bien sûr, l'inconnue est de taille.

<sup>25</sup> La démonstration de l'avantage économique et financier des politiques préventives d'atténuation a fait la célébrité du « rapport STERN » en 1996.

## Deux scénarios extrêmes d'émissions



*Le graphique illustre les deux scénarios évoqués dans ce paragraphe : tendanciel (courbe rouge), et fortement volontariste (courbe verte).*

b) Les températures. Si le GIEC estime à 3 °C la « valeur la plus probable » de la sensibilité climatique, il ajoute qu' » il est très invraisemblable qu'elle soit inférieure à 1,5 °C. Des valeurs substantiellement supérieures à 4,5 °C ne peuvent être exclues ». Or, dans une hypothèse tendancielle du type décrit ci-dessus, le doublement des concentrations de gaz à effet de serre peut intervenir vers le milieu du siècle. Météo France sur la base d'un scénario un peu atténué par rapport à la tendance envisage une fourchette d'augmentation de 2 à 4°C en hiver et de 4 à 7°C en été. Rappelons qu'au 20ème siècle la hausse des températures en France (1°C) a été plus forte que la moyenne mondiale (0,74°C).<sup>1</sup>

c) Le niveau moyen des mers. – En se basant sur la valeur haute de ces estimations, un certain nombre d'auteurs ou de modélisateurs situent l'augmentation du niveau des mers de la fin du 20ème siècle à celle du 21ème entre 0,80 et 1,20 mètres, en accélération (et donc beaucoup plus encore au-delà). Les moyennes obtenues par le GIEC sur les familles de scénarios étudiées sont dans une fourchette plus basse, mais aucune de ces familles n'est réellement tendancielle, vers le haut, ni aussi volontariste, vers le bas, que l'hypothèse plancher évoquée ci-dessus. A cette particularité s'ajoute le fait que des désaccords entre experts ont conduit provisoirement dans son 4<sup>ème</sup> rapport le GIEC à renoncer à intégrer complètement l'effet de la fonte des glaces du Groenland. Dans tous les cas, il faut tenir compte de l'inertie du système : ainsi, même si l'on obtenait une stabilisation des températures de surface à partir du milieu du siècle, l'augmentation du niveau des mers se poursuivrait encore pendant une longue période tout en s'atténuant. Une variation importante de ce niveau au cours du 21<sup>ème</sup> siècle ne devrait pas être qualifiée de « pessimiste » ; à la rigueur de « précoce » : dès aujourd'hui, on peut mal évaluer le moment exact où l'on atteint une variation de

l'ordre du mètre, mais pas se tromper sur cet ordre de grandeur. C'est celui qu'un aménageur doit conserver en mémoire.

d) Toute modification de la température à la surface du globe engendre une modification de l'ensemble des paramètres climatiques et météorologiques. Cependant, autant l'augmentation des températures ou du niveau des mers est un phénomène que l'on isole bien depuis l'ère industrielle, autant les inondations, les précipitations violentes et les événements extrêmes, si l'on peut déceler des signes de l'augmentation de leur intensité et de leur fréquence, et donc les pronostiquer pour l'avenir, ne datent pas du début du siècle précédent. D'où la prudence des scientifiques en la matière. « *L'aggravation des tendances extrêmes de grande étendue paraît maintenant assez bien établie ; les inondations de l'Elbe en 2002 et le drame de la canicule de l'été 2003 ont achevé d'en convaincre l'opinion publique. En revanche, pour ce qui concerne les tempêtes, les cyclones, les orages violents, phénomènes moins étendus, plus transitoires mais parfois très violents, les avis des scientifiques sont moins affirmatifs quant à leur aggravation possible avec le réchauffement climatique* » même si « *les études conduites jusqu'à présent soulignent la probabilité d'une aggravation de ces phénomènes*<sup>26</sup> ».

## **Comment se situe le bassin méditerranéen en regard de ces visions de l'avenir ?**

La « régionalisation » (au sens des grandes régions du monde) de la prospective climatique constitue l'un des grands chapitres de recherche ouvert par la communauté scientifique internationale depuis la fin des années 90. On peut se douter que, plus l'étude du changement climatique se focalise sur des ensembles territoriaux plus précis, plus les incertitudes et les sujets de discussion augmentent. Dans certains cas, au stade actuel, le GIEC redouble de prudence dans ses pronostics. Le bassin méditerranéen, qui réclame un pas d'observation plus resserré que celui de la plupart des autres espaces des études régionales amorcées par le GIEC, n'échappe pas à cette règle.

Concernant le niveau de la mer, la question de la régionalisation des pronostics est encore plus délicate en raison des fortes divergences des résultats des modèles en l'état actuel, et c'est le cas pour la Méditerranée. On invoque son caractère presque fermé, sa salinisation ou les températures sous-régionales pour expliquer des comportements hétérogènes. En fait .La Méditerranée à la fois confirme les tendances globales et illustre les disparités dans l'espace et la non linéarité des évolutions :

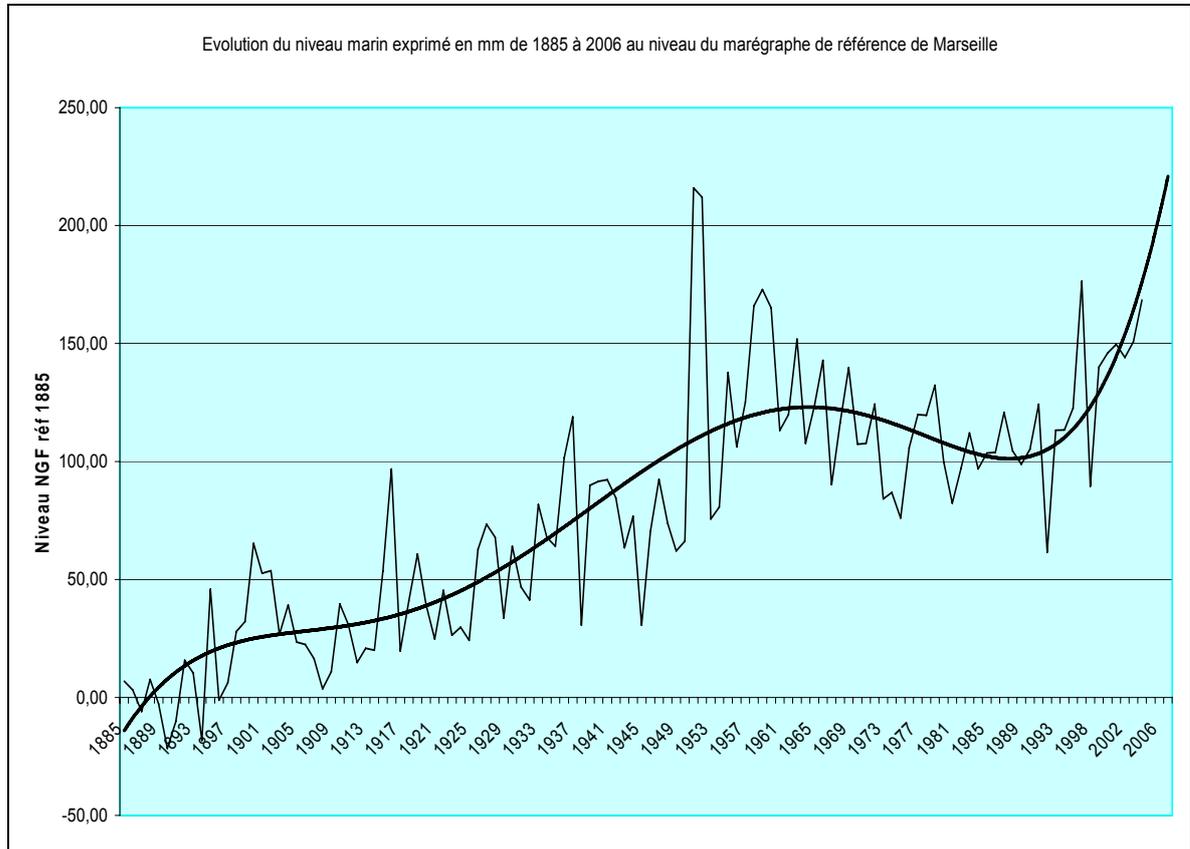
- Sur la longue durée les tendances de la Méditerranée et globales sont comparables (au cours du 20<sup>ème</sup> siècle l'élévation des niveaux est à peu près identique (1,6 – 1,7 mm / an), dans les 10 années 1993 – 2003 l'accélération pour la Méditerranée est encore plus forte que globalement (5 mm/an pour 3,1 sur les côtes océaniques). Mais si la Méditerranée « enfle » de manière parallèle à l'ensemble des mers du globe, pour elle, il s'agit d'un changement considérable : **cette augmentation en un seul siècle est d'un ordre de**

---

<sup>26</sup> ONERC, « Un climat à la dérive : comment s'adapter », Rapport au Premier ministre. 2005.

**grandeur équivalent à la variation de son niveau au cours des 3000 années précédentes.**

- Si les années 1945 – 1975 (les 30 glorieuses !) ont été marquées par une légère diminution du niveau, l'accélération de la dernière période traduit une sorte de « rattrapage », au moins, et montre s'il en était besoin qu'il faut se méfier des extrapolations sur courte période.



Source : CETMEF

*La variation récente du niveau en Méditerranée Nord et Ouest est, au moins en apparence, homogène. On remarquera cependant que 1) selon les mesures citées ici, c'est le sommet de la fourchette 0 – 2,5 mm/an qu'il faut retenir au moins, d'autant que le niveau à la côte n'est pas identifié en tant que tel, et 2) que des zones d'augmentation beaucoup plus rapide se rapprochant de 10 mm/an apparaissent, surtout en Méditerranée orientale, mais aussi entre Espagne et Maroc.*

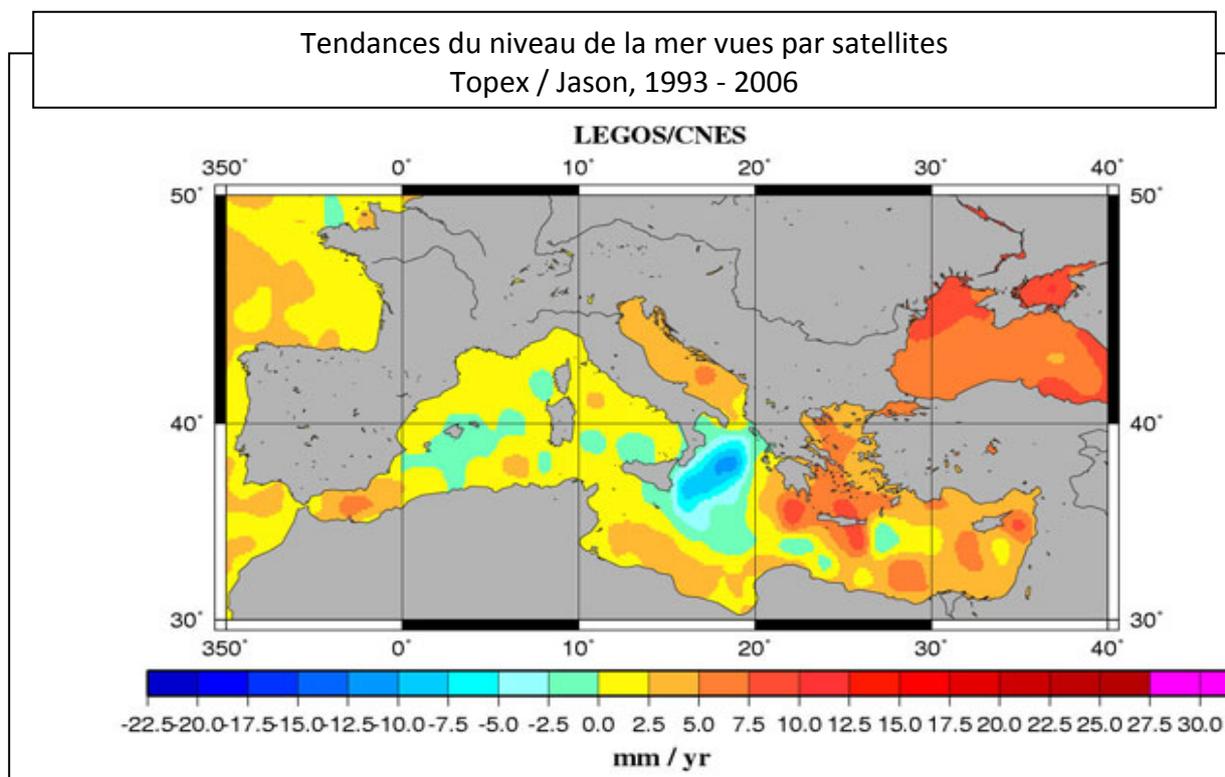
Si l'on retrouve bien sur le graphique du marégraphe de Marseille ci-dessus l'augmentation du niveau marin constatée globalement, et notamment l'accélération des dix dernières, celle-ci est plus accentuée, comme par un effet de rattrapage après la « pause » des années 60-70. En fait, d'après l'Institut Océanographique espagnol, le même double constat est fait sur la côte catalane, où la pause est expliquée selon cet organisme par une anomalie des pressions atmosphériques sur cette période, ce qui montre que des phénomènes autonomes peuvent toujours interférer temporairement

avec les tendances de fond globales (ce qui devrait toujours inciter à ne pas tirer de conclusions hâtives des observations de courte période)<sup>27</sup>.

Enfin, sur les paramètres climatiques et météorologiques, le dernier rapport du GIEC laisse apparaître quelques points saillants pour le bassin méditerranéen, en particulier par leur contraste avec les incertitudes relatives aux régions proches (Europe du Nord, par exemple) :

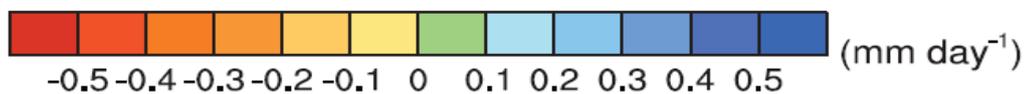
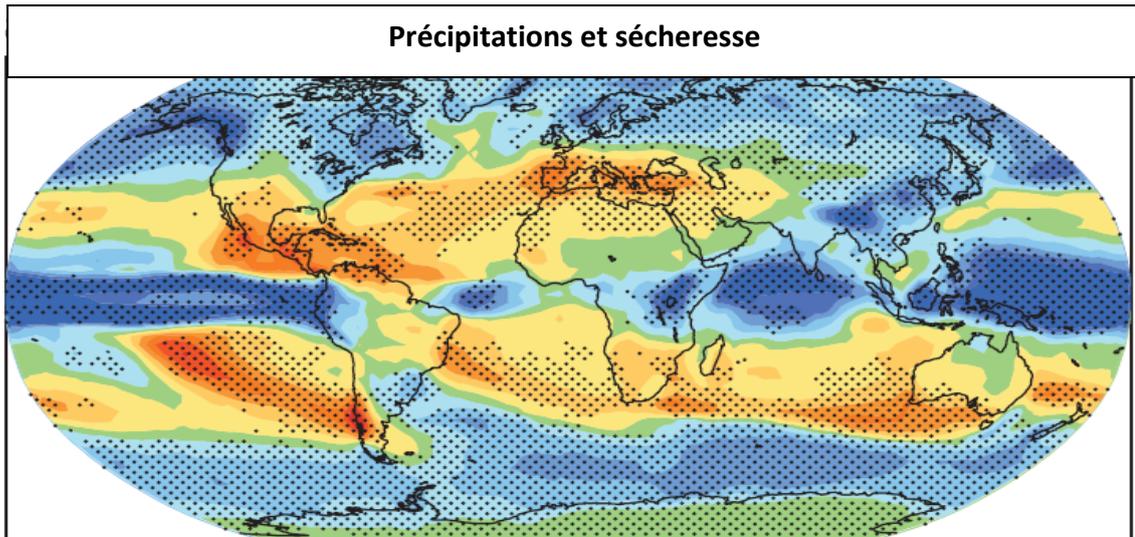
- des étés plus chauds et plus secs, des hivers plus doux,
- des saisons des pluies plus courtes,
- combinées avec des épisodes de précipitations qui pourraient s'intensifier,
- l'ensemble pouvant alimenter des risques de crues plus fréquentes et/ou plus intenses
- des problèmes accrus de disponibilité de l'eau potable et d'irrigation,
- et au total des problèmes de sécheresse à conséquences multiples (écosystèmes, diversité biologique, agriculture...).

Un grand nombre de ces considérations sont communes –symétriquement par rapport à l'équateur – avec l'Afrique du Sud.



Source : LEGOS

<sup>27</sup> Il ne serait d'ailleurs pas sans intérêt de compléter les mesures marégraphiques françaises avec celles de la station océanographique de l'Essartis dans la région de Barcelone.



*Source : IPCC, AR4, WG1 SPM*

*Où l'on voit nettement, malgré le caractère « macrogéographique » de la figure, que toute la région méditerranéenne est concernée par l'une des deux grandes bandes de sécheresse et d'aridités de chaque hémisphère.*

Sur cette augmentation de l'aridité autour du bassin méditerranéen, il y a une grande convergence des résultats des modélisations. C'est en particulier l'enseignement dégagé par deux modèles français entrant dans le panel des modèles référents du GIEC, celui du CNRM et celui de l'IPSL. *« La réponse des précipitations est beaucoup plus complexe et variable que la réponse des températures et n'est pas homogène dans l'espace: certaines régions voient leur précipitations augmenter, d'autres diminuer. Une augmentation de précipitation est simulée dans la zone de convergence intertropicale au voisinage de l'équateur, et dans les zones de dépression des moyennes et hautes latitudes, tandis qu'une diminution est prévue dans les zones subtropicales, en particulier autour de la Méditerranée. Dans la région européenne, les deux modèles simulent une augmentation des précipitations dans le Nord et par contre un assèchement autour du bassin méditerranéen. »*<sup>28</sup>

On verra ci-après, pour la région Languedoc-Roussillon, qu'il ne faut pas confondre diminution des précipitations et éloignement des risques de tempêtes et d'inondations.

<sup>28</sup> ESCRIME Etude des simulations climatiques réalisées par l'IPSL (Institut Pierre Simon Laplace) et Météo France – par le Centre National de Recherche Météorologique), 2007

### Aléas futurs pour la plaine littorale des trois départements (Aude, Hérault, Pyrénées Orientales)

Dans le chapitre précédent, on a constaté l'ampleur des émissions de gaz à effet de serre dans une hypothèse de poursuite de la tendance actuelle (accélération comprise), c'est-à-dire sans modification fondamentale des déterminants anthropiques de l'évolution du climat : maintien des comportements actuels en matière d'utilisation des carburants, des combustibles et des procédés chimiques ou naturels impliquant le carbone, et absence de réelle coordination internationale pour organiser la décroissance de la consommation énergétique par habitant. C'est la référence que l'on propose de prendre ici pour estimer les points de vulnérabilité de la ligne de chemin de fer Montpellier-Perpignan. Ce choix d'une « enveloppe » de risque maximale est exposé dans l'annexe méthodologique. Il a pour corollaire un processus de détermination des décisions d'adaptation qui, réciproquement, en minimise les coûts à moyen et long terme.

On a vu qu'une telle hypothèse peut conduire à des émissions annuelles de GES *de l'ordre de 35 milliards de tonnes d'équivalent carbone* à hauteur de 2100<sup>29</sup> (soit un quadruplement par rapport à nos jours) ; l'accumulation nette de ces gaz sur la période se traduirait par une concentration *de l'ordre de 900 ppm*, un forçage radiatif presque trois fois plus important qu'aujourd'hui et une différence de température par rapport à l'âge préindustriel *avoisinant 5°C* (tout cela sans hypothèses sur les « boucles de Rétroaction » ni dans un sens ni dans un autre)<sup>30</sup>. C'est ce que Sir Nicholas Stern appelle une « perspective à la fois probable et impossible » ! En tant qu'elle est *probable*, on ne peut pas ne pas la prendre en compte dans le système de décisions. Pour le cas –souhaitable– où la constatation de l'*impossible* l'emporterait sur ce probable (mais quand ? le même N. Stern démontre que chaque décennie perdue pour cela double l'intensité de l'effort nécessaire pour la rattraper), on doit donner de la flexibilité à ce système.

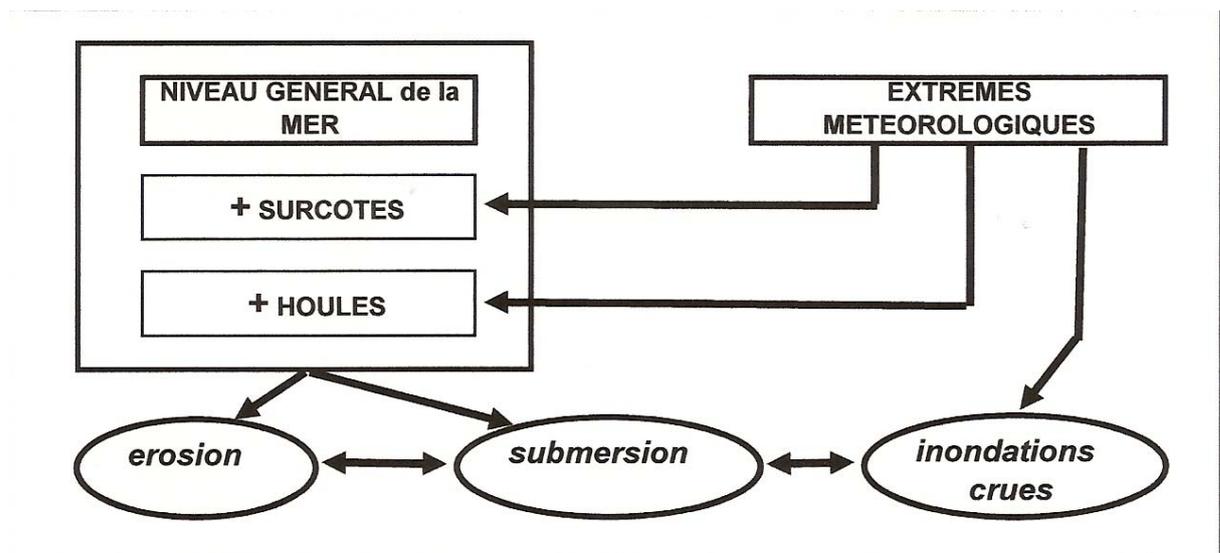
---

<sup>29</sup> Ci-dessus, p. 21

<sup>30</sup> Ci-dessous, p.

## Le contexte général

Dans le contexte qui vient d'être évoqué, la desserte ferroviaire de la bande littorale du Languedoc-Roussillon peut être exposée à des risques qui, s'ils diffèrent dans leur nature, ont des origines proches ou comparables et s'entrecroisent parfois dans l'espace et même dans le temps (problèmes de simultanéité des événements extrêmes, par exemple, d'origine continentale et d'origine marine). On laissera de côté, après les avoir rappelés pour mémoire, des questions étroitement liées à la technologie ferroviaire comme ceux de la dilatation des rails du fait de l'augmentation des températures (rencontrés en particulier sur le réseau français à l'été 2003<sup>31</sup>) ; ou de la résistance des caténaires aux vents violents. Ces problèmes ne paraissent pas hors de portée des perfectionnements réguliers de la sécurité des installations fixes (a fortiori dans une région qui est un des berceaux de l'électrification et qui a eu à connaître depuis près d'un siècle des conséquences des orages). En revanche c'est sur l'infrastructure proprement dite que des problèmes peuvent apparaître. Celle-ci est principalement exposée aux conséquences du dérèglement climatique en termes d'érosion, de submersion et d'inondation (et crues violentes), à leurs effets conjoints et aux occurrences de leur simultanéité (graphique ci-dessous).



