

# L'impact du changement climatique sur les submersions

Pascal LEBRETON - Cetmef



# Plan de la présentation

- 1- Les submersions
- 2- Phénomènes principaux affectant le niveau marin
- 3- L'aléa de submersion
- 4- Évolutions prévisibles avec le changement climatique
- 5- Conclusions

**Cetmef**

Centre d'Études  
Techniques  
Maritimes  
Et Fluviales



Impact du changement climatique sur les submersions en région NPdC Lille  
le 5 décembre 2007

# 1- Les submersions

Elles peuvent se produire :

- par envahissement (brèche, déversement au dessus d'un perré ...),
- par franchissement.

**Cetmef**

Centre d'Études  
Techniques  
Maritimes  
Et Fluviales



Impact du changement climatique sur les submersions en région NPdC Lille  
le 5 décembre 2007

# Submersion par envahissement



La connaissance de l'évolution du niveau marin au repos permet l'évaluation des volumes d'eau entrants.

# Submersion par franchissement



Les volumes entrants dépendent :

- de l'évolution du niveau marin au repos,
- de l'état de la mer,
- de la forme de l'estran et du haut de la plage.

## 2- Phénomènes principaux affectant le niveau marin

- La remontée séculaire du niveau marin
- La marée astronomique
- Les surcotes météorologiques
- Les seiches
- Les tsunamis
- Les vagues

**Cetmef**

Centre d'Études  
Techniques  
Maritimes  
Et Fluviales



Impact du changement climatique sur les submersions en région NPdC Lille  
le 5 décembre 2007

- La remontée séculaire du niveau marin
- La marée astronomique
- Les surcotes météorologiques
- Les seiches
- Les vagues

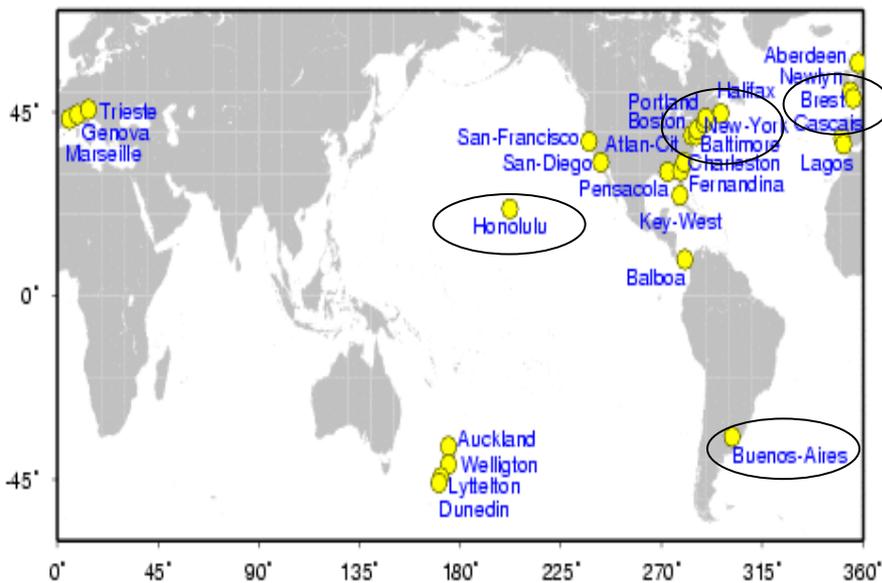
# La remontée séculaire du niveau marin

## Les tendances mondiales - mesures marégraphiques

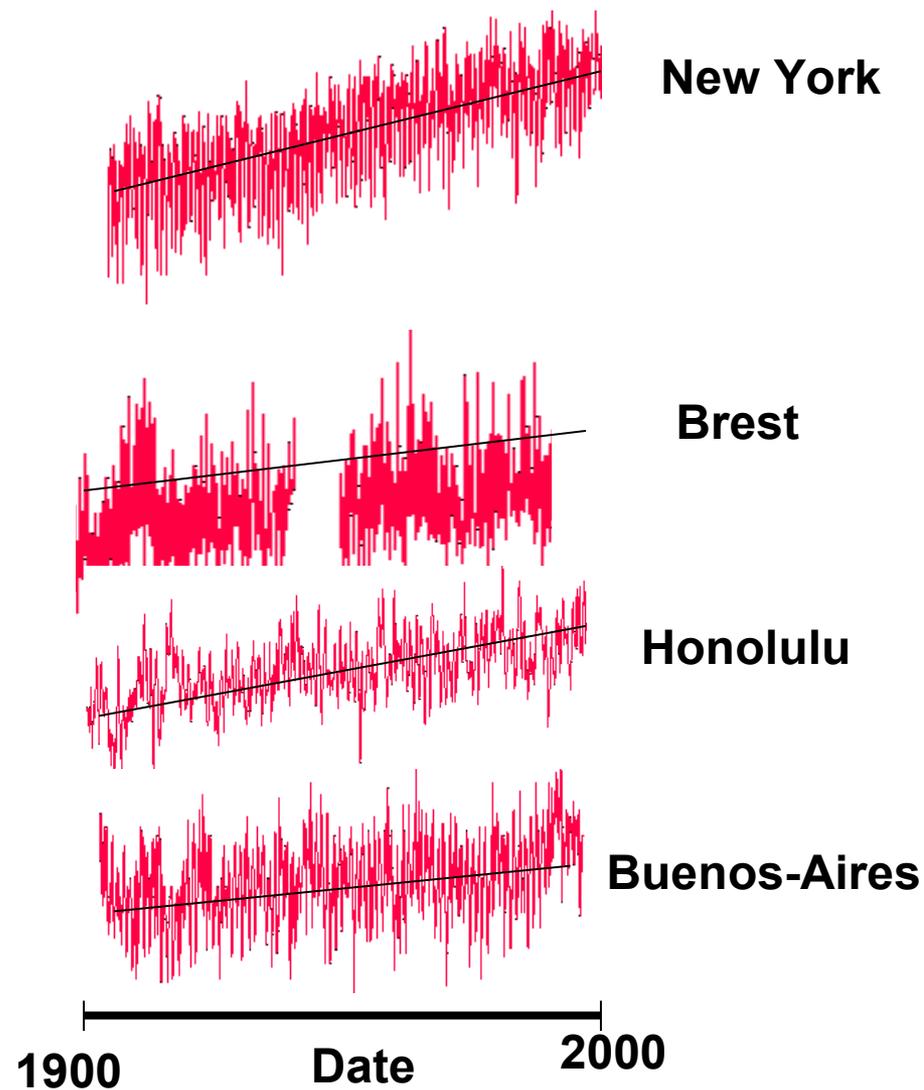
- L'exploitation des mesures marégraphiques sur la période 1961-2003 a permis d'évaluer la remontée moyenne du niveau des mers à  $1,8 \text{ mm/an} \pm 0,5$ .
- La variabilité régionale est forte. S'explique-t-elle par la variabilité régionale des mouvements telluriques ? Ou par les limites des appareils de mesure qui n'ont pas été conçus pour cet objectif ?



