

# Evolution du trait de côte sur le littoral du Nord Pas de Calais

Guillaume KERAMBRUN

# Agenda

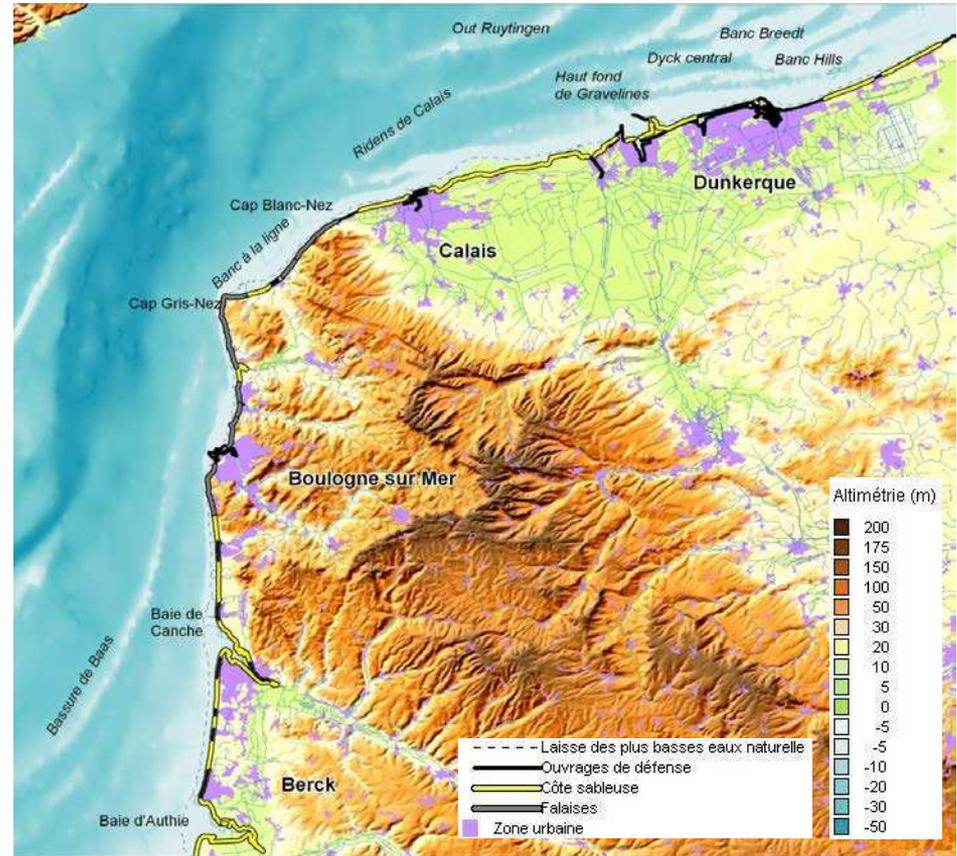
- Cadre morphologique
- Evolution de la configuration du littoral
- Processus de l'évolution du littorale
- Un point sur la méthode
- Incertitudes de la méthode
- Erosion sur le littoral du Nord – Pas-de-Calais : exemple

# 01.

## Cadre morphologique

# Secteur d'étude

- La plaine maritime flamande
- La plaine maritime picarde
- Le boulonnais



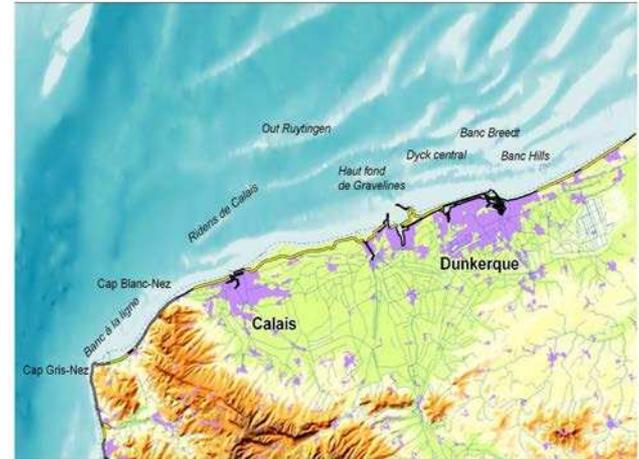
# La plaine maritime flamande

## Entre Sangatte et Bray-Dunes

Dunes de morphologie flamande.

➔ un bourrelet littoral unique orienté Ouest-Sud-Ouest - Est-Nord-Est, dans le sens des vents dominants. Il est généralement étroit (250 m maximum à l'Ouest de Calais, 1000 m maximum à l'Est de Dunkerque) et peu élevé (5 à 25 mètres IGN).

➔ Rivage artificialisé par des ouvrages de défense côtière devant les secteurs urbanisés et les zones industrialo-portuaires (Calais, Grand-Fort-Philippe, Dunkerque).



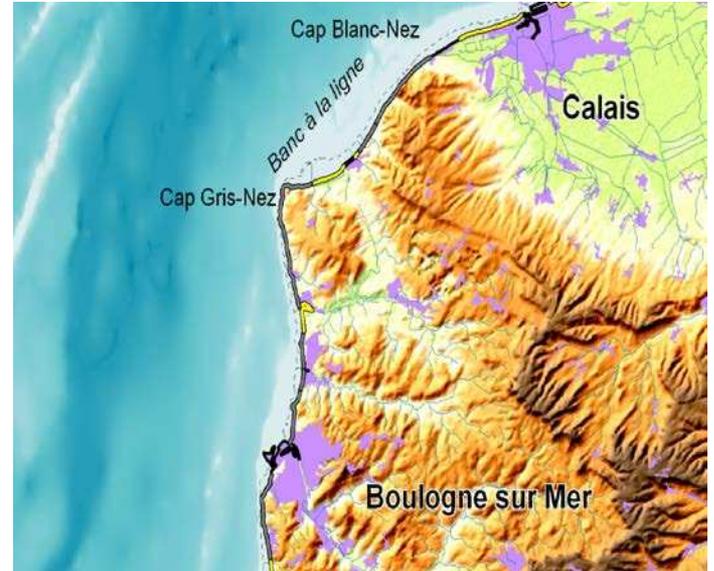
# Le Boulonnais

## Entre Equihen-Plage et Sangatte

➔ Depuis Equihen jusqu'au Cap Gris-Nez :  
falaises d'âge jurassique (alternance d'argiles et de grès) dont l'altitude varie entre 5 et 45 m.  
Les dunes de la Slack (300 ha sur 3,5 km) présente une morphologie de type dune picarde.

➔ A l'Est de Wissant et jusqu'à Sangatte  
falaises crayeuses du Crétacé. Leur altitude varie entre 15 m et 133 m au Cap Blanc Nez.

➔ Entre les caps Gris-Nez et Blanc-Nez  
dunes de la Baie de Wissant (de morphologie flamande).  
Cet ensemble de 230 ha, répartis sur 6,5 km de façade maritime est coupé en son centre par la station balnéaire de Wissant



# La plaine maritime picarde

## Entre Equihen-Plage et la Baie d'Authie

Dunes de morphologie picarde

➔ entre Equihen et le Nord de la Baie de Canche (3200 ha sur 15 km).

