

Analyse régionale des conséquences du changement climatique

Région Nord Pas-de-Calais

octobre 2007

Historique des versions du document

| a) Version | b) Auteur | c) Commentaires |
|--------------|-------------------|--------------------------------|
| Octobre 2007 | Le Guyader Céline | Vérifié par Pascal LEBRETON |
| | | Transmis par Joël L'HER |
| | | Validé par G. CAUDE |

Affaire suivie par

Céline LE GUYADER - DELCE

Tél. 02 98 05 76 14, fax 02 98 05 67 21

Mél. celine.le-guyader@equipement.gouv.fr

Sommaire

| | |
|--|------------------|
| 1.Introduction..... | <u>4</u> |
| 2.Éléments scientifiques récents:..... | <u>5</u> |
| 2.1Le changement climatique à l'échelle mondiale..... | <u>5</u> |
| 2.1.1 Éléments du Groupement d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat (G.I.E.C)..... | <u>5</u> |
| 2.1.2 Les causes humaines et naturelles du changement climatique..... | <u>5</u> |
| 2.1.3 Le changement climatique actuel..... | <u>6</u> |
| 2.1.4 Les projections des changements climatiques futurs..... | <u>7</u> |
| 2.2 Le changement climatique à l'échelle nationale:..... | <u>9</u> |
| 2.3 Le changement climatique à l'échelle régionale:..... | <u>11</u> |
| 2.3.1 Le niveau moyen de la mer:..... | <u>11</u> |
| 2.3.2 Les niveaux extrêmes d'occurrence centennale:..... | <u>14</u> |
| 2.3.3 Le climat:..... | <u>14</u> |
| 2.3.4 Les états de mer extrêmes:..... | <u>16</u> |
| 3.Impacts possibles de ces changements sur le littoral du Nord Pas-de-Calais..... | <u>17</u> |
| 3.1 Le littoral "naturel"..... | <u>17</u> |
| 3.2 Les ouvrages de protection..... | <u>19</u> |
| 4.Conclusions:..... | <u>20</u> |
| 5.Annexes..... | <u>21</u> |
| 5.1 Représentation mondiale des émissions de gaz à effet de serre en 2003:..... | <u>21</u> |
| 5.2 Modifications de température, de niveau de la mer et de couverture neigeuse dans l'hémisphère Nord:..... | <u>22</u> |
| 5.3 Réchauffement global moyen:..... | <u>23</u> |
| 5.4 Représentation des niveaux extrêmes d'occurrence centennale sur le littoral du Nord Pas de Calais..... | <u>24</u> |
| 5.5 Résultats des modélisations d'ARPEGE-Climat pour le climat en France à l'horizon 2100:..... | <u>25</u> |
| 5.6 ANEMOC: Extraction du point Coast 2539 (au large de Dunkerque):..... | <u>26</u> |
| 6.Glossaire..... | <u>27</u> |
| 7.Bibliographie..... | <u>28</u> |

1.Introduction

Comme le rappelle le sénateur Marcel Déneux dans son rapport sur les changements climatiques, le climat est planétaire, et c'est à cette échelle que les circulations atmosphériques et océaniques vont pouvoir gérer l'équilibre thermique. Le climat est également extrêmement variable et n'a cessé d'évoluer depuis les 4,6 milliards d'années que la terre existe. Toute l'histoire du climat décrit l'amplitude de ces variations et les connaissances actuelles nous permettent de remonter à seulement 420 000 années avant notre ère, soit un dix millièmes de l'histoire climatique de la Terre, le reste nous étant encore totalement inconnu.

Les recoupements opérés entre les analyses archéologiques et celles des carottes glaciaires permettent de montrer que de grands changements peuvent être constatés à la suite de variations climatiques moyennes n'excédant sans doute pas 5° d'amplitude thermique.

Deux cycles principaux soumis à l'influence anthropique interviennent sur les modifications du climat : Le cycle de l'eau, qui dépend directement des températures pour son équilibre global et le cycle du carbone, étroitement lié au premier puisque celui-ci est absorbé par les eaux salées et froides des océans, permettant ainsi la régulation des différents stocks de carbone qui existent. C'est principalement ce dernier cycle que l'action anthropique déséquilibre aujourd'hui, entraînant indirectement une perturbation du cycle de l'eau.

Certains éléments du climat, et c'est le cas notamment des nuages et de l'océan présentent encore des inconnues aujourd'hui. La connaissance imparfaite de la microphysique des nuages ne permet pas de déterminer les processus qui s'y déroulent alors même qu'ils sont le berceau de l'effet de serre. De la même manière, l'océan, qui est le grand régulateur des changements climatiques, présente encore des incertitudes notamment sur la circulation thermohaline et son évolution (ralentissement ou arrêt des plongées d'eaux froides salées dû aux fontes glaciaires). Ce phénomène serait paradoxal car le réchauffement climatique entraînerait alors un refroidissement de la partie nord européenne par l'arrêt du Gulf Stream entre autre, et de l'ensemble des courants régulateur du climat.

L'effet qui contribue largement à l'évolution du climat à deux origines. L'une naturelle, liée aux émissions du soleil et donc à la position de la Terre autour de celui-ci, l'autre anthropique liée à la fois à une surproduction des gaz à effet de serre et notamment carbonique (ère industrielle), et aussi une diminution des réservoirs pouvant assimiler le carbone (déforestation, saturation des océans). une carte mondiale des émissions reflète strictement le degré d'industrialisation des pays. L'Europe, entre autres, ressort nettement, en particulier, l'Allemagne, l'Italie, La France, et la Grande-Bretagne ([cf. annexe 5.1](#)).

Tout au long de l'histoire, l'Homme a subi le climat tout en s'efforçant de s'y adapter. Ni la circulation océanique, ni l'évolution des nuages, ni la quantité de l'énergie solaire ne sont maîtrisables par l'homme. S'il s'agit là d'une évidence, **il convient de rappeler, que si l'homme a pu influencer sur l'évolution du climat, il ne serait pas à même de corriger les dérèglements climatiques qu'il aurait introduit.**

Le protocole de Kyoto, signé par la France le 29 avril 1998 vise justement à une diminution des gaz à effet de serre, principaux vecteurs du changement climatique. L'objectif global de réduction des gaz à effet de serre fixé par le protocole de Kyoto aux pays industrialisés s'élève à 5,2% en moyenne sur la période 2008-2012 par rapport aux émissions de l'année 1990. Ce protocole ne soumet pas tous les pays aux mêmes obligations. Ainsi pour la période 2008-2012, la France, comme l'Allemagne, doivent réduire de 8% leurs émissions respectives.

La problématique du réchauffement climatique s'analyse à l'échelle mondiale, en revanche les impacts générés par ce phénomène se déclinent de diverses manières selon les régions. L'objet de la présente étude est d'identifier les impacts possibles du réchauffement climatique à l'échelle de la région Nord Pas de Calais pour les relier ensuite à la problématique des risques littoraux dans cette région.

2.Éléments scientifiques récents:

2.1Le changement climatique à l'échelle mondiale

2.1.1 Éléments du Groupement d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (G.I.E.C)

Le GIEC a été établi conjointement en 1988 par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour L'Environnement (PNUE) afin: d'évaluer les informations disponibles sur la science, les effets et les aspects socio-économiques et les options d'atténuation de l'évolution du climat et d'adaptation à cette évolution ; de rendre, sur demande, des avis scientifiques/techniques/socio-économiques à la Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatique (CCNUCC). Depuis 1990, le GIEC a présenté une série de documents mis à la disposition et utilisés par les décideurs, les scientifiques et autres experts.

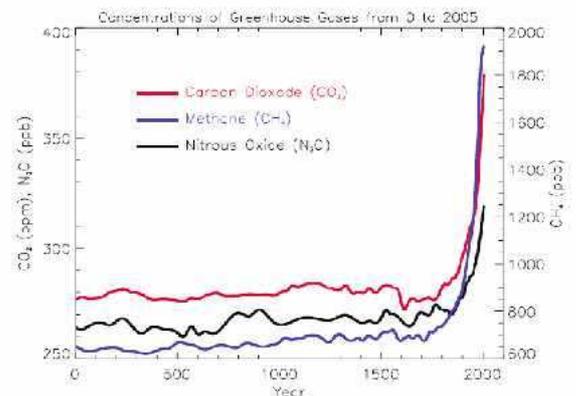
La contribution du Groupe de travail I au quatrième rapport d'évaluation du GIEC, daté de février 2007, décrit les progrès accomplis dans la compréhension scientifique des causes humaines et naturelles des changements climatiques, le changement climatique observé, les processus climatiques et leur rôle dans ce changement, et les estimations du changement climatique futur résultant de simulations. Elle est construite sur la base des évaluations précédentes et incorpore les nouveaux résultats des six dernières années de recherche.

2.1.2 Les causes humaines et naturelles du changement climatique

Le bilan énergétique du climat mondial, qui est induit par le rayonnement solaire, par les propriétés de la surface du sol, mais également les teneurs en gaz à effet de serre dans l'atmosphère, est aujourd'hui altéré. Ces modifications récentes sont directement liées à l'action anthropique et la mesure de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère nous permet d'identifier clairement l'impact de l'ère industrielle et donc la part humaine dans ce changement climatique.

Le rapport du GIEC exprime ces modifications ayant un impact sur le climat en "forçage radiatif". Un forçage positif (gaz à effet de serre par exemple) tend à réchauffer la surface du globe, et un forçage négatif (aérosols) tend à le diminuer. L'industrialisation agit

sur l'ensemble des paramètres régulant le bilan énergétique. Sur la quantité de gaz à effet de serre dégagés dans l'atmosphère bien sûr, mais également sur celle des aérosols car ceux-ci ont également un impact important sur la composition des nuages (modification de leur durée de vie ainsi que de leur albédo). Ces aérosols auront également une influence sur les propriétés de la surface du sol en se déposant sur les zones enneigées. La surface du sol subira d'ailleurs aussi des modifications non négligeables avec la déforestation et la transformation du couvert végétal naturel par exemple.



FAQ 2.1, Figure 1. Atmospheric concentrations of important long-lived greenhouse gases over the last 2,000 years. Increases since about 1750 are attributed to human activities in the industrial era. Concentration units are parts per million (ppm) or parts per billion (ppb), indicating the number of molecules of the greenhouse gas per million or billion air molecules, respectively, in an atmospheric sample. (Data combined and simplified from Chapters 6 and 2 of this report.)

Depuis les analyses de 2001, il a été mis en avant une nette amélioration de la connaissance des influences humaines sur le réchauffement et le refroidissement du climat, ce qui conduit aujourd'hui à une "très grande confiance" dans le fait que l'évolution actuelle du climat est liée aux activités humaines et que l'effet moyen global de ces activités depuis 1750 a été un réchauffement global du bilan énergétique avec un forçage radiatif de $+1,6 \text{ W.m}^2$.

Depuis le troisième Rapport, des progrès ont également été faits dans la compréhension de la manière dont le climat évolue, ceci grâce à l'amélioration de la qualité et de la quantité des séries de données, une meilleure couverture géographique des informations, mais également à l'amélioration des analyses qui peuvent en être faites et notamment une meilleure compréhension des incertitudes et une plus grande variété de mesures.

2.1.3 Le changement climatique actuel

Si l'action anthropique est identifiée clairement dans l'évolution du climat mondial, il est aujourd'hui possible de préciser un certain nombre de points importants. Nous pouvons en effet discerner maintenant les influences humaines dans d'autres aspects du réchauffement climatique que la seule température moyenne globale, comme la température atmosphérique, le réchauffement de l'océan, les températures continentales moyennes, les températures extrêmes et la structure des vents.

Température atmosphérique:

La mesure plus précise des gaz et aérosols émis dans l'atmosphère a permis de mettre en avant certains points inquiétants. En effet, le réchauffement observé lié aux gaz à effet de serre a été atténué par les aérosols volcaniques et humains, il aurait donc dû être plus fort que ce qui est ressenti aujourd'hui. De la même manière, l'observation des couches atmosphériques met en évidence un réchauffement de la troposphère et une diminution de la stratosphère liés à l'action combinée de l'augmentation des gaz à effet de serre et la diminution de l'ozone atmosphérique.