# Variabilité régionale de la hausse du niveau de la mer d'après les marégraphes historiques



(D'après Anny Cazenave  
LEGOS – CNES, Toulouse)



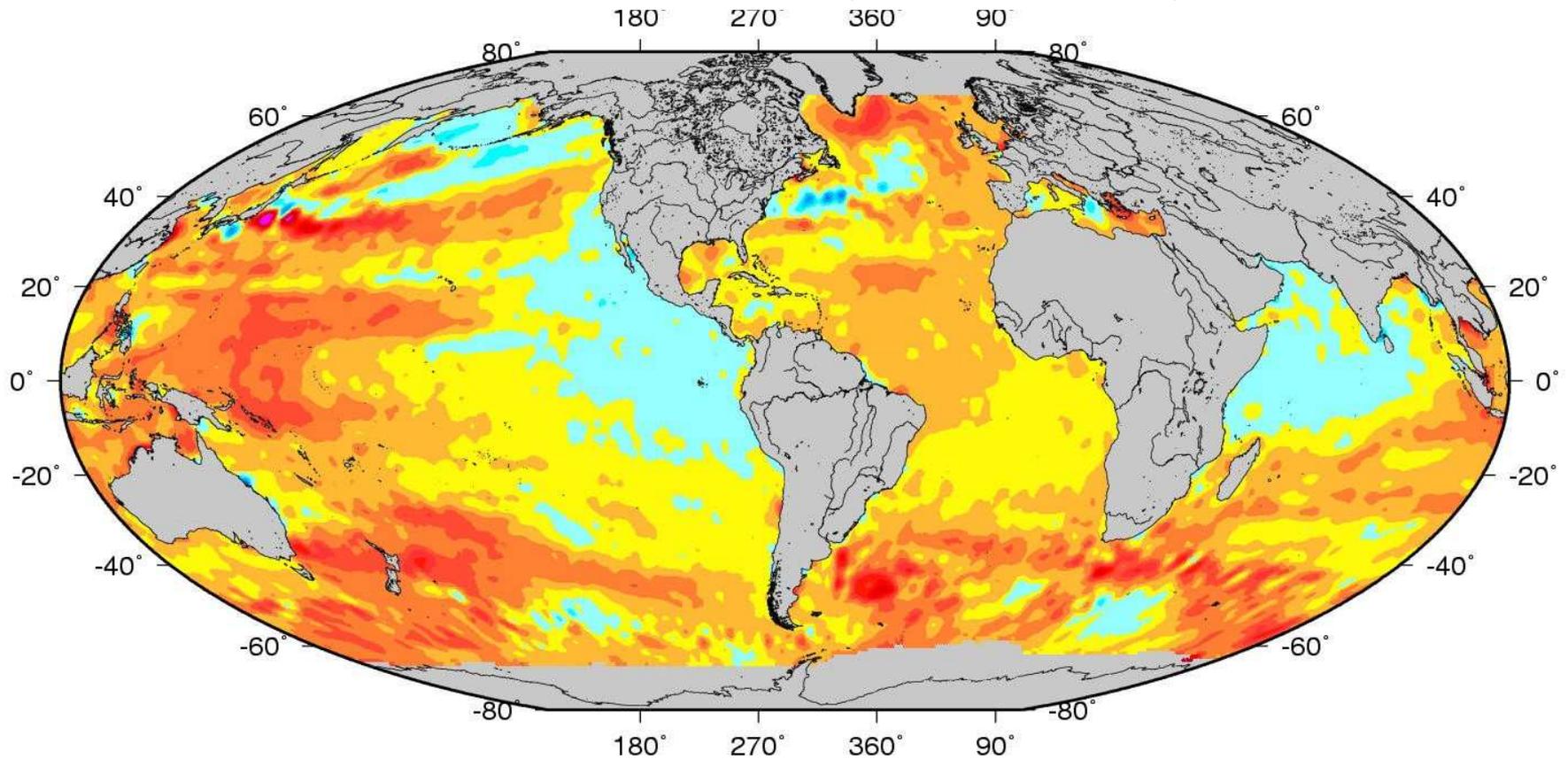
# La remontée séculaire du niveau marin

## Les tendances mondiales - mesures satellitaires

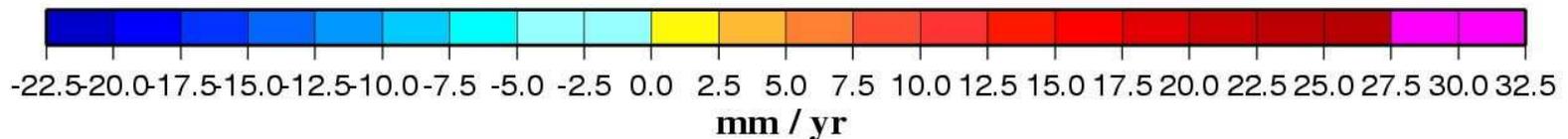
- Sur la période 1993-2003, les mesures satellitaires donnent une tendance plus forte que les mesures marégraphiques :  $3,1 \text{ mm/an} \pm 0,7$  (Accélération ? Fluctuation décennale ?).
- Les mesures satellitaires ont mis en évidence des variations spatiales de la remontée du niveau des mers indépendantes des mouvements telluriques (Fluctuations temporelles ou tendances séculaires ?).