- dunes plaquées sur la limite occidentale du plateau de l'Artois,
- altitude très élevée pouvant dépasser les 100 m (dunes du Mont Saint-Frieux, dunes d'Étaples).

➔ entre la baie de Canche et la baie d'Authie (1900 ha sur 20 km).

- dunes relativement élevées (jusqu'à 30 m)
- elles offrent généralement un bourrelet ancien et un bourrelet littoral plus récent, que sépare une « plaine interdunaire » à caractère humide marqué



# 02.

## Evolution historique de la configuration du littoral



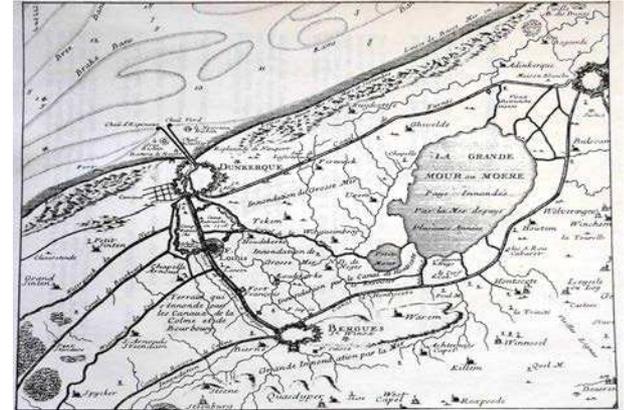
# Evolution de la configuration du littoral



## Plaine maritime flamande

### ➔ Evolution anthropique

- 7ème siècle : Premières tentatives de transformation des marais humides en polder par les moines bénédictins.
- 1169 : Philippe d'Alsace crée les Wateringues, une administration indépendante, pour mener une politique cohérente d'assèchement du territoire compris entre Saint-Omer, Dunkerque et Calais (ancien delta de l'Aa).
- Pas d'aménagement du littoral avant le 16ème siècle
- Création de digue à partir de cette période





# Evolution de la configuration du littoral



## Plaine maritime picarde

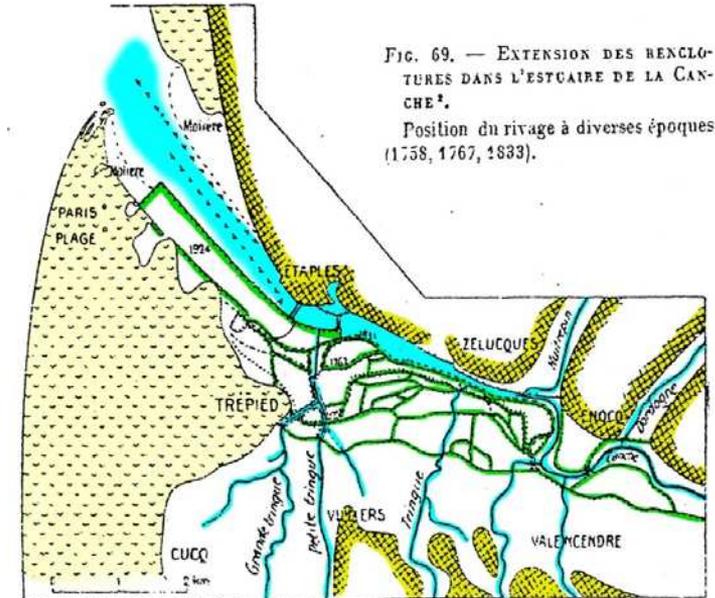
### → Estuaire de la Canche

Une partie des eaux des Bas-Champs est évacuée vers l'estuaire de la Canche, par la Grande Tringue.

→ 18ème siècle mise en place une écluse au niveau de Trépied (en face d'Étaples).

→ une série de digues découpe en compartiments étroits la partie méridionale de la Canche,

- les renclotures les plus anciennes (1758 et 1835) limitent le secteur des bas-champs ;
- deux digues submersibles datant de 1863 et 1899 ont été réalisées pour fixer le cours de la Canche et maintenir le chenal navigable ;
- les endiguements se sont poursuivis jusqu'en 1924 (champ de course du Touquet)



# Evolution du trait de côtes

- L'évolution du trait de côte à toujours existée
- Liée à des phénomènes naturels:
  - Houles
  - Courants
  - Transport littoral
- Liée à des phénomènes anthropiques:
  - Aménagement du littoral
  - usages

# 03.

## Les processus de l'évolution du littoral



# Les houles

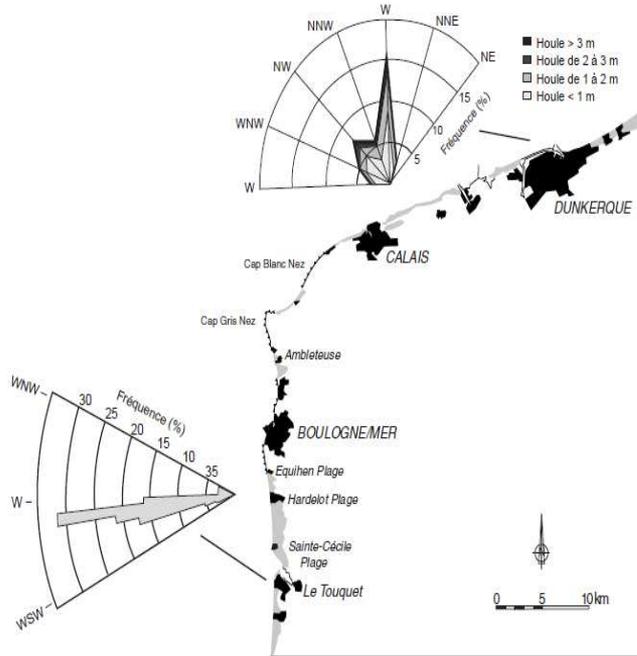


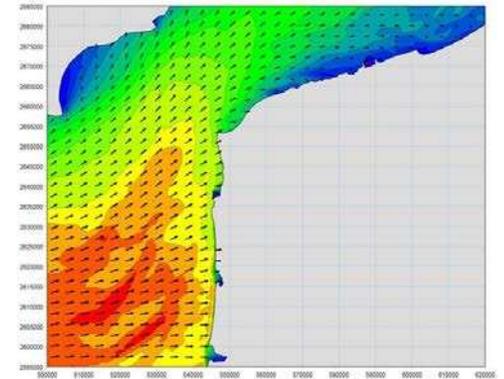
Fig.I.4 : Fréquence des houles pour les stations de Dunkerque (Bonnefille et *al.*, 1971) et du Touquet (Despeyroux, 1985)

Agitation fortement freinée par la diffraction sur les bancs et les hauts-fonds.