Concernant la mesure de ces températures, onze des douze dernières années figurent au palmarès des années les plus chaudes enregistrées. De plus, la vitesse de réchauffement est la plus forte jamais rencontrée, ces 50 dernières années, elle est le double de ces 100 dernières années. La vitesse moyenne de réchauffement observée sur les 50 dernières années ($+0,13^\circ\text{C}$) a une pente double du réchauffement observée sur le siècle total. L'augmentation totale de température est mesurée aujourd'hui à $0,76^\circ\text{C}$ entre 1850-1899 et 2001-2005, supérieure aux évaluations de 2001 qui indiquaient une vitesse de $0,6^\circ\text{C}$ pour 100 ans.

Température océanique:

Les observations depuis 1961 ont montré que la température moyenne de l'océan mondial a augmenté jusqu'à plus de 3000 mètres de profondeur et que l'océan a absorbé plus de 80 % de la chaleur ajoutée au système climatique. Une telle expansion permet d'expliquer le phénomène d'élévation du niveau de la mer. L'augmentation de température n'est cependant pas le seul facteur explicatif de cette élévation du niveau de la mer. En effet, depuis le III^{ème} rapport des améliorations ont été apportées à la contribution des différents stocks d'eau à ce phénomène. Aujourd'hui le GIEC est en mesure d'indiquer que les calottes glaciaires et les couvertures nuageuses ont réellement contribué à l'élévation du niveau de la mer, et dans quelle mesure (cf. tableau ci après et [carte 5.2 en annexe](#)):

Tableau SPM-1. Vitesse observée d'élévation du niveau de la mer et estimation des contributions des différents facteurs source GIEC 2007

| Facteur d'élévation du niveau de la mer | 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 | 0,05±0,12 | 0,21±0,07 |
| Fonte de l'Antarctique | 0,14±0,41 | 0,21±0,35 |
| Somme des contributions liées au climat | 1,1±0,5 | 2,8±0,7 |
| Élévation totale observée du niveau de la mer | 1,8±0,5 | 3,1±0,7 |
| Différence (Observation moins la somme des contributions du climat) | 0,7±0,7 | 0,3±1 |

Note : les données antérieures à 1993 proviennent de marégraphes, celles postérieures à 1993 d'altimétrie satellitaire.

Répartition géographique:

A une échelle plus locale, les continents, les régions et les bassins océaniques, de nombreux changements à long terme du climat ont été observés: température, glace arctiques, quantité des précipitations, salinité des océans, structure des vents et météorologies extrêmes.

La température de la glace arctique a crû deux fois plus rapidement que la moyenne mondiale ce dernier siècle. De plus les données satellitaires confirment le rétrécissement de la surface de la glace arctique par décennie et notamment l'été. Dans l'hémisphère Nord, la surface maximale des terres gelées a décrût d'environ 7% dans l'hémisphère Nord.

Des sécheresses plus longues et plus sévères ont été observées depuis 1970 notamment dans les régions proches de l'équateur. Parallèlement, la fréquence des évènements a augmenté sur la plupart des zones terrestres. Les températures extrêmes ont également évoluées avec une diminution des jours et nuits froides (avec gel) et une augmentation des jours et nuits chaudes (ainsi que les vagues de chaleurs).

S'il n'y a pas de tendance claire sur le nombre annuel de cyclones tropicaux, les observations suggèrent une augmentation de leur activité et plus particulièrement, depuis 1970, l'augmentation de l'activité des cyclones tropicaux intenses dans l'Atlantique Nord a été observée.

2.1.4 Les projections des changements climatiques futurs

L'amélioration de l'utilisation des modèles numériques ainsi que l'acquisition de nombreuses données supplémentaires et de qualité encore supérieure, ont contribué à affiner les analyses existantes et à progresser considérablement dans l'évaluation des projections du changement climatique par rapport au troisième Rapport de 2001.

Température moyenne globale:

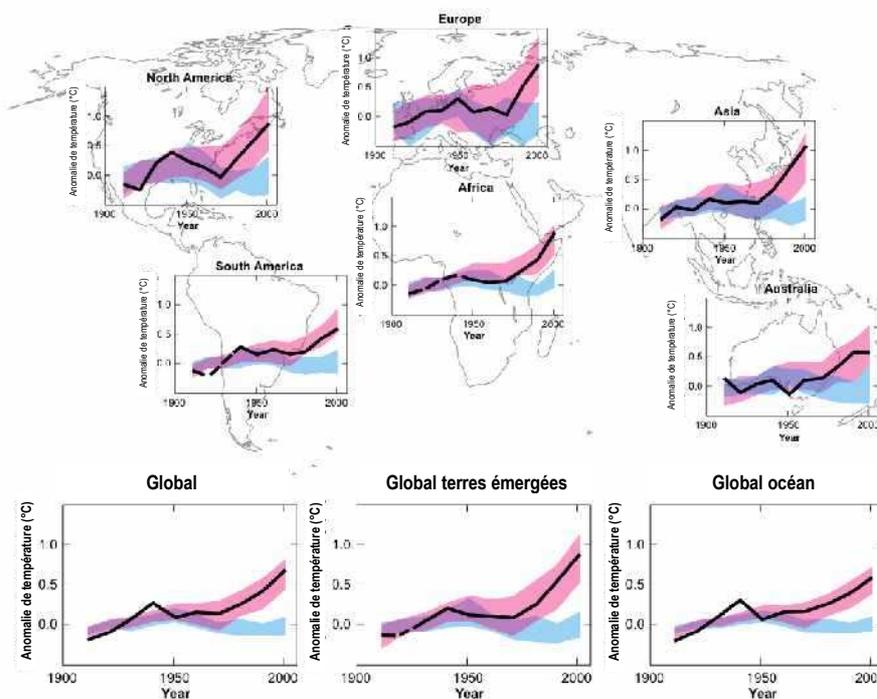
Ainsi en terme d'élévation du niveau de la température moyenne globale, les différents modèles prévoient une hausse de 0,2°C par décennie, soit une température en 2100 comprise dans une fourchette variant de +1,4°C à +5,8°C par rapport à la température moyenne en 1990.

Même en considérant des émissions de gaz stables depuis 2000, les prévisions montrent une hausse de 0,1°C malgré tout par décennie, en partie due à la réponse lente des océans. A l'inverse, la poursuite des émissions de gaz à effet de serre au niveau actuel voire, au-dessus provoquerait un réchauffement supplémentaire et des changements climatiques amplifiés par rapport à ceux observés aujourd'hui.

Ce réchauffement climatique tend en outre à réduire la séquestration du dioxyde de carbone par les terres et les océans, ce qui augmente d'autant plus la part des émissions anthropiques qui reste dans l'atmosphère. Les limites supérieures des températures simulées sont supérieures à celle du troisième

rapport, principalement parce que les modèles, plus performants et plus nombreux, suggèrent une boucle de réaction plus forte entre le climat et le cycle du carbone, responsable en partie du réchauffement climatique.

L'amélioration des projections s'est également effectuée d'un point de vue géographique. Ainsi le réchauffement projeté au 21^{ème} siècle fait apparaître des caractéristiques semblables à celles mesurées jusqu'à présent. Le réchauffement le plus important est attendu sur les terres émergées et aux latitudes élevées, et le moins important dans le sud de l'océan indien et dans certaines parties de l'Atlantique nord cf. graphique ci-après: **Changements de température aux échelles globale et continentale** source GIEC 2007 et [annexe 5.3](#)



Comparaison de changements observés sur la température de surface aux échelles globale et continentale, avec les résultats de simulations de modèles climatiques utilisant les forçages naturel et anthropique.

Les moyennes décennales des observations sont montrées pour la période 1906-2005 (ligne noire) représentée selon le centre de la décennie et relative à la moyenne correspondante sur la période 1901-1950.

Les lignes en pointillés sont utilisées quand la couverture spatiale est inférieure à 50 %.

Les bandes bleues ombrées représentent l'intervalle de confiance 5-95 % pour 19 simulations de 5 modèles utilisant exclusivement les forçages naturels provenant de l'activité solaire et des volcans.

Les bandes rouges ombrées représentent l'intervalle de confiance 5-95 % pour 58 simulations de 14 modèles utilisant à la fois les forçages naturels et anthropiques.

Concernant la couverture neigeuse, les simulations montrent une diminution des glaces des mers Arctique comme Antarctique, avec certains été une disparition totale de la glace en Arctique pour la fin du 21^{ème} siècle.

La météorologie devrait également subir les effets du changement climatique. En effet, les différentes simulations notent une fréquence plus importante des événements extrêmes, des fortes chaleurs, des tempêtes et des cyclones.

Les estimations concernant l'élévation du niveau de la mer (en moyenne globale à la fin du 21^{ème} siècle) sont comprises dans une fourchette plus étroite que lors du troisième rapport principalement en raisons de meilleures informations sur les incertitudes et d'un panel plus fiable de modélisations. Les valeurs s'échelonnent selon les différents scénarii entre +0,18 et +0,59 m avec une valeur médiane à 0,38m. Si les estimations concernant les températures indiquent une tendance à la hausse par rapport au troisième rapport, la valeur médiane de l'élévation du niveau de la mer est réévaluée à la baisse (0,38m au lieu de 0,47m en 2001), mais dans une fourchette de valeurs plus fiables que précédemment. Les valeurs extrêmes sont donc bien plus réalistes qu'en 2001. Cette réévaluation est due en partie à la meilleure connaissance de l'impact des stocks d'eau continentaux et leur réponse au réchauffement climatique.

Il est important de noter également que le réchauffement et l'élévation du niveau de la mer dus à l'homme continueraient pendant des siècles à cause des échelles de temps associées au processus climatiques et aux rétroactions même si les concentrations des gaz à effet de serre étaient stabilisés.

A noter également que la circulation thermohaline de l'Atlantique Nord ralentira très vraisemblablement au cours du 21ème siècle. La valeur moyenne des simulations étant de 25% d'ici la fin du siècle.

Tableau SPM-3. source GIEC 2007

Projections du réchauffement global moyen en surface et de l'élévation du niveau de la mer à la fin du 21^e siècle pour différents modèles. Les projections relatives au niveau de la mer ne prennent pas en compte les incertitudes liées aux rétroactions du cycle du carbone, faute de littérature disponible sur la question.

| | Changements de température (°C sur 2090-2099 relatifs à 1980-1999) | | Élévation du niveau de la mer (m en 2090-2099 relatifs à 1980-1999) |
|--|---|---------------------|---|
| | Meilleure estimation | Fourchette probable | Fourchette couverte par les modèles, excluant des changements dynamiques futurs rapides dans l'écoulement de la glace |
| Concentration constante au niveau de l'année 2000 | 0,6 | 0,3-0,9 | NA |
| Scénario B1 | 1,8 | 1,1-2,9 | 0,18 – 0,38 |
| Scénario A1T | 2,4 | 1,4-3,8 | 0,20 – 0, 45 |
| Scénario B2 | 2,4 | 1,4-3,8 | 0,20 – 0,43 |
| Scénario A1B | 2,8 | 1,7-4,4 | 0,21 – 0,48 |
| Scénario A2 | 3,4 | 2,0-5,4 | 0,23 – 0, 51 |
| Scénario A1FI | 4,0 | 2,4-6,4 | 0,26 – 0,59 |

2.2 Le changement climatique à l'échelle nationale:

A l'échelle de la France, deux informations principales ressortent des analyses les plus récentes du GIEC:

- le réchauffement attendu pour la fin de ce siècle est beaucoup plus important que le réchauffement déjà observé au cours du précédent.
- le réchauffement est de l'ordre de 0,95°C en France pour une moyenne mondiale de 0,74°C au cours du XX^{ème} siècle.

Des modèles existants à l'échelle régionale européenne ont montrés qu'à l'avenir, le réchauffement pourrait être compris dans une fourchette de 4°C à 7°C pour les températures de fin de nuit en été et un réchauffement moyen en hiver de 2°C à 4°C à la fin du siècle.

Il est important de noter que ces simulations sont basées sur les scenarii de la version du GIEC de 2001 et que le contexte géopolitique a évolué depuis. En 2007, les scenarii concernant les températures sont désormais plus alarmistes. La lecture des résultats présentés dans ce chapitre doit tenir compte de cette nouvelle vision du GIEC.