# Variabilité régionale des vitesses de variation du niveau de la mer (1993-2005)



(D'après Anny Cazenave LEGOS – CNES, Toulouse)



# La remontée séculaire du niveau marin

## Les tendances régionales :

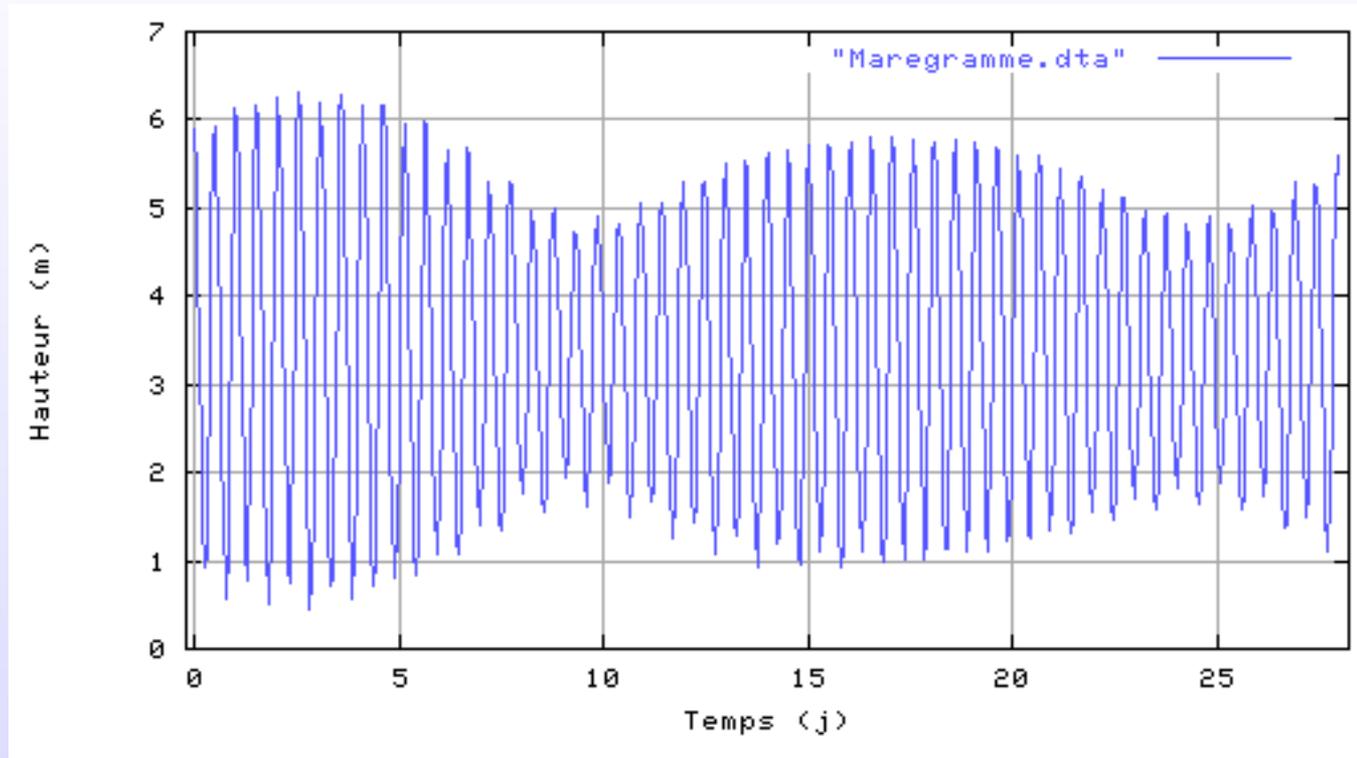
P.A. PIRAZZOLI dans le cadre des travaux du projet DISCOBOLE donne les tendances passées suivantes à partir des mesures marégraphiques :

- Boulogne sur Mer : + 4,4 mm/an
- Calais : ~ 0 mm/an (sous réserve de la fiabilité de la mesure)
- Dunkerque : + 2,1 mm/an



# La marée astronomique

- La remontée séculaire du niveau marin
- La marée astronomique
- Les surcotes météorologiques
- Les seiches
- Les vagues



Dunkerque au mois de novembre 2007 (cotes marines)



# La marée astronomique en région NPdC

	Boulogne sur Mer	Calais	Dunkerque Est
Niveau mini - IGN 69 (cote marine)	- 3,99 m (0,40 m)	- 3,18 m (0,28 m)	- 2,71 m (- 0,02 m)
Niveau moyen - IGN 69 (cote marine)	+ 0,52 m (4,91m)	+ 0,61 m (4,07 m)	+ 0,55 m (3,24 m)
Niveau maxi - IGN 69 (cote marine)	+ 5,09 m (9,48 m)	+ 4,44 m (7,90 m)	+ 3,78 m (6,47 m)

**Cetmef**

Centre d'Études  
Techniques  
Maritimes  
Et Fluviales



Impact du changement climatique sur les submersions en région NPdC Lille  
le 5 décembre 2007

- La remontée séculaire du niveau marin
- La marée astronomique
- **Les surcotes météorologiques**
- Les seiches
- Les vagues

# Les surcotes météorologiques

Elles comprennent les effets :

- des dépressions atmosphériques,
- du vent qui pousse l'eau à la côte (wind set-up),
- de la vitesse de déplacement des dépressions (pouvant provoquer une marée de tempête).

Elles peuvent conduire à des surélévations métriques du niveau prédit de la marée astronomique et durer pendant plusieurs cycles de marée.

**Cetmef**

Centre d'Études  
Techniques  
Maritimes  
Et Fluviales



Impact du changement climatique sur les submersions en région NPdC Lille  
le 5 décembre 2007

# Deux définitions pour les surcotes

La surcote instantanée : différence entre le niveau mesuré et le niveau prédit de la marée astronomique