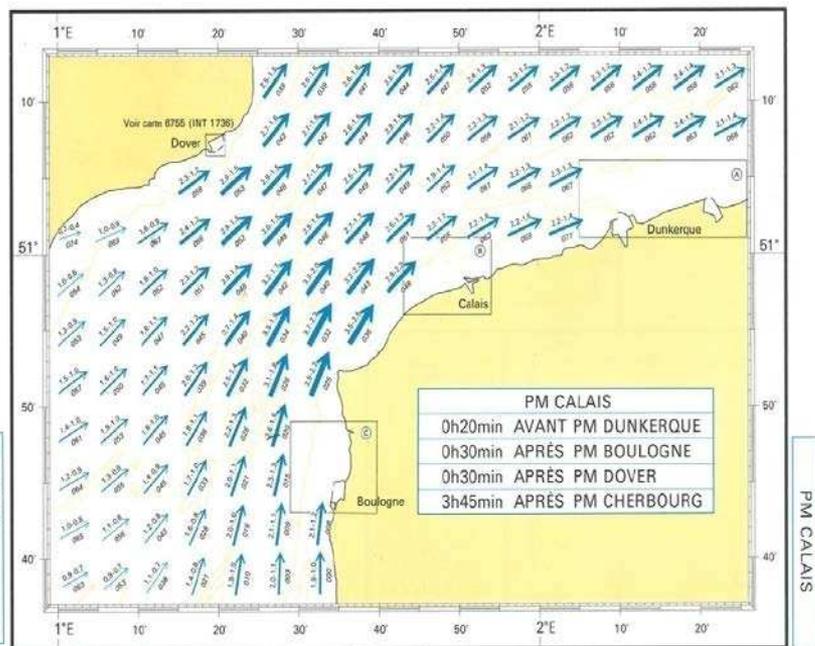
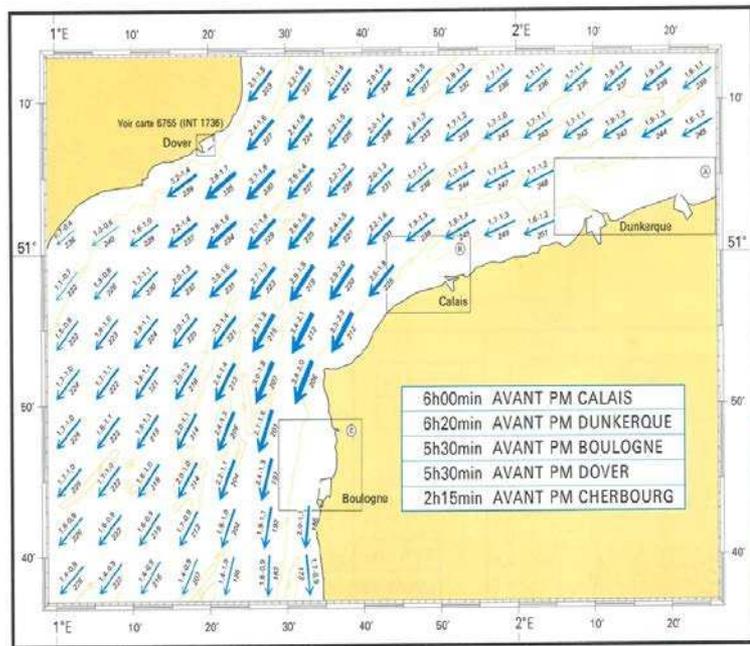
Hauteurs significatives inférieures à 1,5 mètres dans 90 % des cas.

Les hauteurs maximales de houle croissent du Sud vers le Nord (DIREN-CREOCEAN) :

- 4,2m à Boulogne-sur-Mer
- 4,3m à Calais
- 4,7 m à Dunkerque

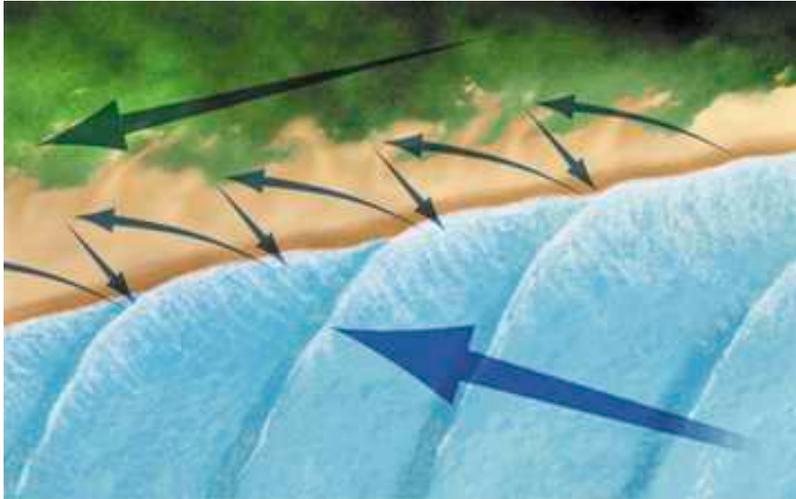


# Les courants



Champ de courant de marée dans le Pas-de-Calais, 6h avant pleine mer (en haut) et au moment de la pleine mer à au port de Calais (source : SHOM, Atlas des courants de marée dans le Pas de Calais, n° 557)

# La dérive littorale



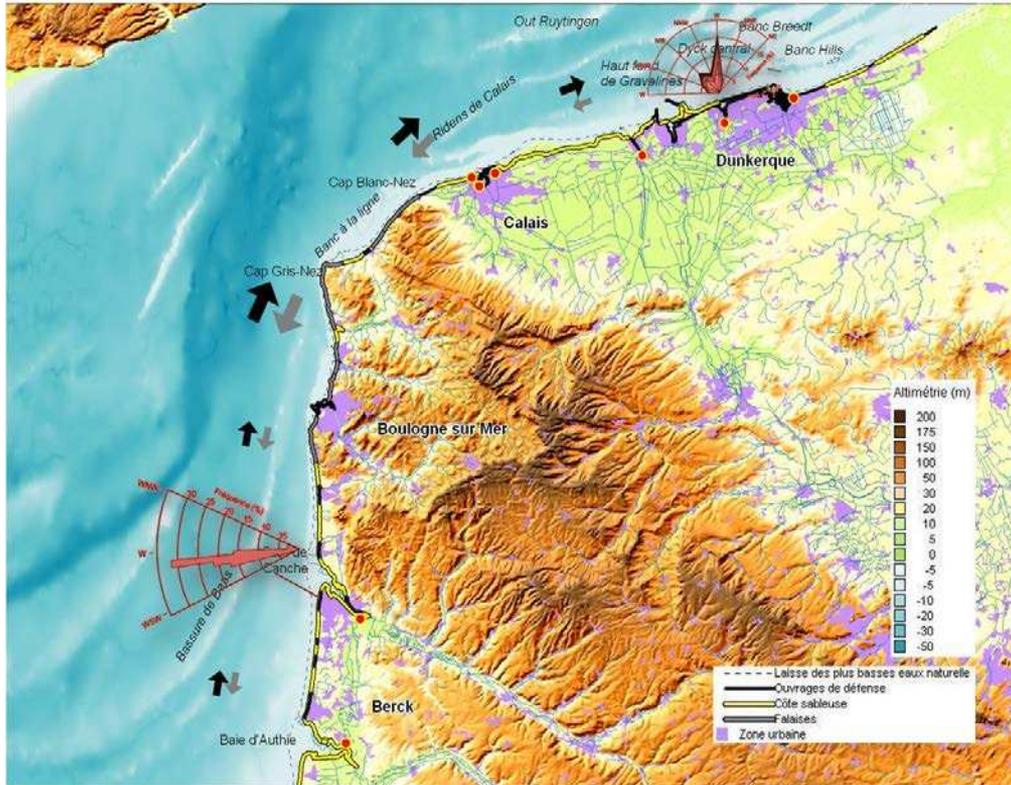
© QA INTERNATIONAL

La dérive littorale est la résultante des houles arrivant obliquement au littoral.