A l'échelle nationale, les travaux existants émanent principalement de MétéoFrance, tant pour la qualité et la quantité des séries de données dont ils disposent que de la maîtrise d'outils de modélisation performants en terme de prévision. Des travaux de MétéoFrance ont été réalisés dans le cadre du programme IMFREX. Le modèle utilisé ARPEGE-Climat intègre différents paramètres atmosphériques comme le vent, la température, l'humidité et la pression, ainsi que des forçages d'ordre anthropiques comme le dioxyde de carbone ou les sulfates émis dans l'atmosphère ou la température de surface de l'eau lorsque les données existent.

Il est important de noter que si les paramètres fondamentaux nécessaires pour prévoir l'évolution de l'atmosphère sont peu nombreux, une fois que les états futurs de l'atmosphère sont connus, le modèle

numérique permet d'en déduire une multitude de paramètres plus élaborés (comme la répartition et la nature des nuages, des précipitations, l'épaisseur de neige, etc...).

Ce modèle a prouvé sa fiabilité à travers une série de modélisations réalisées sur ces 40 dernières années et une mise en parallèle avec les données mesurées. Il est donc possible de calculer la distribution des températures et précipitations avec une bonne précision statistique et d'évaluer les contrastes géographiques et saisonniers sur la France.

Afin de produire des prévisions à l'horizon 100 ans et pour la France (métropolitaine), il a fallu s'appuyer sur des scénarii produits par le GIEC. Le scénario retenu pour les modélisations est le A2, l'un des plus pessimistes, souvent pris pour exemple car compte tenu du contexte géopolitique international, c'est également l'un des plus réalistes. Les simulations produites sur les 40 dernières années ont donc été poursuivies sur les 100 prochaines années, permettant ainsi de disposer d'une série de 140 ans de données quotidiennes simulées.

Pour décrire le climat possible de la fin du siècle les résultats sont présentés à la fois pour le climat actuel et en comparaison le climat futur. Les températures ainsi que les précipitations sont représentées par saison. Les valeurs identifiées sont des valeurs moyennes, les plus fiables produites par le modèle. Les conclusions principales de ces résultats (cf. [5.5](#)) indiquent une tendance au réchauffement général de la France quelques soient les saisons, avec une augmentation des pluies l'hiver et une diminution des pluies l'été.

D'autres programmes d'études européens, et notamment le projet PRUDENCE (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects), initié par un groupements de parlementaires, de scientifiques et d'industriels européens permettent de mettre également en avant cette tendance au réchauffement, mais les conclusions répondent parfois à une échelle encore plus locale qui seront développés dans le chapitre suivant.

2.3 Le changement climatique à l'échelle régionale:

Les différents projets européens déjà évoqués, mettent en évidence l'impact du changement climatique en étudiant les paramètres plus précisément et à une échelle qui nous concerne tout particulièrement. Ainsi des tendances sont données pour la température, les précipitations, mais également, l'élévation du niveau de la mer, mais aussi, les surcotes, les tempêtes, la houle. Des observations et mesures réalisées à l'échelle du Nord Pas de Calais ont permis de préciser toutes ces informations.

Les travaux à l'échelle mondiale ont révélé que les douze dernières années de mesures ont permis d'améliorer considérablement la connaissance de l'impact du changement climatique, c'est pour cela que nous avons sollicité diverses mesures et données scientifiques afin d'en actualiser certaines et de mettre en avant les éléments utiles à la réflexion.

Sources d'informations pour la région nord Pas de Calais:

| | |
|------------------------------------|---|
| Niveau moyen de la mer | |
| CNES | Données satellitaires |
| SHOM | Données marégraphiques |
| SHOM | Niveaux extrêmes d'occurrence centennale |
| Climat | |
| Météo-France | Température, précipitations, tempêtes |
| Projets européens | Température, précipitations, tempêtes |
| États de mer | |
| DISCOBOLE | Tendances des houles sur ces 25 dernières années |
| CETMEF | Intensité, direction, occurrence des houles |
| ANEMOC | Présentation du climat de houle au large de dunkerque |
| Littoral Nord Pas de Calais | |
| Conservatoire du Littoral | Impact du changement climatique sur les territoires |
| IFREMER | Photos aériennes anciennes |

2.3.1 Le niveau moyen de la mer:

Le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine nous a transmis l'ensemble des valeurs calculées du niveau moyen de la mer¹. Ces niveaux moyens sont calculés à partir des données récoltées par les marégraphes des ports de Boulogne-sur-Mer et de Dunkerque. Ces marégraphes enregistrent les niveaux d'eau depuis respectivement 1941 et 1956. Les séries de mesures sont donc suffisamment longues pour en faire l'analyse, même s'il subsiste parfois des lacunes sur ces séries. Ainsi à Dunkerque, il manque deux années complètes (1993 et 1994). Pour le port de Boulogne-sur-Mer, nous disposons de longues séries de mesures de 1973 à aujourd'hui, mais les premières mesures datent en réalité de 1941. Celles-ci ont été interrompues après 1942 jusqu'en 1973.

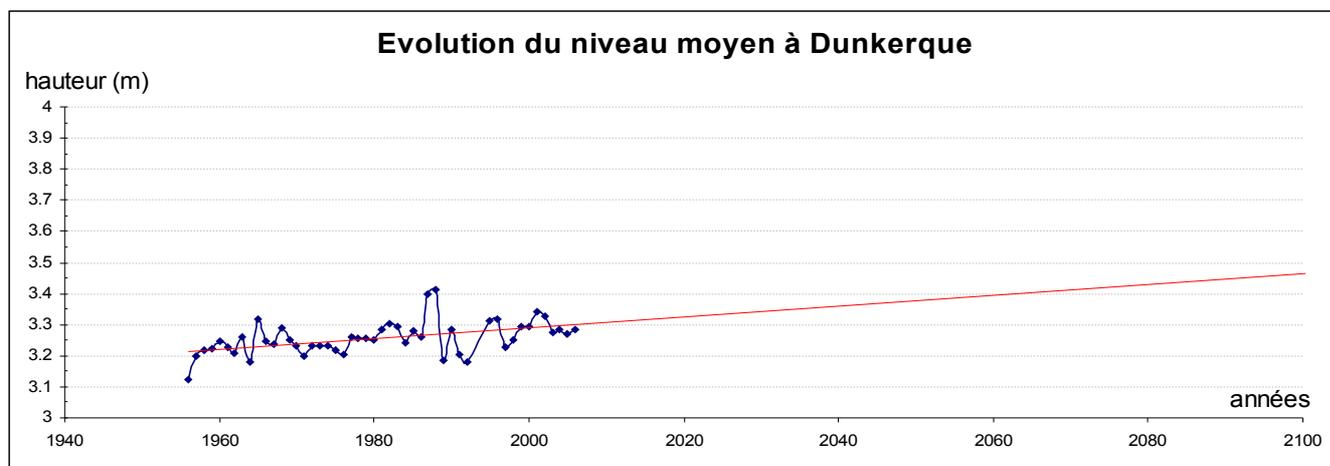
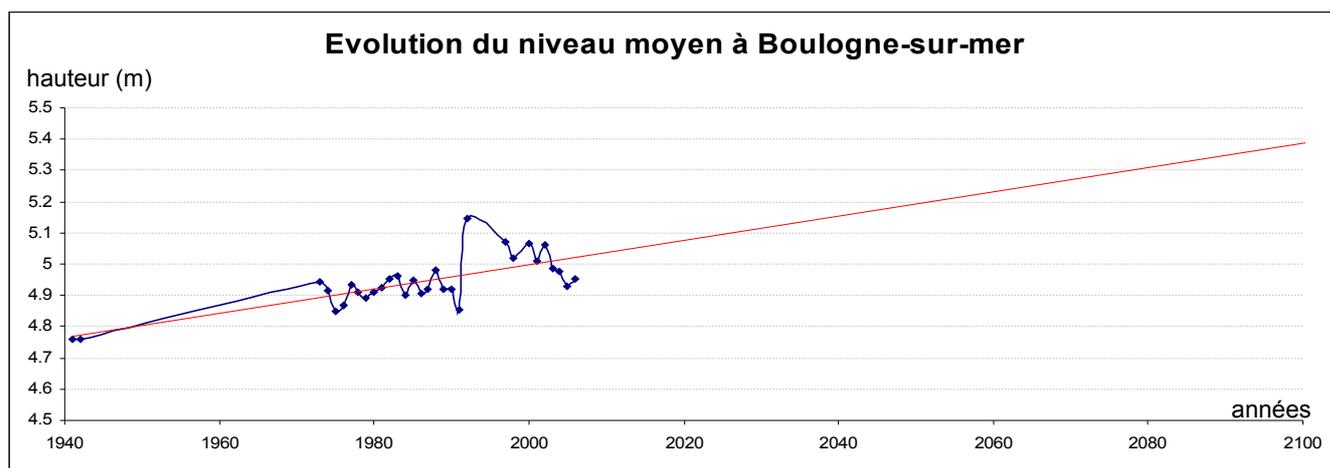
Le port de Calais présente également un marégraphe, mais les données n'ont pas été exploitées dans ce rapport. En effet, lors de l'exploitation des mesures, et en comparaison avec les résultats des

¹ L'appellation "niveau moyen" n'est pas attribué à la moyenne des niveaux, mais au résultat d'un filtrage numérique. Le niveau moyen est le résultat d'une opération sur les hauteurs mesurées, tendant à éliminer la marée astronomique. Cet usage s'est imposé pour la définition du "niveau moyen journalier". En effet, la période de la marée n'étant pas exactement égale à 24 heures, la moyenne des 24 hauteurs horaires laisse un résidu contenant des composantes de marée très gênantes pour les études statistiques.

marégraphes voisins (français et européens), les valeurs montraient une tendance à l'inverse des autres sites¹.

Les six dernières années de données marégraphiques modifient légèrement les vitesses d'élévation du niveau de la mer sans en changer la tendance.

Les données connues jusqu'à présent indiquaient une élévation de +2,1mm/an à Dunkerque et +4,4mm à Boulogne sur Mer. Aujourd'hui réactualisées, nous pouvons affiner ces valeurs à +1,7mm/an pour Dunkerque, et +3,9mm/an à Boulogne-sur-mer. L'élévation du niveau moyen de la mer mesurée aujourd'hui est donc moindre que ce qui était annoncé en 2001, mais notons que les incertitudes sont plus faibles.



1Deux explications étaient alors possibles : un phénomène tectonique (de type soulèvement) localisé sur Calais uniquement, ce qui est peu probable et non confirmé par le BRGM ; ou une défaillance de l'appareil de mesure dans le port de Calais. Une expertise sur ce point a été demandée au SHOM qui confirme la difficulté d'exploiter les données du port de Calais pour cette application bien spécifique du niveau moyen de la mer. En effet, le marégraphe de Calais a subi plusieurs modifications au cours du temps (5 instrumentations différentes) et le positionnement de l'instrument a changé (extrémité nord du quai de marée de 1964 à 1997, puis à partir de 1998, extrémité Est du quai de service). En outre d'importants travaux ont eu lieu en 1998, avec on l'imagine de nombreux dragages, or les niveaux de référence ont été conservés tout au long de la série. Au final la série de Calais n'est pas très longue et la qualité des mesures (en particulier avant les travaux réalisés en 1998) n'est pas des plus satisfaisante avec un changement de site et des modifications du port. Nous avons préféré ne pas les exploiter dans le cadre de cette étude, disposant de deux autres séries sur la région ainsi que des tendances des ports anglais, face à Calais.

Ces tendances sont également mesurées par les marégraphes anglais proches de la région Nord Pas de Calais. Dover dispose de la série la plus longue parmi les séries marégraphiques disponibles dans la partie orientale des côtes anglaises de la Manche, soit 350 000 enregistrements horaires. Le niveau moyen de la mer s'y élève d'environ +1,6mm/an. Les autres ports, disposés de l'ouest à l'est en Manche et Mer du Nord montrent une élévation comprise entre +0,6mm/an et +1,7mm/an, corroborant ainsi les ordres de grandeurs identifiés en France.

La valeur élevée de Boulogne-sur-Mer semble indiquer une subsidence possible sur ce secteur. C'est également la conclusion qui a été apportée pour les valeurs élevées des marégraphes les plus occidentaux de l'Angleterre. En effet, trois stations présentent des élévations de l'ordre de +10mm/an, suggérant clairement une subsidence sur ces sites.