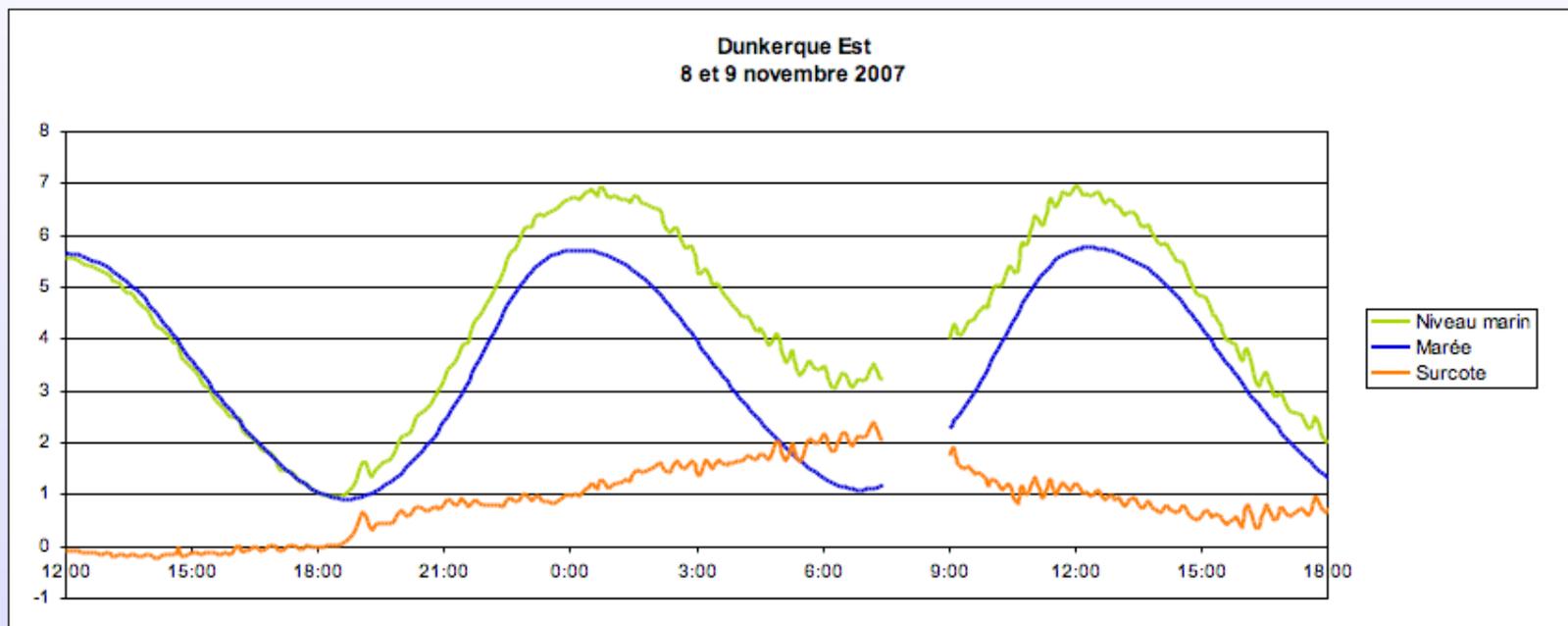
La surcote de pleine mer (SHOM) : différence entre le niveau maximal mesuré et le niveau de pleine mer prédit de la marée astronomique (ces deux niveaux ne sont pas toujours atteints au même moment)



# Les plus fortes surcotes mesurées en région NPdC dans les ports

	Boulogne sur Mer	Calais	Dunkerque Est
Surcote maximale mesurée de pleine mer (SHOM)	1,35 m environ	0,9 m environ	1,25 m environ
Surcote instantannée maximale horaire mesurée (P.A. PIRAZZOLI)	2,05 m	2,23 m	2,18 m

# Un exemple : la tempête en mer du Nord le 8 et le 9 novembre 2007



La surcote instantannée horaire a atteint 2,17 m à Dunkerque à marée basse, pour une surcote de pleine mer maxi de 1,20 m.

# Évolution des surcotes mesurées en région NPdC dans les ports

	Boulogne sur Mer	Calais	Dunkerque Est
Surcote instantannée horaire maximale annuelle (P.A. PIRAZZOLI)	+ 3,4 mm/an	+ 2,7 mm/an	+ 3,3 mm/an
Durée cumulée des surcotes instantannées supérieures à 0,80 m (P.A. PIRAZZOLI)	+ 0,14 heure/an	+ 0,28 heure/an	- 0,30 heure/an