Le retrait des eaux se fait dans le sens de la plage, généralement, perpendiculairement au trait de côte.

Les sédiments entraînés par le déferlement des houles ne reviennent donc pas à leur point de départ.

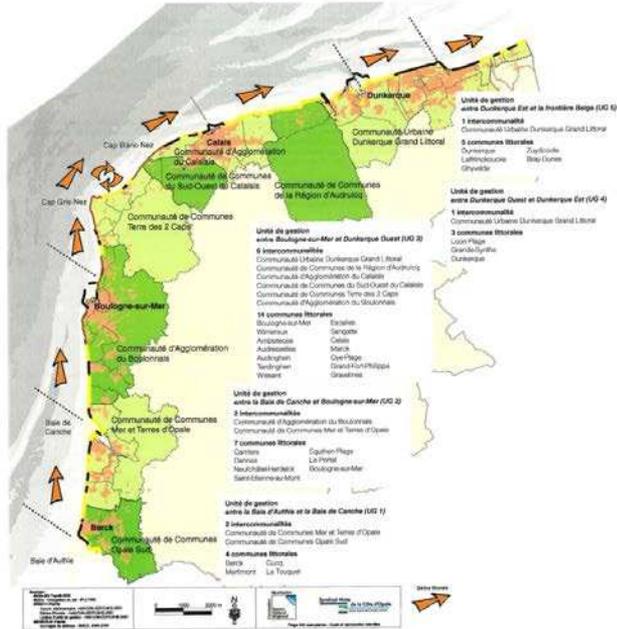
# Processus du transport sédimentaire



Le transport sédimentaire littoral est déterminé par:

- la hauteur, la période et la direction des vagues ;
- le déferlement: types, zone d'action ;
- les courants: vitesses et directions ;
- l'épaisseur de la colonne d'eau ;
- les propriétés sédimentaires
- les interactions avec les bancs sableux au large.

# Les unités de gestion



Le P.L.A.G.E , porté par le syndicat mixte de la Côte d'Opale, a défini 5 cellules sédimentaires distinctes ayant un budget sédimentaire globalement équilibré:

- UG1 de la baie d'Authie à la baie de la Canche,
- UG2 de la baie de la Canche à Boulogne sur Mer
- UG3, de Boulogne sur Mer à Dunkerque Ouest
- UG4, de Dunkerque Ouest à Dunkerque Est
- UG5, de Dunkerque Est à la frontière Belge

# Cause de l'évolution de du trait de côte

- Erosion naturelle
  - Variation climatique
  - Evolution du paysage littoral
  - Élévation du niveau marin
- Erosion d'origine anthropique
  - Aménagements sur le littoral
  - Extraction de sables
  - Réductions des apports pluviaux

# 04.

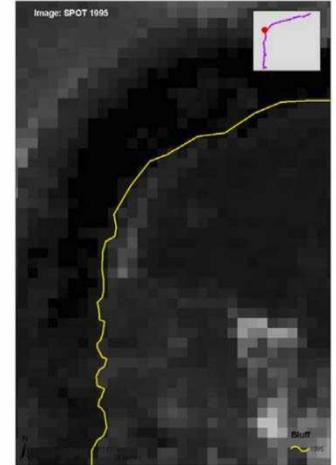
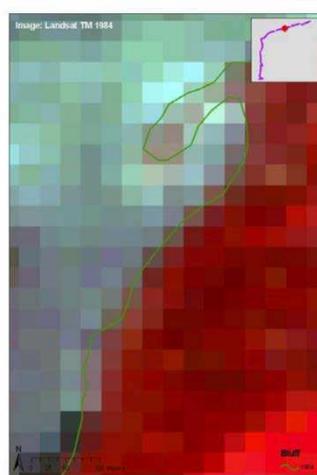
## Méthodologie utilisée