Graphique MM

### Evolution du niveau permanent de la Méditerranée sur les côtes françaises

<sup>31</sup> « Lors de la canicule de 2003, la SNCF a ainsi fait état de la dilatation de rails de voies de chemin de fer, provoquant de nombreux retards. Ainsi, sur la première quinzaine d'août 2003, la SNCF a enregistré une baisse de régularité d'environ 10 points sur le réseau grandes lignes, le pourcentage de trains arrivant à l'heure étant tombé à 77% contre 87% en 2002 (ensemble du réseau). » Rapport au Sénat, cité par Ecofys, rapport Impacts du changement climatique sur le Languedoc Roussillon.

Pas plus que le niveau de la mer n'est uniforme les instruments pour le mesurer ne sont facilement comparables. Le marégraphe de Marseille, par ailleurs référence historique de la fixation du nivellement général de la France (1885, réactualisé en 1969), peut être considéré comme retraçant bien l'historique du niveau méditerranéen au cours des 120 dernières années (17 cm de 1885 à 2005)<sup>32</sup>. Il n'est toutefois pas l'instrument le plus proche de la zone concernée par cette étude. Mais, entre les deux zones, par exemple, celui dit du Grau de la Dent est, d'après les observateurs scientifiques, affecté d'un fort biais en raison de sa position sur le littoral de la Camargue qui le rend sensible aux phénomènes propres au delta du Rhône : il donne souvent des niveaux (ou des variations de niveau) beaucoup plus importantes que celui de Marseille. D'autres sont plus proches, mais suscitent des incertitudes quant à la pérennité de leur fiabilité parmi nombre de scientifiques qui les utilisent. Les données de celui de Sète sont accessibles facilement depuis quelques années, mais pas ses séries historiques. Des modernisations du système d'observation ont été envisagées, et, d'autre part, le recours à des données satellitaires précises au niveau du trait de côte compléterait utilement le dispositif existant – mais les informations recherchées sur ce sujet ont fait défaut.

On peut donc admettre comme très probable la poursuite de l'élévation du niveau marin et ses conséquences pendant ce siècle et leur parallélisme avec les évolutions globales qui sont aujourd'hui pronostiquées. Cela signifie en particulier qu'à chaque hypothèse d'évolution du contexte climatique global pour le 21<sup>ème</sup> siècle il est possible d'associer une estimation des aléas qui en résultent, tenant compte des éléments spécifiques connus avec certitude sur ce littoral et notamment dans les domaines géophysique et météorologique. Pour l'enveloppe tendancielle retenue ici, on est conduit à retenir une variation du niveau de la Méditerranée **de l'ordre de 1 m** au cours du siècle (cf. Annexe méthodologique).

Avant d'examiner les problèmes de niveau de la mer autres que celui de l'augmentation permanente, il convient de s'arrêter sur les éléments d'ordre météorologique qui les déterminent ainsi que l'hydrologie terrestre.

## Les évolutions météorologiques

Au niveau où elles se situent, même avec les progrès accomplis en matière de « régionalisation », les modélisations du GIEC ne sont pas transposables telles quelles au niveau territorial qui nous intéresse ici. Des modèles plus précis, couplés aux données générales et à d'autres modèles de niveau intermédiaire, permettent seuls d'approcher une estimation acceptable des évolutions cohérentes avec l'hypothèse retenue pour l'évolution du forçage radiatif global. Les éléments disponibles sont cependant plus avancés pour les températures que pour les phénomènes extrêmes et les précipitations.

1.- En ce qui concerne les **températures**, les travaux de Météo France à travers son modèle ARPEGE-Climat<sup>33</sup> font apparaître, pour la France, une augmentation de la température toujours dans cet ordre de 4 à 5° C en toutes saisons (alors que le modèle

---

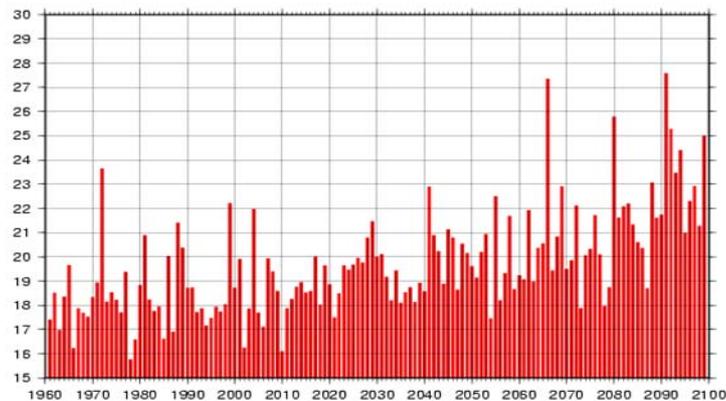
<sup>32</sup> Cf. chapitre précédent

<sup>33</sup> On se réfère ici à l'article de Michel DEQUE (Météo France/CNRM) : Les scénarios climatiques de réchauffement, INRA, Avignon, 2004

n'est pas calé sur l'hypothèse plausible la plus haute pour les émissions de GES), une diminution des pluies d'été et une augmentation des pluies d'hiver ; et surtout, grâce à son mode de régionalisation, que ces phénomènes se retrouvent, plus accentués, sur les deux régions limitrophes de la Méditerranée.

Une estimation des températures,  
France et Régions

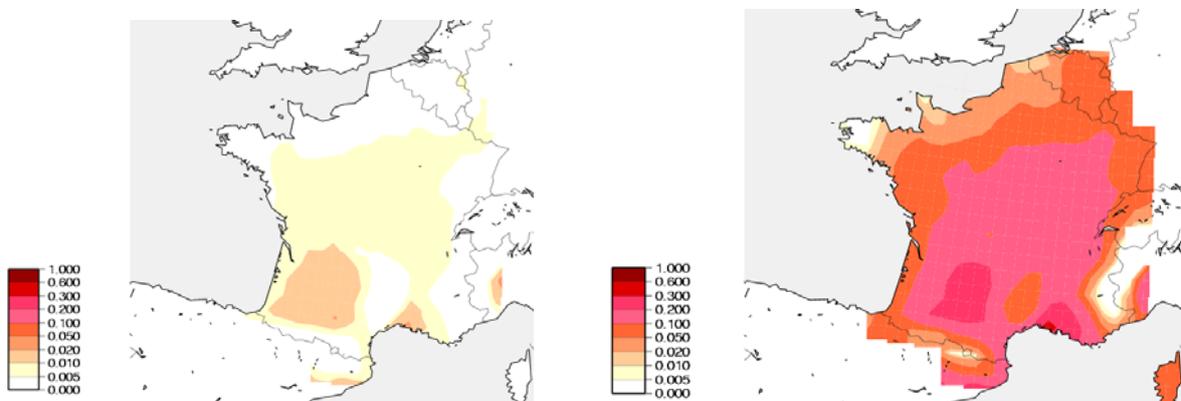
*Températures moyennes de juillet (°C) simulées au point de grille de plus proche de Paris dans une simulation numérique de 140 ans,*



*pour un scénario du GIEC proche mais en deçà de la tendance ici retenue*

*Ci-dessous : probabilité d'avoir une température maximale supérieure à 35°C en été pour la période 1961-1990 (à gauche) et la période 2071-2100 (à droite).*

Source : M.DEQUE, Météo France/CNRM, 2004



2.- En ce qui concerne les **précipitations et évènements extrêmes**, il reste encore beaucoup à faire et beaucoup de réponses sont attendues du développement des modèles couplés océan-atmosphère<sup>34</sup>. La tendance à l'augmentation de leur fréquence est marquée depuis un siècle, puisque sur 8 évènements majeurs (1907, 1933, 1940, 1958, 1977, 1999, 2002, 2003), 4 se sont produits dans les 10 dernières années. De manière générale, la littérature indique que, dans les régions concernées, leur intensification pendant les décennies à venir est (très) probable. On indique également la possibilité d'une tendance à l'étalement de la période des précipitations abondantes. Mais **les certitudes font défaut**. En témoigne ce récent document émanant d'Agropolis, concernant l'étude de la variabilité ou stationnarité de l'intensité et des fréquences des évènements auxquels on peut s'attendre dans ces domaines, s'agissant d'une étude commencée à HydroSciences (Montpellier I et II).

*« L'objectif est d'analyser sur le grand sud de la France, la stationnarité des pluies maximales annuelles, de l'occurrence et de l'intensité des pluies fortes, et de la durée des périodes sèches.*

*Outre ces travaux en cours, des points restent à être analysés : Comment vont évoluer les quantiles des pluies (par exemple pluie centennale) dans les prochaines années si la non stationnarité des extrêmes est observée ? Quels scénarii peut-on envisager pour les précipitations futures, au regard des éventuelles non stationnarités détectées ? Ces scénarii sont particulièrement importants car ils servent d'entrée aux modèles hydrologiques permettant de modéliser l'évolution de la ressource en eau dans le futur et peuvent servir comme aléa de référence pour tester un ouvrage (digue, retenue d'eau, etc.) face à de nouvelles conditions climatiques. »*<sup>35</sup> On pourrait ajouter... un remblai d'infrastructure de transport. Mais, malheureusement, il n'y a pas de résultats disponibles.

Dans l'état actuel des connaissances auxquelles on a pu avoir accès, il paraît difficile de s'écarter d'une hypothèse de poursuite à l'identique des phénomènes connus, avec les épisodes cévenols, les tempêtes méditerranéennes plutôt continentales et les tempêtes marines. On comprend que le décryptage de l'avenir est d'autant plus complexe que celles-ci, et les vents forts de la mer, sont liés en Méditerranée à l'Oscillation Nord Atlantique<sup>36</sup>, dont on n'a pas complètement résolu les inconnues, entre une liaison avec le changement climatique ou un accompagnement autonome et aléatoire de celui-ci<sup>37</sup>, ce qui la rendrait susceptible d'inversions imprévisibles provoquant des ruptures dans la continuité du changement. Il reste qu'une part importante des problèmes de vents à des vitesses fréquemment comprises entre 90 et 140 kmh réside non seulement dans l'énergie qu'ils déplacent, mais aussi dans leur orientation sud-nord, conséquence de variations de pression tout à fait extérieures au bassin méditerranéen (golfe de Gascogne

---

<sup>34</sup> Notamment dans le cadre du projet multi-organismes HYMEX, voir infra.

<sup>35</sup> Développement durable et changement climatique en Languedoc-Roussillon : Facteurs-clefs, Évolutions et Risques Contribution à l'élaboration du Plan d'Action Stratégique de l'État (PASE) pour 2009 – 2011, Agropolis international octobre 2007.

<sup>36</sup> Modification en alternance des gradients de pression atmosphérique respectivement dans les zones de l'anticyclone des Açores et de la mer d'Islande.

<sup>37</sup> Elle a en particulier contribué à l'intensification de la sécheresse estivale en Méditerranée.

en particulier)<sup>38</sup>. Cette orientation ne peut qu'affecter l'arc occidental du golfe du Lion, ce qui justifierait un effort important d'approfondissement des connaissances.

En revanche, les précipitations, vents et phénomènes extrêmes constituent des **amplificateurs** avérés des conséquences maritimes et terrestres du changement climatique. « *Les événements météorologiques extrêmes avec l'augmentation de la fréquence, de l'intensité et la modification des trajectoires des tempêtes et des cyclones ont une incidence directe*

sur :

- > *l'amplitude et la propagation de la houle,*
- > *l'intensité et la direction des courants,*
- > *la fréquence et l'amplitude des surcotes.* »<sup>39</sup>

## Les conséquences pour la côte

Les facteurs de risque sur la côte sont étroitement imbriqués les uns dans les autres. Les éléments qui contribuent au niveau et à l'énergie (souvent destructrice) de la mer sont cumulatifs : élévation générale permanente, surcotes, niveau de la houle et des vagues notamment déferlantes. Ils contribuent tous à augmenter les risques d'érosion, de recul du littoral, de disparition des cordons dunaires et donc de submersion marine qui à son tour accroît les effets d'érosion. De façon quasi mécanique la vulnérabilité peut ainsi croître selon une progression au moins arithmétique.

### 1. – Les surcotes

La surcote est « *la hauteur d'eau constatée dépassant en un lieu et à une heure donnée ce que l'on y attendait en fonction du de marée du jour (effet de basses pressions atmosphériques, de forts vents de mer ou la combinaison de ces deux facteurs)* »<sup>40</sup>. Leur formation, dans la région, est très dépendante de l'orientation des vents de tempête qui vont « *pousser et accumuler la masse d'eau vers la côte et ainsi élever le plan d'eau. Mais localement, en raison de l'exposition particulière de la côte et de son ouverture sur la mer, les pics de surcotes sont associés à des directions de vents de sud bien particulières.* »<sup>41</sup>

Des surcotes comprises entre 1 et 1,20 mètre ont été enregistrées à Sète et à Barcarès en 1997 et 2003 et des cas à 1,50 voire plus ont été signalés (non mesurés). Pour des tempêtes moins exceptionnelles du passé, il n'a pas été rare d'atteindre 0,80 mètre.

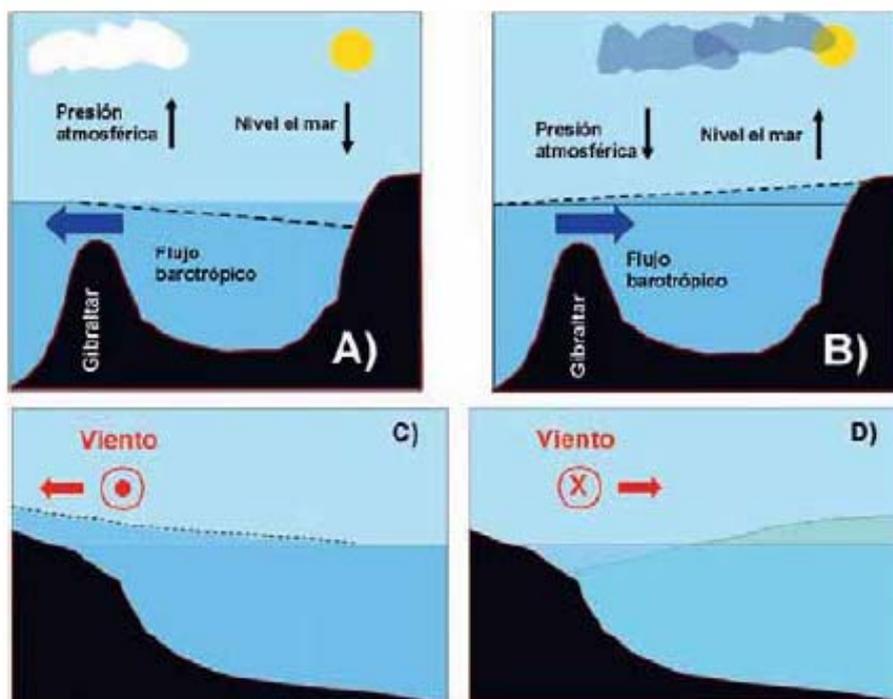
---

<sup>38</sup> Cf. résultats de travaux accomplis dans le cadre du projet « IMPLIT », IMPLIT – Impact des événements extrêmes (tempêtes et surcotes) sur les hydrosystèmes du littoral méditerranéen dans le cadre du changement climatique).

<sup>39</sup> LENOTRE N., PEDREROS R., Impacts du changement climatique sur le littoral, BRGM, 2005.

<sup>40</sup> Glossaire du CETMEF.

<sup>41</sup> Ullmann et P.A. Pirazzoli, « Caractéristiques spatiales de la formation des surcotes marines dans le Golfe du Lion. *Cybergeog*, Environnement, Nature, Paysage, article 362.



Source : [Cambio climatico en el Mediterráneo español](#)

*Rôle des vents, des courants marins et des différentiels de pression atmosphérique entre golfe de Gascogne et Méditerranée dans la formation des surcotes*

En raison de la combinaison des facteurs de surcote et de l'augmentation du niveau général, « des surcotes exceptionnelles au 20<sup>ème</sup> siècle (>1m NGF) pourraient devenir fréquentes (fréquence>30 % dans le cadre du scénario A2) à la fin du 21<sup>ème</sup> siècle »<sup>42</sup>. Dans cet esprit, on retiendra ici une **possibilité d'une surcote additionnelle d'1/2 mètres, qui, s'ajoutant à + 1m de niveau général et 1,5 m de surcote préexistante, pourrait faire monter le niveau temporaire de la mer à 3 mètres.**

La surcote s'ajoutant à l'augmentation du niveau général va augmenter les risques liés à la dynamique marine en phase de tempête et de vents forts. Ce processus est déjà commencé. On a concentré beaucoup de travaux sur la Camargue, en raison notamment du caractère emblématique des actions de protection du delta du Rhône. Des stratégies tournant le dos aux protections lourdes dont les effets pervers sont maintenant connus a commencé à être mises en œuvre dans le secteur qui nous intéresse, et certaines d'entre elles posent à l'évidence le problème du rôle et de la place de l'infrastructure ferroviaire à l'avenir.

<sup>42</sup> IMPLIT, mai 2007, rapport de synthèse.

## 2.- la houle et les vagues



Source : SMNLR, analyse de la tempête du 4/12/2003

On n'a pu accéder qu'à des informations assez disparates sur la hauteur de la mer en crête à la côte sous l'influence des tempêtes et des vents de mer aux degrés les plus élevés de l'échelle de Beaufort. L'étude menée par le CETMEF en 1998 sur Sète fait apparaître les hauteurs et fréquence de houle suivantes :

- houle annuelle : 4.63 ms (intervalle de confiance à 70% : 4.43 ms à 4.87 ms)
- houle décennale : 6.09 ms (intervalle de confiance à 70% : 5.78 ms à 6.46 ms)
- houle cinquantennale : 6.93 ms (intervalle de confiance à 70% : 6.56 ms à 7.37 ms).

D'autres éléments d'information confirment ces ordres de grandeur, dont on aurait d'ailleurs constaté l'augmentation depuis un demi siècle dans le Golfe du Lion.

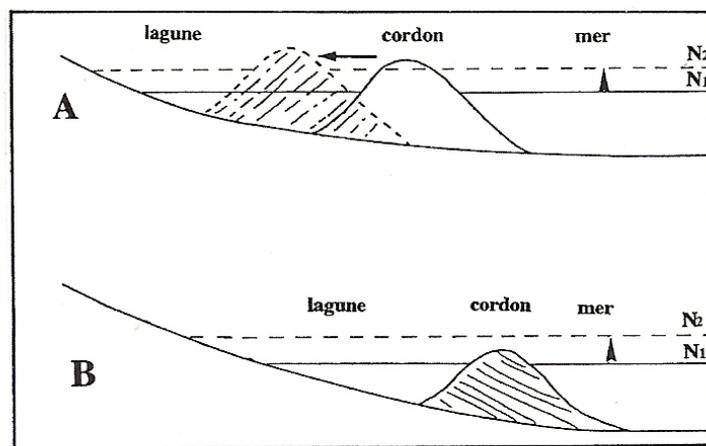
L'effet des vagues est essentiellement lié à la vitesse du vent. A partir de la force 8 sur l'échelle de Beaufort, un vent provoque des lames déferlantes qui peuvent être destructrices des protections antérieures au rivage<sup>43</sup>, ou de celui-ci directement, et cela d'autant plus que leur dynamique peut leur permettre de remonter au-dessus du trait de côte (« run up »); Le déplacement de celui-ci vers l'intérieur des terres exposera ainsi dans l'avenir des installations qui paraissent être aujourd'hui à l'abri, ce qui peut être le cas en plusieurs points de la ligne .

<sup>43</sup> Sujet, par ailleurs à discussion sur les choix de réponse, cf ci-dessous, § 6.

**Le niveau maximum de houle significatif retenu ici à la fin du siècle serait de 10 mètres en situation extrême, en intégrant les hausses précédemment définies.**

### 3.- l'érosion

Dans le cas d'un littoral sableux et uniforme comme celui du Languedoc-Roussillon, soit la totalité de la partie qui nous intéresse exception faite du pied du Mont Saint Clair à Sète et du Cap d'Agde, l'érosion consiste en une diminution de la quantité de sable (bilan négatif des apports et prélèvements sédimentaires d'autant plus net que les stocks de sédiments s'affaiblissent, l'aridité raréfiant leur charriage par les fleuves côtiers) ; elle se traduit par un recul ou un affaissement des dunes en l'occurrence peu élevées, ainsi qu'un déplacement du trait de côtes vers des obstacles existants qui peuvent être fragilisés.



Source : Roland PASKOFF

*Deux scénarios d'évolution d'un cordon lagunaire dans une conjoncture d'élévation du niveau de la mer.*

**A** – le cordon migre vers la terre en roulant sur lui-même (« rollover ») à une vitesse liée à celle d'élévation du niveau de la mer ;

**B** – il reste en place, est progressivement submergé et la lagune disparaît, laissant place à la mer ouverte.

L'érosion fournit un bon exemple des effets d'amplification de la combinaison des facteurs. « De faibles augmentations dans la force et/ou la durée des forçages se traduiront par des érosions significativement plus importantes que celles que nous connaissons aujourd'hui ». Par exemple, dans l'hypothèse d'une augmentation de 5, 10 et 20% de l'intensité et de la durée des forçages [atmosphériques, ndlr] l'érosion de la dune serait en moyenne amplifiée respectivement d'environ 130, 170 et 400 %. » Par ailleurs, tenant compte de cet effet les mêmes auteurs retiennent de leurs modélisations qu'« une tempête de type « 1997 » suffirait pour finir de détruire la majorité des dunes encore présentes sur les secteurs en érosion de Camargue ». <sup>44</sup> Il paraîtrait donc trop sous-évalué de ne retenir qu'une constante pour toute évaluation du risque d'érosion.

<sup>44</sup> IMPLIT, sur des exemples de la Camargue mais aussi du lido de Maguelonne.



## La plage du Lydia s'érode : des mesures à l'étude

Les violents coups de marin ces derniers jours ont emporté une large partie de la plage située au pied du Lydia. Des structures en dur ont même été détruites au cours des intempéries. **P. 23**

### LE BARCARES

# Intempéries : la plage du Lydia a complètement disparu

Malgré les apports de sable, l'érosion de la plage qui longe le Lydia et la place des Totems ne fait que s'amplifier. Les derniers coups de mer ont été fatals. La quasi totalité du sable a disparu et la mer arrive quasiment au pied du bateau.

La portion de plage qui longe le Lydia et la place des Totems est en bien mauvaise santé. Depuis deux ans maintenant, elle subit une érosion qui n'a fait que s'amplifier. A tel point que la quasi totalité du sable vient d'être emportée récemment à la suite des violents coups de marin qui ont même détruit des structures en dur. Actuellement, le fait est que l'eau arrive au pied des totems et du Lydia. Du coup, le responsable d'un établissement plagiste ne peut pas exercer son activité. La municipalité a déjà procédé à des apports de sable. Elle se propose d'ailleurs de poursuivre cette opération de renflouement de cette plage en allant chercher du sable à l'embouchure de l'Agly. Mais il semblerait que les services maritimes ne soient pas enchantés par cette initiative : ils proposeraient même que l'on réfléchisse à un déplacement futur de la place des Totems et du Lydia. Une solution particulièrement lourde ! En attendant, un apport de sable permettrait quand même de soigner cette plage même si l'on sait que ce pansement est provisoire.



Ch. R. Dernièrement, les violents coups de marin ont emporté le sable de cette plage. L'eau arrive quasiment au pied des totems et du Lydia.