**Cetmef**

Centre d'Études  
Techniques  
Maritimes  
Et Fluviales

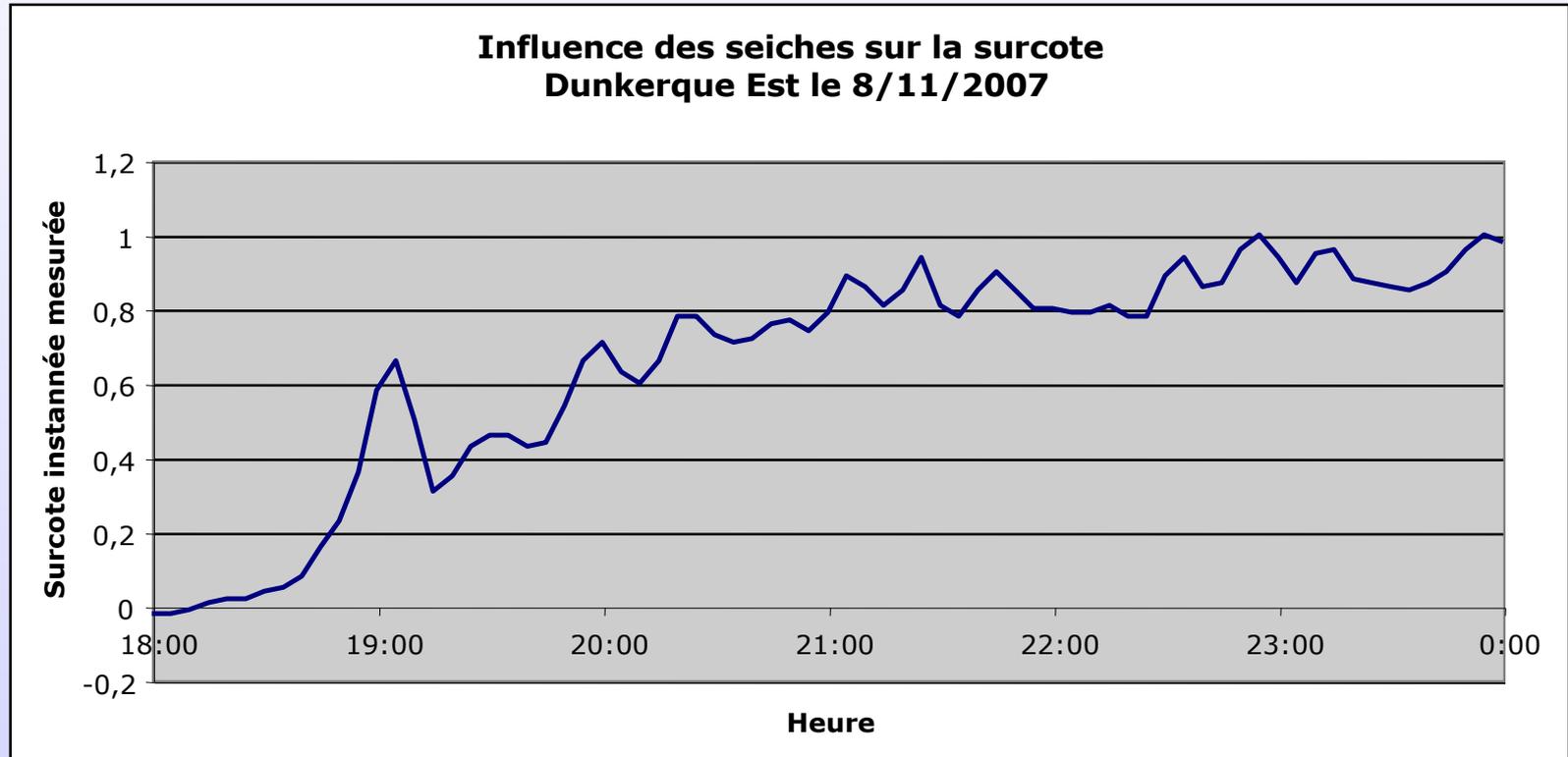


Impact du changement climatique sur les submersions en région NPdC Lille  
le 5 décembre 2007

# Les seiches

- La remontée séculaire du niveau marin
- La marée astronomique
- Les surcotes météorologiques
- **Les seiches**
- Les vagues

Ce sont des oscillations de période comprise entre quelques minutes et une à deux heures.



**Cetmef**

Centre d'Études  
Techniques  
Maritimes  
Et Fluviales

Impact du changement climatique sur les submersions en région NPdC Lille  
le 5 décembre 2007

# Les vagues

- La remontée séculaire du niveau marin
- La marée astronomique
- Les surcotes météorologiques
- Les seiches
- **Les vagues**

Les vagues sont générées par le vent. Elles modifient le niveau marin avec des périodes de quelques secondes à une ou deux dizaines de secondes. En approchant les côtes elles se déforment et finissent par déferler lorsque la profondeur devient voisine de leur hauteur.

Le déferlement modifie le niveau moyen (set-down au droit du déferlement puis set-up lorsque l'on se rapproche de la côte).

Sur le trait de côte l'effet des vagues se traduit par :

- une surcote de déferlement (wave set-up)
- une montée et une descente des lames sur la plage (swash), pouvant provoquer des franchissements.

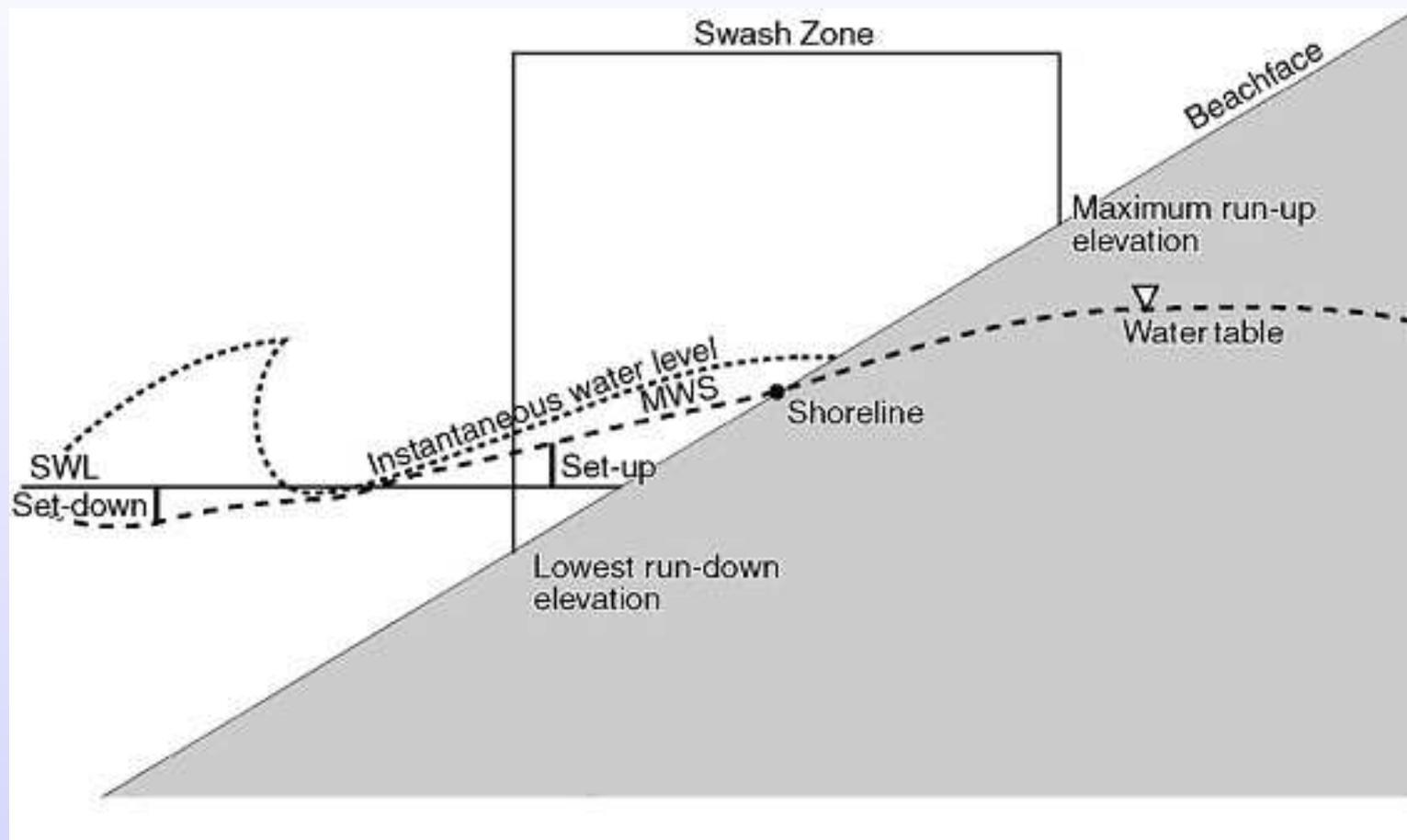
**Cetmef**

Centre d'Études  
Techniques  
Maritimes  
Et Fluviales



Impact du changement climatique sur les submersions en région NPdC Lille  
le 5 décembre 2007

# Swash et Set-up



### 3- L'aléa de submersion

Le guide méthodologique pour l'élaboration des P.P.R. littoraux propose de définir un niveau de référence à partir du rapport « Statistiques des niveaux marins extrêmes le long des côtes de France » (SIMON, 94) et de considérer que tous les terrains sous ce niveau peuvent être totalement inondés.  
Cette approche présente des insuffisances.