# Analyse diachronique

- Détermination des traits de côtes historiques

Limite de végétation / sommet d'ouvrage/sommet de falaise

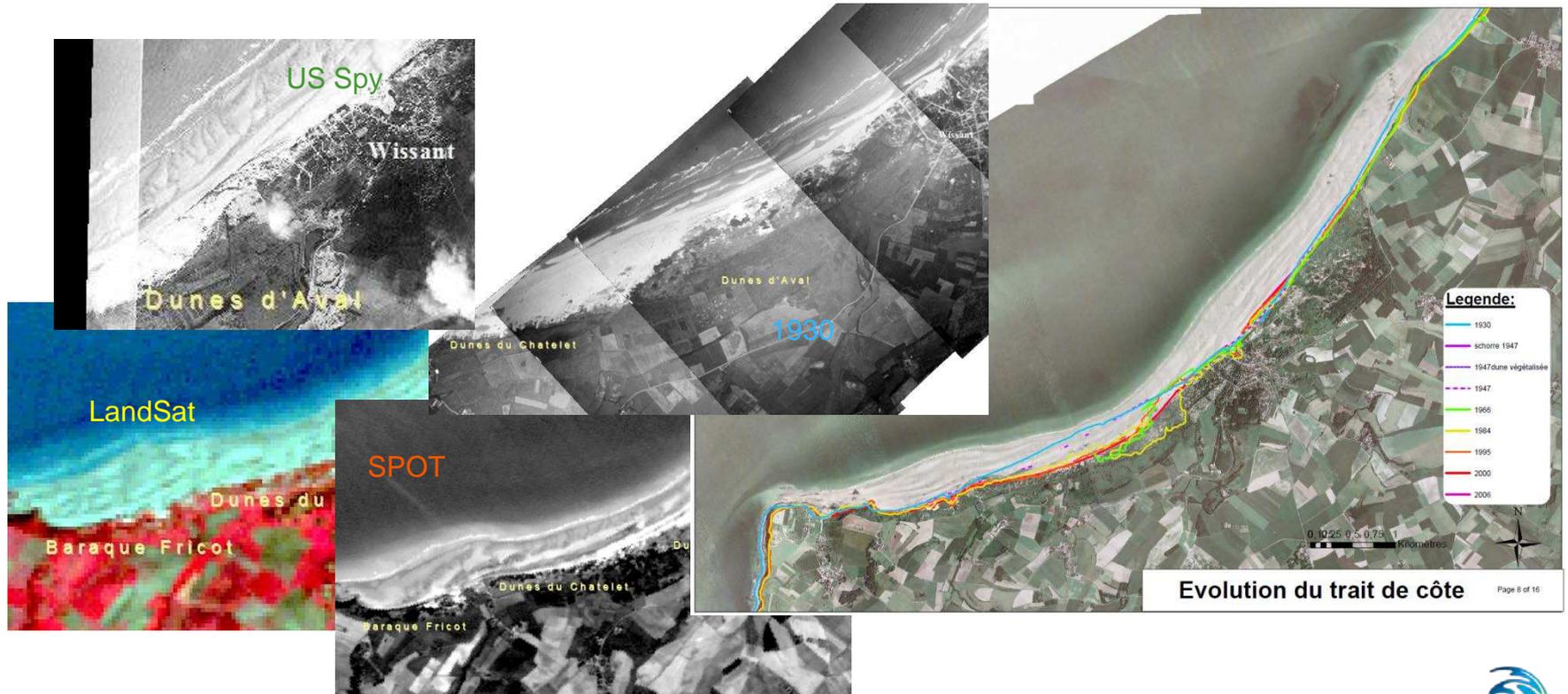


# Trait de côte historique

- 1932-34 : photographies aériennes fournies par la DREAL
- 1947 : Trait de côte du CETE
- 1966 : US Spy Image
- 1984 : Landsat TM
- 1995 : SPOT
- 2000 : photographies aériennes IGN
- 2006 : photographies aériennes IGN

Satellite data	Date	Time	Spatial resolution
US Spy image	20/10-1966	na	~ 3m
Landsat TM	30/10-1984	10:16 UTC	30m
SPOT	10/3-1995	11:26 UTC	10m
Aerial photo	2000	Client ref.	0.5m
Aerial photo	2006	Client ref.	0.5m

# Trait de côte historique



# Méthodologie

- Détermination des points des référence
- Squelettisation du trait de côte à partir de ces points
- Détermination de la vitesse et le la direction d'évolution

Méthode EPR : distance entre le trait de côte + anciens et le + récent / nombre d'année séparant ces deux trait de côte



# Méthodologie

- Détermination de l'**aléa érosion** du trait de côte à 100 ans  
Projection du taux d'érosion à 100 ans



- Recoupement avec la bibliographie existante

# 05.

## Limite de la méthode



# Incertitudes

- Géoréférencement des images aériennes et satellites
  - Repérage des amers
  - RMSE lié à la correction des images
- Digitalisation du trait de côte

<i>Année</i>	<i>date du cli- ché</i>	<i>résolution en m</i>	<i>Incertitude lié au géoréférencement en m</i>	<i>Incertitude lié à la digitalisation en m</i>	<i>Incertitude du trait de côte</i>
1930	-	0.25	20.00	5.00	20.6
1966	20/10/1966	3	10.00	5.00	11.2
1984	30/10/1984	30	21.00	15.00	25.8
1995	10/03/1995	10	6.00	5.00	7.8
2000	-	0.5	-	1.00	1.0
2006	-	0.5	-	1	1.0

# Incertitude

- L'incertitude totale d'un trait de côte historique correspond donc à :
  - Incertitude du géoréférencement,
  - Incertitude de la digitalisation,
  - Incertitude du repérage des amers de l'orthophoto IGN 2006 servant de référence aux coordonnées des amers.
- L'incertitude entre deux traits de côte va correspondre alors à :

$$\text{Incertitude} = \frac{\sqrt{(\text{Incer}A)^2 + (\text{Incer}B)^2}}{\text{année}A - \text{année}B}$$

L'évolution issue de la comparaison des traits de côte de 1932 et de

# Limite de la méthode

- Incertitudes concernant la détermination des trait de côtes
- Basé un seul indicateur : l'évolution historique du trait de côte selon la méthode des points extrêmes (EPR)
- Pas de prise en compte de l'évolution du stock sédimentaire
- Pas de prise en compte de l'évolution de l'estran– pas d'interaction entre haut et bas de plage



➔ Confrontation des résultats avec les données bibliographiques

# Bibliographie

- Thèse de Sylvain Chaverot

Chaverot, S. 2006. *Impact des variations récentes des conditions météo-marines sur les littoraux meubles du Nord-Pas-de-Calais. Thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, 266 pp*

- Thèse de David Aernouts

Aernouts, D. 2005. *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. Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, 195 pp*

- Nombreuses publications, notamment

DHORME, J-P. *Evolution du trait de côte et zone sensible. Séminaire « Etude intégré du littoral », Ambleteuse, 19 et 20 septembre 1985*

Briquet, A. Les dunes littorales. *Annales de géographie*. 1923, t. 32, n°179. pp 385-394

Meurisse, M., Van Vliet-Lanoe, B., Talon, B. Recourt, P., *Complexe dunaire et tourbeux holocènes du littoral du Nord de la France, 2005*

....

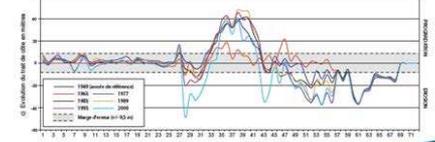
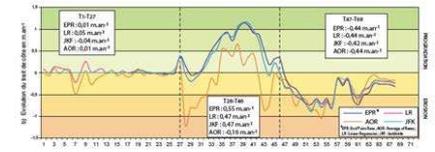
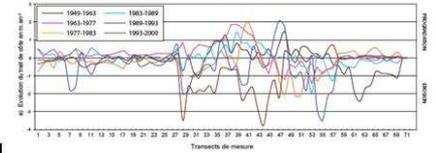


Fig III 10 Evolution du trait de côte de Sangatte et Calais-ouest entre 1949 et 2000  
("Plan de l'Etat-Major, Service Hydrog. de Dunkerque, 1:50 000, 1949; Service Hydrog. de Dunkerque, 1:50 000, 1998")

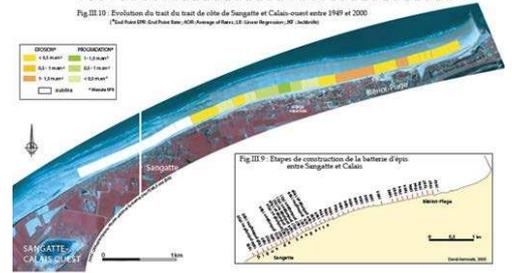


Fig III 9 Etapes de construction de la batterie d'épis entre Sangatte et Calais

# Publications utilisées

- **Dunkerque/Malo les bains**

Maspataud, A., Ruz, M.H. et Héquette, A. (2011) Storm-driven shoreline evolution on a macrotidal coast : short- to medium-term variability : A case study on the northern coast of France. Coastal Sediments '11. 7th Int. Symp. Coastal Eng., Miami, USA, 2011.p. 927-940. ISBN-13978-981-4355-55-1.

Oblinger A., « *Caractérisation morphodynamique des sites de Malo-les-Bains et de Calais Hoverport, Nord de la France : spécificités de deux sites macrotidaux originaux du sud de la mer du Nord.* », thèse de Doctorat de l'Université du Littoral Côte d'Opale, décembre 2008, 178 pp.

