

# Caractériser le remplissage sédimentaire pour mieux anticiper les évolutions morphologiques futures

*Romain Pellen, Bernadette Tessier, Sandric Lesourd*

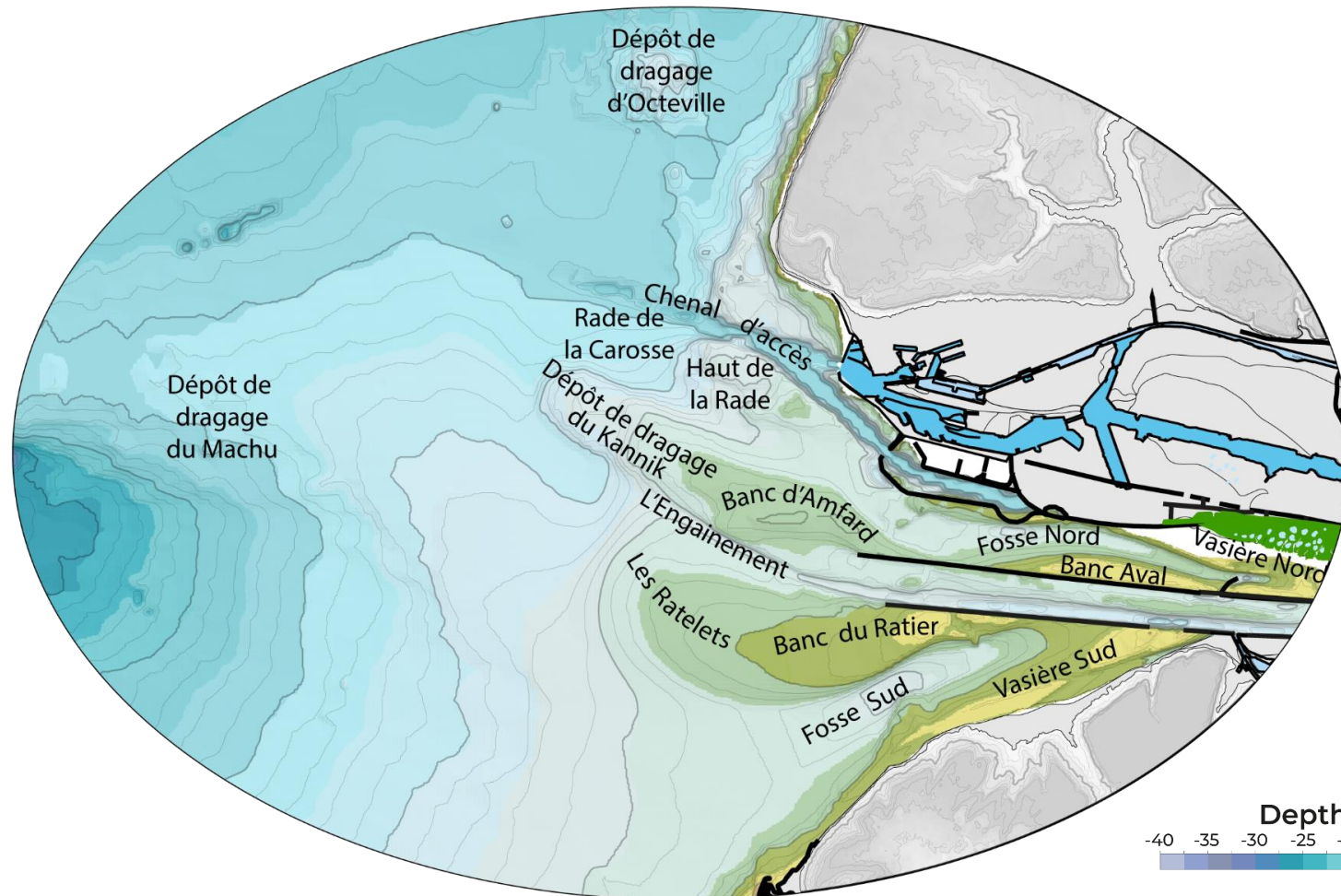


UNIVERSITÉ  
CAEN  
NORMANDIE