**Cetmef**

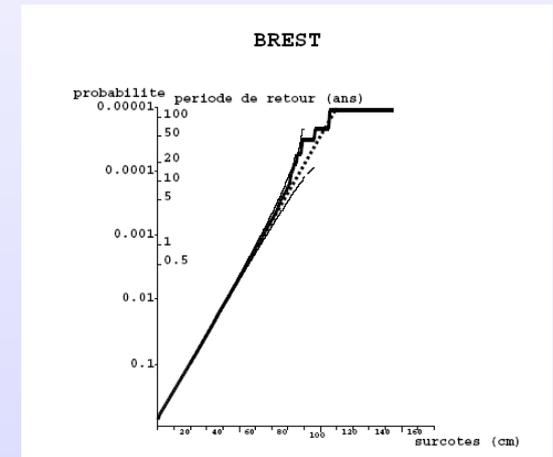
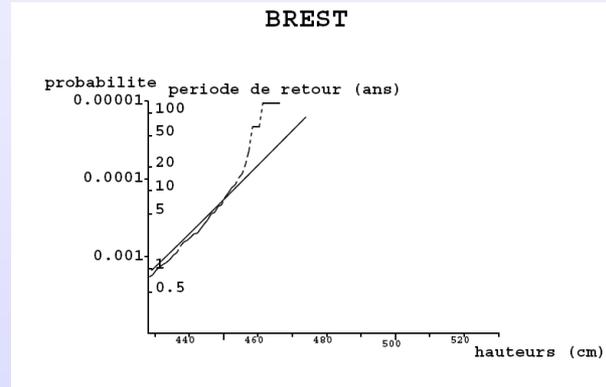
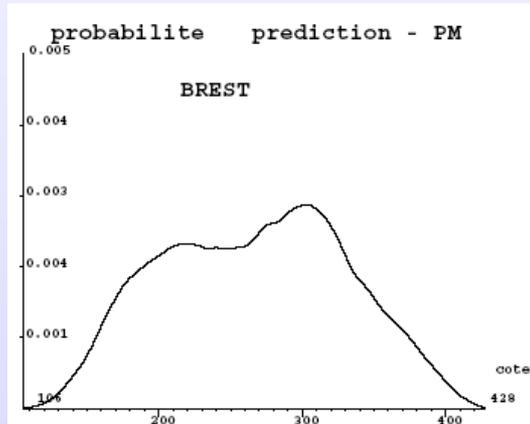
Centre d'Études  
Techniques  
Maritimes  
Et Fluviales



Impact du changement climatique sur les submersions en région NPdC Lille  
le 5 décembre 2007

# Évaluation des niveaux extrêmes (Simon, 94)

Le rapport a été établi avec une méthode qui prend en compte la marée astronomique et les surcotes météorologiques (pas de remontée séculaire, de seiches, ni de wave set-up)



Marée +

Surcotes =

Niveau

# Proposition de définition de l'aléa pour le risque de submersion par envahissement

La notion de niveau de référence paraît adaptée, mais il faudrait y intégrer :

- la remontée séculaire du niveau marin,
- les seiches,
- la surcote de déferlement.

Il ne paraît pas raisonnable de considérer ce niveau de référence comme statique et susceptible de tout noyer sans prendre en compte :

- la durée de « remplissage des zones inondables »,
- la durée de dépassement du niveau de surverse.

**Cetmef**

Centre d'Études  
Techniques  
Maritimes  
Et Fluviales



Impact du changement climatique sur les submersions en région NPdC Lille  
le 5 décembre 2007

# Proposition de définition de l'aléa pour le risque de submersion par franchissement

La définition de l'aléa passe par l'étude :

- des évolutions du niveau de référence en situation extrême,
- de la connaissance des houles du large, de leur propagation et de leur déferlement,
- de l'impact des variations morphologiques de la plage,
- de la concomitance de tous ces phénomènes.

Le sujet est complexe, mais une méthodologie pourrait être expérimentée dans le cadre d'une démarche exploratoire sur un cas concret.

**Cetmef**

Centre d'Études  
Techniques  
Maritimes  
Et Fluviales



Impact du changement climatique sur les submersions en région NPdC Lille  
le 5 décembre 2007

# Les difficultés à la mise en œuvre de la définition de l'aléa marin

Évaluation de la surcote de déferlement : Le sujet mérite une étude bibliographique complète. Des validations par des mesures in situ sont à envisager .

Prise en compte des seiches : Les données marégraphiques portuaires doivent être exploitées. Mais elles ne seront pas suffisantes pour une bonne connaissance des phénomènes en proche côtier. Il faudra d'autres sites de mesure.

Évolutions morphologiques des plages : Les données exploitables sur le sujet sont rares, il faut élaborer une démarche d'acquisition.

**Cetmef**

Centre d'Études  
Techniques  
Maritimes  
Et Fluviales



Impact du changement climatique sur les submersions en région NPdC Lille  
le 5 décembre 2007

## 4- Évolutions prévisibles avec le changement climatique en 2100

Niveau marin : Le GIEC, dans son rapport de 2007, prévoit une remontée du niveau global des mers dans le monde comprise entre 0,18 et 0,59 m avec une valeur moyenne de 0,38 m. Une régionalisation de l'ampleur du phénomène est à envisager, ne serait-ce que pour la prise en compte des mouvements telluriques. En l'état actuel des connaissances, on pourrait retenir une remontée du niveau dans le NPdC de 0,50 cm.

**Cetmef**

Centre d'Études  
Techniques  
Maritimes  
Et Fluviales



Impact du changement climatique sur les submersions en région NPdC Lille  
le 5 décembre 2007

Marée astronomique : Les évolutions de la marée astronomique seraient négligeables.