Oblinger A., Anthony E.J., *Wave attenuation and intertidal morphology of mutlibarre macrotidal beach behind a breakwater, Zeitschrift für Geomorphologie, Sup. Bd., 52 (3), p. 167-177.*

- **Sangatte/Calais**

Héquette, A. et Aernouts, D., 2010. The influence of nearshore sand bank dynamics on shoreline evolution in a macrotidal coastal environment, Calais, Northern France. *Continental Shelf Research*, 30, p. 1349-1361.

Rufin-Solers, C., Héquette, A. & Gardel, A. (2008). Assessing the vulnerability of coastal lowlands to marine flooding using LIDAR data, Sangatte coastal dunes, northern France. *Zeitschrift für Geomorphologie, Sup. Bd., 52 (3), p. 195-211.*

Debout, P., Les homes et la lutte contre l'érosion côtière sur le littoral de Sangatte (Pas-de-Calais, France), *Revue de géographie de Lyon*, Vol. 74 n°1, 1999. pp65-74

Chaverot S., Héquette A., Cohen O., Changes in storminess and shoreline evolution along the northern coast of France during the second half of 20<sup>th</sup> century. *Zeitschrift für Geomorphologie, Sup. Bd., 52 (3), p. 1-20.*

# Publications utilisées

- **Estuaire de l'Authie**

Dobroniak, C. 1999. *Les progrès de la sédimentation dans un estuaire de type picard : l'estuaire de l'Authie (Nord-Pas-de-Calais). Méditerranée, Tome 93, 4-1999. Dynamiques naturelles et gestion des espaces littoraux. pp65-68.*

- **Le Touquet**

Gaillot, S. et Chaverot, S. 2001. *Méthode d'étude des littoraux à faible évolution. Cas du delta du Golo (Corse) et du littoral du Touquet (Pas-de-Calais) en France. Géomorphologie : reliefs, processus, environnement, 1, 47-54*

- **Wissant**

Aernouts, D. et Héquette, A., 2006. L'évolution du rivage et des petits fonds en Baie de Wissant pendant le XX<sup>e</sup> siècle, Pas-de-Calais, France. *Géomorphologie : relief, processus et environnement, 1, p. 49-64.*

Clabaut, P., Chamley, H., Beck, C. *Etude sédimentologique du littoral de Wissant. Séminaire « Etude intégré du littoral », Ambleteuse, 19 et 20 septembre 1985*

- **Falaise du Cap Gris-Nez**

Pierre, G., 2006, Processes and rate of retreat of the clay and sandstone sea cliffs of the northern Boulonnais (France), *Geomorphology*, 73, pp. 64-77.

# Publications utilisées

- **Hardelot**

Chaaban, F., &all SIG et modélisation hydrogéologique littorale : application à la plage d'Hardelot (Pas-de-Calais, France), 2010 9p

Chaaban, F., &all Using ArcGis Model builder and aerial photographs to measure coastline retreat and advance : North of France. Journal of Coastal research, 2012

- **Wimereux**

Meur-Ferc, C., Morel, V. L'érosion sur la frange cotière : un exemple de gestion des risques, , Nature Sciences sociétés 12 , 263-273, 2004

- **Canche**

Picouet M., L'estuaire de la Canche : un modèle picard rajeuni. Norois n°159, 1993 pp.443-456

Syndicat mixte pour le SAGE de la canche, Préfiguration du contrat de la Canche, comité d'expert, 6 mai 2010

Chamley Hervé, Despeyroux Yves (1982). ESTUAIRES (Aa-Canche-Authie-Somme) - Chapitre II : Sédimentologie. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00082/19353/>

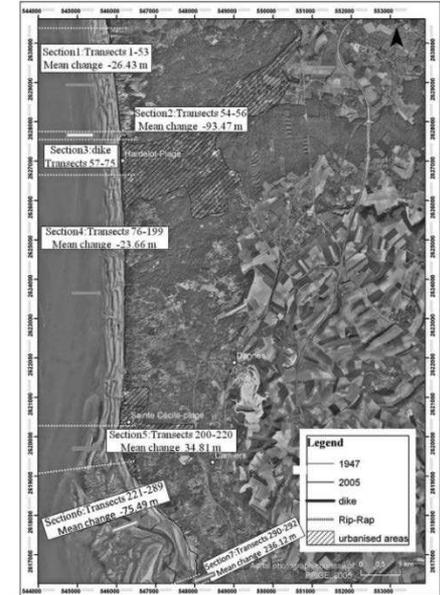
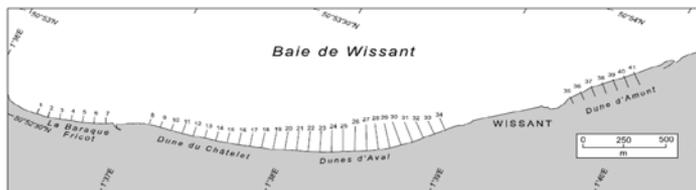


Figure 8. Sections of the study area and average shoreline change (1947-2005).

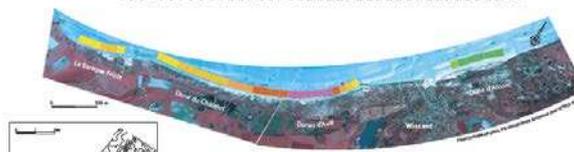
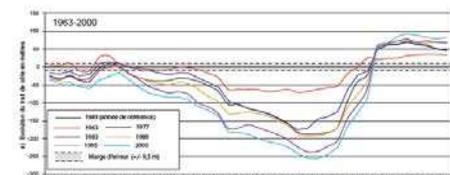
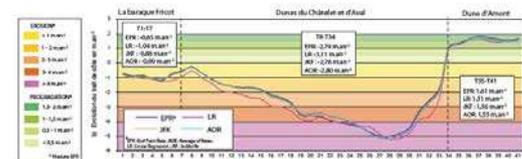
# Confrontation des résultats avec la bibliographie et données existantes

- Exemple: Baie de Wissant
  - Nombreuses bibliographies existantes



Evolution du trait de côte dans la baie de Wissant entre 1949 et 2000 (Aernouts, 2005)

## Géologie



Evolution du trait de côte dans la baie de Wissant entre 1949 et 2000 (Chaverot, 2006)

# Autres méthodes

- Détermination des traits de côte
  - Levés terrestres
    - GPS/DGPS
    - Photographie au sol (exemple : programme de surveillance de l'érosion côtière – Lorient Agglomération)
    - Scanner 3D
    - Repère de terrain (exemple : Centre de Recherche sur l'Environnement Côtier)
  - Levés aériens et imagerie satellite
    - Photographies aériennes verticales et obliques
    - Lidar
    - Imagerie satellite (SPOT, US SPY , LandSat...)

Outils SIG de segmentation (eCognition, Spring,...)