Source : L'indépendant 31/05/2008

*Le site n'est pas sur la ligne, celle-ci se situe sur la rive opposée de l'étang de Leucate / Salses qui lui-même est à moins d'un kilomètre en arrière (cf. carte, chapitre 4)*

#### 4.- la submersion marine

Les submersions marines sont « l'invasion temporaire et brutale d'un domaine continental littoral par la mer sous l'action de processus physiques se manifestant de manière extrême (forte dépression atmosphérique, vent violent, forte houle,...) associés à des phénomènes naturels plus réguliers (marée astronomique, variation de

*température de l'eau, flux hydrique régulier, inversion des vents jour/nuit...).* »<sup>45</sup> Elles détruisent ou percent un cordon dunaire, rompent une digue ou simplement débordent l'un de ces obstacles, surtout s'il sont déjà fragilisés. L'eau de mer pénètre alors

- dans les terrains situés à des niveaux inférieurs à celui atteint par la mer au moment de l'évènement ;
- dans les étangs, ce qui pose un grave problème à la fois écologique et économique compte tenu de la faune et de la flore particulières de ceux-ci ;
- dans les estuaires et les canaux ;
- dans les aquifères naturels ou artificiels, avec effet de salinisation, ce qui contribue, entre autres, à accentuer la fragilisation géologique du rivage des constructions et infrastructures.

Le zonage possible de l'extension territoriale de ce type d'aléa figure dans l'examen par secteur géographique.

### 5.- Le cas des étangs

Les lagunes du littoral peuvent être le siège de phénomènes comparables à ceux qui viennent d'être évoqués, notamment des surcotes<sup>46</sup> sur leur bordure opposée au secteur d'origine du vent, ou parce qu'elles facilitent la transmission vers l'intérieur de la plaine de la dynamique des événements marins ; mais elles peuvent aussi les apparenter ou à ceux qui vont être traités ci-dessous, notamment en ce qu'elles sont le réceptacle de nombreux cours d'eau côtiers. De ce point de vue donc, elles agissent de manière comparable en réponse au changement climatique. Toutefois, sur le premier point, par comparaison aux effets maritimes proprement dits, les phénomènes qui les affectent sont atténués par les distances d'un bord à l'autre, et les profondeurs d'eau qui sont généralement faibles. Il reste que, dans les cas où la voie ferrée les côtoie, les traverse, voire même s'installe dans leur bassin, elle verra sa vulnérabilité aux conséquences du réchauffement augmenter.

### 6.- La combinaison érosion/submersion – le recul du trait de côte

On voit, dans les paragraphes qui précèdent, l'étroite interaction qui s'établit entre l'érosion et la submersion et les dangers qu'elle fait courir à toute la zone du front de mer et des lagunes. Roland PASKOFF présentait cette combinaison comme un « *troisième scénario d'évolution des lagunes par migration vers la terre [après les scénarios A et B du § 3], amoindrissement et ouverture de brèches dans les cordons qui est déjà en cours pour les étangs du Languedoc. (...) Une telle évolution devrait s'accélérer avec l'augmentation de la vitesse d'élévation du niveau de la mer. Il faut par conséquent prévoir le percement de nouvelles passes dans les cordons littoraux, donc une accentuation de la maritimisation des lagunes et conséquemment une salinité* »

---

<sup>45</sup> DRE, La submersion marine en Languedoc-Roussillon, éléments de définition (note C.VANROYE, février 2008) ;

<sup>46</sup> Des surcotes ont ainsi été enregistrées à l'hiver 95/96, de 0,55 m NGF sur l'étang de Leucate et 0,70 m NGF sur l'étang de Thau (source : CETE d'Aix en Provence, 2002). Mais les renseignements font cruellement défaut.

accrue. (...) Cette évolution mettra évidemment en danger les aménagements de bord de mer. »<sup>47</sup>

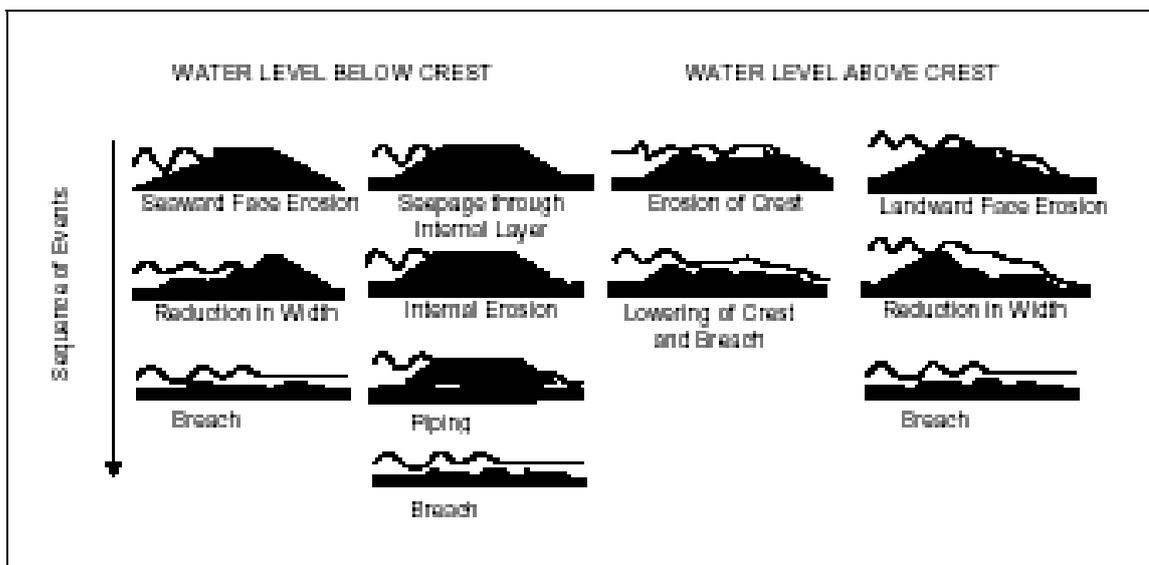
Un scénario différent, ne se traduisant pas par la destruction du cordon dunaire, mais son déplacement latéral, est décrit dans les études sur le phénomène d'« overwash » (débordement-dépôt, la vague qui submerge transporte avec elle des sédiments vers l'intérieur, le mot a d'abord été employé en Louisiane). Dans le cadre du programme IMPLIT, leur déroulement a été étudié en Camargue et à Maguelonne :

« 1°) la surcote et les houles de tempête repoussent l'eau marine vers l'étang. La pente de la plage est régulière et la masse d'eau progresse [...] tout en mobilisant du matériel.

2°) à l'approche du cordon dunaire, les vagues les plus hautes parviennent à franchir celui-ci tandis que le reste de la lame d'eau s'engouffre par des points dépressionnaires et en particulier par le chenal déjà creusé lors des tempêtes précédentes. Cette concentration de l'énergie des vagues provoque un élargissement du chenal primitif. [...] Une grande quantité de matériel est arrachée et mobilisée à la dune et à la plage par les intrusions marines.

3°) [...] Le recul du trait de côte au niveau de la plage est totalement compensé du côté de l'étang et le déficit en volume de sédiments de la plage est en partie récupéré en arrière des dunes. On assiste donc bien à un phénomène de rollover du cordon dunaire accompagné d'une érosion quasi-généralisée de la dune en place. Bloquer ce mécanisme par la construction de digues se traduirait par une augmentation artificielle de l'érosion liée aux phénomènes de réflexion. Dans l'hypothèse d'une augmentation des tempêtes, il convient de laisser reculer le cordon littoral là où les activités humaines situées en arrière ne sont pas en danger ».<sup>48</sup>

#### 4 scénarios de recul naturel du trait de côte, par érosion et par submersion



Source : Methodology for coastal evolution risk mapping, in RESPONSE, op.cit.

<sup>47</sup> R. PASKOFF, le changement climatique et les espaces côtiers, 2001.

<sup>48</sup> IMPLIT

Quel que soit le scénario, il reste que lorsque la voie ferrée est supportée par le cordon dunaire, elle risque bien d'être « rattrapée » par la mer dans l'ampleur de retrait du trait de côte déjà indiquée (cf annexe).

La stratégie de réponse n'est pas simple non plus à déterminer L'expérience – notamment sur la côte languedocienne – a montré que le recours systématique aux ouvrages de défense pouvait être illusoire, s'ils ne font que déplacer la zone d'attaque, voire contre performant, s'il accroît la pression de l'énergie de la mer sur des points plus fragiles. Non seulement « *l'élévation du niveau marin entraînera un niveau d'attaque plus élevé des houles de tempêtes, susceptible de détruire, voire de submerger le cordon dunaire* » ; mais « *toutes les tempêtes entraînent un bilan sédimentaire négatif, lié à l'affouillement le long des ouvrages* ». <sup>49</sup> lesquels ouvrages, on le rappelle encore, peuvent être le remblai ferroviaire.

Ce jeu des paradoxes, véritable « cauchemar de l'ingénieur », à l'origine des expériences de retrait stratégique comme celle engagée sur le lido de Sète, concerne au premier chef l'infrastructure ferroviaire quand sa configuration l'y implique. Ce sera l'une des préoccupations majeures du siècle en la matière. C'est pourquoi l'indicateur à suivre en la matière n'est pas seulement le déplacement **vertical** de la mer mais aussi son déplacement « **horizontal** » ou **latéral**. **Pour donner une mesure de l'exposition de la ligne à une pénétration de la mer jusqu'à la limite de son infrastructure, on retiendra en situation moyenne<sup>50</sup> une distance de l'ordre de 300 mètres.**

## 7.- Les inondations continentales

Le risque d'inondation est identifié aujourd'hui pour 28 % de la superficie de la plaine littorale. IL appartient à quatre catégories, toutes susceptibles de concerner d'une manière ou d'une autre l'infrastructure ferroviaire en étant aggravées par les effets du changement climatique sur les tempêtes marines, une fois encore, et les orages cévenols qui ne sont pas sans conséquences sur l'hydrographie de la bordure sud du massif :

- les crues torrentielles caractérisées par la montée rapide des eaux concernant la plupart des fleuves descendant en pente rapide des Cévennes, du Minervois et des Corbières, et enfin des Pyrénées ; l'importance de la montée des eaux dans certains de ces fleuves dans certains épisodes (bassin de l'Orb, par exemple), ne permet plus de considérer que la ligne de chemin de fer sera toujours à l'abri dans le futur ;
- les inondations de plaine dans l'aval de ces cours d'eau, retenus « en entonnoir » par la succession larges espaces de débordement fermés et d'étroits goulets d'évacuation qui les rétrécissent, notamment les graus des lagunes ; la forme en delta de leur partie côtière contribue dans certains cas à un mélange de bras de dimensions variées, de terrains plus ou moins marécageux et de zones humides (Hérault, Orb, Aude dans l'arc Agde – Valras) ;
- les crues par ruissellement provoquées par la conjonction des pluies diluviennes généralement orageuses d'une part, et l'imperméabilisation des sols d'autre part. : celle de l'urbanisation et de la périurbanisation (Montpellier, 2005), et celle également liée à l'aridité dont on a vu qu'elle ne pouvait que

---

<sup>49</sup> Mireille PROVANSAL, François SABATIER, Impacts de la montée du niveau de la mer sur la côte du delta du Rhône.

<sup>50</sup> Pente moyenne comprise entre 0,5 et 1,5 %, peu d'obstacles.

s'accroître au cours du siècle périurbain qui trouvent leur origine dans les orages violents ;

- le débordement des étangs qui procède à la fois de phénomènes analogues à ceux de la mer (surcotes liées aux vents) et de ceux qui viennent d'être cités.

En ce qui concerne ces trois dernières catégories, on verra dans l'examen par secteur ci-dessous que la ligne traverse ou côtoie les zones concernées de sorte que sa fragilisation ne peut pas être exclue dans l'avenir. Cependant, c'est encore plus à travers le risque de concomitance d'aléas d'origine marine et continentale que ces zones appellent la plus grande vigilance.

#### 8.- La question de la concomitance crues fluviales - submersion marine

Dans le contexte qui vient d'être décrit, il s'agit bien du risque susceptible de se manifester à grande échelle au cours de ce siècle, puisque les conditions vont s'y trouver réunies pour que les zones inondables et celles soumises à des menaces de submersion se rapprochent et se rencontrent. En paralysant réciproquement leurs écoulements, en accroissant en conséquence les niveaux de la période de crise, en allongeant celle-ci, et en remontant plus loin ses effets dans le lit majeur des rivières. Le fait ne sera pas complètement inédit : ainsi, il s'est déjà produit à l'embouchure de l'Hérault (Agde, 1997). La synchronisation des tempêtes et de leurs conséquences dans le temps, entre la partie continentale et la partie maritime, n'est nullement improbable.

Mais le déficit de connaissance, voire d'alerte, et de prévention semble flagrant. Il n'a ainsi pas été possible de repérer des éléments de quantification de l'ampleur du risque, notamment dans les communes traversées par la voie ferrée. Tout se passe également comme si les inondations fluviales et les submersions constituaient des domaines étanches l'un à l'autre d'un point de vue tant épistémologique que juridique ... ce dont il est difficile de s'accommoder eu égard à l'importance potentielle du sujet.

Dans un rapport du SMNLR sur la tempête de 2003, on peut lire ce qui suit : « Cet épisode marin a pu aggraver la situation des inondations aux débouchés des fleuves dans le département de l'Hérault comme le montre la photo ci-dessous » :<sup>51</sup>



Source : SMNLR

*à l'embouchure de l'Hérault  
(Grau d'Agde) le 4 décembre 2003 à 12h*

On tâchera dans le chapitre suivant de réduire ce déficit, au moins, par un essai de cartographie traitant des deux problèmes du point de vue territorial.

### 9.- le risque de tsunami

Ce risque n'a pas a priori de lien avec le changement climatique. Mais l'expérience prouve, s'il en était besoin, le pouvoir destructeur d'un événement de ce type.

Tout d'abord le risque existe. Des travaux ont été récemment engagés par le BRGM et ont apporté une contribution importante au premier rapport parlementaire établi sur ce sujet.<sup>52</sup> Il convient d'en retenir que deux simulations ont été réalisées qui ont un impact sur la côte languedocienne. La première, à partir d'un séisme face aux Pyrénées orientales (magnitude 6,7 plus élevée que celle des séismes français connus mais évidemment très éloignée des 9,1 du 2 décembre 2004)), provoque une hauteur de vague de 0,6 mètre à hauteur de Port-la-Nouvelle. Le second, à partir d'un glissement de terrain au « canyon » Lacaze-Hérault, face au delta Orb-Hérault, induit une hauteur de vague de 1,5 mètre au Canet et de 1 mètre à Frontignan. On voit que l'on est dans les ordres de grandeur des vagues de tempête classiques, et que par conséquent, le

---

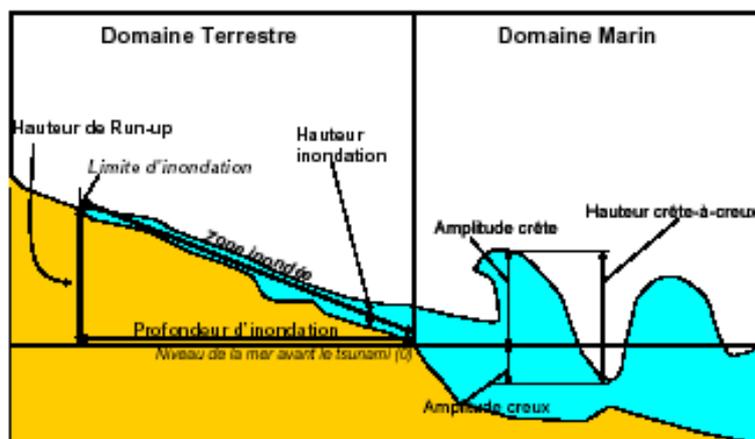
<sup>51</sup> SMNLR, Analyse de la tempête marine du 4 décembre 2003.

<sup>52</sup> M. Roland COURTEAU, sénateur, rapport établi au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 7 décembre 2007.

niveau menacé évoluerait au cours du 21<sup>ème</sup> siècle de façon parallèle (élévation moyenne générale du niveau + hauteur de vague spécifique), avec des conséquences analogues en termes d'érosion, de submersion et de contribution au recul du trait de côte.

Bien entendu, cette remarque ne vaut que pour ce qui concerne les hauteurs de vagues. On sait par ailleurs que l'énergie contenue par celles-ci peut en certaines circonstances atteindre une puissance sans commune mesure avec celle des tempêtes classiques, et que, par conséquent, même avec une occurrence faible, les mesures de prévention concernant notamment les normes de construction ne doivent pas être négligées.

Surtout, dans un tel contexte, plus le domaine touché par la vague est préalablement fragilisé, y compris par toutes les attaques déjà citées dont il est l'objet, plus les dégâts matériels et humains peuvent être importants et amplifier la catastrophe. Lorsqu'on est dans une logique de protection, il est pertinent d'intégrer ce risque comme élément de mesure du niveau de sécurité à essayer de garantir.



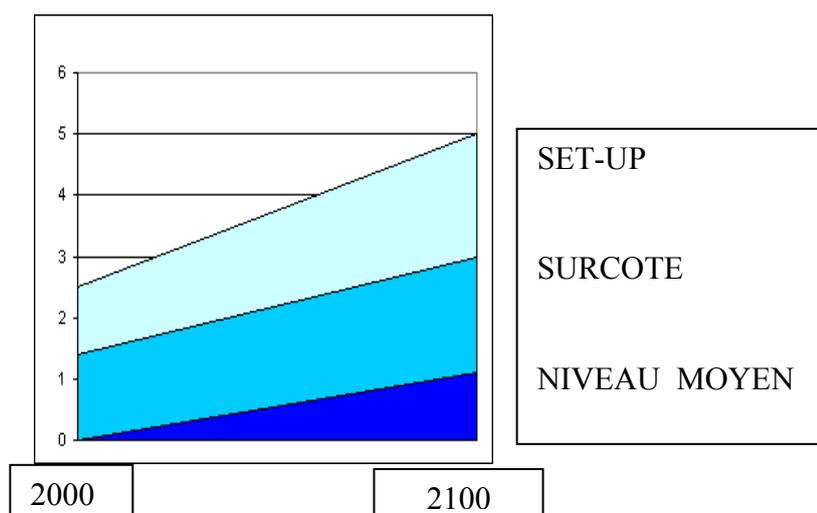
Source : BRGM, d'après Pedreros et Poisson, 2007

*Dynamique de la vague de tsunami au rivage : comparable à celle décrite pour les tempêtes*

récapitulation des impacts quantifiés (cf annexe technique)

Le tableau ci-dessous a été représenté dans le graphique suivant par une « échelle mobile » des altitudes de vulnérabilité que l'on applique ensuite aux divers secteurs d'étude de la ligne, comme élément de détermination des priorités.

en m NGF 69	Référence 2000	Variation retenue	2100
niveau mer normal	0	1	1
surcote maximale	1,5	0,5	2
sous-total 1	1,5	1,5	3
houle addit. Maximale "set-up"	(8)	2	(10) 2
total 2			5
Amplitude possible De l'invasion marine			300 mètres



## lité de la ligne par secteur géographique

### Présentation des outils

#### Avertissement

**Les références de toute nature dans ce chapitre aux risques inondation ou submersion marine, et notamment la cartographie, s'appuient sur une diversité d'éléments d'information recueillis qu'on a tenté de recouper et de synthétiser avec pour préoccupation la description de la situation de la ligne en regard. Cela à notre sens doit permettre d'alimenter la réflexion sur les stratégies à mener. Ces observations ne sauraient en aucune manière être utilisées à des fins différentes de cette réflexion.**

#### Tableaux

Chaque dossier de secteur géographique (sauf celui des basses plaines de 'Aude pour lequel un « tableau » ne s'imposait pas) commence par un tableau retraçant les « points chauds » rencontrés par la ligne, classés par commune :

- Risque existant
- ▶ Risque à venir
- ▶ Risque en accroissement
- ♣ Risque identifié comme probable

jPi PPR inondation approuvé

## ages cartes et graphiques d'altitude

Pour chacun de secteurs géographiques on trouve regroupés sur une même page :

*Les graphiques d'altitude de la ligne* avec indication des points singuliers (inflexions, passages inférieurs ou égaux à 2 mètres) et référence aux deux niveaux proposés comme « stratégiques » : 3,50 (3 m de la grille + 0,50 correspondant au plan de roulement) et 5 mètres ;

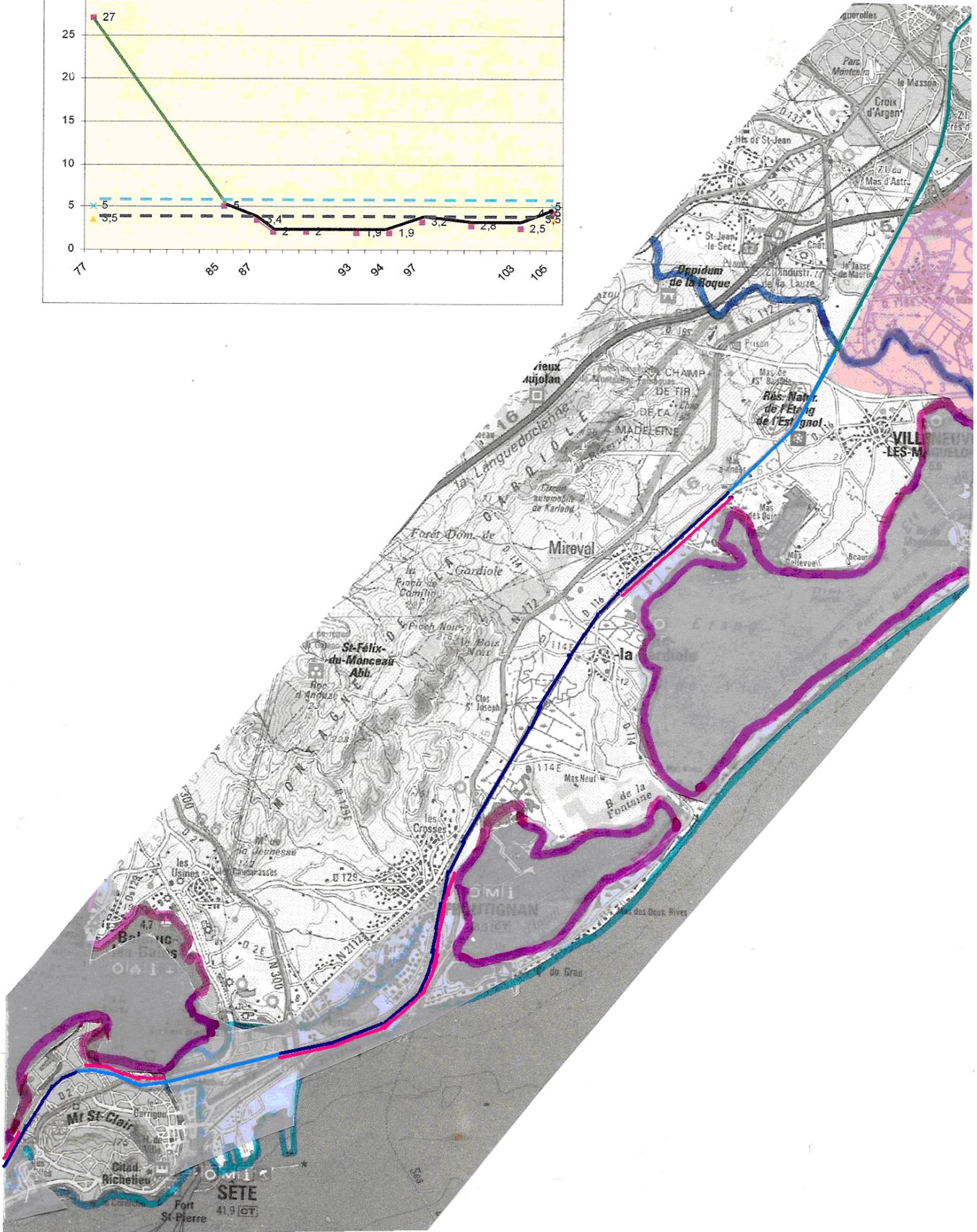
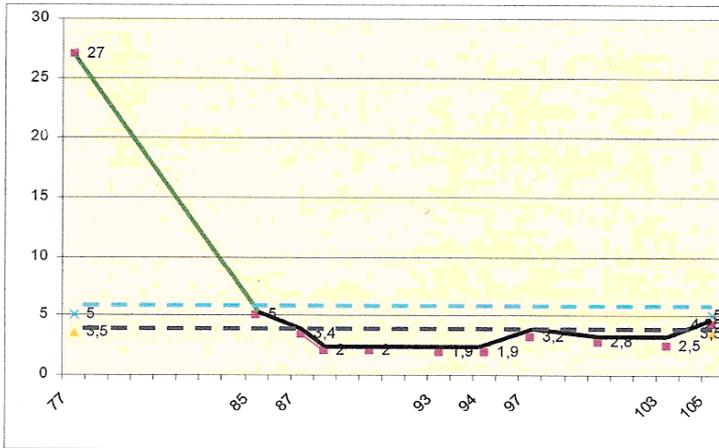
*Les cartes* (1/100 000 aux ajustements de format d'impression près) où l'on trouve :

- le report à des données altimétriques ci-dessus selon les trois catégories distinguées dans les graphiques ;
- les sections de ligne dont la proximité avec la mer et les étangs est inférieure à 300 mètres ;
- les passages dans les zones inondables et/ou submersibles, et susceptibles de le devenir pour les dernières.