# LE PROJET PSES

## Mieux anticiper l'évolution morpho-sédimentaire à l'embouchure de l'estuaire de la Seine



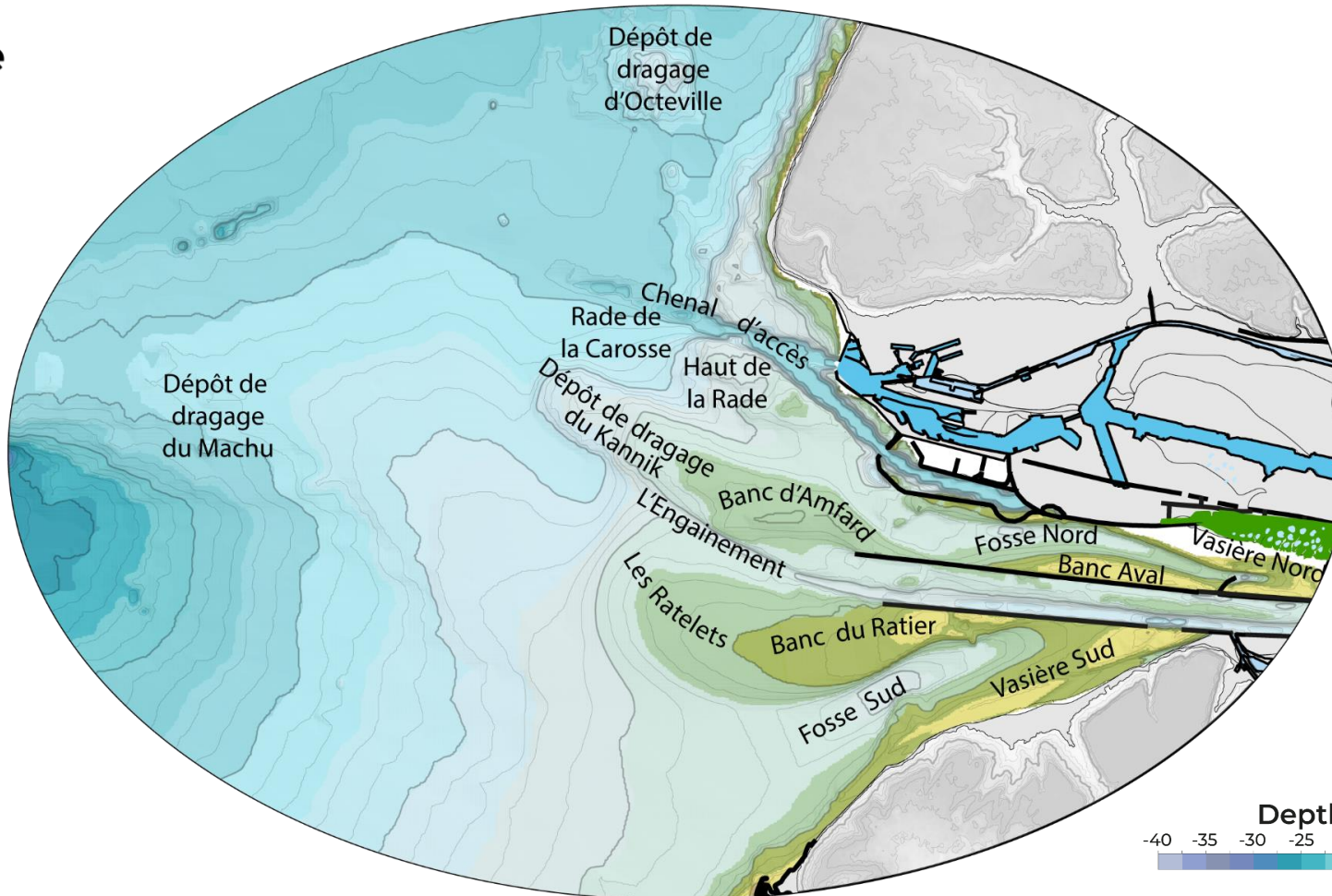
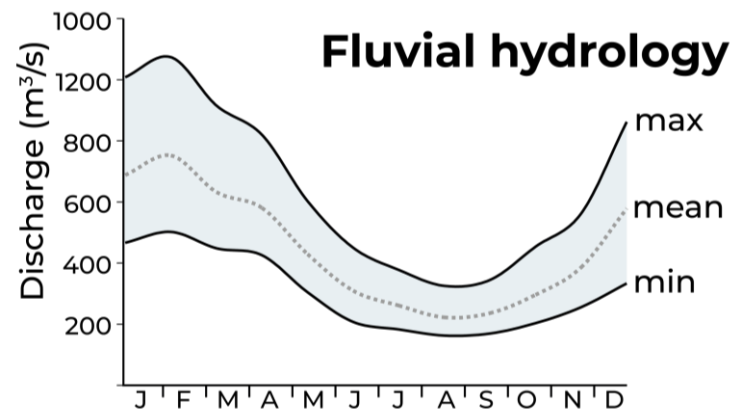
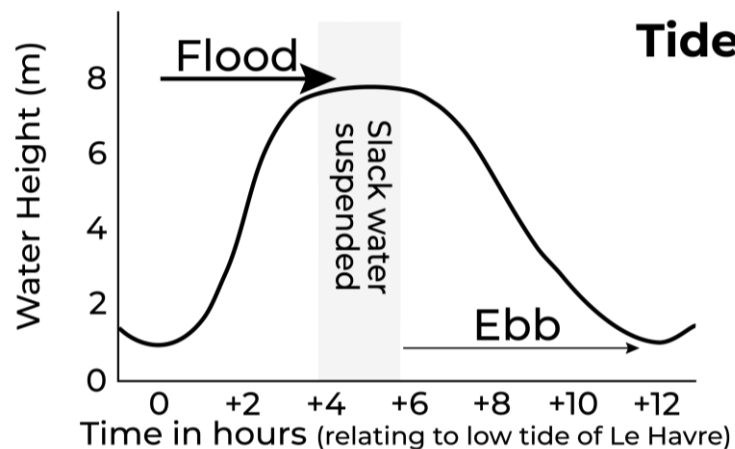
**En caractérisant la répartition des sédiments (nature et épaisseur)**