Surcotes météorologiques : D'après des modélisations mises en œuvre dans le cadre du programme DISCOBOLE, un renforcement des surcotes instantanées pourrait se produire en NPdC (0,35 m pour les surcotes horaires centenales). La tendance actuelle pour les surcotes horaires maximales annuelles en NPdC est de 2,5 à 3,5 mm/an.

Seiches : Pas d'étude connue.

Houle : Étude en cours dans le cadre de DISCOBOLE

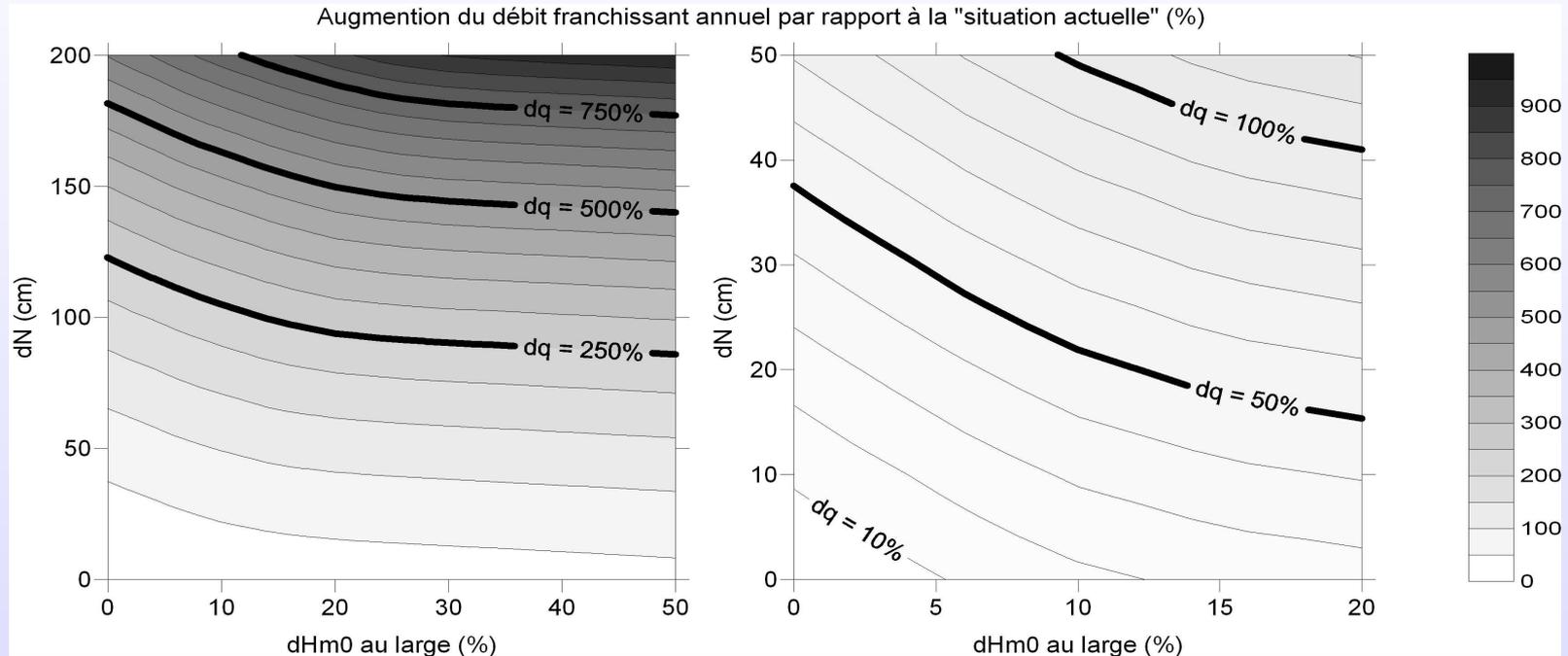
**Cetmef**

Centre d'Études  
Techniques  
Maritimes  
Et Fluviales



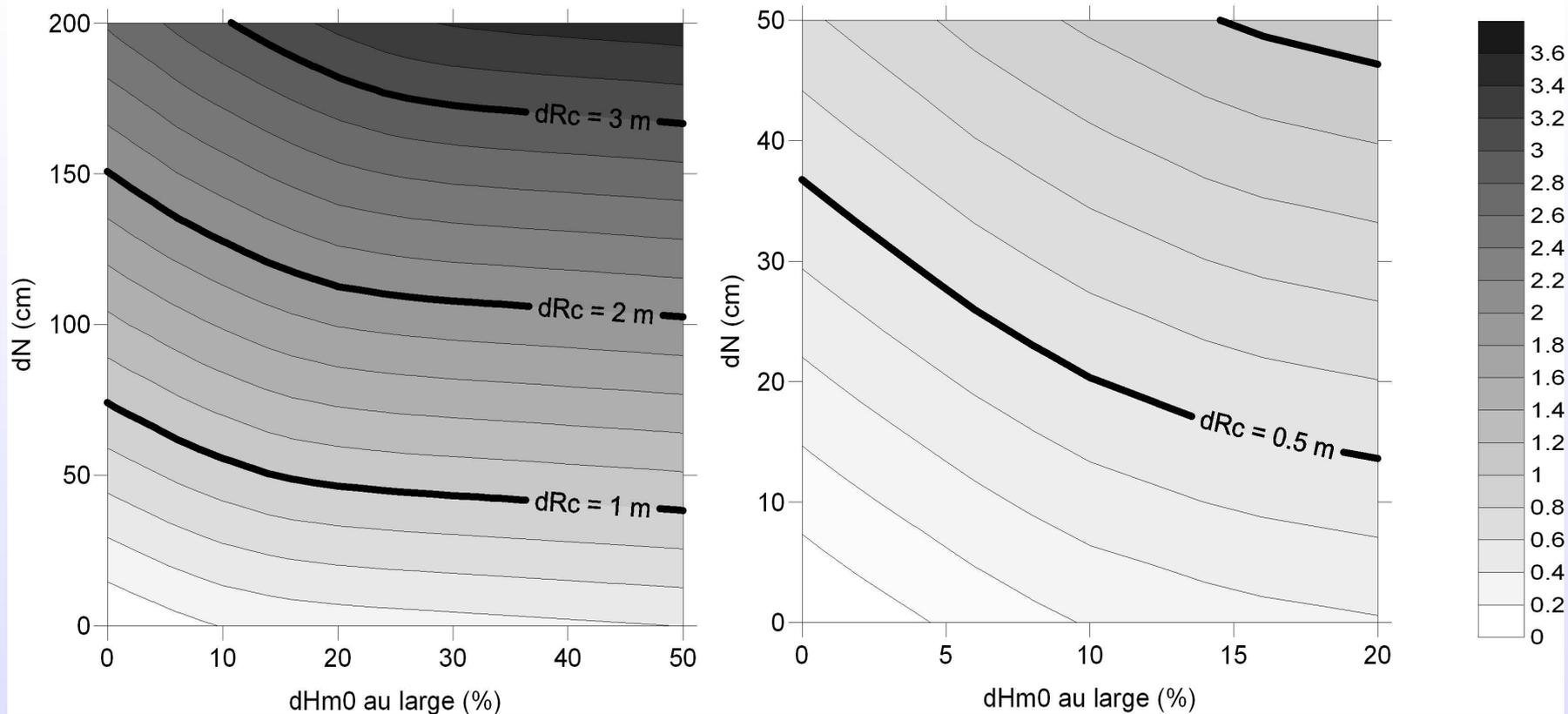
Impact du changement climatique sur les submersions en région NPdC Lille  
le 5 décembre 2007