# Autres méthodes

- Analyses diachroniques :
  - EPR : Méthode des points extrêmes
  - LRR : Régression linéaire
  - WLR : Régression linéaire pondérée par l'incertitude
- Utilisation d'outils SIG:
  - DSAS de l'US Geological Survey
  - MobiTC du CETE Méditerranée

# Programme de surveillance de l'érosion côtière sur le littoral du Pays de Lorient



8 séquences littorales découpées en 417 segments

Base de données du littoral et de son évolution intégré au SIG de Lorient Agglomération

Suivi photographique de chaque segments

UNITE DE GESTION	SEGMENT	DATE	PHOTOGRAPHE	N° du cliché à reporter sur la carte	N° de vue dans la série
Pointes et anse de Lœcmiquelic	<b>226</b>	27/09/2003	Emmanuel JAHAN Bureau d'études GEOS	<b>226 - 1</b>	<b>1</b>
FORMAT DE L'APPAREIL	FOCALE	HAUTEUR DE L'APPAREIL	HEURE	METEO	
Numérique	35 mm	1,80 m	14h30	Couvert	
EMPLACEMENT DE LA PRISE DE VUE				LOCALISATION	
				<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Référence carte ED Topo (IGN)</li> <li>→ Commune Lœcmiquelic</li> <li>→ Voie (n°, nom)</li> <li>→ Orientation 80°</li> </ul>	
				MAREES	
PM		EM			
Matin		Matin		Soir	
107		109		128,16	
		(Costff Port-Tudy)			



# Suivi de l'évolution des plages et du trait de côte du département de la Manche par le Centre de Recherches en Environnement Côtier de l'Université de Caen Basse-Normandie

- Mise en place de repère pour permettre:
  - L'évolution altimétrique des plages
  - L'évolution planimétrique du trait de côte



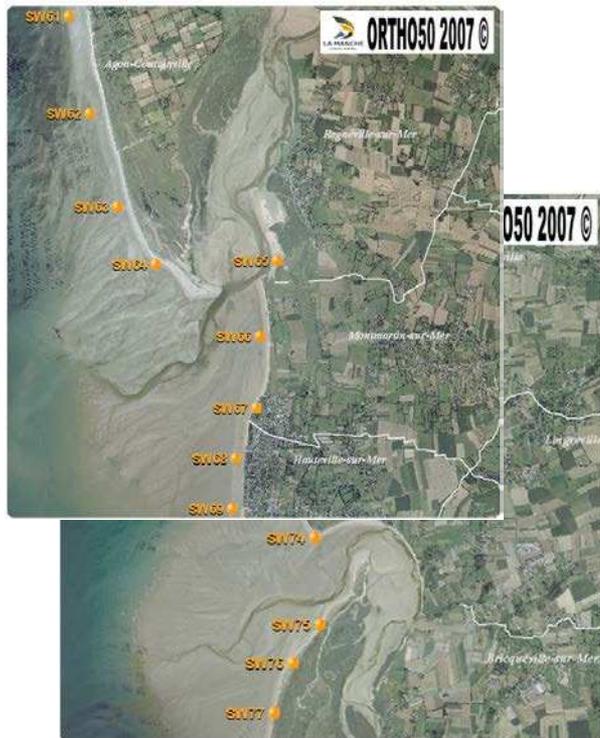
Données accessible sur <http://crec.unicaen.fr/>



**Commentaire :**  
L'évolution de la dune sur ce secteur doit faire l'objet d'une attention particulière en raison de la présence d'habitations situées directement en arrière. Le versant marin du cordon dunaire présente depuis 1992 une évolution favorable avec un profil stable ou en accretion. Il ne faut cependant pas sous-estimer la possibilité d'une phase érosive, les constructions étant potentiellement menacées en cas d'inversion de tendance.

# Suivi de l'évolution des plages et du trait de côte du département de la Manche

Analyse basée sur les données du CREC



Traits de côte



Stock sédimentaire sur le profil de plage



Stock sédimentaire en haut de plage

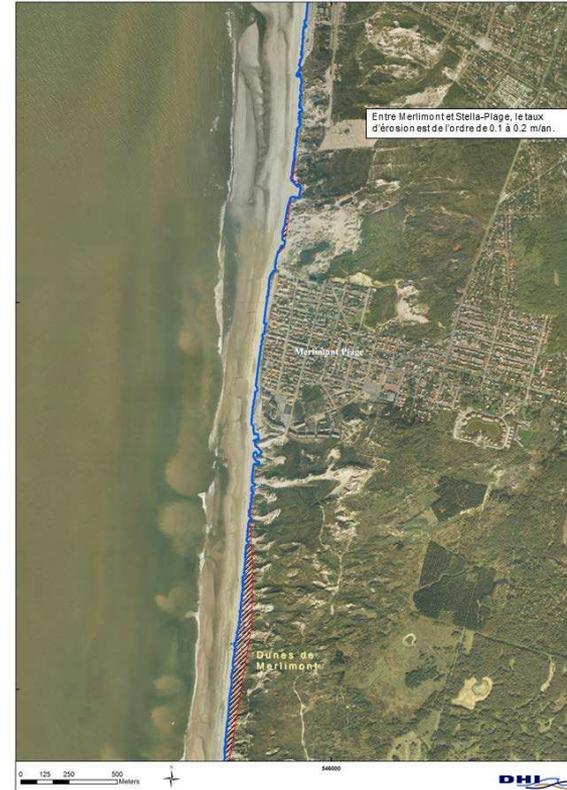
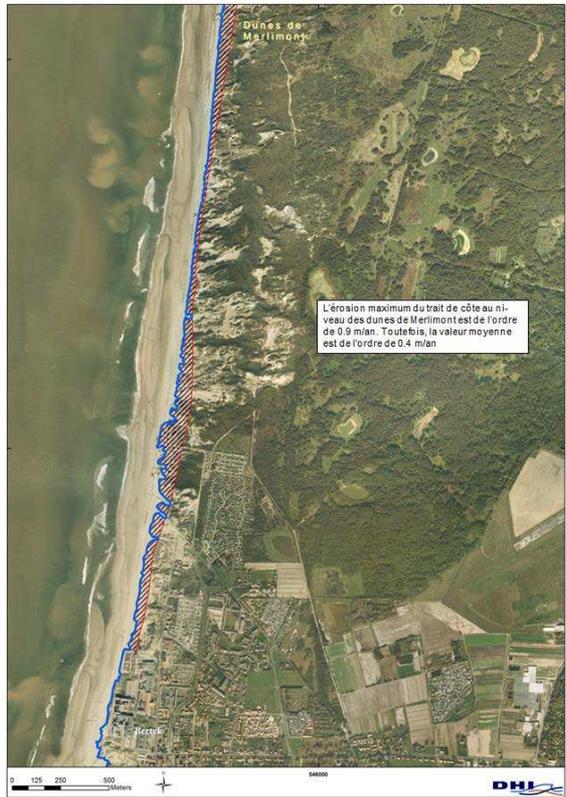
# 06.