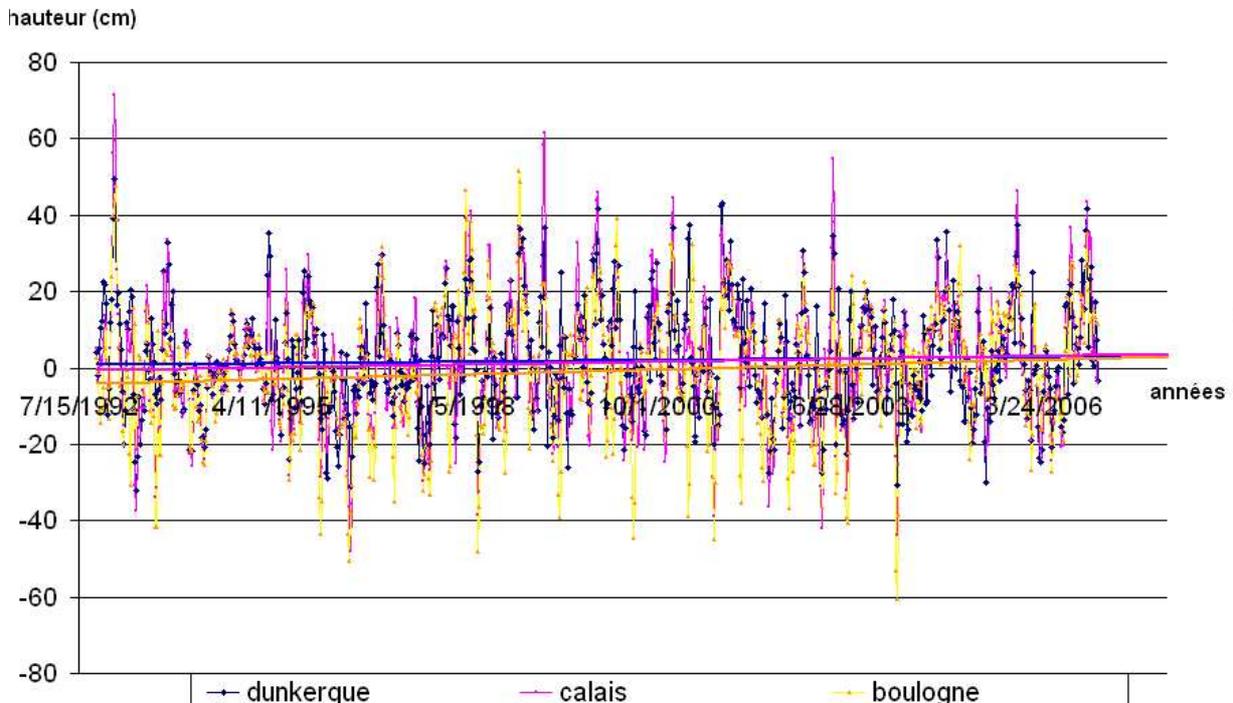
Ces informations sur le niveau moyen de la mer, issues des marégraphes, nous donnent une nette tendance à la hausse.

Pendant des années, la marégraphie a été la seule technique permettant d'observer directement les variations du niveau de la mer. La marégraphie mesure la variation relative du niveau de la mer par rapport à la côte. Une nouvelle technique, l'altimétrie spatiale, permet aujourd'hui de mesurer les variations absolues du niveau de la mer et avec une précision de quelques dixièmes de millimètres. L'altimétrie spatiale permet d'apporter une nouvelle source d'informations afin de confirmer ou non ces premières tendances et de préciser éventuellement les ordres de grandeur.

Les données satellitaires à notre disposition sont issues des satellites TOPEX Poseidon et JASON1. La série de données couvre 15 années complètes et permettent une bonne exploitation statistique. Elles sont représentées sur le graphique suivant en anomalies observées par rapport au niveau moyen de la mer:

Anomalies observées par rapport au niveau moyen de la mer

Source CNES - 2007



Trois points de mesures ont été extraits aux abords des ports de référence Dunkerque, Boulogne et Calais.

Ces trois points de mesures confirment à la fois la tendance à l'élévation du niveau moyen mis en avant avec les mesures marégraphiques mais permettent également de préciser les ordres de grandeurs de cette

élévation. Ainsi, les mesures satellitaires indiquent une hausse du niveau moyen de la mer comprise entre +1,3mm à Dunkerque à +2,3mm/an à Boulogne sur Mer et Calais.

L'élévation du niveau de la mer mesuré d'une part par les marégraphes est ainsi confirmée par les données satellitaires avec une fourchette d'élévation comprise entre + 1,3mm/an et +2,3mm/an. En toute logique, les ordres de grandeurs à Boulogne-sur-mer diffèrent d'un type de mesure à l'autre selon que l'on mesure le niveau relatif (marégraphe) ou absolu (satellite) du niveau moyen de la mer. Le phénomène de subsidence n'est pas intégré à la mesure satellitaire et n'est donc identifiable que grâce aux marégraphes.

2.3.2 Les niveaux extrêmes d'occurrence centennale:

Le principe retenu pour l'élaboration des Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPR) consiste à déterminer les zones submergées par la mer pour le niveau d'eau atteint pour une occurrence centennale. Ce niveau de référence doit inclure les phénomènes de surcotes météorologiques et être calculé à pleine mer pour les littoraux à marée. Il semble important de revenir sur ce point étant donné que le document cité en référence¹ dans le guide méthodologique PPR_{littoraux} a fait l'objet d'une actualisation en 2007.

Le niveau de la mer observé à la côte résulte de la superposition de plusieurs phénomènes généralement indépendants qui se caractérisent essentiellement par leur échelle de temps : les vagues et la houle, les seiches, la marée d'origine astronomique, les surcotes-décotes d'origine essentiellement météorologique, les mouvements du sol et la variation séculaire du niveau moyen des mers.

La méthode d'analyse utilisée par B. Simon du SHOM, consiste en la combinaison des lois de probabilités liées d'une part à la marée et d'autre part aux surcotes. En effet, les deux phénomènes sont très largement indépendants, mais en disposant de données suffisamment nombreuses, il est possible de définir les lois de probabilités régissant les événements qui nous intéressent pour définir les niveaux d'eau les plus hauts, à savoir les grandes marées de vives-eaux ainsi que les surcotes très importantes.

Les résultats obtenus pour la région Nord Pas de Calais indiquent des niveaux extrêmes d'occurrence centennale compris entre + 470 cm cote NGF à Dunkerque et + 580 cm cote NGF à Boulogne-sur-mer. Ces valeurs évoluent peu par rapport à l'ancien document. Elles permettent de repréciser les valeurs notamment entre Calais et le Cap Gris-Nez dont les nouvelles estimations sont abaissées de 10 cm pour 5 isocourbes.

Pour obtenir une tendance séculaire de ces niveaux extrêmes, il faut bien évidemment disposer de séries de données très longues comme à Brest ou Marseille par exemple. En effet, les statistiques de niveaux extrêmes actualisées cette année dans le document du SHOM et traduites en période de retour, permettent d'évaluer les risques de submersions de certaines zones côtières. Elles sont valables pour la période actuelle. Pour les risques futurs, les variations à long terme du niveau moyen des mers dus aux effets climatiques doivent être considérés. Or il faut admettre que, même aux endroits où de longues séries d'observations sont disponibles, la réponse reste avec des incertitudes. Ce n'est que par la mise en place de système de mesures, qu'il sera possible de réduire ces incertitudes concernant les estimations futures. [cf. annexe 5.4](#)

1 Statistiques des niveaux marins extrêmes le long des côtes de la Manche et de l'Atlantique - B. Simon/ SHOM -1994-

2.3.3 Le climat:

Températures et précipitations:

Il convient de rappeler ici que l'augmentation de température est plus importante à l'échelle nationale qu'à l'échelle mondiale. L'ensemble des scénarii découlant de l'analyse des températures prévues à l'échelle mondiale doivent donc être pris en considération par la France, car ils pourraient être au-dessous des effets réellement attendus dans les régions où les élévations de températures sont plus importantes.

Le premier constat concernant ces paramètres, à l'échelle du Nord Pas de Calais, est une augmentation des températures l'hiver et une stabilité l'été. Ces éléments sont extraits d'une analyse plus globale réalisée à l'échelle européenne, le projet PRUDENCE (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects) qui vise à régionaliser les résultats du GIEC en utilisant des modèles à plus localement et qui intègrent les différents scénarii allant de A2 (pessimiste) et B2 (optimiste).

A l'horizon 2070-21000, cette étude indique que la France (dans sa partie Nord) se trouve dans la moyenne haute des variations de températures, avec une élévation de +1,1 °C pour la valeur médiane mais avec un pic à +1,6°C pour les été à venir. Globalement, l'élévation des températures sera observable sur tout au long de l'année, avec malgré tout une hausse plus remarquable en été mais également en automne.

| Pays | Variation T°C (valeur médiane) | Hiver | Printemps | Eté | Automne |
|------------------|------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Belgique | 1,1 | 0,9 | 0,9 | 1,4 | 1,2 |
| France(Nord) | 1,1 | 0,9 | 0,8 | 1,6 | 1,2 |
| France (Sud) | 1,3 | 1,0 | 1,0 | 1,8 | 1,3 |
| Allemagne (Nord) | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,3 |
| Allemagne (Sud) | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,4 | 1,3 |
| Irlande | 0,7 | 0,5 | 0,6 | 0,9 | 0,9 |
| Pays-Bas | 1,1 | 0,9 | 0,9 | 1,2 | 1,2 |
| Angleterre | 0,8 | 0,6 | 0,7 | 1,0 | 1,0 |

Dans le même esprit d'analyse, visant à quantifier les évolutions possibles selon les scénarii identifiés par le GIEC, un volet précipitation a été ici synthétisé. Il met en évidence des variations non négligeables pour la France, avec une baisse globale sur l'année qui ne reflète pas les contrastes saisonniers prévus. Les hiver seront caractérisés par des précipitations bien plus élevées, signes de risques d'inondation plus importants. Le printemps, l'automne et l'été présenteront un déficit hydrique avec un pic bien plus marqué pour la saison estivale.

| Pays | Variation précipitation (en % de la valeur médiane) | Hiver | Printemps | Eté | Automne |
|------------------|---|------------|-------------|--------------|-------------|
| Belgique | -1,2 | 6 | 0,2 | -10,3 | -2,4 |
| France(Nord) | -1,3 | 7,6 | -0,6 | -11,6 | -3,5 |
| France (Sud) | -3,0 | 5,3 | -3,4 | -14,9 | -3,6 |
| Allemagne (Nord) | 0,4 | 5,3 | 1,6 | -7,2 | -0,8 |
| Allemagne (Sud) | 0,2 | 4,8 | 2,2 | -6,1 | -2,4 |
| Irlande | -0,7 | 4,6 | 0,7 | -9,7 | -0,2 |
| Pays-Bas | 0,6 | 7,2 | 1,7 | -10,6 | -0,9 |
| Angleterre | 0,0 | 6,8 | 1,3 | -8,9 | 0,7 |

D'autres études corroborent ces informations. Des modélisations d'EDF et de Météo France axées sur les mêmes paramètres (températures et précipitations) et basées sur 40 ans de données quotidiennes simulées mettent en lumière les mêmes tendances que précédemment. [cf. annexe 5.5.](#)

Les informations sont plus des tendances et des ordres de grandeurs qui confirment ainsi une augmentation des précipitations l'hiver, un déficit hydrique en été, ainsi que des températures globalement en hausse.

2.3.4 Les états de mer extrêmes:

Le projet DISCOBOLE (DIimensionnement des Structures Côtières et des Ouvrages de BOrd de Mer à Longue Échéance), mené conjointement par les départements LNHE (Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement) et SPE (Systèmes de Production et Environnement) d'EDF, le Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales (CETMEF), l'Université de Bretagne Occidentale (UBO), et le Laboratoire de Géographie Physique (CNRS), devrait permettre d'approfondir la question du risque de submersion marine.

L'équipe projet s'est donnée pour objectifs d'étudier les données numériques de surcotes et de houle sur les vingt dernières années, d'essayer d'en déduire si des tendances se dessinent et d'estimer l'évolution à long terme (50 ans) de certaines conséquences du changement climatique sur le climat maritime et côtier. Les résultats obtenus devraient permettre d'améliorer le dimensionnement et la gestion à long terme des ouvrages de protection futurs, comme les digues ou les brise-lames.