Zone inondable	
Périmètre de submersion	
Zone inondable et submersible	
Tronçon non concerné	
Tronçon de 3,50 à 5 mètres	
Tronçon < 3,50 mètres	
Tronçon distance < 300 m (mer ou étang)	

Localisation	géomorphologie côtière		impact sur la ligne		aléa crues fluviales		surcote étangs
	érosion	submersion	maritime	fluvial	impactant la ligne	possibilité de concomitance	
<i>Lido Palavas-Frontignan</i> <b>LATTES front de mer</b> <i>Palavas</i> <b>LATTES (commune)</b>	■▶	■▶	indirect	direct	■▶ ■▶ ■▶ Pi	♣	■▶ ■▶
<b>VILLENEUVE les MAGU.</b> <i>- Maguelone, Aresquiers</i>	■▶			direct	■▶		
<b>MIREVAL</b>		▶	direct				▶
<b>VIC-LA-GARDIOLE</b>		▶	direct			♣	▶
<i>- canal</i> <b>FRONTIGNAN ville</b> <i>- Frontignan plage</i>	■▶	1,2 m ■▶	direct direct		■▶ Pi (Thau)	♣	▶

Autres points de vigilance : Etablissement SEVESO « seuil haut » à Frontignan : GDH





*Le Lez à Lattes : fleuve endigué, lagune, lido, mer. Photo BRL*

La zone étudiée commence à la limite des communes de Montpellier et Lattes, au PK 80,4, à distance à ce pont de 7 km de la mer, et de 4 km de l'étang d'Amel, pour se terminer en bordure de mer à hauteur de la plage de Frontignan, extrémité ouest du lido de Palavas (PK 102,3, entrée sur le territoire de la commune de Sète).

Les 4 premières communes traversées (Lattes, Villeneuve-les-Maguelone, Mireval, Vic-la-Gardiole) sont dans le bassin versant Lez-Mosson, qui est à l'origine de zones inondables [fréquence à noter pour les années récentes : déc.2002, décembre 2003, septembre 2005], qu'elle longe ou traverse. Le Lez, la Mosson, le Rieucolon, le Lantissargues et le Rondelet alimentent des étangs palavasiens, la plaine adjacente et les zones humides ouverts sur la mer. Des risques de rupture des digues de ces petits fleuves côtiers très sensibles aux précipitations intenses sont constatés, et soulignés dans les documents de prévention<sup>53</sup>. Sur la côte, des ruptures de cordon dunaire sont signalées à Villeneuve-les-Maguelonne (Lido de l'étang de Pierre Blanche) cependant que la ligne s'établit par deux fois en dessous des 2 mètres.

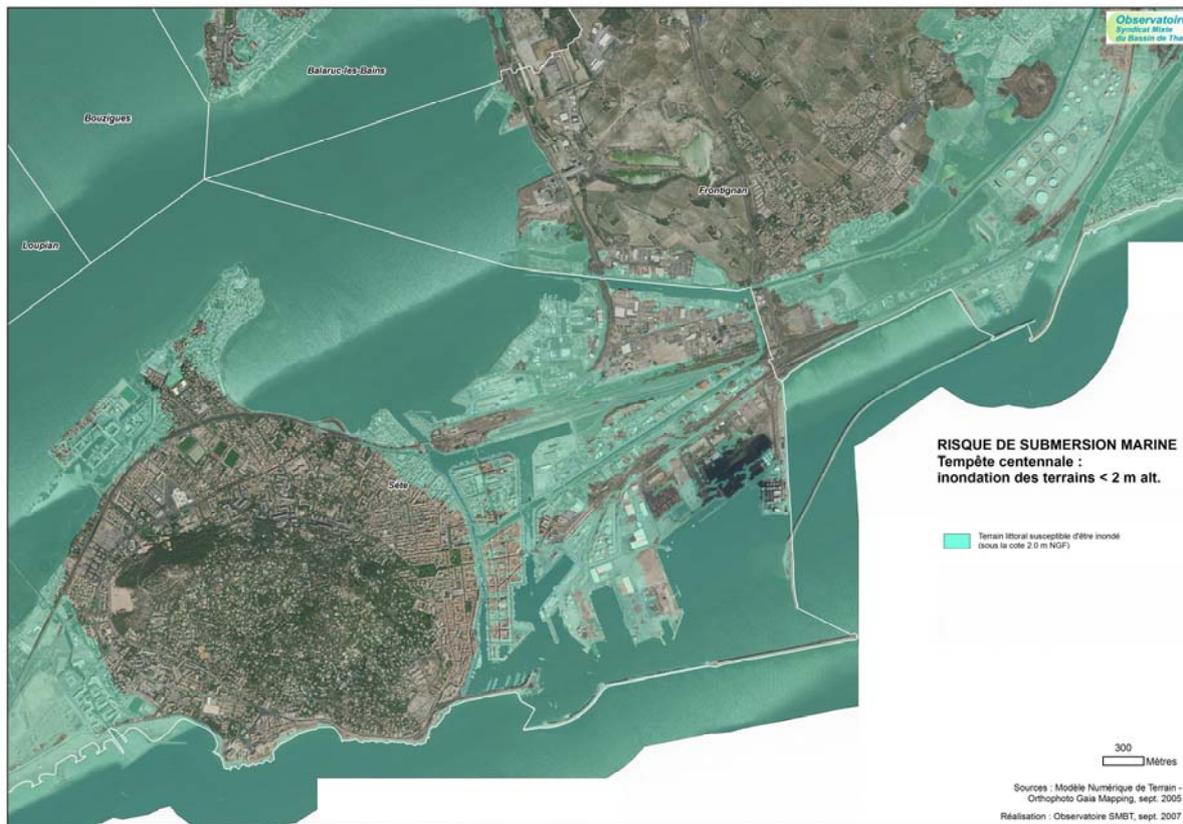
Le massif de la Gardiole abrite sur quelques kilomètres la ligne en séparant le bassin versant Lez-Mosson de celui de l'étang de Thau, mais c'est pour entrer à Frontignan dans un espace ouvert aux submersions marines, comme en témoigne la simulation ci-dessous réalisée pour l'Observatoire du Syndicat Mixte du Bassin de Thau<sup>54</sup>.

Des concomitances entre crues fluviales et submersion marine au voisinage de la ligne ne peuvent donc pas être exclues sur deux secteurs particulièrement, à la rencontre des zones inondables de

<sup>53</sup> PPRi de Lattes. DDE de l'Hérault, avril 2007.

<sup>54</sup> La communauté de communes du bassin de Thau est dotée d'un PPRi (...)

Lattes/Villeneuve-les-Maguelone d'une part, et dans l'aire de submersion de l'étang de Thau d'autre part.

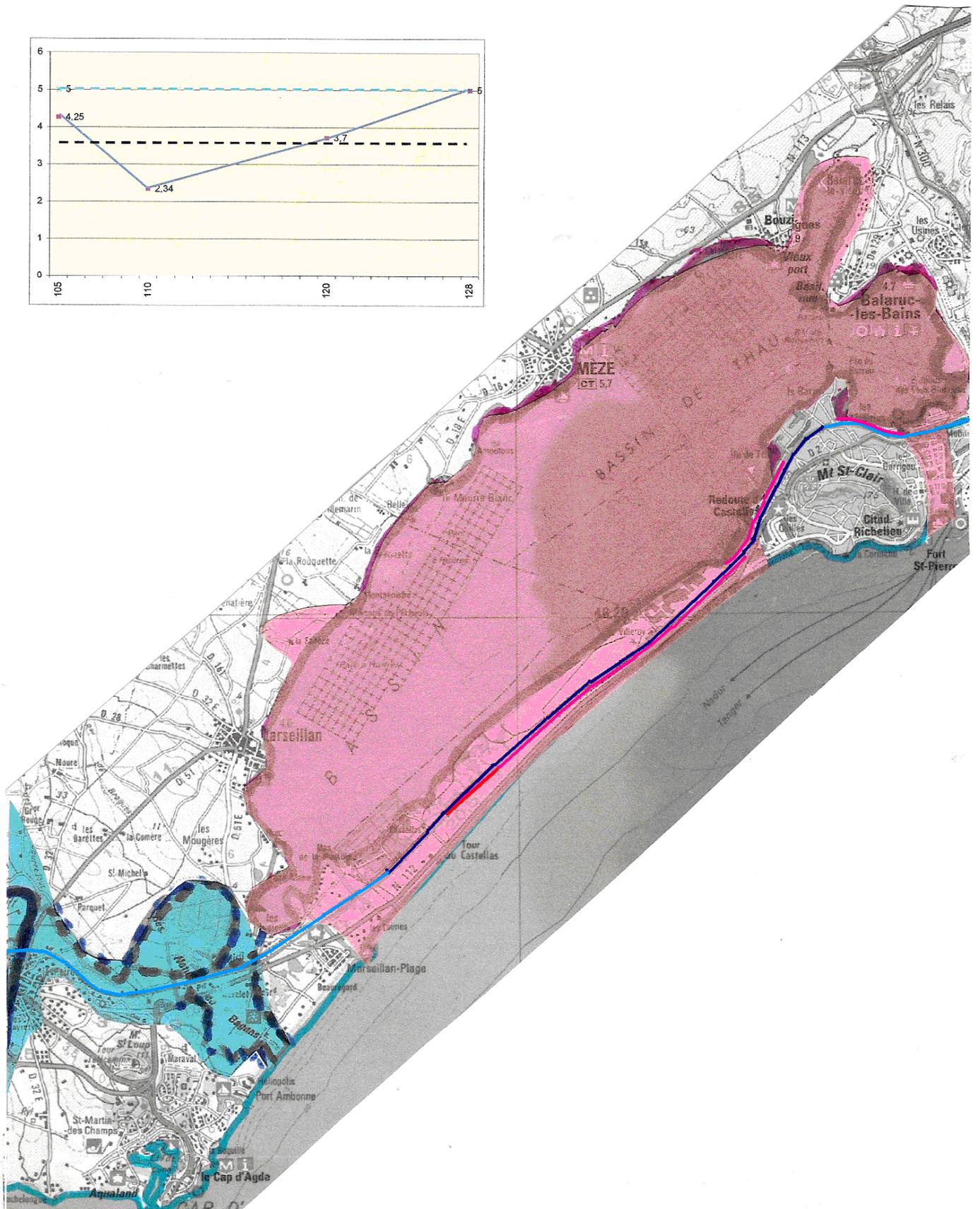
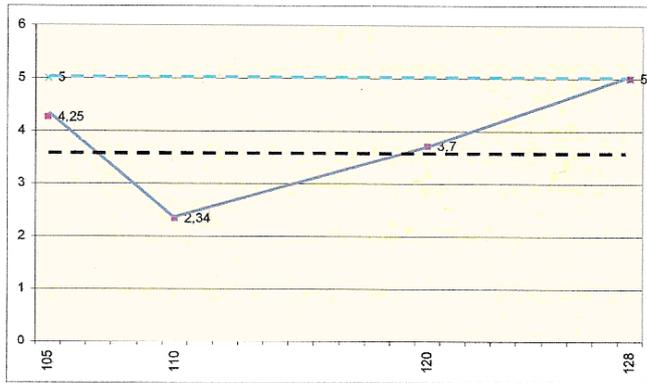


*Simulation de la submersion marine pour une tempête « centennale » atteignant 2 m NGF, c'est-à-dire inférieur au maximum étudié dans ce rapport. La ligne (entrée sur la carte à l'angle nord-est, PK 86) est à la limite de submersion au droit des dépôts d'hydrocarbures qui eux sont inondés, elle l'est ensuite tout à fait jusqu'à l'entrée dans la zone industrielle et portuaire de Sète.*

## Lido de Sète et Etang de Thau

(PK 102,3 à 123)

Localisation	géomorphologie côtière		impact sur la ligne		aléa crues fluviales		surcote étangs
	érosion	submersion	maritime	fluvial	impactant la ligne	possibilité de concomitance	
Sète/Lido/Thau		■▶	talus				
<b>SETE</b> - port de Sète - lido Sète - Marseillan	■▶ ■▶	<b>1,06 m</b> ■▶ ■▶	faisceaux, gares voyageurs & fret direct			niveau du grau	▶ ▶ ▶
<b>MARSEILLAN</b> marseillan plage	■▶	■▶	direct			niveau du grau	▶



La ligne atteint la gare de Sète par l'est dans un contexte de plus grande vulnérabilité encore que dans le secteur précédent : les installations ferroviaires dans leur majeure partie, avant et après le passage du Canal de la Bordigue (reliant l'une partie du port et l'étang de Thau à la mer), apparaissent, dans la simulation effectuée pour le SMTB comme susceptibles d'être submergées. On notera que dans ce scénario la ville de Sète n'est plus vraiment une presqu'île.

De justesse, le caractéristique pont ferroviaire mobile de la Bordigue (de même certainement que son parallèle routier) échappe à la submersion dans cette simulation mais, du point de vue des cotes retenues dans cette étude, il reste très exposé aux houles de tempête.

Les données concernant Sète font apparaître<sup>55</sup> :

- des surcotes de l'ordre du mètre (1,06 en 1997, 0,85 en 2003)
- des hauteurs élevées de houles de tempêtes :
  - houle annuelle : 4.63 m
  - houle décennale : 6.09 m
  - houle cinquantennale : 6.93 m
  -

pont ferroviaire mobile de la Bordigue à Sète

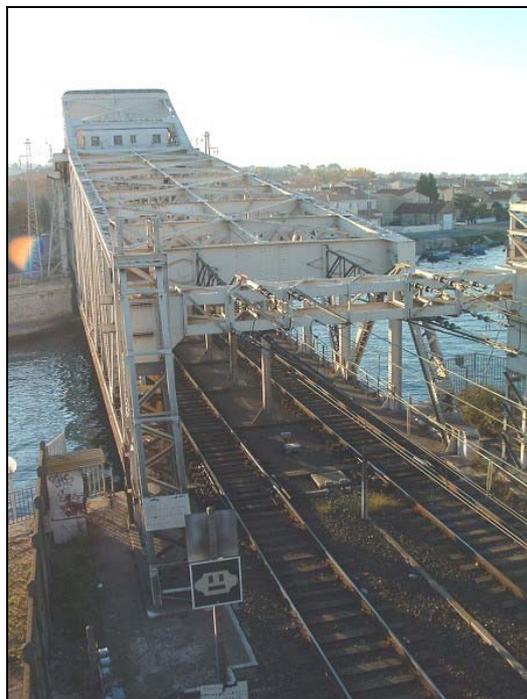


Photo Luc Nueffer/Structurae

Après avoir retrouvé la zone submersible au « triangle de Villeroy », la ligne reste pendant 11 km en position centrale sur le Lido de Sète, jusqu'au grau ouest de l'étang

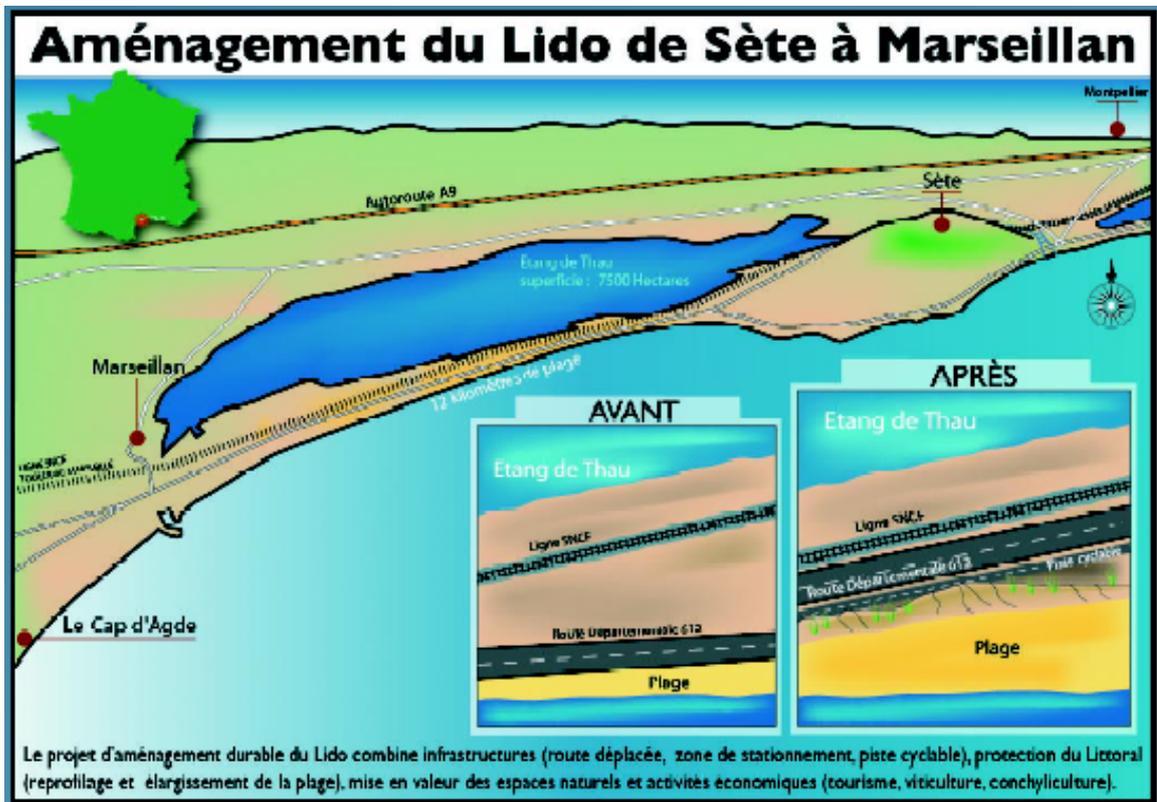
---

<sup>55</sup> CETMEF, avril 1998.

de Thau face à Marseillan plage (PK 121). Sa distance au rivage de l'étang de Thau est assez régulière (600 mètres en moyenne), mais rien n'est susceptible d'interrompre une élévation du niveau de l'étang. Sa distance à la mer est plus variable, s'élargissant progressivement d'environ 200 à 700 mètres. Mais cette différence change d'autant moins les problèmes qui seront rencontrés au cours du siècle que d'ores et déjà est engagé le plan de lutte contre l'érosion de la plage du Lido, qui combine le recul stratégique avec la restauration d'un fonctionnement côtier naturel.



*Dans cette prolongation de la simulation du SMT, apparaît l'insularité de la ville de Sète proprement dite, le contournement nord de la ville par la voie ferrée qui longe en corniche l'étang de Thau et revient, entre étang et mer, prendre position sur le Lido.*



Thau Agglomération, Dossier de Presse, 27 juin 2007

Cette opération, sous maîtrise d'ouvrage de la Communauté d'agglomération du Bassin de Thau, est à la fois sans doute la plus importante menée dans la Région en réponse aux problèmes d'érosion, et la plus novatrice, puisque, conformément aux recommandations formulées depuis un certain temps et rappelées ci-dessus, elle tourne le dos pour l'essentiel aux défenses lourdes en tentant de marier les deux stratégies alternatives du recul stratégique et du nourrissage de la barrière duniaire naturelle (c'est-à-dire, en l'occurrence, reconstituées en arrière de l'ancienne). Elle se combine en même temps avec des mesures visant à atténuer les effets de la fréquentation et des établissements humains.

#### PRINCIPALES OPTIONS RETENUES POUR LE LIDO DE SETE <sup>56</sup>

Pour le recul de la route et la lutte contre l'érosion	Déplacement de la voie littorale le long de la voie ferrée sur près de 12 km
	Restauration et aménagement du cordon duniaire d'environ 3 m NGF, avec une plage de 30 à 70 m
	Protection de la section Listel
Pour le stationnement et le transport	Création de quelques aires
	Service de transport collectif
	Cheminement mixte piéton-cyclable
Pour l'équipement d'accueil	Réhabilitation du site de la Redoute
	Bâtiments d'accueil, de service et de sanitaires

Cependant, elle laisse place à des interrogations sur ses conséquences futures pour la voie ferrée. D'un côté, cette translation de la dune et de la route vers l'intérieur des terres conduit à faire voisiner celle-ci avec la voie ferrée. De l'autre, une fois reconstitué dans son nouvel espace, le système de type duniaire aura sa dynamique propre qu'il serait paradoxal d'interrompre, et l'on pourra donc se retrouver à terme dans une situation où la modeste surélévation de l'infrastructure ferroviaire (équivalente à la hauteur de la dune reconstituée) représenterait le dernier obstacle à une interpénétration de la mer et de l'étang de nature à faisant perdre à celui-ci son caractère d'eaux de transition, avec les multiples conséquences écologiques et économiques qui en résulteraient. De surcroît, la voie ferrée se retrouverait confrontée elle-même à des problèmes d'érosion, de risques de rupture, etc. Par conséquent, son emplacement et sa résistance aux agressions dont elle est l'objet deviennent des enjeux à faces multiples.

Or le projet actuellement en cours de réalisation est soit discret sur la place de la voie ferrée, ou quelque peu ambigu : va-t-on jusqu'à la voie ferrée parce que c'est la dernière limite, de fait, des aménagements possibles, ou bien la considère-t-elle comme étant elle-même un élément du dispositif de protection, mais en ce cas intervenant comment dans le parti qui été choisi ?

Si donc le recul organisé du trait de côte est reconnu aujourd'hui comme un outil majeur des stratégies de réponse à l'érosion notamment des rivages sablonneux, il paraît nécessaire de lui intégrer des actions de nature à prévenir des conséquences éventuellement plus graves, sur d'autres plans, que celles que l'on pensait éviter. Dans

<sup>56</sup> Muriel CARRENO Répondre à l'élévation du niveau de la mer en région Languedoc-Roussillon.

son étude déjà citée, Muriel CARRENO pose à la fois le problème de la voie ferrée (ce en quoi elle fait exception dans la quasi-totalité des documents dont nous avons eu connaissance) et s'interroge sur la pérennité de cet aménagement :

*« Dans le scénario le plus alarmiste, nous pourrions considérer que malgré le recul celui-ci ne serait pas suffisant ; et qu'ainsi, une tempête d'ampleur exceptionnelle serait à même à nouveau, de venir à la fois déferler sur la route mais encore emporter la voie ferrée. La question des distances de recul doit donc rester au centre de la discussion, elle est indispensable si nous souhaitons agir en terme de durabilité. Sur le Lido de Sète et Marseillan, le triangle de Villeroy est à cet égard le secteur le plus sensible. La route, malgré son recul ne pourra être portée qu'à une distance maximale de 35 mètres du rivage, alors qu'en pointe de Marseillan celui-ci est de l'ordre de 300 mètres. A l'heure des changements climatiques, que valent ces 35 mètres rapportés à l'échelle du temps ? »<sup>57</sup>*

En effet, c'est cette échelle du temps à prendre en compte qui devient primordiale. On peut pour s'en convaincre se référer à l'exemple que nous avons pris dans l'annexe méthodologique (page 93).