## Erosion sur le littoral Nord – Pas-de-Calais

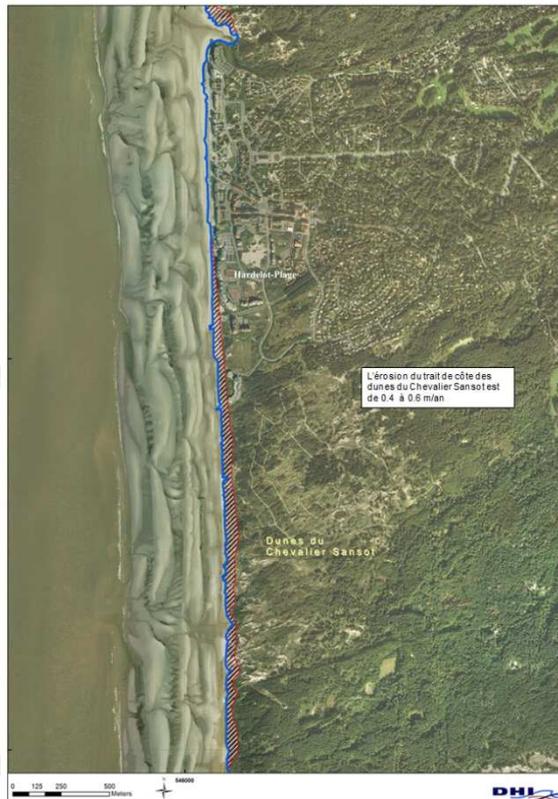
Projection à 100 ans



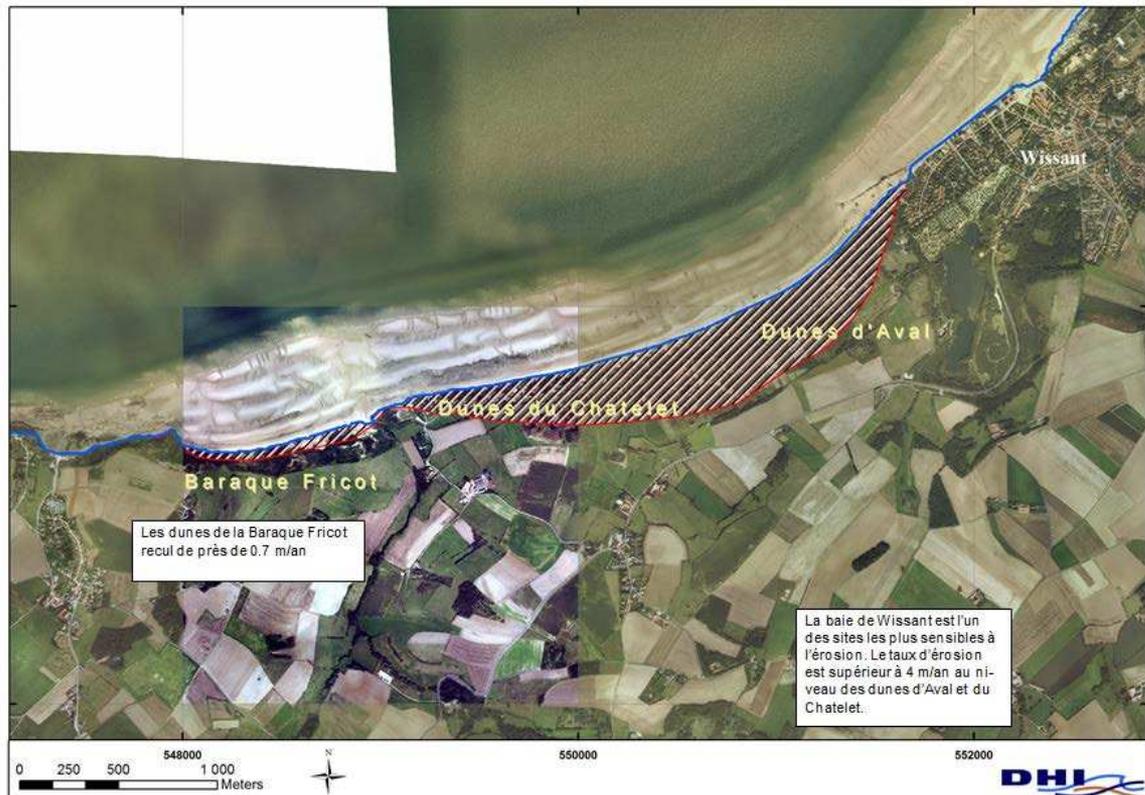
# UG1



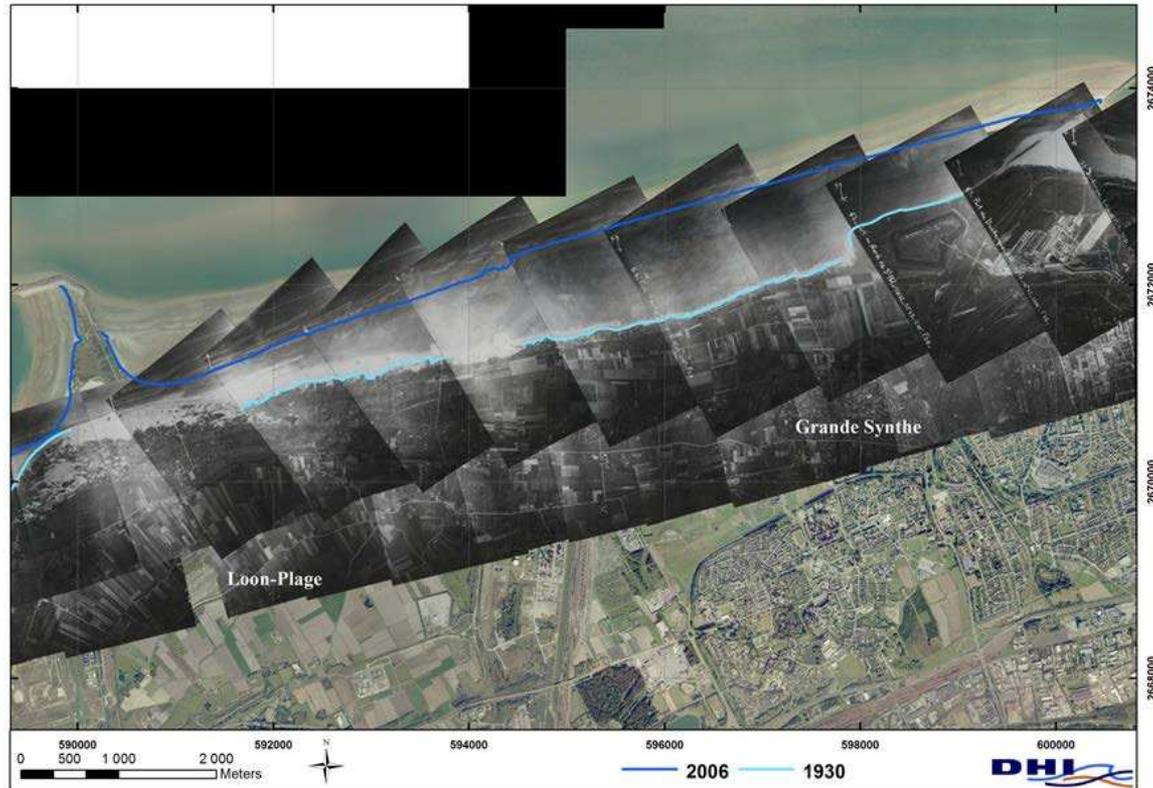
# UG2



# UG3



# UG4



# UG5



**Merci de votre attention**

**Guillaume KERAMBRUN**