Séminaire scientifique – 21 et 22 novembre 2023



# LE PROJET PSES

## Mieux anticiper l'évolution morpho-sédimentaire à l'embouchure de l'estuaire de la Seine



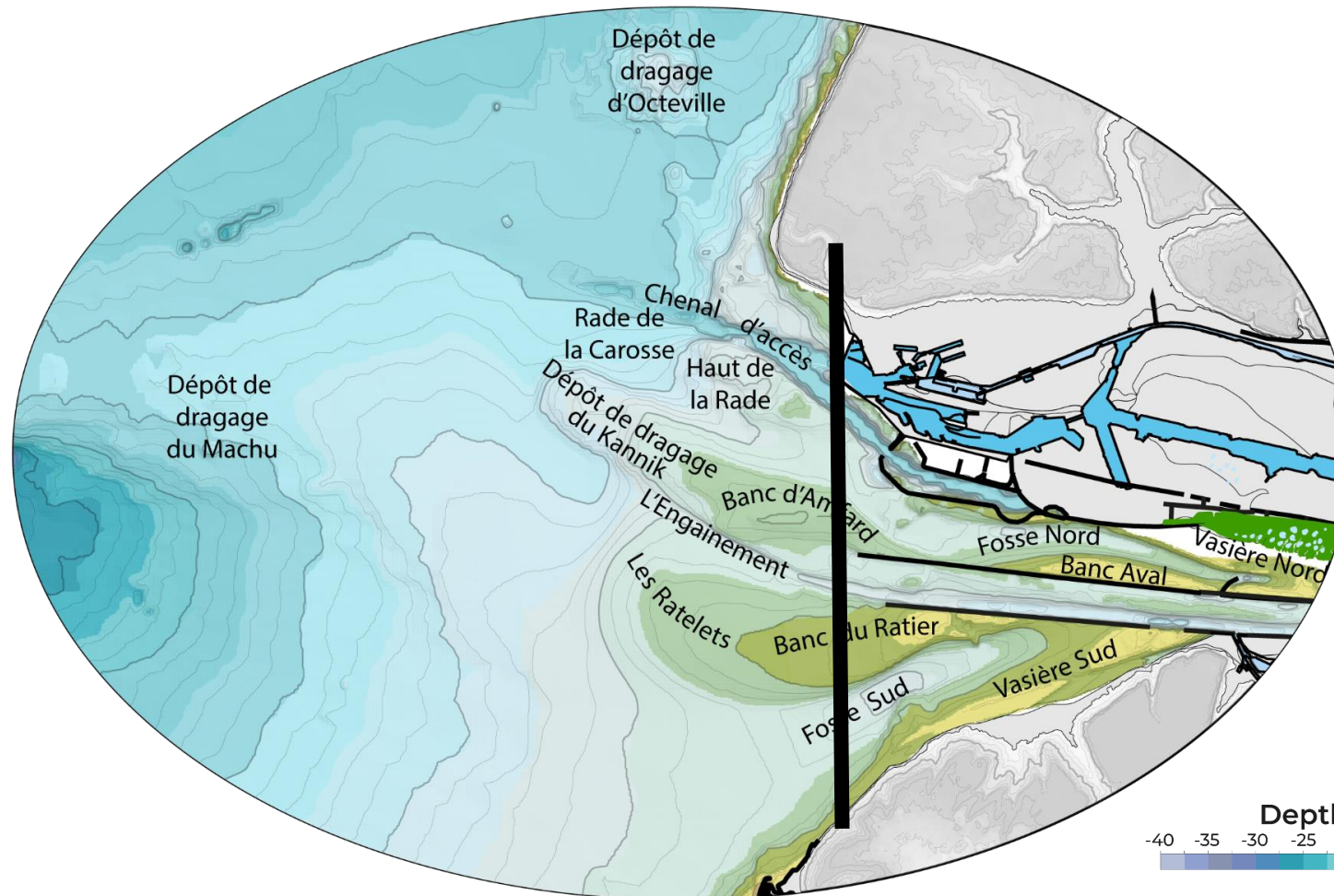
En caractérisant la répartition des sédiments (nature et épaisseur)