# Un exemple d'impact : les digues à talus en eau peu profonde



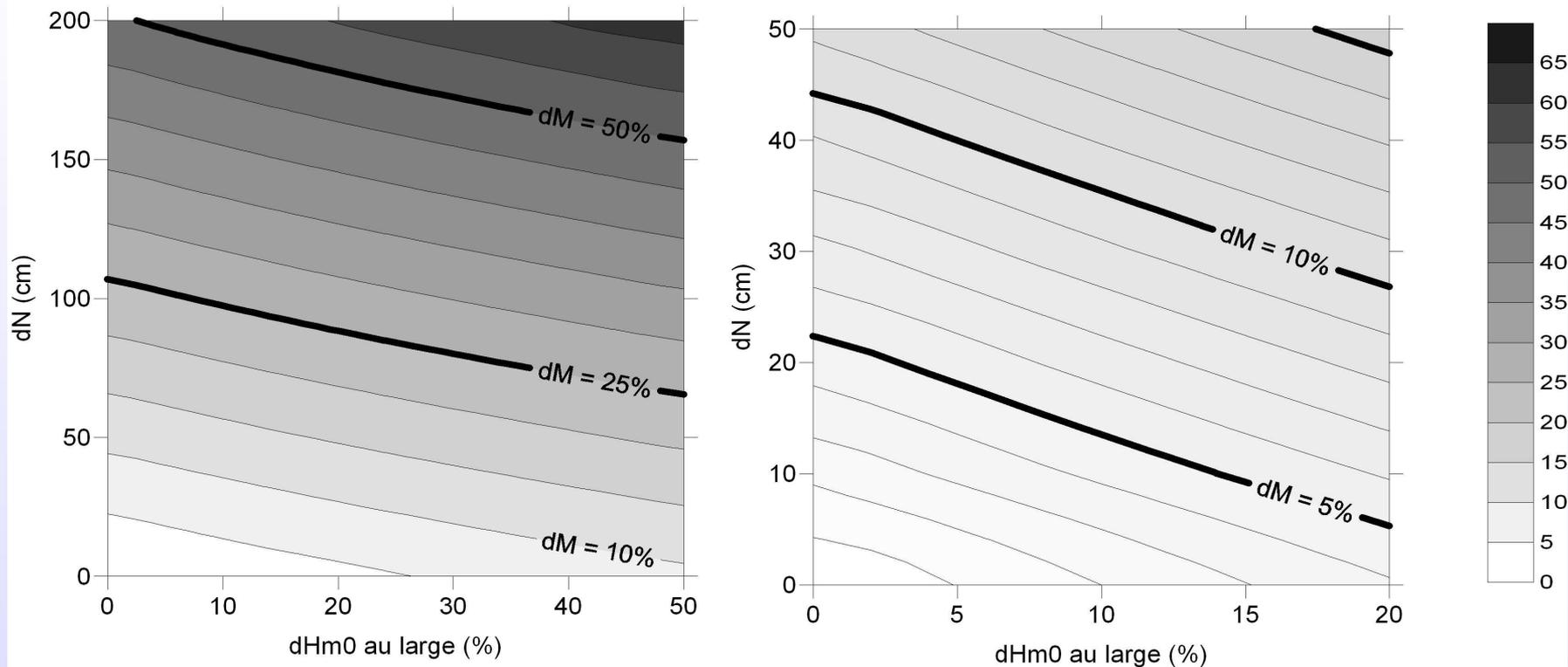
Le débit de franchissement est très sensible aux variations du niveau du plan d'eau et de la houle au large. Il est aussi sensible aux variations bathymétriques.

## Réhaussement pour conserver le débit franchissant annuel actuel (m)



Pour ne pas aggraver les franchissements, les digues à talus devront être exhaussées d'une hauteur supérieure à celle de la remontée du niveau marin, et ce même en l'absence d'un renforcement des houles du large.

Augmentation de la masse de l'enrochement par rapport aux sollicitations actuelles (%)



Les carapaces des digues à talus réalisées en faible profondeur seront plus sollicitées avec la remontée du niveau marin et ce même en l'absence de renforcement des houles du large.

# 5- Conclusions

- En plus des effets du changement climatique, il peut-être utile d'améliorer la définition de l'aléa de submersion pour l'élaboration des P.P.R. littoraux.
- Le besoin de connaissance des phénomènes générant les niveaux marins en proche côtier rend nécessaire la mise en oeuvre d'un programme de mesures et de collecte de données in situ.
- A titre exploratoire, des approches méthodologiques pour l'évaluation des submersions, notamment par franchissement, pourraient être testées sur quelques sites pilotes.





*Liberté • Égalité • Fraternité*

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

ministère de l'Écologie  
du Développement  
et de l'Aménagement  
durables

# Merci de votre attention

**Cetmef**

Centre d'Études  
Techniques  
Maritimes  
Et Fluviales



Impact du changement climatique sur les submersions en région NPdC Lille  
le 5 décembre 2007