\* \*  
\*

A la sortie de Marseillan, la ligne s'éloigne de la mer, mais en commençant par traverser la réserve naturelle de Bragnas, face à port d'Ambonne, gérée par le Conservatoire du Littoral qui la considère comme submersible. Elle contourne la ville d'Agde jusqu'au Pont sur l'Hérault qui précède immédiatement la gare d'Agde.

A partir de là, elle va être surtout concernée par les vastes territoires inondables dus à la conjonction de l'étalement des trois basses vallées de l'Hérault, du Libron et de l'Orb. L'éloignement de la mer s'accroît, mais la côte sablonneuse qui n'est interrompue exceptionnellement que par le secteur rocheux du Cap d'Agde, Elle n'est en outre pas exempte de risques d'interaction entre les surcotes maritimes et fluviales.

---

<sup>57</sup> M.CARRENO, Ibid.

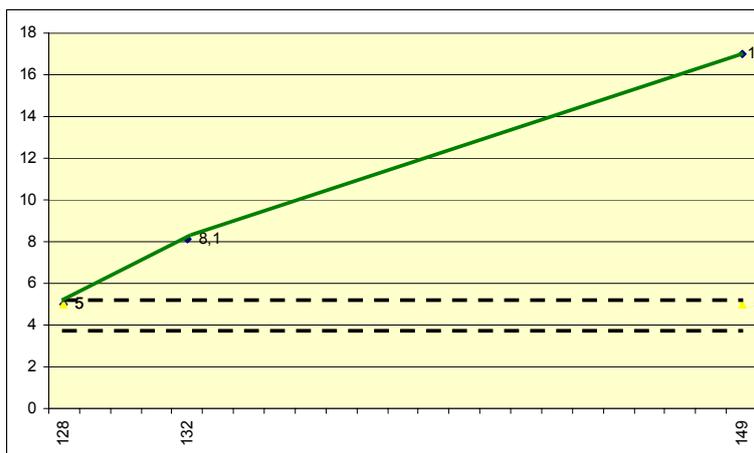
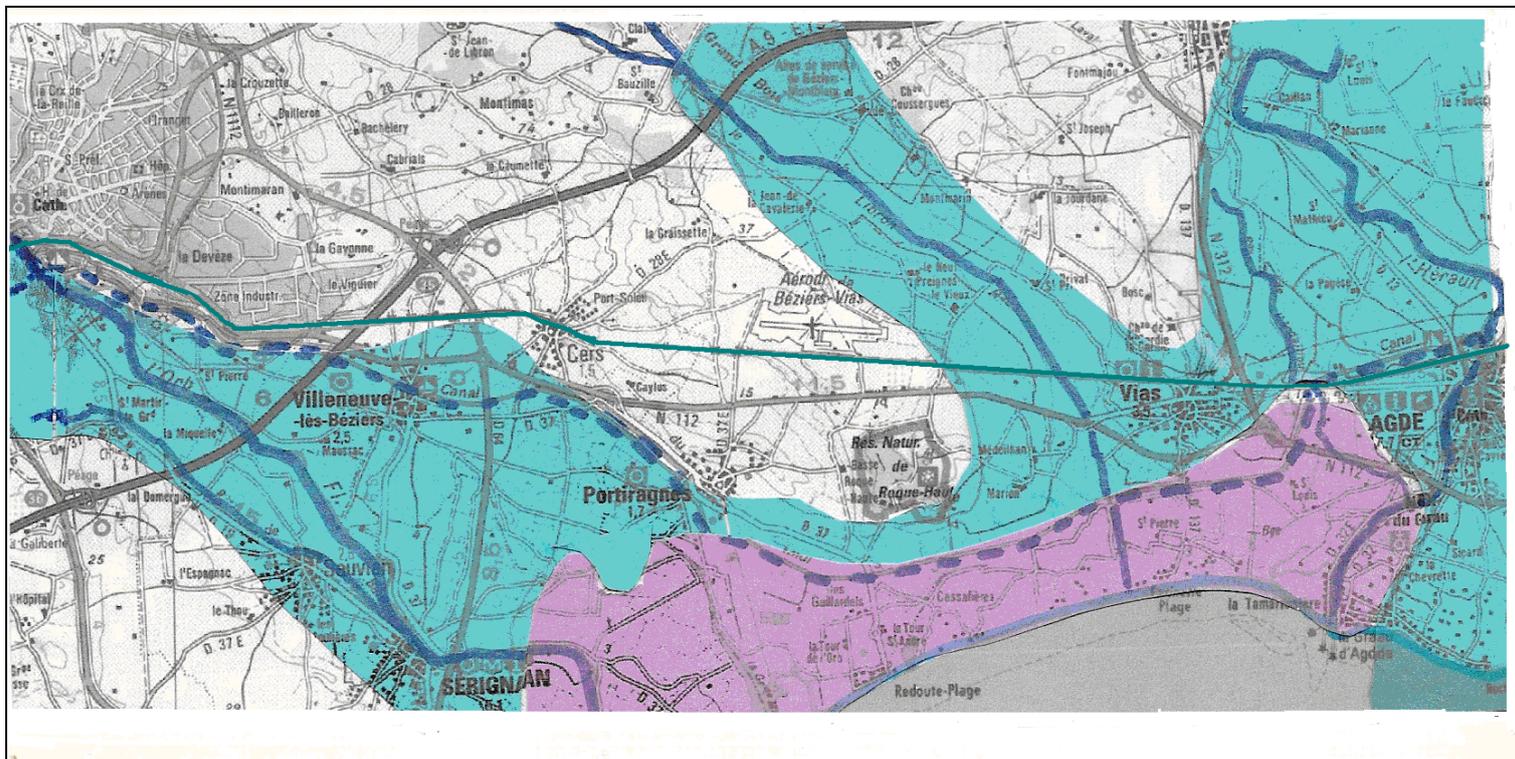
de l'Hérault à l'Orb

(PK 123 - 149,8)

Localisation	géomorphologie côtière		impact sur la ligne		aléa crues fluviales	
	érosion	submersion	maritime	fluvial	impactant la ligne	possibilité de concomitance
<b>AGDE ville et gare</b> <i>Port</i> <i>Port d'Ambonne</i> <i>Cap d'Agde + plages</i> <i>Tamarissière/Grau d'Agde</i>	▶ ■▶	1,00 m* ▶ ▶ ▶		direct   indirect D=4km indirect D=4km	■▶ Pi   ■▶ Pi	♣ ♣ ♣
<b>VIAS</b> <i>Grau du Libron</i>		▶	indirect		■▶ Pi ▶	♣
<b>PORTIRAGNES</b>	■				Pi	
<b>CERS</b>			non	non	Pi	
<b>VILLENEUVE LES B.</b>				possible	■▶	
<b>BEZIERS</b>				direct	■▶ Pi	

Autres points de vigilance : Installations SEVESO à Béziers et Villeneuve les Béziers (3 « seuil haut » : GAZECHIM ; CAMPA SBM ; MINGUEZ : produits chimiques, substances toxiques)

\*Hiver 1995-1996

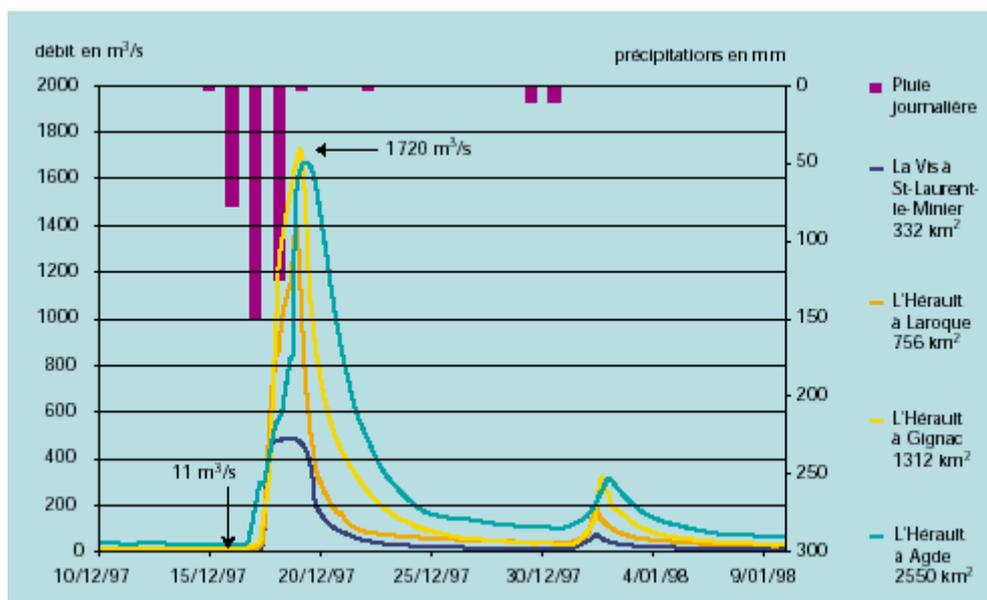


Le tracé de la voie ferrée est principalement concerné par les crues des trois fleuves qu'elle traverse ou rencontre successivement dans cette zone : l'Hérault, le Libron et l'Orb, lesquels concourent à créer autour de leurs embouchures une zone inondable qui se déploie, de Valras au Cap d'Agde, sur une vingtaine de kilomètres de linéaire côtier

Sur la totalité de ce parcours la ligne est à une hauteur supérieure à 5 mètres, et en augmentation constante d'altitude. Progressivement, c'est moins la proximité de la mer que les longs parcours en zone inondable qui pourraient présenter des risques accrus.

La ligne contourne Agde par le Nord, protégée par l'un des rares sites rocheux de cette partie du littoral – le Cap d'Agde, pour se retrouver en pleine zone inondable à traverser l'Hérault juste avant la gare d'Agde (PK 128,3). A ce point, la ligne est à 4 kms de l'embouchure de l'Hérault au Grau d'Agde. Les inondations d'Agde peuvent être spectaculaires ; elles n'ont

certes pas encore atteint le niveau de l'infrastructure ferroviaire, ce qu'une concomitance des surcotes maritimes et fluviales pourrait occasionner, d'autant plus que la magnitude des crues de l'Hérault est remarquable.



Source :  
Crues de l'Hérault, notamment à Agde : exemple décembre 1998

A la sortie de Vias dans la zone inondable qui va jusqu'à la mer (cf. carte ci-dessus) (franchissement du Libron, PK 134) la ligne n'est qu'à 3 km de la côte, particulièrement fragilisée à la fois par une urbanisation mal maîtrisée et une érosion marine intense (recul du trait de côte proche de 2 à 4mm par an) que les ouvrages de protection, en mer ou en bordure de plage, ne paraissent pas contenir. La ligne peut encore être concernée ici un risque de concomitance de l'élévation des niveaux d'inondation imputables à la possibilité de submersion marine.

Sur les territoires des communes de Portiragnes et de Cers, la ligne se rapproche puis pénètre dans la zone susceptible d'être inondée par l'Orb, d'abord à l'écart, puis en bordure, puis tout à fait à l'intérieur la zone inondable en particulier à Villeneuve les Béziers, commune marquée également par la présence d'établissements relevant de la Directive Seveso.

En entrant dans la ville de Béziers au km 145, elle côtoie le Canal du Midi lequel vient lui-même rejoindre le val l'Orb, ce qui conduit les deux infrastructures à se trouver à proximité immédiate de cette rivière et de ses crues, à hauteur suffisante cependant pour la franchir successivement (canal puis chemin de fer) à la sortie de la gare. Les crues classées trentennales, (mais dont la fréquence semble augmenter) sont fortes et causes d'importants dégâts. Le quartier « du Faubourg » face à la gare a été évacué plusieurs fois. Lors de l'épisode de 1995, à certains points une hauteur de 10 mètres et plus au-dessus du niveau moyen habituel a été enregistrée<sup>58</sup> ; plus récemment le 20 janvier 2006 au pont « Tabarka » dernier en amont du pont du chemin de fer, la hauteur de crue a atteint 6,9 mètres<sup>59</sup> Sur 10 ans de 1982 à 2002, les arrêtés de catastrophe naturelle « inondations et coulées de boues » ont couvert 50 jours.

<sup>58</sup> Source : brochure d'information du Syndicat Mixte de la Vallée de l'Orb.

<sup>59</sup> Source : Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable – (Service de Prédiction des Crues).



Source RFF

## Les basses plaines de l'Aude

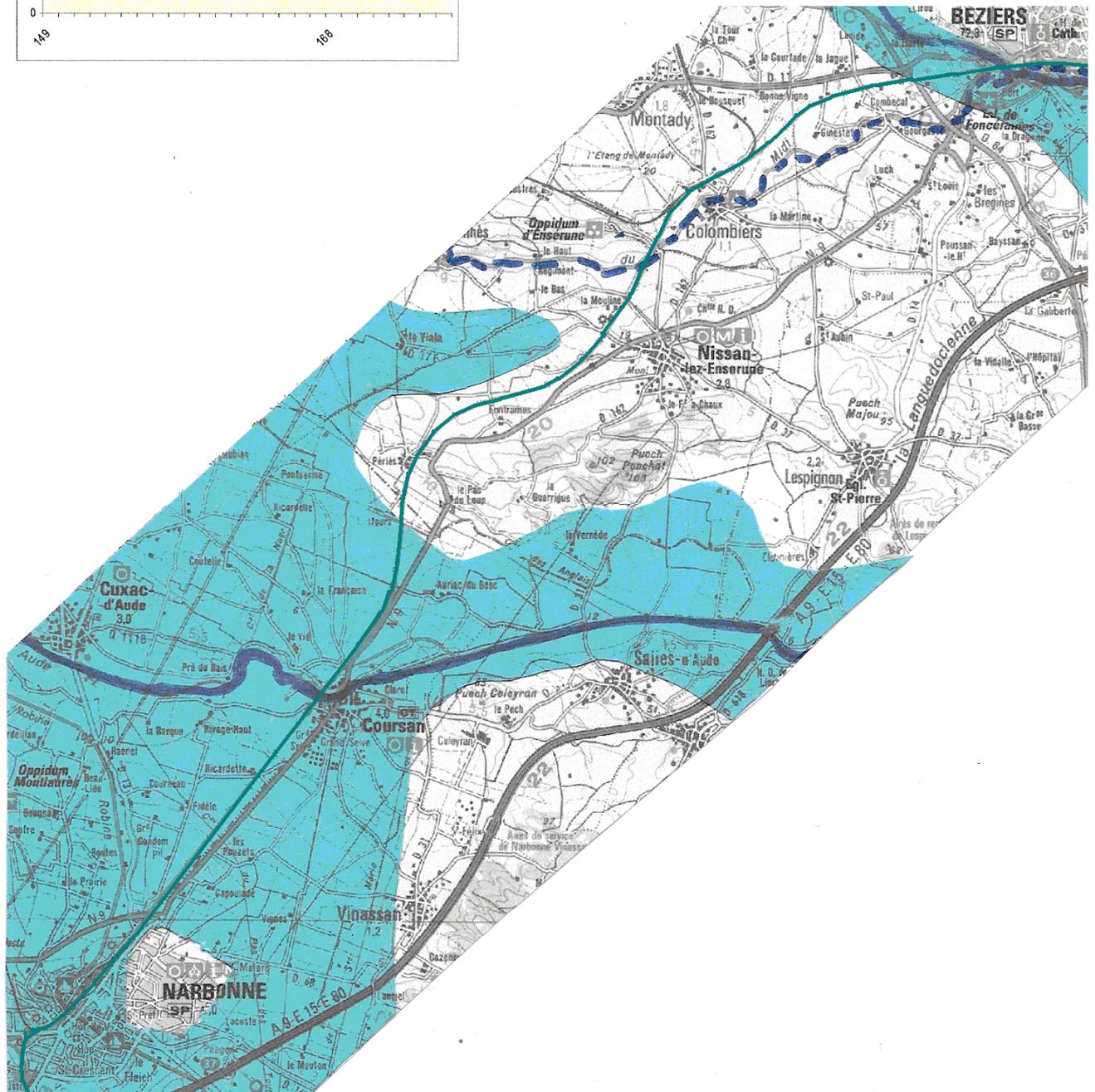
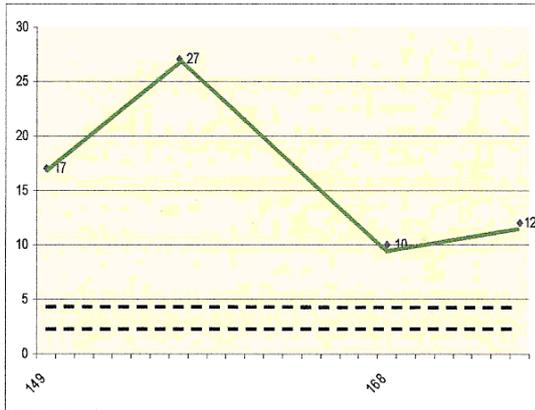
(PK 149,8 à 175)

« Les Basses Plaines de l'Aude sont situées à l'aval d'un bassin versant de plus de 5000 km<sup>2</sup> où l'Aude coule « en toit », c'est-à-dire que le lit du cours d'eau est plus haut que la plaine qui l'entoure. Elles sont soumises à des inondations d'origines diverses : débordements du fleuve Aude lui-même provoquant souvent des ruptures de digues et dont les crues se conjuguent avec celles d'autres cours d'eau ou vallons secs qui drainent les reliefs littoraux, et submersions marines appelées « coups de mer » sur les communes du littoral. Les débordements qui se produisent dans les basses plaines peuvent correspondre à des configurations pluvieuses très variables et engendrer des volumes de crues importants. Les événements les plus dangereux se produisent à l'automne et correspondent à des précipitations intenses sur les reliefs bordant la méditerranée. Ces intempéries qualifiées de phénomènes cévenols, outre les risques qu'elles présentent pour les personnes, provoquent des dégâts considérables et paralysent l'activité socio-économique du secteur. »<sup>60</sup>

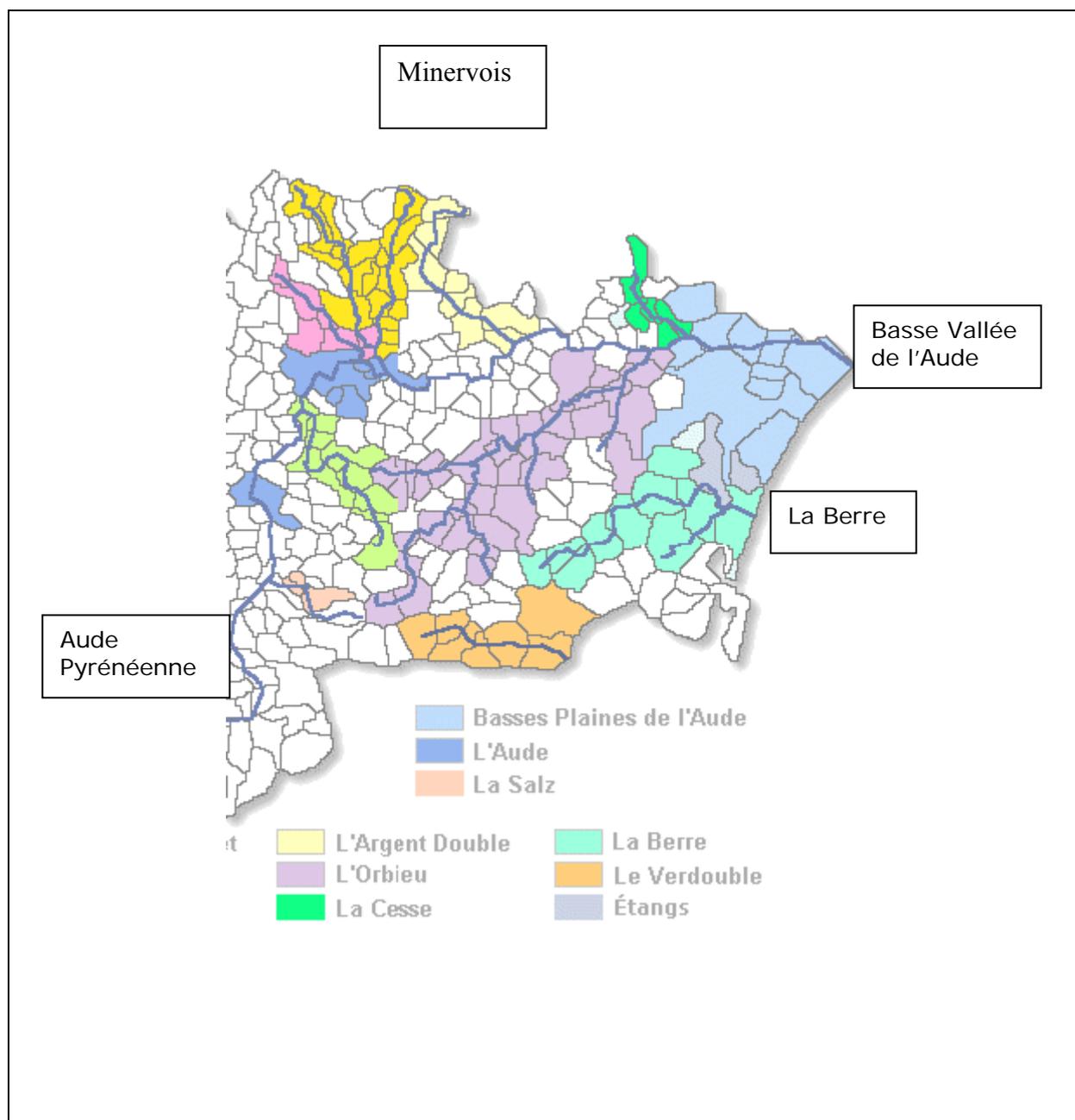
La ligne demeure régulièrement à une distance de la mer. La plupart des localités du littoral correspondant sont confrontées à des problèmes d'érosion. Cependant la distance met la ligne à l'abri de ces difficultés, et c'est donc l'évolution des crues fluviales qu'il conviendra avant tout ici de surveiller.

---

<sup>60</sup> Préfecture de l'Aude



Le réseau hydrographique audois et ses bassins :  
extrême variété de l'alimentation en eau



Programme d'action et de prévention des Inondations (PAPI) des basses plaines de l'Aude.