Ce projet permet déjà de tirer plusieurs enseignements. Tout d'abord, il est à noter que la fréquence et l'intensité des surcotes extrêmes est stationnaire sur ces 20 dernières années. De plus, le climat des houles extrêmes de ces 20 dernières années sur le point d'étude au large de Dunkerque est stationnaire. Les états de mer extrêmes ne présentent donc pour l'instant pas d'évolution particulière. Cependant, des mesures in situ de houle, manquantes à ce jour, permettraient de disposer d'informations précises sur la zone qui nous intéresse ici, pour en extraire, à moyen terme, des tendances réelles pour une meilleure connaissance de cette région maritime du Nord Pas-de-Calais.

La base de données ANEMOC (<http://anemoc.cetmef.equipement.gouv.fr/anemoc/>), qui a pour objectif de diffuser les conditions d'états de mer obtenues le long des côtes françaises Atlantique – Manche – Mer du Nord par simulation numérique rétrospective sur la période allant du 1er janvier 1979 au 31 août 2002, soit près de 24 ans, permet d'identifier le climat de houle au large du département du Nord.

Les simulations sont effectuées grâce au logiciel de modélisation des états de mer TOMAWAC, développé par EDF R&D -LNHE avec le soutien du CETMEF.

Les résultats sont présentés en [annexe 5.6](#). Il en ressort des éléments permettant de caractériser la houle située au large de Dunkerque :

- Sa période est relativement faible, comprise entre 5 et 7 secondes, ce qui est caractéristique d'une houle générée par des vents locaux (au contraire des houles de grande période, issues de la propagation du large vers la côte d'une onde générée à de très grandes distances).
- Les hauteurs de houle peuvent atteindre ponctuellement entre 3,50m et 4,00m, mais globalement, elles sont assez faibles, 72 % des hauteurs de houles restent inférieures à 1,00m.
- Leur direction de provenance est soit de 240°N - 255°N, équivalent à un vent de Sud Ouest, qui caractérise la façade Manche de la région ; Soit de 15°N - 30°N, c'est-à-dire un vent de Nord que l'on retrouve plus particulièrement sur les façades de la Mer du Nord.

Si la fréquence et l'intensité des houles n'évoluent pas, il est important de noter que leur impact sera modifié en raison de l'élévation du niveau des eaux. Celui-ci entraînera en effet un déferlement plus haut des houles sur les ouvrages ou sur le linéaire côtier. L'impact des houles ne dépend pas uniquement des hauteurs des vagues et de leur fréquence mais également du niveau du plan d'eau.

3.Impacts possibles de ces changements sur le littoral du Nord Pas-de-Calais

3.1 Le littoral naturel

L'érosion du littoral est un risque naturel pouvant avoir des conséquences importantes, qu'elles soient écologiques ou économiques. Il est donc essentiel de disposer d'informations cohérentes sur l'ensemble du trait de côte: quelles sont ses caractéristiques intrinsèques (sable, falaises, etc.), quelles sont les caractéristiques géomorphologiques du site (exposition aux houles, bathymétrie des petits-fonds), quelles sont les conditions météo-océaniques actuelles et à prévoir sur ce littoral.

La description du littoral du Nord Pas de Calais a déjà été longuement étudié et continue de l'être étant donné la variabilité et la sensibilité de certains sites.

Ainsi cette région est découpée en deux façades sableuses et une façade rocheuse s'étendant sur 140km de la baie d'Authie à la frontière belge. Du Nord au Sud, on retrouve ainsi la plaine maritime flamande orientée est-nord-est/ouest-sud-ouest, située entre la frontière belge et Sangatte et constituée essentiellement d'espaces sableux. Ensuite, s'étend le Boulonnais, entre Sangatte et Equihen, secteur aux rivages rocheux et à falaises, entrecoupés d'espaces dunaires (Wissant, la Slack). Enfin, plus au sud, on retrouve un espace sableux avec la plaine maritime picarde, orientée nord-sud et qui descend jusqu'à l'estuaire de la Somme.

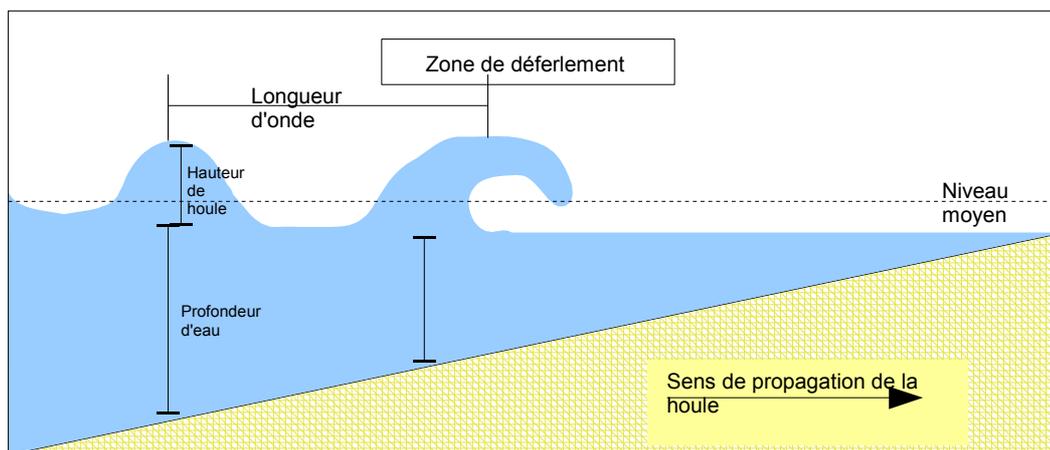
Si l'on sait à l'évidence que le littoral des plaines maritimes est plus fragile car constitué d'éléments plus facilement mobilisables, sous l'effet des agents hydrodynamiques, il faut préciser ici, que les espaces dunaires de la plaine flamande semble a priori encore plus sensibles étant donné l'unique cordon dunaire qui la constitue dont l'altitude est parfois inférieure aux plus hautes mers de vives-eaux.

Le système dunaire de la plaine maritime picarde est quant à lui plus complexe et s'étend sur plusieurs kilomètres en amont.

Deux facteurs d'érosion sont à considérer sur ce littoral: **la mobilité du trait de côte et les submersions marines.**

Le premier facteur est le plus lent et nécessite pour mieux l'appréhender un suivi sur plusieurs années de la topographie des sites afin d'identifier avec précision les zones d'engraissement et d'érosion. Naturellement les côtes reculent ou s'engraissent suivant les saisons et leur nature, mais le changement climatique pourrait également influencer sur cette évolution naturelle.

L'augmentation des précipitations tout d'abord, pourrait entraîner des crues plus importantes et du charriage de sédiments plus fort à l'embouchure des fleuves. L'élévation du niveau de la mer ensuite, qui peut modifier les caractéristiques de propagation de la houle, notamment à la côte en faible profondeur, en entraînant un déferlement plus haut sur l'estran et une mise en mouvement de particules jusque là non atteintes (pied de dune, pied de falaise). Le déferlement dépend en effet de la couche d'eau située sous la vague. C'est la longueur d'onde qui détermine le déferlement, or la longueur d'onde est fonction de la profondeur d'eau. Si le niveau d'eau augmente, l'épaisseur limite entraînant le déferlement se situera plus haut sur le rivage, entraînant une mise en mouvement de sédiments situés eux aussi plus haut sur l'estran.



La modification du climat atmosphérique, lors de tempêtes par exemple, peut également avoir une influence sur le régime de surcote/décotes et sur les ondes de marées notamment dans les zones de fort marnage (estuaire de la baie de Somme par exemple) ce qui peut également relever le niveau du plan d'eau dans des secteurs plus éloignés et perturber l'écoulement gravitaire de certains fleuves.

Le deuxième processus, la submersion marine est directement liée à l'altitude du trait de côte et donc au niveau du plan d'eau. Ce trait de côte pourrait être submergé dans deux cas distincts :

- lorsque le niveau d'eau sera supérieur à son sommet, or l'on sait que le changement climatique entrainera une élévation du niveau moyen de la mer, ce phénomène est d'ailleurs déjà mesuré sur nos côtes. Ce cas ne sera alors plus forcément lié aux marées de vives-eaux exceptionnelles, mais peut-être plus régulièrement avec des marées d'amplitudes plus faibles.
- Lorsque ce trait de côte sera soumis, plus ponctuellement à des tempêtes entrainant des surcotes importantes qui, si elles sont cumulées à de fortes marées, pourraient dépasser là encore le sommet de la dune.

La conséquence de ces deux phénomènes est l'inondation des plaines maritimes situées en arrière de ce cordon dunaire, avec, nous l'avons dit plus d'impact pour la partie flamande. La durée et donc l'ampleur de l'inondation sera aggravée dans le cas d'un phénomène lié à la marée comme l'élévation du plan d'eau que lors d'évènements plus ponctuels comme les tempêtes.

Les conséquences premières du changement climatique sont donc une mobilité du trait de côte plus importante, une érosion des falaises et pied de dune également plus intense, et des submersions possibles avec des périodes de retour plus faibles.

On pourra également noter des conséquences qui pourraient intervenir dans un second temps sur les secteurs estuariens. En effet, l'élévation du plan d'eau, avec parfois une subsidence qui accroît ce phénomène, pourra permettre aux eaux salées de progresser plus en amont dans les estuaires, limitant ainsi l'évacuation des eaux douces et sédiments des fleuves, mais diminuant également la part d'eau douce dans les nappes phréatiques proches de ces espaces.

De la même manière, par inondation des espaces arrière-littoraux, les dunes, ainsi que les pannes humides pourraient subir des conséquences sur leur faune et leur flore, empêchant le maintien de ces espaces dunaires par les espèces végétales présentes.

3.2 Les ouvrages de protection

De la même manière qu'il est important d'avoir une bonne connaissance de l'état du linéaire naturel, afin de prévenir les risques de submersion, il est également indispensable d'anticiper cela à l'échelle des ouvrages littoraux. C'est l'objet actuellement d'une phase de travail parallèle à l'étude réalisée ici. Cette action, qui est pilotée par les DDE du Nord et du Pas-de-Calais, consiste à améliorer les connaissances actuelles sur les ouvrages de protection contre la mer ainsi que sur la topographie du littoral.

Il est en effet important de disposer à la fois d'un descriptif précis de ces ouvrages et de leur état vis-à-vis du rôle de protection qu'ils doivent assurer, mais également de la topographie en avant de ces ouvrages qui est toute aussi importante si l'on sait l'impact que peuvent avoir des évolutions de bathymétrie sur les caractéristiques de propagation de la houle.

Aujourd'hui, il est acquis que le changement climatique entrainera de manière certaine une élévation du niveau moyen de la mer. Lorsque la houle s'approche de la côte, c'est la diminution de la profondeur d'eau qui entraîne la réduction de la longueur d'onde, et cette réduction peut provoquer, si elle est suffisante, la destruction totale ou partielle de la vague, c'est le déferlement. On comprend alors qu'en élevant le niveau du plan d'eau la diminution de la lame d'eau se fera plus haut sur l'estran et le déferlement des houles se fera également plus haut. L'énergie apportée par la houle sera donc plus importante et sollicitera des zones de l'ouvrage qui ne l'étaient pas auparavant. De même ce déferlement plus important sur l'ouvrage, pourra provoquer une dégradation plus importante soit au pied de l'ouvrage, soit sur l'ouvrage lui-même. Cela implique donc de connaître au mieux les ouvrages côtiers afin d'identifier les zones de suivis prioritaires et/ou de consolidation ou réparation si l'ouvrage le nécessite, pour anticiper ces modifications liées au changement climatique.

L'élévation du niveau de la mer peut en outre faciliter les remontées d'eaux salées dans les estuaires. Les ouvrages situés plus en arrière destinés à protéger les plaines maritimes devront sans doute être évalués également si le niveau de la mer, lors d'événements exceptionnels venait à dépasser ou à endommager ces ouvrages plus éloignés.

Enfin, le secteur des Wateringues n'est pas non plus à négliger. Si les populations ont réussi au fil des siècles à assécher les marais du delta de l'Aa pour en faire des terres agricoles, les wateringues n'en restent pas moins très sensibles aux inondations et il est nécessaire aujourd'hui, d'entretenir les canaux et les pompes pour se préserver justement de ces crues. Mais si le changement climatique peut influencer sur les précipitations hivernales et entraîner plus de difficultés à évacuer la quantité d'eau de ses polders, l'élévation du niveau de la mer peut également ralentir l'évacuation gravitaire. Ce phénomène n'est pas quantifié aujourd'hui, mais il a déjà été constaté lors de grandes marées de vivez-eaux.