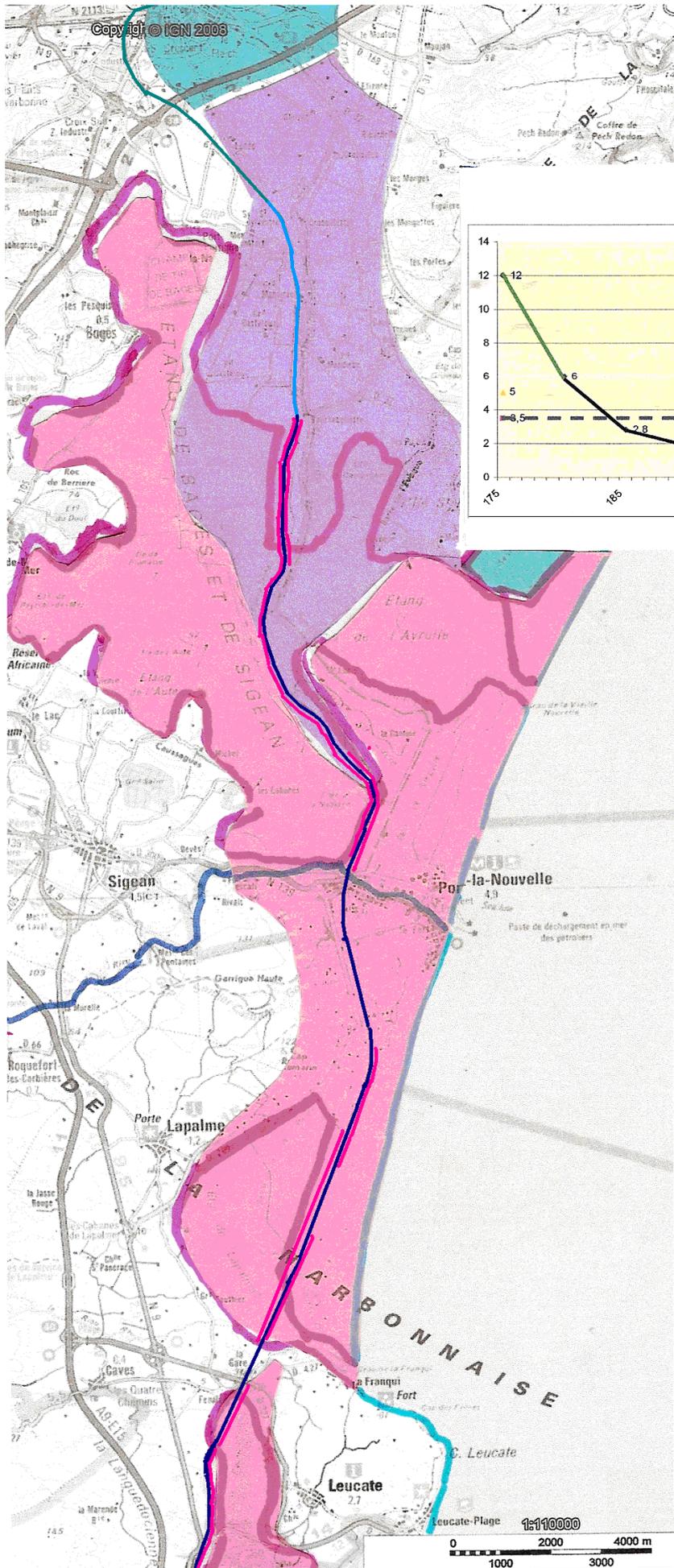
## Les étangs de la Narbonnaise

(Narbonne- Cabanes de Fitou - PK 175 à 211)

Localisation	géomorphologie côtière		impact sur la ligne		aléa crues fluviales		surcote étangs
	érosion	submersion	maritime	lacustre	impactant la ligne	possibilité de concomitance	
<i>port</i> <b>(GRUISSAN)</b> <i>Lido de la côte rose</i> <i>Lido de l'Ayrolle</i>	▶	<b>1,45 m</b> ■▶ ▶ ▶	direct direct	direct			▶
<i>Etangs Bages et Sigean</i> <b>PORT LA NOUVELLE</b>	▶	<b>1,15 m</b> ■▶	direct	direct direct	■▶ Pi	♣	■▶
<b>LA PALME</b> <i>Lido de La Palme</i>		■▶ ■▶	direct direct				▶ ▶
<b>LEUCATE</b> ( <i>port</i> ) <i>Leucate-Plage à Bacarès</i> <b>FITOU</b> <i>Port Fitou (étang)</i>	▶	<b>1,20 m</b> ■▶ ▶		direct direct direct			■▶ ■▶ <b>0,55 m</b>
<b>(PORT BARCARES)</b>	■▶	<b>1,20 m</b> ■▶	direct	direct			■▶

points particuliers de vigilance : 7 établissements SESO "seuil haut" : dépôts pétroliers (Antargaz, DPPLN, Frangaz, Total) liquides inflammables (Dyneff, Total, Viniflor,)





A quelques kilomètres de Narbonne, après avoir repris la direction de la mer dont elle est d'abord séparée par le massif de La Clape, la ligne s'engage dans l'un des plus exceptionnels paysages rencontrés par une voie ferrée, puisqu'elle traverse quasiment en longueur l'étang de Bages et Sigean. Le niveau de la ligne s'abaisse rapidement : pendant de nombreux kilomètres, il restera inférieur ou égal à 2 mètres (sauf au niveau de la gare de Port-la-Nouvelle), cependant que les distances tant avec la mer que l'étang se réduisent. Le mince cordon de terre se rétrécit jusqu'au moment où il semble qu'il n'y ait pratiquement plus rien d'autre pour la supporter que son propre remblai. On peut

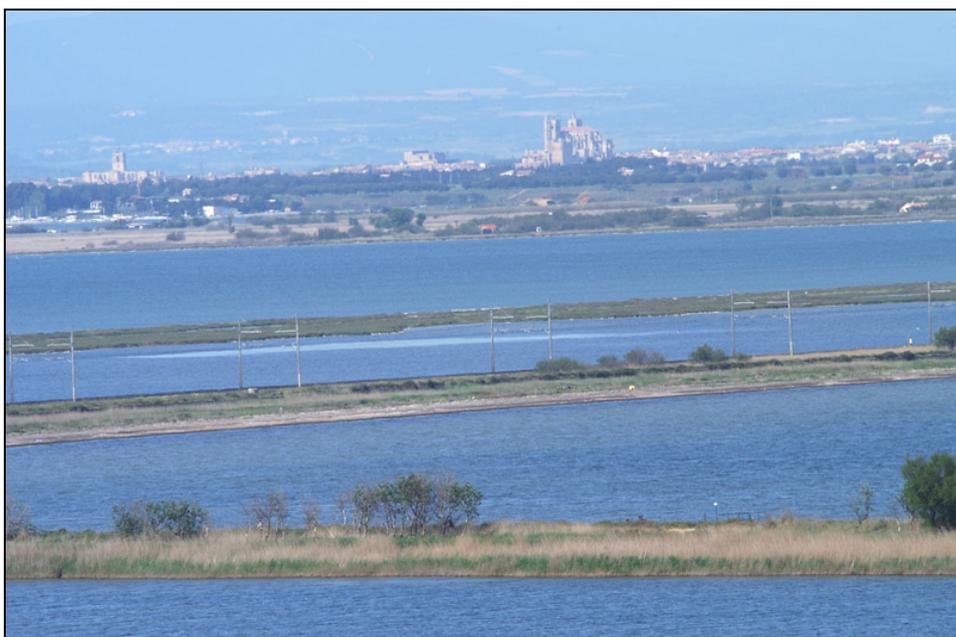


photo RFF

*Entre étangs de Bages et Sigean et de l'Ayrolle*

avoir l'impression que, même après l'électrification, ce passage insolite fait partie intégrante d'un paysage qui a par ailleurs conservé une extrême originalité et, probablement, une non moins extrême sensibilité aux désordres qui pourraient le frapper, notamment d'origine climatique. On est ici dans le Parc Naturel Régional de la Narbonnaise et, à bien des égards, la ligne de chemin de fer d'une part, la protection de la nature et des paysages d'autre part, vont avoir un bout de chemin à faire ensemble. La recherche des complémentarités et de leur valorisation est ici un véritable enjeu de développement durable.

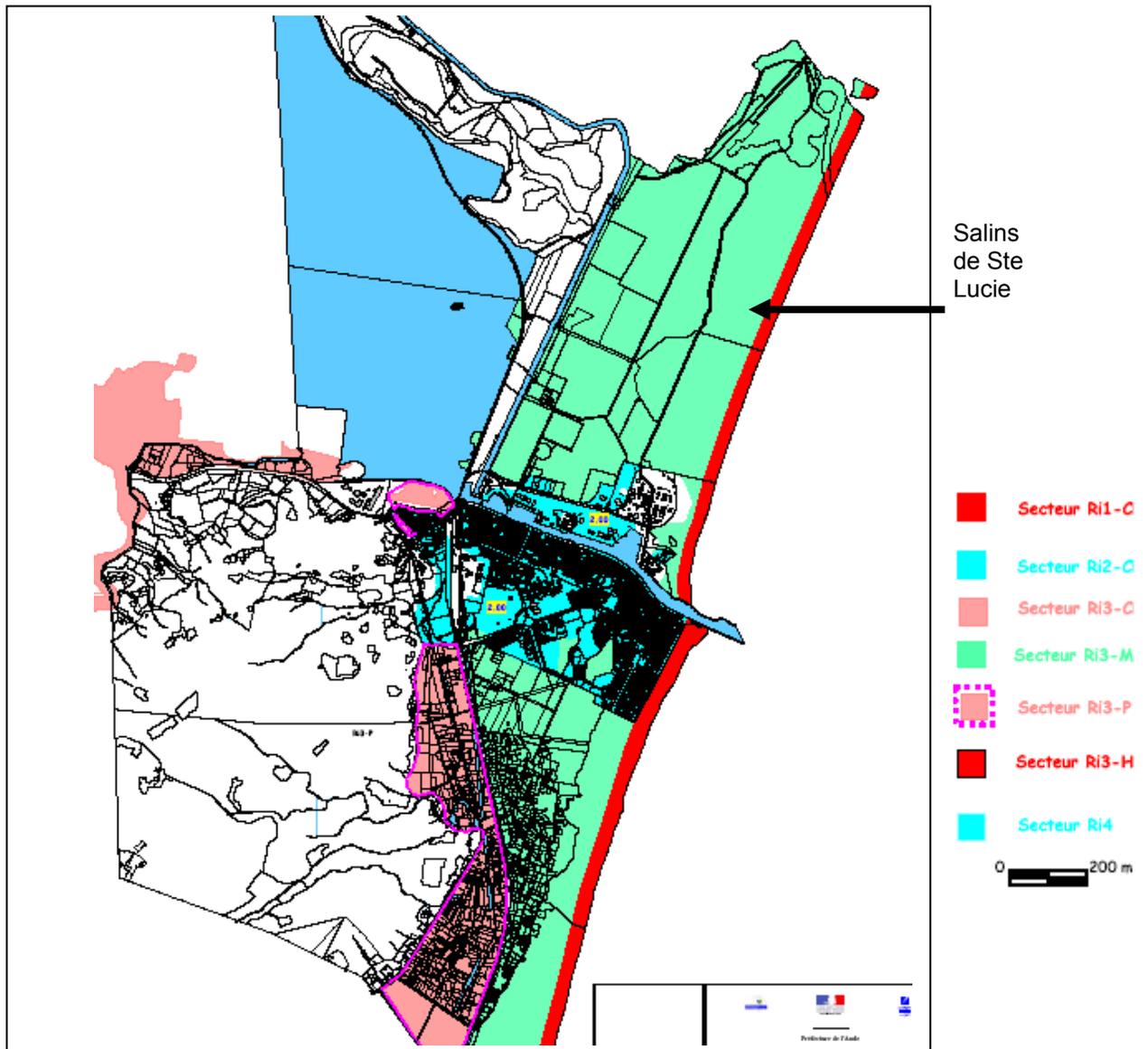


Photo RFF

*La suite : le tronçon le plus bas du parcours (2m + ou - 0,1 NGF), le long des salins de Sainte Lucie et sur le pont du canal de Port la Nouvelle qui relie l'étang de Bages et Sigean à la mer.*

## Port-la Nouvelle

Le territoire communal est exposé aux submersions marines liées aux "coups de mer" qui submergent les terrains dont l'altimétrie est inférieure à 2 m NGF. Le front de mer est de plus exposé aux effets de la houle [plus des 3,50 ms OÙ la ligne culmine, ndlr]. Par ailleurs, les combes (ou vallons secs) situées à l'ouest de l'agglomération provoquent lors d'évènements pluviométriques intenses des inondations par ruissellement ou par accumulation d'eau liées aux difficultés d'évacuation vers l'aval. »<sup>61</sup>



Source : projet de PPRI de Port-la Nouvelle

<sup>61</sup> Préfecture de l'Aude, PPRI du Bassin de la Berre, dossier de prescription janvier 2000, risques de la commune de Port-la Nouvelle.

Après Port la Nouvelle, la voie ferrée est tracée sur 15 kilomètres entre mer, lidos, lagunes, marais salants, notamment l'étang de La Palme. Celui-ci est « *séparé de la mer par un cordon littoral large de 200 à 300 ms, mais de très faible altitude (1 m NGF au maximum). Les phénomènes de submersion marine y sont donc fréquents, se produisant été comme hiver, et ils seront sans doute amenés à se renforcer, dans le contexte actuel d'élévation du niveau marin (...). Chaque tempête induit un arrêt momentané des activités de loisirs sur le cordon (sports de glisse et de vent), voire la fermeture des commerces de la Franqui ou l'interruption du trafic ferroviaire*<sup>62</sup>. Sur ce plan, le passage de la voie en pleine lagune impose une consolidation régulière de la digue et le remplacement permanent des rails corrodés »<sup>63</sup>. C'est dire qu'avec les élévations futures du niveau de la mer, les problèmes rencontrés ont peu de chances de s'atténuer.



Photo P. de WIT

*Le grau de la Franqui à basses eaux. La voie ferrée correspond à la ligne horizontale qui ferme l'étang de la Palme en arrière fond à gauche.*

La voie finit de traverser l'étang à proximité du Grau de la Franqui, par lequel il communique avec la mer ; il communique, plus exactement, par le pont du chemin de fer (3,20 m NGF) qui interrompt brièvement la digue d'un kilomètre qui constitue la partie permanente de la fermeture de l'étang.

<sup>62</sup> Information répétée mais non confirmée par RFF.

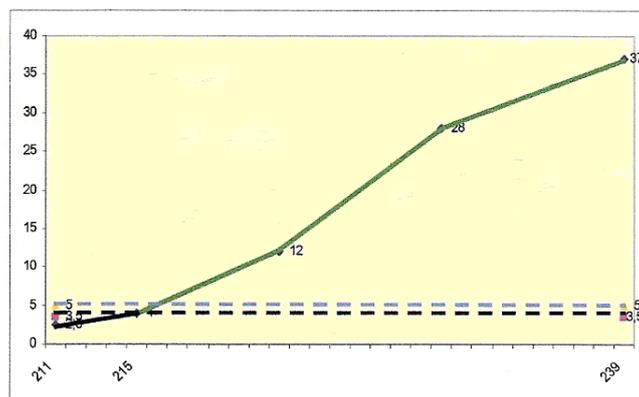
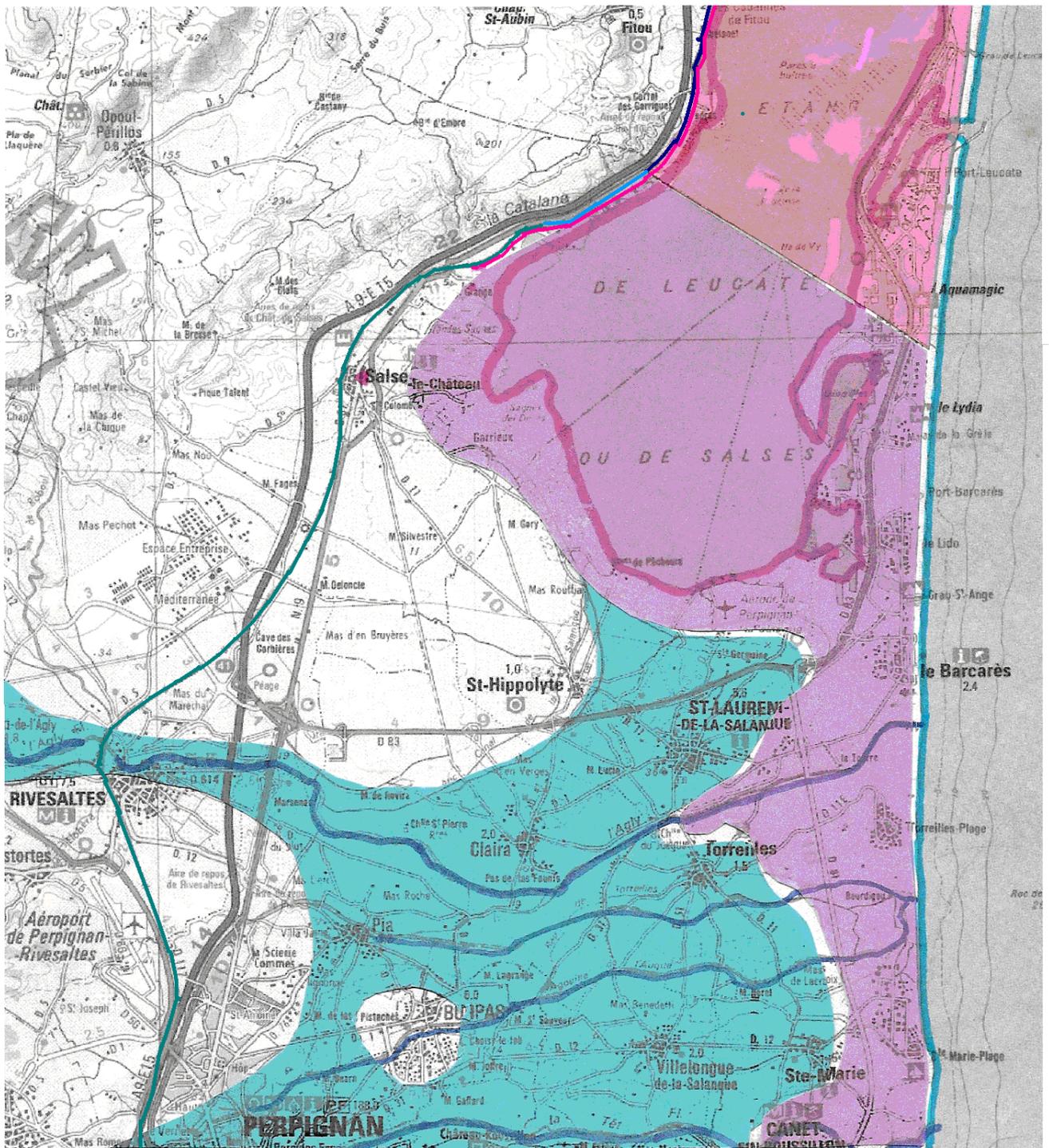
<sup>63</sup> Le risque de submersion dans le système lagunaire de La Palme : nature de l'aléa et perception du risque Anselme B, Durand P et Goeldnet-Gianela L

Après la station de Leucate –La Franqui, la ligne intervertit sa position par rapport à l'ensemble lagunaire, en longeant à l'ouest l'étang de Leucate/Salses, à très basse altitude (2,30 ms aux Cabanes de Fitou). En face, de l'autre côté de l'étang, le cordon dunaire où sont installés Port Leucate et Port Barcarès, dans un site particulièrement vulnérable aux submersions (diagnostic en cours), peut facilement laisser passer des intrusions marines de nature à contribuer à l'élévation de son niveau.

## Le Roussillon

(Gare de Salses- Pont sur la Têt à Perpignan PK 221,5 à 238,5)

Localisation	géomorphologie côtière		impact sur la ligne		aléa crues fluviales		surcote étangs
	érosion	submersion	maritime	fluvial	Impactant la ligne	possibilité de concomitance	
<b>SALSES</b>		(étang) ■▶	direct				▶
<b>RIVESALTES</b>				direct	(Agly) ■▶		



Deux secteurs de vulnérabilité sont identifiés sur cette dernière partie du trajet.

Toutes les communes du littoral du Roussillon sont soumises à la gamme complète des risques associés à leur situation : érosion, vents, tempêtes, surcotes, houles, submersion marine... Mais la ligne s'éloignant du littoral après le franchissement de la limite entre



MM

*Etang de Leucate, à la limite des départements de l'Aude et des Pyrénées Orientales*

Aude et Pyrénées Orientales, tout en poursuivant le côtoiement de l'étang de Leucate / Salses, elle se trouve encore, mais indirectement, par l'intermédiaire de la lagune, sous cette influence. En particulier, des phénomènes de submersion sont possibles dans le secteur de Salses à partir de l'étang du même nom. Face à la ligne qui suit en corniche basse l'étang, de l'autre côté se trouve la lagune de Port-Leucate et du Barcarès soumise à de fortes érosions (cf ci-dessus, page 35).

D'autre part, la voie ferrée, après avoir quitté le rivage de l'étang, s'élève et franchit à Rivesaltes l'Agly, fleuve côtier qui se signale par des crues fréquentes et élevées (cruce de référence à 5,6mètres à Rivesaltes en 1992, suivie d'autres épisodes en 1992 et en 1999. Un barrage écrêteur de crues a été mis en service en amont en 1994, mais, s'il régule avec efficacité les variations que se situent dans la moyenne, il ne semble pas être en mesure de résoudre les problèmes liés aux épisodes exceptionnels.

Enfin, on rappelle que l'arrivée en gare de Perpignan est précédée de la traversée de la zone inondable de la Tet – zone d'ailleurs qui en aval immédiat est commune avec celle de l'Agly -. La Tet a été un acteur de premier ordre de la tempête et des crues meurtrières de 1940, mais aussi d'épisodes plus récents. Comme l'Agly, elle a été dotée d'un barrage en amont, barrage à vocation multiple écrêteur de crues mais aussi soutien d'étiage et irrigation, combinaison souvent complexe à gérer. En tout cas, il ne permet

sans doute pas d'exclure que la voie ferrée puisse connaître encore quelque vulnérabilité ; toutefois les problèmes éventuels à étudier sur ce site particulièrement occupé par des infrastructures de transport et qui le sera plus encore dans le cadre du projet de ligne ferroviaire nouvelle en cours d'examen.

## Pistes pour la gestion des aléas

Au stade actuel, on a deux certitudes sur ce siècle: 1° avec l'inertie du système climatique, nous roulons « sur l'erre » d'une impulsion donnée au réchauffement depuis que nous utilisons massivement le carbone. 2° il faudra bien faire passer des trains...

...Et une quantité d'incertitudes : incertitudes globales - combien de temps, jusqu'à quel niveau, combien ça coûtera de ne rien faire, de se protéger, de réagir ; incertitudes régionales et locales rencontrées ici chemin faisant – la météo, les orages, les tempêtes, l'accélération ou non de tous ces phénomènes, la réaction de la partie urbanisée, du tourisme, les comportements de nos concitoyens, etc.

Il faut évidemment réduire ces incertitudes, on s'est employé à faire le point sur cette réduction mais, étant donné les enjeux, on ne peut pas se permettre d'attendre un état de certitude complète, le résultat d'une telle attitude au bout du compte serait lui assez certain. On ne peut pas se lancer non plus, sous ce prétexte, à l'aveuglette : si l'on a choisi de prendre ici une enveloppe « tendancielle », que d'autres jugeraient élevée, c'est pour mieux permettre les marges de manœuvre nécessaires à temps, en conservant toujours la flexibilité nécessaire . La stratégie doit être réactive, elle doit être aussi « sans regrets », en sorte que les moyens qui lui sont affectés présentent une utilité (sociale, économique, écologique) indépendamment du dommage à prévenir.