4. Conclusions:

Les mesures actuelles amènent les enseignements suivants:

- L'augmentation des températures est plus importante en France qu'à l'échelle mondiale, or l'on sait que le réchauffement de l'océan a contribué ce dernier ½ siècle pour 25% de l'élévation du niveau de la mer. Il faut donc être conscient des différences qui existent entre les éléments à l'échelle mondiale et les données locales.
- Le niveau moyen de la mer présente non seulement une valeur à la hausse sur les stations du Nord Pas de Calais (entre +0,6mm et +1,7 mm/an), mais en outre, une subsidence au niveau de Boulogne-sur-mer, peut ponctuellement accroître le phénomène d'élévation du niveau de l'eau.
- La fréquence et l'intensité des houles et surcotes ne montrent pas d'évolution particulière à ce jour, mais elles peuvent malgré tout avoir un impact différent en fonction du niveau du plan d'eau par rapport au trait de côte.

Les impacts possibles localement sont les suivants:

- L'élévation du niveau de la mer aura un impact sur le déferlement:

Sans que le climat de houle soit modifié (fréquence et intensité), l'élévation du plan d'eau permet à la houle de déferler plus haut sur **le rivage** ou **les ouvrages**. Deux phénomènes pourront avoir lieu, **l'érosion** du littoral dans un premier temps, puis la **submersion** qui devient possible, soit sur des ouvrages ou des dunes dont la topographie permet un dépassement par la houle, soit par une rupture complète du linéaire, entraînant une pénétration des eaux sur les zones basses arrières-littorales.

- Les linéaires fragilisés (artificiels ou naturels), et aussi Boulogne sur mer, qui semble présenter une subsidence, seront probablement sensibles plus rapidement à ce phénomène climatique.
- Dans les estuaires, des phénomènes de salinisation des eaux et une baisse de la disponibilité des eaux douces due à l'intrusion de la mer sont à anticiper, ainsi qu'une surveillance des ouvrages estuariens.
- Le secteur des Wateringues sera également impacté par ce phénomène d'élévation du niveau des eaux qui réduira l'évacuation gravitaire des canaux. De plus, le changement climatique pourra générer des crues plus importantes l'hiver, plus difficiles à évacuer

Ce rapport doit être considéré comme un des éléments constituant la réflexion plus globale menée par la DIREN Nord pas de Calais sur l'évolution des risques naturels littoraux liés au changement climatique dans le Nord Pas de Calais. Il a donc pour vocation d'expliquer simplement les phénomènes liés au changement climatique qui peuvent avoir des conséquences sur le littoral de cette région. En tout état de cause, sa lecture vise à être associée à celle des autres productions issues de cette réflexion régionale car la connaissance des risques naturels ne doit pas se limiter aux facteurs impactant mais elle commence avant tout par la connaissance des points forts et points faibles du secteur soumis à ces facteurs..

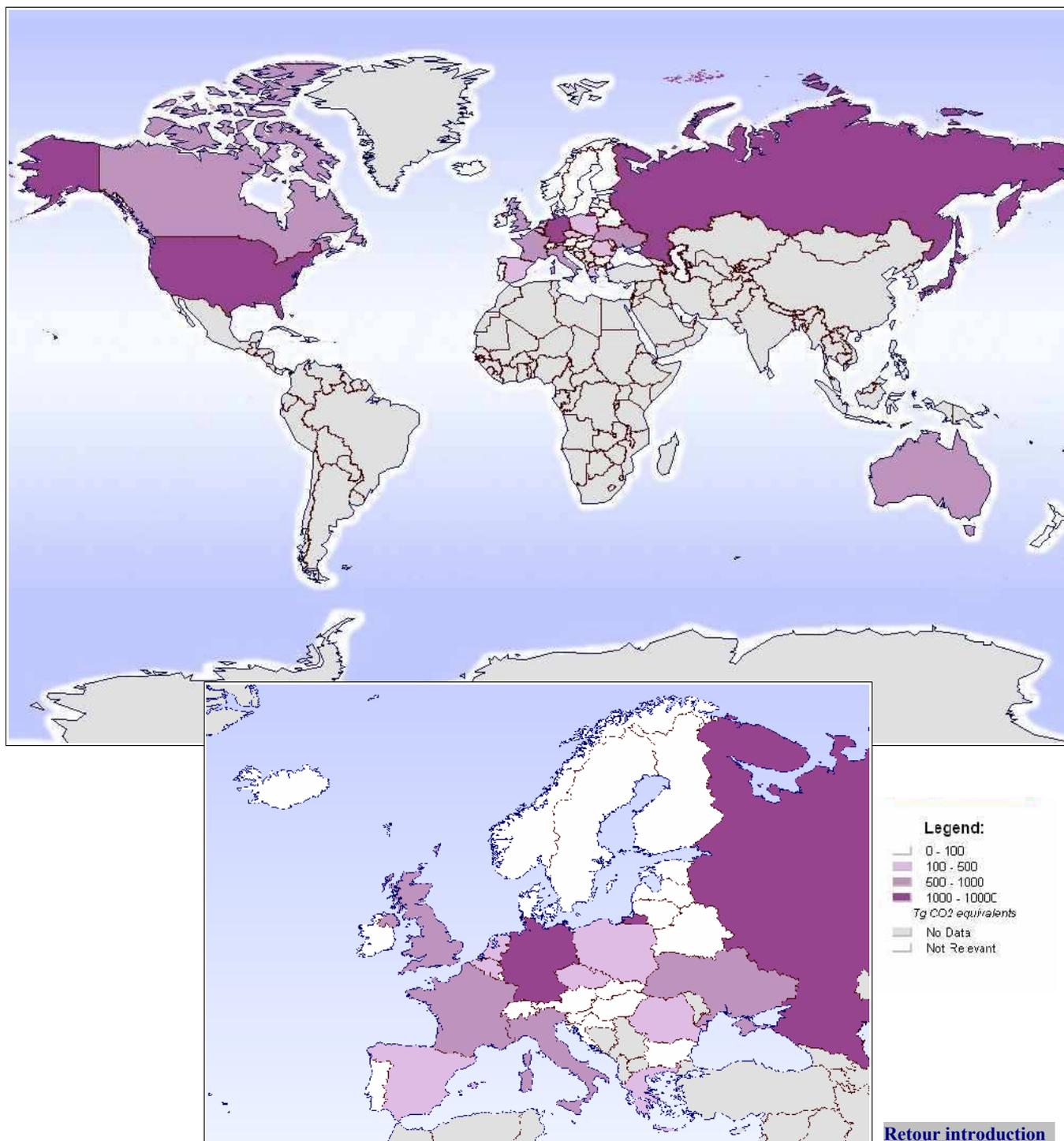
Il est certes nécessaire de connaître les processus liés à ces bouleversements climatiques, de garder en mémoire l'ordre de grandeur de l'élévation du niveau moyen de la mer ou des précipitations à venir pour le siècle prochain, mais ce qui est à considérer en matière de risques, doit tenir compte également de la situation de chaque site, risques pour les populations, enjeu économique, environnemental.

Il faut donc pour cela savoir quelle zone sera potentiellement plus exposée à ces risques, et cela commence par la connaissance actuellement en cours du linéaire côtier: l'altitude maximale du trait de côte, l'état des ouvrages côtiers et estuariens, la dynamique actuelle d'érosion des falaises, des espaces dunaires.

Si l'on ne sait pas encore prédire l'avenir avec certitude, on peut essayer de le prévoir en fonction de nos connaissances actuelles.

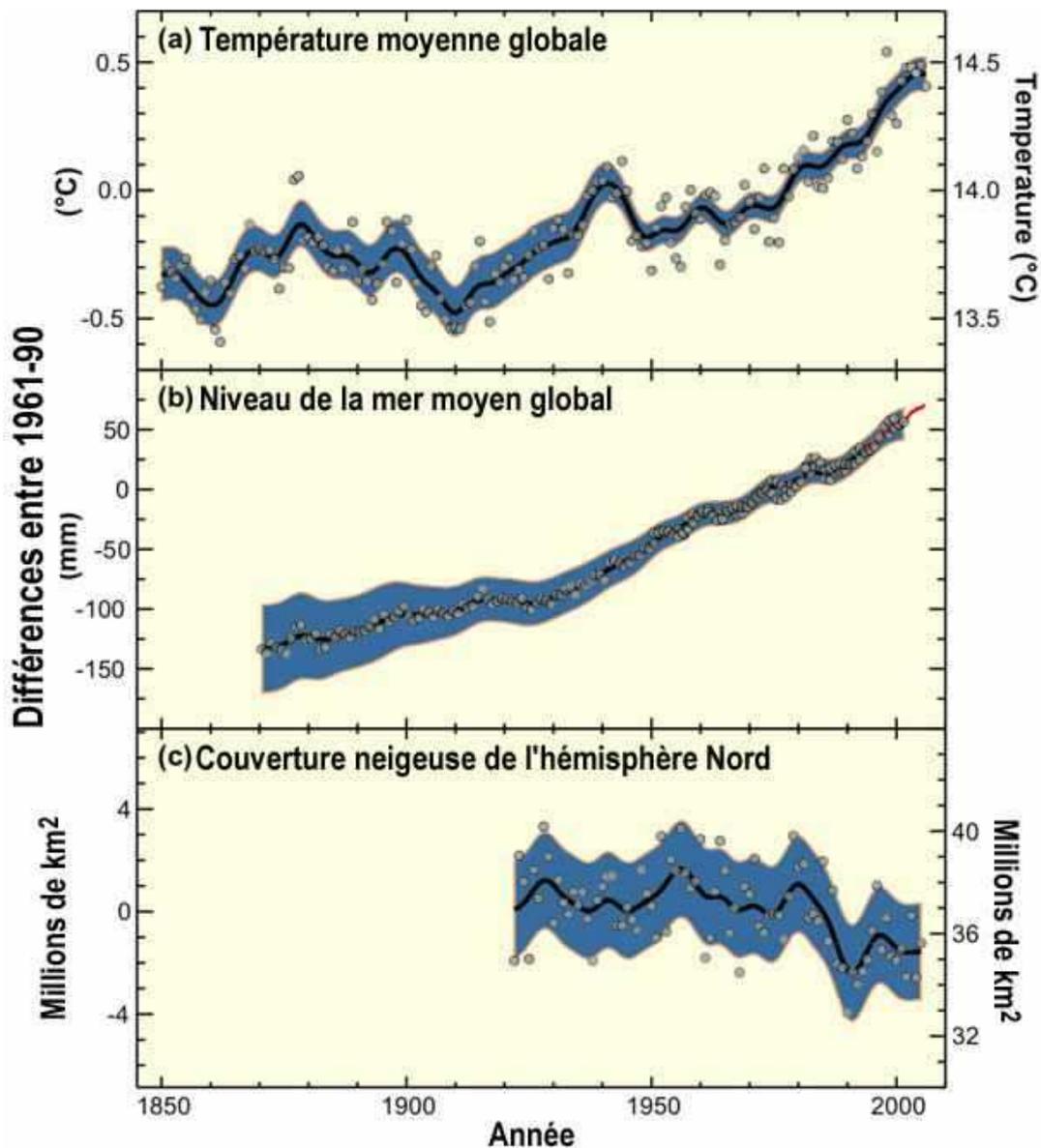
5. Annexes

5.1 Représentation mondiale des émissions de gaz à effet de serre en 2003:



Source: Greenhouse Gas Emissions Data for 1990 – 2003 submitted to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Key GHG Data

5.2 Modifications de température, de niveau de la mer et de couverture neigeuse dans l'hémisphère Nord:

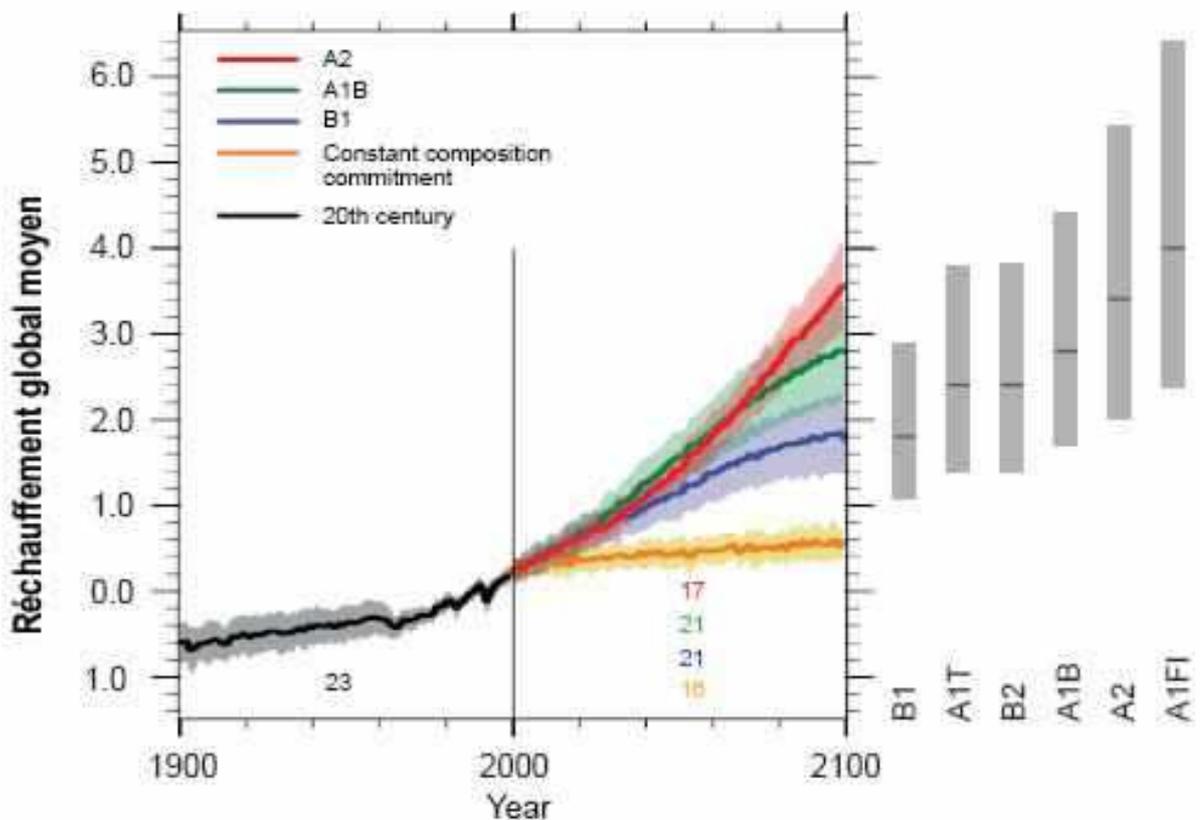


Source: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change - Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Intergovernmental Panel On Climate Change.

[Retour chapitre](#)

5.3 Réchauffement global moyen:

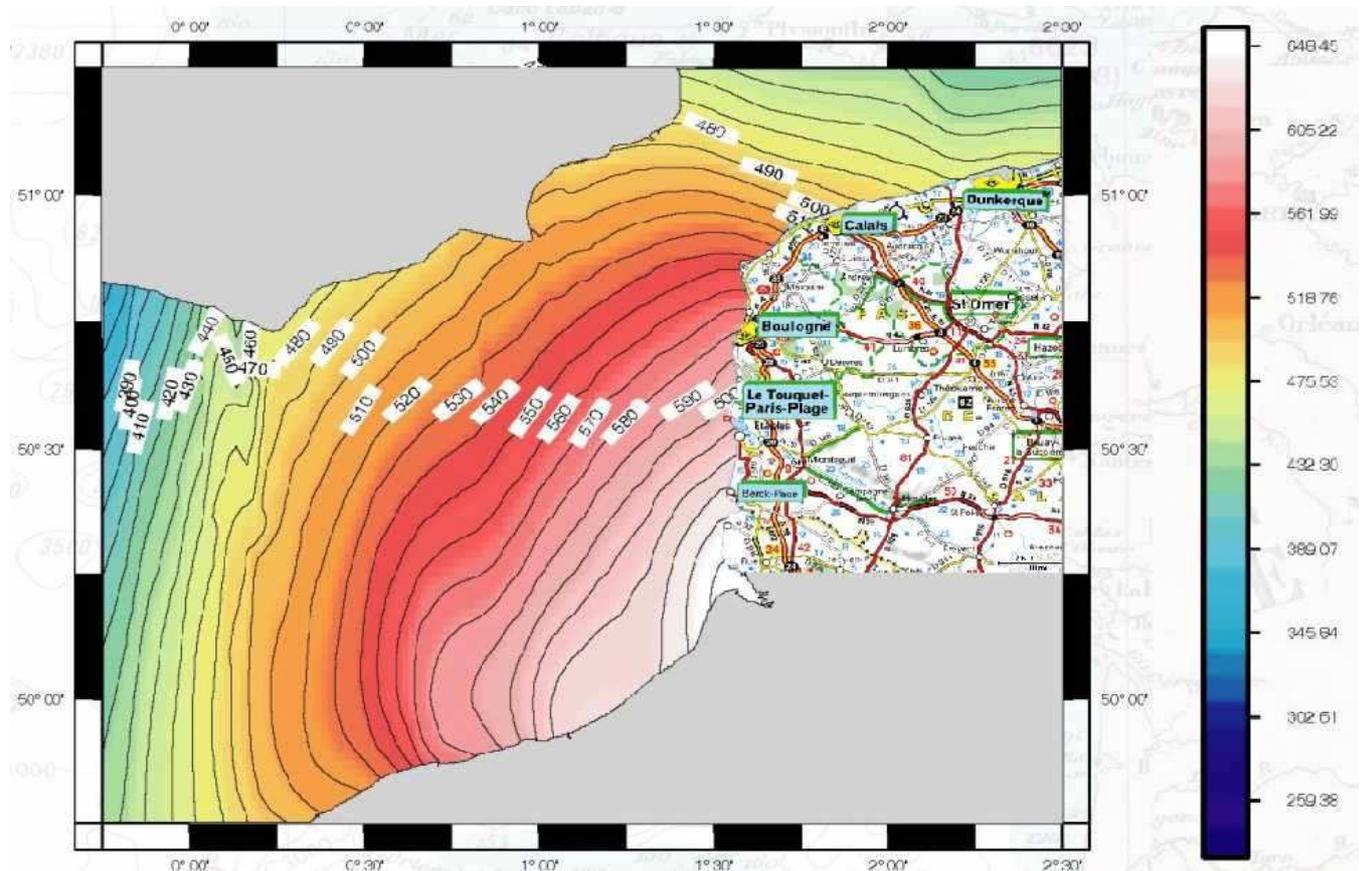
Les lignes en traits pleins correspondent à des moyennes multi-modèles du réchauffement en surface (relatif à 1980-1999) pour les scénarios A2, A1B et B1, présentés comme le prolongement des simulations du 20^e siècle. Les zones ombrées matérialisent les écarts types en plus et en moins des moyennes annuelles pour les différents modèles. Le nombre d’AOGCM utilisés pour une période et un scénario donnés est indiqué par les nombres en couleur au bas de la figure. La ligne orange est pour une expérience où les concentrations ont été maintenues constantes au niveau de 2000. Les barres grises sur la droite indiquent la meilleure estimation (ligne solide à l’intérieur de chaque barre) et l’étendue probable évaluée pour les six scénarios SRES. L’évaluation de la meilleure estimation et des fourchettes probables dans les barres grises inclut les nombres d’AOGCM figurant à gauche de la figure, ainsi que les résultats d’un ensemble de modèles indépendants et de contraintes d’observation. [figures 10.4 et 10.29]



Source: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change - Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Intergovernmental Panel On Climate Change.

[Retour chapitre](#)

5.4 Représentation des niveaux extrêmes d'occurrence centennale sur le littoral du Nord Pas de Calais



Source: Les niveaux marins extrêmes le long des côtes de France et leur évolution -Bernard Simon, Service hydrographique et océanographique de la Marine - 2007

[Retour chapitre](#)

5.5 Résultats des modélisations d'ARPEGE-Climat pour le climat en France à l'horizon 2100:

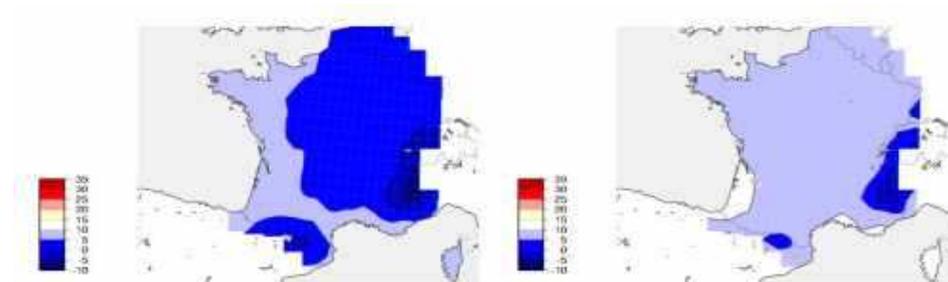


Figure 2a: Température moyenne en hiver (°C): climat actuel (gauche) et scénario A2 (droite)

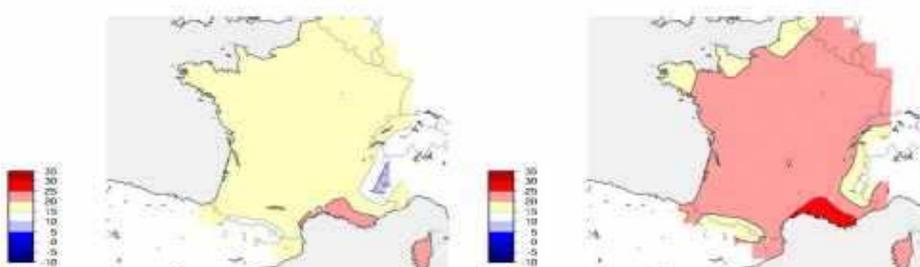


Figure 2b: Température moyenne en été (°C): climat actuel (gauche) et scénario A2 (droite)

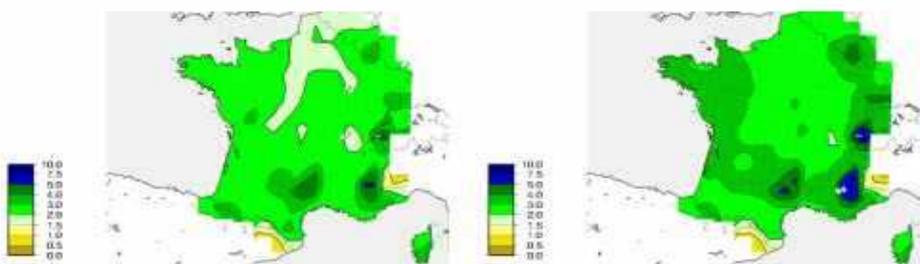


Figure 3a: Précipitations moyennes en hiver (mm): climat actuel (gauche) et scénario A2 (droite)