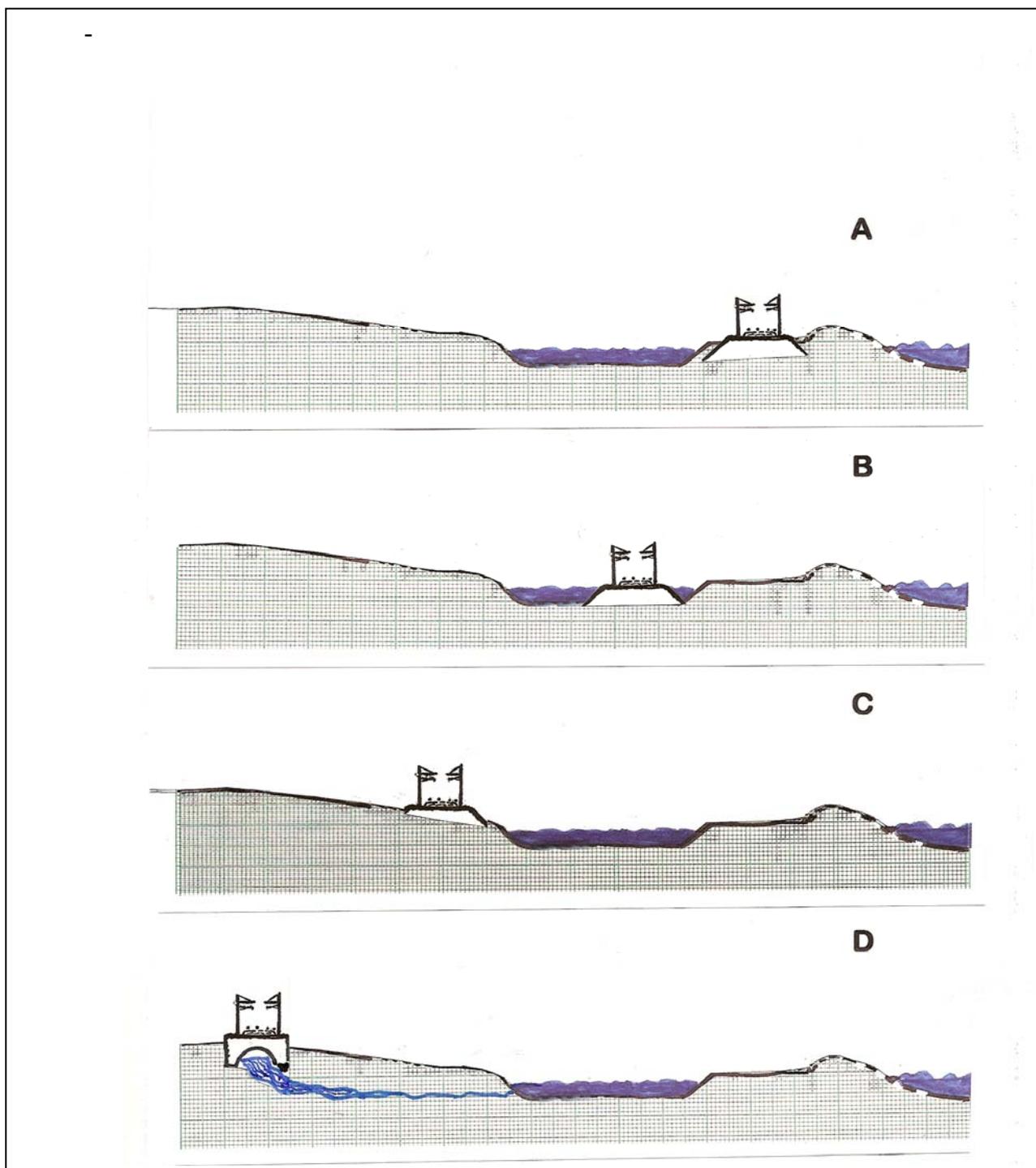
## Synthèse

En parcourant la ligne Montpellier-Perpignan, 4 types principaux de situations propices à sa vulnérabilité du fait des conséquences du changement climatique ont été rencontrés ; elles sont schématisées dans la figure ci-dessous :

- Le type A correspond à l'installation de l'infrastructure sur un cordon dunaire entre mer et étang (type lido de Sète) avec des variantes, mais toujours une double exposition [23km/162];
- le type B est celui d'une traversée à l'intérieur même de la lagune, la plate-forme étant posée à même le fond ou sur une étroite bande insulaire (type Bages et Sigean) [22km/162];

- le type C est celui du côtoiement d'un étang sur le bord opposé à la mer, soit en plaine (étang de Vic) soit plus adossé à un début de relief (Leucate) [20km/162]

4 types d'exposition



- Le type D a rapport avec le risque d'inondation, soit au niveau d'un franchissement de rivière a crues – pour lesquelles on manque de pronostics -, soit de la traversée d'une zone inondable dont le niveau pourrait être augmenté par l'effet de celui de la mer et des étangs

Au total 89 kms (après élimination des doubles comptes) relèvent de l'une de ces catégories, soit plus de la moitié du parcours.

Dans aucun de ces cas la ligne n'est menacée *directement* par une l'élévation de 1 m du niveau de la mer. Elle peut l'être toutefois *indirectement* par l'intensification du travail d'érosion et son rapprochement latéral. Et surtout, le niveau des surcotes permet de supposer des effets de submersion aggravés, côté mer, par l'effet de la houle, et, côté étangs et plaines inondables, par la concomitance des tempêtes marines et continentales.

Le tableau ci-dessous récapitule les informations tirées de l'étude des 6 secteurs sur les distances et l'environnement hydrographique de la ligne (« s+i » signifiant zone à la fois inondable et submersible).

	KM	H<3,50	zone			distance < 350 m		commentaire
			submers.	inondable	s + i	mer	étang	
Montpellier- Sète	28	17	19	3	3	1	10	jusqu'à 800m sur 19 km Agde : ligne précédente
Lido de Sète/étang de Thau	23	15	19	3	3	6	5	
De l'Hérault à l'Orb	21			11				
basses plaines de l'Aude	26			9				
étangs de la Narbonnaise	36	25	29	16	16	8	21	
Le Roussillon	28	7	6	4			6	
<b>TOTAL</b>	<b>162</b>	<b>64</b>	<b>73</b>	<b>46</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>42</b>	

La dimension du problème étant ainsi approchée avec plus de précision, il est possible d'esquisser les éléments de réponse qui paraissent adaptés : c'est l'objet des **recommandations** ci-après.

On rappellera que l'objet de ce rapport ne comprenait pas la quantification monétaire ou financière de ces réponses, qui supposerait un panorama complet des techniques disponibles actuellement ou prévisibles. Cet aspect est cependant présent dans les recommandations avec la préoccupation d'en maximiser l'efficacité en tous domaines tout en permettant d'ajuster les coûts au fur et à mesure de leur mise en œuvre.

On n'a pas ici la prétention d'être exhaustifs, mais de citer des points saillants que l'on a pu relever au cours de l'étude :

Connaissance des phénomènes en cause : domaines dans lesquels de nouveaux couplages sont nécessaires, alors que les obstacles se multiplient pour que se créent des systèmes de données au moins harmonisés, des référentiels scientifiques communément admis, des concepts stratégiques partagés :

- Améliorer et régionaliser l'interface climato-hydrologique. « *Les sorties de modèles climatiques (modèles de circulation générale de l'atmosphère, souvent couplée à l'océan, et de toute façon couvrant nécessairement tout le globe) concernant la pluviométrie, montrent, compte tenu de leur faible résolution, des dispersions et une variabilité locale fortes. Bien que les différents modèles donnent des projections convergentes pour certaines régions (concernant la France, la diminution de la ressource en eau autour de la Méditerranée), ils conservent pour des régions importantes des divergences fortes. Il n'en est pas de même pour la température, qui présente des tendances plus cohérentes et mieux établies. Les travaux sur le CC rendent plus que jamais nécessaire la coopération entre hydrologues et climatologues* »<sup>64</sup>.
- Hydrologie marine et fluviale Le risque inondation versus risque submersion marine, l'évolution des probabilités des situations complexes génératrices d'événements extrêmes sous l'effet des changements climatiques, effets de cumuls et de concomitances commencent à être étudiés pour le cas de la Camargue, mais font défaut ailleurs.
- Urbanisation et vulnérabilité physique des territoires
- Cordons dunaire et lagunes : aspects écologiques et économiques (pêche, tourisme)

### Gouvernance de l'adaptation

- Gestion simultanée de la mitigation et de l'adaptation.
- Financement de l'adaptation : références européennes, américaines.
- Arbitrages : les formes du débat public, la gestion des controverses (exemple pour les usages de la ressource en eau)

---

<sup>64</sup> P.A. ROCHE rapport au colloque de l'AFPCN janvier 2008

- Territoires impactés : outils de gestion de l'adaptation écologique et socio-économique.

Dans ce domaine comme dans tous ceux qui ont été passés en revue, il est possible pour cette région d'affronter le défi du changement climatique, non pas « le dos au mur » (ou à la digue...) mais avec ne se confonde avec l'épuisement de ses ressources. Ici, en redonnant sa place à la nature dans le tourisme. Là, en reconquérant sa ressource en eau. Partout, en retrouvant un espace de mobilité non destructrice du climat. On vient de le voir, en mobilisant son potentiel scientifique autour du labo grandeur nature qu'elle peut être, ou le grand labo de la nature.

ANNEXE  
METHODOLOGIQUE ET TECHNIQUE  
Choix et détermination du référentiel 2100

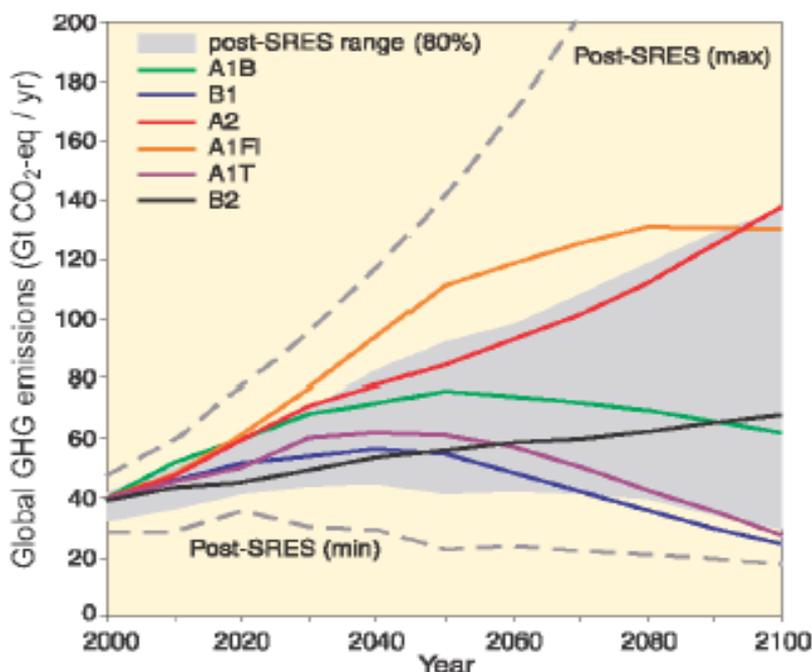
Pour déterminer l'« enveloppe » des risques encourus par l'infrastructure ferroviaire mentionnée, il était nécessaire de proposer un cadre de référence comportant les principaux paramètres du changement climatique à l'horizon 2100 et leurs trajectoires. Les travaux du GIEC, l'expertise qu'ils mobilisent, l'expérience méthodologique qui les sous-tend et la qualité de référence universelle qu'ils ont acquise s'imposent pour cela :

- la méthode déductive déjà présentée (émissions de GES ► concentrations atmosphériques ► forçage radiatif ► température ► niveau de la mer / Précipitations et phénomènes intenses) garantit un minimum de rigueur dans un ensemble de pronostics marqués par un caractère assez disparate ;
- les chiffrages des scénarios facilitent la vérification de la cohérence des hypothèses retenues pour chacun de ces domaines, même si l'on ne suit pas un scénario à la lettre, ce qui est le cas ici.

1. Les scénarios du GIEC

Au début de la présente décennie, le GIEC a établi une sorte de catalogue de familles de scénarios (dits SRES) qui effectuent la liaison entre émissions, concentration atmosphérique de GES et élévation des températures à la surface du globe. Ces scénarios ne comportent pas *en principe* d'hypothèses en matière de politique de mitigation (réduction des émissions), et restent neutres sur le degré de respect des engagements de Rio et Kyoto : ils sont déterminés par des hypothèses d'évolution dite socio-économique. Ils font varier sur 100 à 300 ans, à partir d'une évaluation de base, les paramètres du changement climatique en fonction de l'environnement économique et social, technologique aussi bien que diplomatique, de la planète. Cet enrichissement

des méthodes de modélisation constitue une avancée majeure pour éclairer les actes de gouvernance qu'appelle le changement climatique<sup>65</sup>.



Correspondance des projections de réchauffement - niveau de la mer

Table TS.6. Projected global average surface warming and sea level rise at the end of the 21st century. {10.5, 10.6, Table 10.7}

Case	Temperature Change (°C at 2090-2099 relative to 1980-1999) <sup>a</sup>		Sea Level Rise (m at 2090-2099 relative to 1980-1999)
	Best estimate	Likely range	Model-based range excluding future rapid dynamical changes in ice flow
Constant Year 2000 concentrations <sup>b</sup>	0.6	0.3 – 0.9	NA
B1 scenario	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
A1T scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
B2 scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
A1B scenario	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
A2 scenario	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
A1FI scenario	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

GIEC - AR4 Technical Summary

Le graphique et le tableau se lisent comme suit : pour le scénario B1 (le moins émetteur), au 21<sup>ème</sup> siècle la température augmentera de 1,8° (intervalle 0,3-0,8) et le niveau de la mer de 18 à 38 cm, etc.

<sup>65</sup> Scénarios « SRES » (Special Report on Emission Scenarios) élaborés pour la première fois avec le III<sup>ème</sup> rapport (2000), puis révisés en 2007 pour le IV<sup>ème</sup>, mais selon les mêmes définitions.

On s'est efforcé de synthétiser ensemble dans le tableau ci-dessous les principaux paramètres du changement climatique pour trois scénarios représentatifs de cet ensemble : les scénarios dits A2 et A1FI vers le haut, et le scénario B1 pour le bas. Malgré les précautions de rédaction du rapport du GIE, celui-ci est le plus proche du niveau d'effort de réduction des émissions de GES sur lequel convergent beaucoup de recommandations émises pour les futures négociations internationales qui culmineront en 2009/2010 : leur division par 2 globalement, à hauteur du milieu du siècle (ce qui correspond au « facteur 4 » prôné en France et en Europe pour les pays industrialisés).

scénarios	CO2 équivalent en 2100		élévation de 2000 à 2100	
	émissions <sup>66</sup> (% de 2000)	concentration (ppm)	températures °C	niveau mers (mètres)
A1FI	+15 -> +70	700	2,4 – 6,4	0,26 - 0,59
A2	+10 -> +60	630	2,0 – 5,4	0,23 - 0,51
B1	- 85 -> -50	470	1,1 – 2,9	0,18 - 0,38

4 D - Sources GIEC - AR4, wg1 (résumé pour les décideurs et résumé technique)

*L'attention est attirée sur le fait qu'il s'agit des données du 4<sup>ème</sup> rapport (2007), qui ont été abaissées par rapport au 3<sup>ème</sup> (2001), alors que beaucoup d'études ont utilisé celles-ci, récemment encore.*

A noter également que

- L'augmentation de température correspondant aux scénarios A2 se traduit pour la France par une fourchette de 3 à 3,5 ° (**retour fréquent d'épisodes estivaux du type 2003**).
- Le GIEC a retenu pour la fonte des glaces une hypothèse basse qui a soulevé d'après discussions (concernant en particulier la fonte des glaces au Groenland) de la part d'experts scientifiques qui dénoncent une de ce fait une sous-estimation du niveau marin<sup>67</sup>.
- On peut associer aux familles de scénarios **médians** une élévation de la température de 3°, que l'on peut considérer comme pivot de l'ensemble des résultats des modèles ; dans la même gamme de résultats, l'évolution passée et projetée du niveau de la mer est décrite par le graphique ci-dessous.

On voit à travers ces chiffres la puissance des effets d'inertie.

<sup>66</sup> En fait, ce sont les émissions de CO2 qui servent ici de traceur pour l'ensemble des GES (CO2 équivalent). A ce stade extrêmement agrégé cette convention est acceptable ; elle devrait être réexaminée si de nouvelles connaissances sur le poids de certains gaz étaient retenues (cf. discussions actuelles sur la manière dont le méthane est pris en compte).

<sup>67</sup> cf Stefan Rahmstorf, Science, vol. 315, janvier 2007, pour qui le sommet de la fourchette pour la famille de scénarios A2 devrait atteindre 1,4 mètres. cf aussi Nature, février 2008

## 2.- Le choix d'une référence de base : l'enveloppe de risque « tendancielle »

Les avantages procurés par cette batterie de scénarios, d'un point de vue pédagogique notamment, conduisent beaucoup d'auteurs à les utiliser systématiquement comme données de cadrage ; ce choix a pour eux l'immense avantage de fournir un ensemble de données cohérentes, par exemple pour des travaux de modélisation. Ainsi, les projections réalisées avec le groupe de modèles utilisés par l'IPSL, Météo France, etc. sont-elles basées sur des hypothèses comme celles du scénario A2, ou une fourchette B2 – A2 ; de même dans le projet Response a-t-il été choisi de se caler sur les résultats du scénario A1FI, considéré comme « le plus pessimiste »<sup>68</sup>. Mais aucun d'entre eux n'est approprié pour tenter d'évaluer l'ampleur du risque auquel est confronté le gestionnaire d'infrastructures présentant des vulnérabilités vis-à-vis de certains aspects du changement climatique :

1. Chaque groupe et famille de scénarios comporte des hypothèses contrastées d'évolution du contexte humain global ; ces hypothèses ne comprennent théoriquement aucune orientation particulière des politiques climatiques (énergétiques, alimentaires, etc.) globales ou locales, mais il est bien difficile de s'en abstraire : par exemple, le degré de substitution d'énergies non carbonées n'est pas qu'une question de disponibilité des technologies. Dans l'exercice présent, le choix de l'un ou l'autre des scénarios comporte une part non négligeable de subjectivité, peu favorable à l'estimation du risque réellement encouru. **En d'autres termes, le présent exercice ne peut pas être traité comme le choix d'un Menu sur la carte du GIEC.**

2. La question déterminante pour l'avenir est celle des choix qui seront opérés au niveau international, susceptibles :

- a) de mettre ou non en place des normes de réduction des émissions porteuses d'un impact sur la chaîne émissions-concentrations-forçage radiatif,
- b) d'assurer leur réelle mise en œuvre.

Conditions qui ne sont pas encore réunies aujourd'hui<sup>69</sup> ; on peut encore seulement espérer que, au moins, elles seront réellement à l'ordre du jour des prochaines conférences qui doivent traiter de l'avenir de la Convention de 1992 et du Protocole de Kyoto (automne 2008 et 2009), ce qui n'était pas encore acquis fin 2007 à Bali.<sup>70</sup>

---

<sup>68</sup> Dans le projet RESPONSE, pour ce qui concerne les régions Aquitaine et Languedoc-Roussillon les auteurs ont bien pris en compte cette exigence, mais sa combinaison avec les scénarios SRES s'est révélée malaisée : après avoir envisagé dans un premier temps de se référer à deux scénarios, l'un qu'ils qualifiaient de « plus probable » ou « plus acceptable » (les termes choisis, et l'hésitation entre les deux sont très parlants), l'autre qualifié de « pessimiste » (il ne comporte guère d'inflexion dans l'utilisation de combustibles fossiles certes, mais d'autres hypothèses plus éloignées du sujet lui confèrent un profil particulier), se traduisant par une élévation du niveau de la mer de 88cm (évaluation du 3<sup>ème</sup> rapport). A la demande du comité de pilotage de l'étude, c'est en définitive ce dernier scénario « A1FI » qui a été seulement retenu, et dans la partie haute de sa fourchette « afin de mettre l'accent, au bénéfice des autorités locales, sur les secteurs susceptibles de devenir critiques ». Cette préoccupation est ici partagée, mais on préfère ne pas l'habiller d'un scénario dont ce n'est pas l'objet.

<sup>69</sup> De ce fait, alors que le procès en excès de pessimisme (ou pire) adressé au GIEC par un petit nombre de scientifiques s'estompe, une contestation inverse se développe, celle en particulier personnalisée par James HANSEN, l'un des acteurs historiques de l'alerte lancée il y a un quart de siècle. Cf. Target Atmospheric CO<sub>2</sub>: Where Should Humanity Aim? James Hansen, Makiko Sato, Pushker Kharecha, David Beerling, Valerie Masson-Delmotte, Mark Pagani, Maureen Raymo, Dana L. Royer, James C. Zachos

<sup>70</sup> Encyclopédie du Développement Durable n° 56, Pierre Radanne, « Les leçons de Bali » janvier 2008

3. Un investisseur « en lourd » doit disposer d'abord, pour élaborer sa stratégie à 100 ans, ce qui est fondamentalement différent de l'horizon d'une ou deux décennies d'une vision aussi objective que possible de **l'enveloppe du risque** auquel il est confronté. Celle-ci est la mieux adaptée à l'adoption d'une **stratégie de réponse flexible** (voir chapitre 5). La question de savoir quelle posture il adoptera pour d'adapter ses décisions dans le temps et dans l'espace, et réagir à *des faits réels éventuellement différents* de ceux initialement pronostiqués est pertinente mais d'une autre nature<sup>71</sup>. On ne doit pas biaiser l'intensité du risque à cause de cette nécessité ; en revanche il faut qu'il se dote d'une stratégie de réponse et d'un système de décision qui assure la flexibilité nécessaire pour éviter tout gaspillage si le risque se révèle avoir été surestimé, ou conjuré avec un certain degré de succès (du fait notamment du renforcement de la gouvernance mondiale). L'indicateur de risque efficace est alors celui qui permet de déclencher à temps des adaptations séquentielles.

Dans ces conditions il a paru préférable de déterminer une trajectoire tendancielle d'émissions de CO<sub>2</sub> (retenu comme traceur de l'ensemble des GES) et de lui associer les évolutions cohérentes de l'ensemble des paramètres qui concourent à évaluer le niveau de la mer en 2100, sous les conventions suivantes :

- sans choc ni rupture technologique,
- sans hypothèse optimiste sur la conclusion des négociations internationales,
- mais utilisant les ressources en données et en analyses du GIEC permettant d'aboutir à un horizon 2100 à la fois neutre et cohérent.

C'est cette trajectoire qui conduit à des émissions de CO<sub>2</sub> de l'ordre de 35 millions de tonnes d'équivalent carbone.