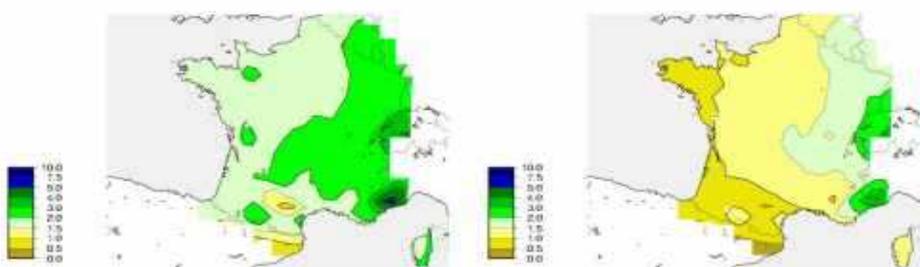
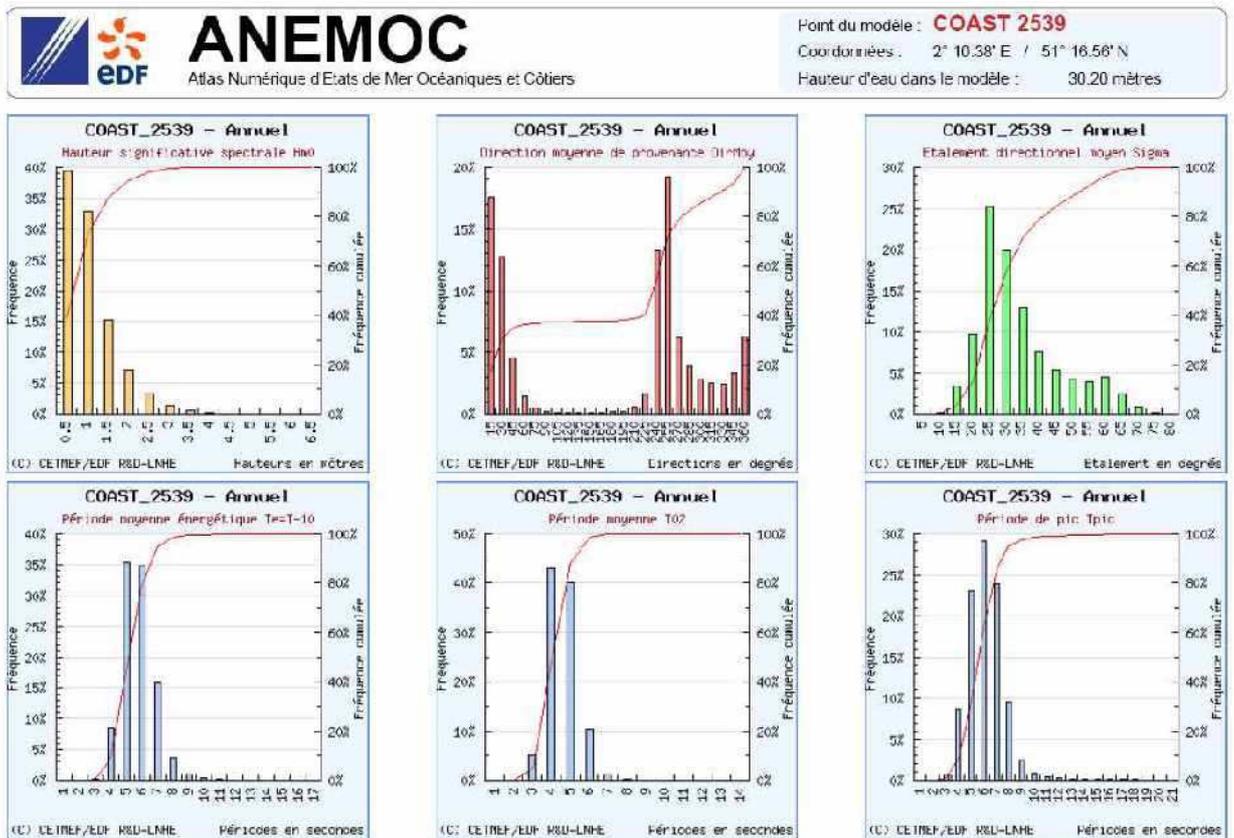


Figure 3b: Précipitations moyennes en été (mm): climat actuel (gauche) et scénario A2 (droite)

[Retour chapitre](#)

Source: *Projet Impact sur les Fréquences Extrêmes (IMFREX) - Les scénarios climatiques de réchauffement - Michel Déqué - MétéoFrance Centre National de Recherches Météorologiques -décembre 2004.*

5.6 ANEMOC: Extraction du point Coast 2539 (au large de Dunkerque):



Les intervalles sont à lire : "Borne inférieure incluse - borne supérieure exclue" (ex : 0.5 -> [0 - 0.5])

Page 1/1 - Edition du 20.03.07 - © CETMEF / EDF R&D-LNHE - Tous droits réservés

ANEMOC Atlas Numérique d'Etats de Mer Océaniques et Côtiers
 Point du modèle : **COAST 2539**
 Coordonnées : 2° 10.38' E / 51° 16.56' N
 Hauteur d'eau dans le modèle : 30.20 mètres

Corrélogramme Hm0 / DirMoy - ANEMOC COAST_2539 - annuel

| Hm0 (m) | DirMoy (degrés) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------------|--------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 | 135 | 150 | 165 | 180 | 195 | 210 | 225 | 240 | 255 | 270 | 285 | 300 | 315 | 330 | 345 | 360 | Total | | | | | | | | | | |
| 0 | 50.19 | 47.90 | 9.99 | 2.66 | 1.26 | 0.71 | 0.49 | 0.18 | 0.16 | 0.11 | 0.15 | 0.07 | 0.18 | 0.19 | 0.57 | 20.75 | 88.13 | 27.16 | 16.04 | 11.47 | 11.70 | 12.11 | 16.38 | 31.67 | 390.14 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 59.74 | 53.42 | 19.16 | 6.30 | 2.19 | 1.19 | 0.56 | 0.56 | 0.82 | 0.55 | 0.67 | 1.10 | 1.37 | 2.58 | 6.42 | 45.73 | 88.39 | 17.73 | 10.65 | 7.40 | 6.43 | 6.67 | 7.93 | 13.42 | 327.66 | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 16.04 | 16.59 | 9.64 | 3.06 | 1.39 | 0.28 | 0.08 | 0.06 | 0.11 | 0.09 | 0.10 | 0.28 | 0.66 | 1.94 | 5.23 | 31.62 | 25.44 | 9.31 | 5.95 | 4.57 | 3.60 | 3.27 | 4.09 | 8.51 | 151.82 | | | | | | | | | | | |
| 2 | 5.21 | 6.48 | 4.02 | 1.91 | 0.30 | | | | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.09 | 0.49 | 2.61 | 18.28 | 12.25 | 4.53 | 3.01 | 2.58 | 1.80 | 1.20 | 2.41 | 4.23 | 70.41 | | | | | | | | | | | | |
| 2.5 | 1.91 | 2.03 | 1.70 | 0.71 | 0.06 | | | | | | | | 0.19 | 1.05 | 8.67 | 6.20 | 2.07 | 1.55 | 1.05 | 0.96 | 0.82 | 1.56 | 2.44 | 32.99 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 1.07 | 0.83 | 0.45 | 0.13 | | | | | | | | | 0.09 | 0.51 | 4.34 | 2.32 | 0.62 | 0.47 | 0.40 | 0.19 | 0.32 | 0.42 | 1.10 | 13.24 | | | | | | | | | | | | |
| 3.5 | 0.55 | 0.59 | 0.18 | | | | | | | | | | 0.03 | 0.14 | 1.61 | 0.88 | 0.22 | 0.16 | 0.08 | | 0.04 | 0.16 | 0.41 | 5.05 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0.16 | 0.11 | 0.04 | | | | | | | | | | 0.02 | 0.51 | 2.00 | 0.04 | 0.08 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.06 | 0.15 | 1.42 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.5 | 0.06 | 0.07 | | | | | | | | | | | 0.00 | 0.24 | 0.04 | 0.00 | | | | | 0.00 | 0.01 | 0.13 | 0.57 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 0.01 | 0.03 | | | | | | | | | | | | 0.05 | 0.06 | 0.01 | | | | | | 0.00 | 0.06 | 0.23 | | | | | | | | | | | | |
| 5.5 | | | | | | | | | | | | | | 0.01 | 0.01 | | | | | | | | | 0.03 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | 0.00 | 0.01 | | | | | | | | 0.02 | | | | | | | | | | | | |
| 6.5 | | | | | | | | | | | | | | | | 0.00 | | | | | | | | 0.00 | | | | | | | | | | | | |
| Total | 174.84 | 127.04 | 45.19 | 14.75 | 5.20 | 2.17 | 1.13 | 0.80 | 0.79 | 0.76 | 0.94 | 1.46 | 2.31 | 5.52 | 16.56 | 131.73 | 190.93 | 61.69 | 37.91 | 27.56 | 24.69 | 24.46 | 33.01 | 62.11 | | | | | | | | | | | | |

Les valeurs du tableau sont exprimées en "pour mille (‰)" - Les valeurs 0.00 ‰ correspondent à des fréquences comprises entre 0 ‰ et 0.01 ‰ - Les cases vides correspondent à des fréquences nulles.

| Code des couleurs | | |
|-------------------|---------|---------|
| >= 10 ‰ | >= 30 ‰ | >= 50 ‰ |

[Retour chapitre](#)

Les intervalles sont à lire : "Borne inférieure incluse - borne supérieure exclue" (ex : 0.5 -> [0 - 0.5])

Page 1/1 - Edition du 20.03.07 - © CETMEF / EDF R&D-LNHE - Tous droits réservés

6. Glossaire

ANEMOC: Atlas Numérique d'Etats de mer Océanique et Côtiers

BRGM: Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CCNUCC: Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

CETMEF: Centre d'études techniques maritimes et Fluviales

CNES: Centre National d'Etudes Spatiale

DATAR: Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale

DISCOBOLE: DIMensionnement des Structures Côtières et des Ouvrages de BOrd de Mer à Longue Échéance

EDF: Electricité de France

(EDF) LNHE: Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement

(EDF) SPE: Systèmes de Production et Environnement

GIEC: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

IFREMER: Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER

IMFREX: Impact sur les Fréquences Extrêmes

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

NGF: Nivellement Général de la France

OMM: Organisation Météorologique Mondiale

PNUE: Programme des Nations Unies pour l'Environnement

PPR: Plans de Prévention des Risques

PRUDENCE: Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects

SHOM: Service Hydrographique et Océanique de la Marine

7. Bibliographie

- ✓ *Rapport sur l'évaluation de l'ampleur des changements climatiques, de leur causes et de leur impact prévisible sur la géographie de la France à l'horizon 2025, 2050 et 2100 - Marcel Déneux, sénateur Tome I - Rapport.*
- ✓ *Climate Change 2007: "The Physical Science Basis - Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change"*
- ✓ *Projet DISCOBOLE: Dimensionnement des Structures Côtières et des Ouvrages de Bords de mer à Longue Échéance - "Contribution à la tâche n°3: Analyse statistique des tendances passées sur les houles et les surcotes" - G. Goasguen / CETMEF - février 2006*
- ✓ *"Impact du changement climatique sur le patrimoine du Conservatoire du Littoral - scénarios d'érosion et de submersion à l'horizon 2100" - ONERC/Conservatoire du Littoral - septembre 2005*
- ✓ *projet IMFREX: Impact sur les Fréquences EXtrêmes - "Les scénarios climatiques de réchauffement" - M. Déqué/MétéoFrance - 2004*
- ✓ *Observatoire de l'IFEN - "Indicateur: Érosion côtière sur le littoral métropolitain" - Institut Français de l'ENvironnement - 2003 - <http://www.ifen.fr/littoral/pages/indicateurs.htm>*
- ✓ *Program Interreg II: "North Sea Programm" – University of Dortmund, Germany – 2002*
- ✓ *Programme Interreg III : "Beaches at Risk - Rapport scientifique final" - S.Costa, D.Delahaye - 2005*
- ✓ *"Impact des variations récentes des conditions météo-marines sur les littoraux meubles du Nord Pas de Calais" - Thèse de S. Chaverot/Université du Littoral de la Côte d'Opale - 2006*
- ✓ *"Le rôle des changements bathymétriques à l'avant côte sur l'évolution des littoraux meubles du cap gris-nez à Dunkerque, Côte d'Opale, Nord de la France" - Thèse de D. Aernouts/Université du Littoral de la Côte d'Opale - 2005*
- ✓ *Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects - February 2005 - <http://prudence.dmi.dk>*
- ✓ *RESPONSE: "Répondre aux risques liés a changement climztique" – Centre pour l'environnement côtier du conseil de l'île de Wight – 2006 - <http://www.coastalwight.gov.uk/response.html>*
- ✓ *"Les niveaux marins extrêmes le long des côtes de France et leur évolution". B.Simon/ SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) – 2007*

CETMEF – Département Environnement Littoral et Cours d'Eau

- ✓ *"Le changement climatique et les espaces côtiers. L'élévation du niveau de la mer: Risques et réponses". Textes réunis par R. Paskoff/Université lumière de Lyon – octobre 2000*
- ✓ *"Evaluation de la vulnérabilité, incidences des changements climatiques et mesures d'adaptation". MIES (Mission Interministérielle de l'Effet de Serre – septembre 2006 - <http://www.effet-de-serre.gouv.fr/>)*
- ✓ *"Impacts of Europe's changing climate". European Environment Agency – 2004*
- ✓ *"PLAGE: Plan Littoral d'Actions pour la Gestion de l'Erosion sur le littoral de la côte d'opale". Syndicat mixte de la Côte d'Opale – octobre 2003*
- ✓ *"Géosciences: Le changement climatique". BRGM - Mars 2006*
- ✓ *"Changement climatique énergie et développement durable des territoires". DATAR- décembre 2005*