### 3.- Les paramètres d'aléas associés

Les mêmes conventions simplificatrices s'appliquent ici. En outre, il n'était pas question d'effectuer une modélisation prétendant rivaliser avec celles des laboratoires travaillant pour le GIEC... On s'est donc contenté d'utiliser leurs résultats, notamment les écarts entre les scénarios de type A2 et ceux de type A1FI, puisque la tendance simple retenue ici diffère de ce dernier scénario à peu près du même écart que lui-même avec ceux du type A2. ce qui conduit aux niveaux suivants :

- pour les concentrations de GES (traceur CO<sub>2</sub>), entre 850 et 1050 ppm (950 retenus, ce qui est sensiblement supérieur au doublement souvent évoqué) ;
- pour le forçage radiatif, entre 9 et 10 W/m<sup>2</sup> (9,4 retenus) ;
- Pour les températures, une variation au cours du siècle entre +4 et +6 °C (4,8 °C) ;
- pour le niveau des mers, entre 900 et 1050 mm, on préfère retenir simplement 1 mètre.<sup>72</sup>

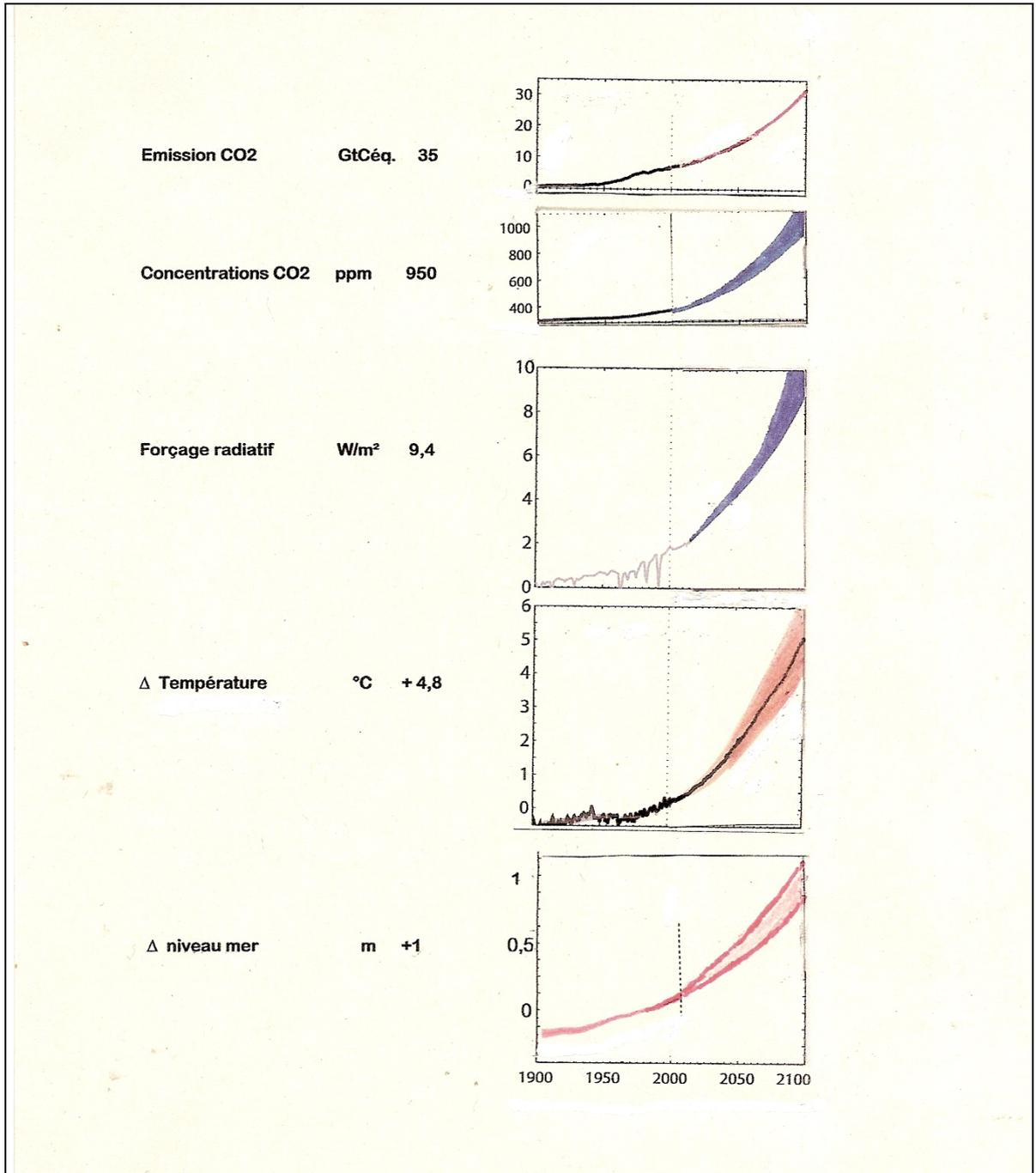
---

<sup>71</sup> Cette question est abordée infra, p. ...

<sup>72</sup> On notera que l'Institut océanographique espagnol considère qu'une augmentation de 50 cm d'ici 2050 du niveau de la Méditerranée au long des côtes de l'Espagne n'est pas à exclure. On est également dans l'ordre de grandeur estimée pour la « cote majorée de sécurité » appliquée par EDF au projet EPR de Flamanville (source Autorité de Sûreté Nucléaire).

On rappelle que tous ces chiffres n'ont nulle prétention à caractère directement scientifique et encore moins à prédiction. Ce sont des ordres de grandeur cohérents, qui restent à l'intérieur de la plage des résultats des modélisations existantes, et qui permettent de baliser le champ des risques possibles.

## Synthèse des perspectives climatiques en cas de poursuite des émissions de GES



Sources : GIEC, AR4, rapport complet du groupe 1 ;  
TAR et AR4 résumé pour les décideurs ;  
interprétation libre des résultats des scénarios « SRES ».

## Le niveau général de la mer

Le **mètre supplémentaire** atteint au cours du siècle constitue l'estimation proposée du risque à retenir. Il est proposé de prendre pour référence le niveau moyen de la mer tel qu'il est mesuré à Sète, le port étant équipé du seul marégraphe actuellement placé à l'intérieur de la zone d'étude<sup>73</sup>. Les tables de niveaux marins publiées par le SHOM indiquent que ce niveau mesuré à Sète était faiblement supérieur au 0 NGF, ce qui facilite la transposition. L'avantage offert par Sète est aussi qu'il est possible d'associer en ce lieu plusieurs paramètres de l'évolution récente :

		1997	1999	2003
<b>Vents</b>	(Kmh)			
	<b>Sète</b>	<b>133</b>	<b>108</b>	<b>115</b>
	Port Leucate	180	140	140
<b>Houle maximum</b>	<b>Sète</b>	<b>10,81</b>	<b>9,94</b>	<b>8,67</b>
<b>niveau mer</b>	(NGF 69)			
	<b>Sète</b>	<b>1,06</b>	<b>0,75</b>	<b>0,85</b>
	Port-la-Nouvelle	1.15		0,87
	(observation)	1,2		1,2

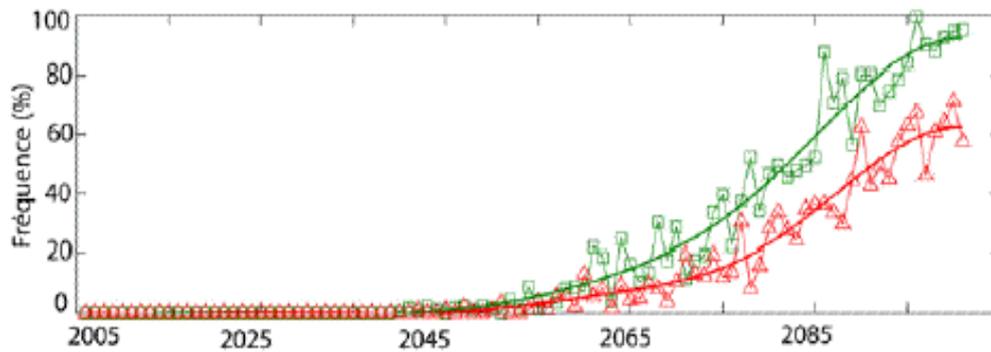
## Les surcotes

Dans le passé récent, le niveau le plus élevé de surcote enregistré est de 1m50, lors de la tempête historique de 1982 d'une occurrence de l'ordre de 50 ans. Mais les fréquences des tempêtes, qui sont en l'espèce au moins aussi déterminantes que les hauteurs de vagues auxquelles elles donnent lieu, ont tendance à augmenter : « Une surcote de 1m a une période de retour statistique de 10 ans. Pour une élévation du niveau marin de 0,5 m, la même surcote se produira tous les ans. »<sup>74</sup>

Il serait en effet utile de prendre en considération les fréquences, même si la méthode choisie est plutôt déterministe, non pas pour introduire des éléments de probabilité, mais pour mieux estimer les possibilités d'accroissement des surcotes et de leurs effets. Malheureusement, on manque de séries historiques, et les occurrences récentes de tempêtes avec surcotes semblent fort s'écarter des qualificatifs fréquentiels habituellement attribués aux événements générateurs de surcotes. Cette augmentation des fréquences se produirait dans la seconde moitié du siècle, selon le graphique ci-dessous.

<sup>73</sup> Il pourrait utilement être complété par au moins un autre appareil, par exemple au niveau des installations portuaires du littoral audois, car, s'il est représentatif de la partie du golfe orientée est-ouest et donc prenant de face le vent du sud, il ne l'est pas de la bordure occidentale.

<sup>74</sup> M. PROVANSAL et F.SABATIER, article cité.



Source : Cerege, in rapport Implitt)

*Fréquence annuelle des niveaux marins > 80 cm en Méditerranée pour le scénario SRES A2 (en vert avec carrés) (avec 7,5 mm/an) et pour le scénario B2 (en rouge avec triangle) (avec 6.5 mm/an).*

Compte tenu de ces considérations, il paraît avisé de prendre comme hypothèse à la fin du siècle la surcote maximale connue de 1,50 à laquelle on ajoutera une variation additionnelle possible de 50 cm, soit 2 mètres au-dessus d'un niveau lui-même d'un mètre supérieur.

### Les tendances au recul du rivage

- le trait de côte s'entendant comme mesuré dans des conditions météorologiques normales, il n'est susceptible de reculer par érosion qu'en fonction de l'élévation du niveau moyen de la mer, d'un mètre selon notre convention de départ. En vertu de l'application de la « règle de Bruun »<sup>75</sup>, dans le cas d'une pente moyenne du rivage proche entre 0,5 et 1,5 %, le recul à la fin du siècle pourrait être de l'ordre de 100 mètres. Sauf, bien sûr, si dans cette distance le niveau du sol redescendait en dessous de 1 mètre.
- Le jet de rive est, lui, affecté par le niveau des surcotes, et si son recul est temporaire, il contribue à fragiliser tout l'espace ainsi envahi. Dans des conditions analogues à celles exposées ci-dessus, un recul de l'ordre de 300 mètres est possible si l'altitude du sol ou une forte résilience arrêtent l'expansion de la mer ; dans le cas contraire, on a tout lieu de craindre la submersion. C'est d'ailleurs cette situation que simule la Communauté de Communes du Bassin de Thau sur les photographies reproduites au chapitre 4.
- Enfin il faut prendre en considération l'effet de set-up produit par la houle. Ici c'est la hauteur que peut atteindre le travail d'érosion qui compte (mais bien entendu tous les effets ont tendance à se combiner, notamment dans le risque de submersion). La hauteur additionnelle a été mesurée entre 20 et 25 % de la hauteur de déferlement, ou de la hauteur maximale des vagues<sup>76</sup>, soit en

<sup>75</sup> Postulat qui établit une relation entre l'élévation du niveau marin et le déplacement de la limite de la plage sablonneuse, dont il existe des formulations plus ou moins sophistiquées. Une version simple l'explicite comme  $D = \frac{S}{p}$ , où D la distance de recul, S est l'augmentation du niveau et p la pente du rivage exprimée en %. C'est celle qu'on utilise ici faute de mieux, sans ignorer son caractère rustique. (Elle s'est cependant bien appliquée à des cas de la Camargue).

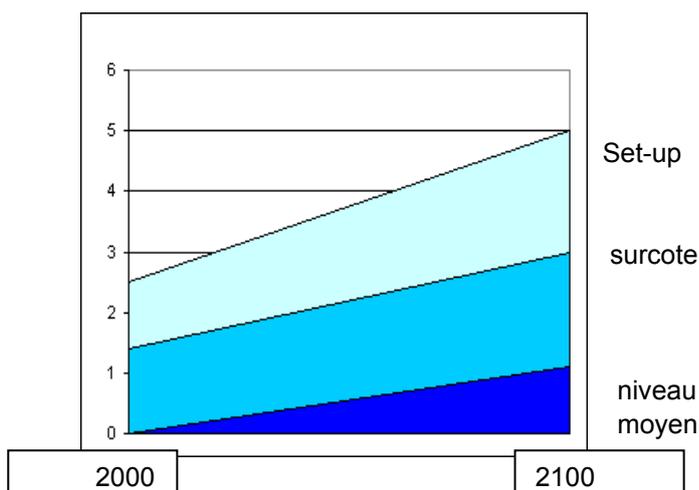
<sup>76</sup> P. GAUFRES, CETMEF, communication personnelle, faisant référence à Federal Emergency Managing Agency FEMA qui fournit un ensemble de calculs relatifs au set-up.

l'occurrence pour un maximum de houle de 10 mètres, 2 mètres s'ajoutant aux 3 de cote et surcote.

On peut récapituler l'élévation de la mer en situation normale et la variation des maxima qui pourraient être atteints dans des situations extrêmes qui poseront des problèmes au moins d'exploitation et certainement de maintenance de l'infrastructure. Cela donne le tableau ci-après, ainsi que son illustration sous forme d'échelle des risques. Suit un exemple d'application dans un cas précis.

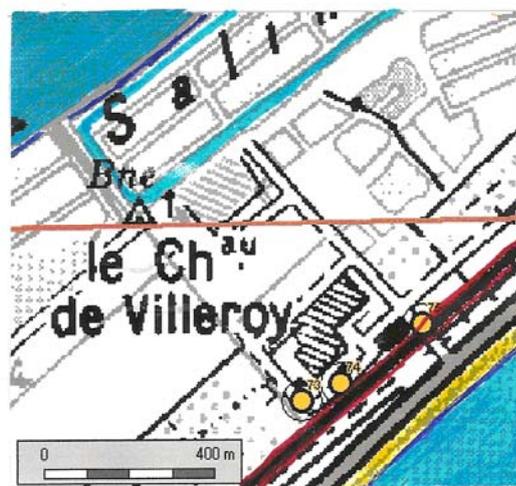
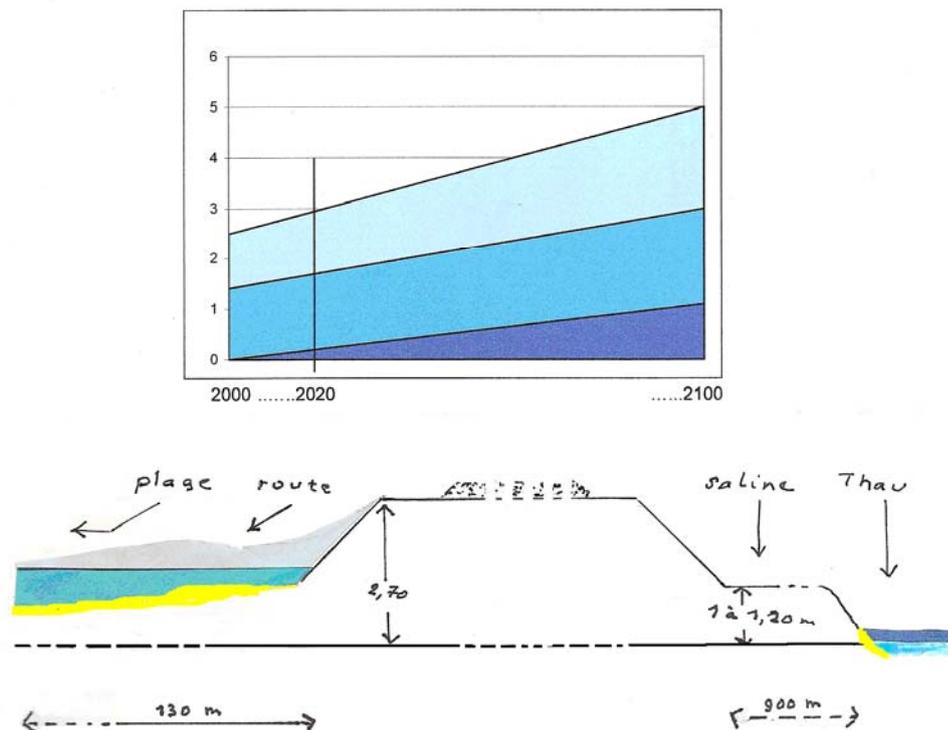
en m NGF 69	Référence 2000	Variation retenue	2100
niveau mer normal	0	1	1
surcote maximale	1,5	0,5	2
sous-total 1	1,5	1,5	3
houle addit. Maximale "set-up"	(8)	2	(10) 2
total 2			5
recul du rivage			300 mètres

Valeurs que l'on a traduites par la grille d'évolution suivante (bien entendu rien de ce qui arrivera n'aura une telle linéarité) pour illustrer les méthodes de décision à mettre en oeuvre.



## Exemple

Le site pris comme exemple est celui du Lido de Sète au niveau de « Château de Villeroy », où la voie ferrée se trouve à 200 ms du rivage et à 2,70(plate-forme)/3 mètres NGF (plan de roulement) du sol, qui lui-même se situe entre 1 m notamment côté étang de Thau au niveau des Salines de Villeroy) ) et 2 ms , avec des bosses sablonneuses pouvant aller jusqu'à 4 m. Le site est en cours de réaménagement complet dans le cadre du retrait stratégique ( le rivage sera à 130 mètres).



La question à laquelle on répond est du type : à quels risques est exposée la voie ferrée, quand ceux-ci vont-ils poser des problèmes d'aménagement, si la dune reconstituée dans le cadre du réaménagement n'est pas en mesure (en hauteur et en fragilité) de l'en protéger ?

Par comparaison avec la grille de risques on voit 1) l'importance du risque d'ici la fin du siècle, risque auquel il faut adjoindre la possibilité de submersion des salins par l'étang de Thau et 2) la date du début des soucis sérieux :: 2020. C'est-à-dire demain...



MM

## **Sigles et abréviations**

GIEC/IPCC Groupe d'Experts intergouvernemental sur l'évolution du climat  
(Intergovernmental Panel on Climate Change)

Désignation des rapports du GIEC - Il est fait ici référence essentiellement aux deux derniers rapports d'évaluation du GIEC, le troisième (TAR pour Third Assessment Report) (2001) et le quatrième (AR4)(2007). Chacun comprend un rapport complet, des rapports des trois groupes de travail (wg1, wg2, wg3), des résumés pour les décideurs (summary for policy makers ou SPM), des annexes techniques. On s'est référé également au rapport spécial sur les scénarios d'émission ou SRES.

GES Gaz à effet de serre

NAO North Atlantic Oscillation (Oscillation Nord Atlantique) , phénomène affectant notamment la variation des pressions dans l'hémisphère Nord, et qui malgré son nom a des effets sur la Méditerranée Occidentale)

SMNLR Service Maritime et de Navigation du Languedoc Roussillon

SHOM Service Hydrographique et océanographique de la Marine

## Documentation

### Ouvrages consultés

\*

M. PETIT, H. LE TREUT, M. DEQUE, R. PASKOFF, E. MARTIN E. LEBLOIS, J. MARGAT et al., Impacts potentiels du changement climatique en France au XXI siècle ,Mission Interministérielle de l'Effet de Serre , 2001

Muriel CARRENO Répondre à l'élévation du niveau de la mer en région Languedoc-Roussillon. L'exemple du recul stratégique Universités de Montpellier I, II et III  
Sous la direction de A. PIBOT. DIREN Languedoc-Roussillon Service Sites Paysages Biodiversité

Caroline BELAIR Conséquences de l'élévation du niveau marin sur le patrimoine naturel en Languedoc-Roussillon Diren, Sous la direction de A. PIBOT DIREN Languedoc-Roussillon Service Sites Paysages Biodiversité  
Juin 2007

AFPCN (Association Française pour la Prévention des Catastrophes Naturelles)  
Adaptation de la prévention au changement climatique , dossier de colloque, février 2008

C.VINCHON (coord.) D.IDIER , M.GARCIN, Y.BALOUIN, C.MALLET, S.AUBIE, L.CLOSSET Evolution of coastal risk for the Aquitaine and Languedoc – Roussillon pilot regions, BRGM, 2006 (in Répondre aux risques liés au changement climatique dans les zones côtières, souvent cité comme « RESPONSE », programme européen LIFE Environnement, 2006)).

Véronique Ducrocq, Gaëtan Aullo et Patrick Santurette Les précipitations intenses et les inondations des 12 et 13 novembre 1999 sur le sud de la France  
Météo-France - Centre national de recherches météorologiques  
La Météorologie - n° 42 - août 2003

REGIONAL ASPECTS OF CLIMATE CHANGE IN THE MEDITERRANEAN - AN UNEP/MAP/BP & MEDIAS-France STUDY  
UICN 2002

Compendium on methods and tools to evaluate impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change  
UNFCCC Secretariat with the services of: Erica Pinto, Robert C. Kay and Ailbhe TraversStratus Consulting Inc.  
February 2008

Profil Environnemental du Languedoc-Roussillon (2006)  
DIREN L a n g u e d o c - R o u s s i l l o n

Les régimes hydrologiques des cours d'eau en Languedoc-Roussillon  
DIREN Languedoc-Roussillon

Apport des données d'altimétrie satellitaire en mer Méditerranée.  
Benoît Urgelli ENS-Lyon Publié par Benoît Urgelli  
19 - 09 – 2003

La Méditerranée, région témoin : de Cyprim à Hymex  
La Houille Blanche, N°6 (Décembre 2007), pp. 90-96  
Eric Martin, Véronique Ducrocq, Alain Joly, Bruno Joly, Olivier Nuissier, Pere Quintan-Seguín, Didier Ricard, Florence Sevault, Samuel Somot et Philippe Drobinski

CNRM-GAME (Météo France, CNRS) IPSL/ Service d'Aéronomie LMD/Ecole Polytechnique

Impacts du changement climatique sur le cycle hydrologique du bassin méditerranéen  
Rapport final du projet GICC-MedWater (mars 2003/février 2006) Paris, mars 2006  
Coordinateur r: Laurent LI  
Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)

«La croissance de la population en Languedoc-Roussillon laisse entrevoir une congestion de la circulation automobile plus rapide qu'ailleurs dans les pôles urbains (INSEE, Repères, décembre 2005)

Roland PASKOFF Le changement climatique et les espaces côtiers, MIES, 2001  
(rapport du colloque éponyme tenu en Arles)

Roland PASKOFF L'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers, Institut océanographique, 2001

GIEC, 4<sup>ème</sup> rapport d'évaluation, groupe 1, résumé pour les décideurs [AR 4, wg 1, spm]

Cambio climático en el Mediterráneo español, Temas de Oceanografía, Instituto Español de Oceanografía, Ministerio de Educación y ciencia. 2007.

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

FEMA, 2005: Guidelines and specifications for Flood Hazard Mapping Partners: rapport D.4.5 Wave Setup, Runup, and Overtopping,

Gaufrès P., Sabatier F. Extreme storm surge distributions and practical applications at Marseille (France), 2006, 7th International Conference on Hydroinformatics 2006, Advanced applications of modelling, Vol III, p 1601-1608, Acropolis, Nice

IMPLIT, 2007 Impact des évènements extrêmes (tempêtes et surcotes) sur les hydro systèmes du littoral méditerranéen dans le cadre du changement climatique, coordination V. Moron, F. Sabatier.

Anselme B.1. 2, Durand P.1 Et Goeldnet-Gianela L.1.2)  
Le Risque De Submersion Dans Le Système Lagunaire De La Palme  
(Languedoc, France) : Nature De L'alea Et Perception Du Risque  
(Actes du colloque international pluridisciplinaire "Le littoral : subir, dire, agir" - Lille, France, 16-18 janvier 2008

La Météorologie - n° 42 - août 2003

ONERC Un climat à la dérive : comment s'adapter ? Rapport au Premier Ministre et au Parlement . La Documentation française, 2005

Développement durable et changement climatique en Languedoc-Roussillon : Facteurs-clefs, Évolutions et Risques *Contribution à l'élaboration du Plan d'Action Stratégique de l'État (PASE) pour 2009 – 2011* Agropolis international Montpellier octobre 2007

Hymex  
TOWARDS A MAJOR FIELD EXPERIMENT IN 2010-2020  
WHITE BOOK  
Draft 1.3.2  
February 2008  
<http://www.cnrm.meteo.fr/hymex/>

Vivre avec l'érosion côtière en Europe :  
Espaces et sédiments pour un développement durable *Bilans et recommandations du*  
*projet EUROSION* Document traduit de l'anglais, 2004

PREDIT (Programme de Recherche et d'Innovation dans le Transports Terrestres)  
Politiques de transport, prospective et outils, recueil de recherches menées de 2002 à  
2008.

V. KAUFMANN Etat des lieux de la recherche sur les politiques de transport,  
PREDIT, 2008.