Séminaire scientifique – 21 et 22 novembre 2023

# LE PROJET PSES

## Mieux anticiper l'évolution morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Seine

Etat des lieux des données géologiques et géophysiques



En caractérisant la répartition des sédiments (nature et épaisseur)

Séminaire scientifique – 21 et 22 novembre 2023



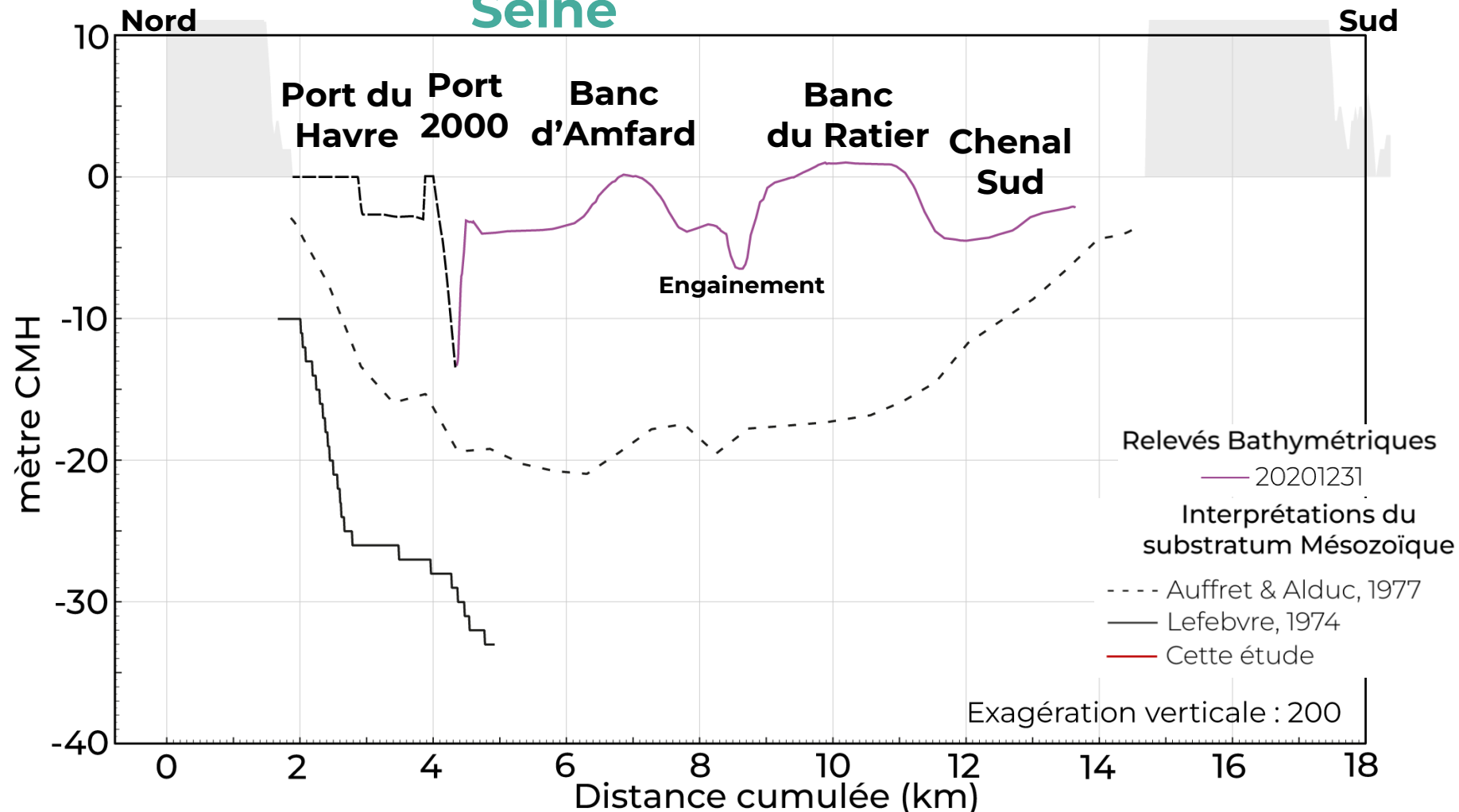
# LE PROJET PSES

## Mieux anticiper l'évolution morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Seine

Etat des lieux des données géologiques et géophysiques

2 interprétations du fond sédimentaire non remobilisable

35 cartes « paléo » bathymétriques



### En caractérisant la répartition des sédiments (nature et épaisseur)

Séminaire scientifique – 21 et 22 novembre 2023



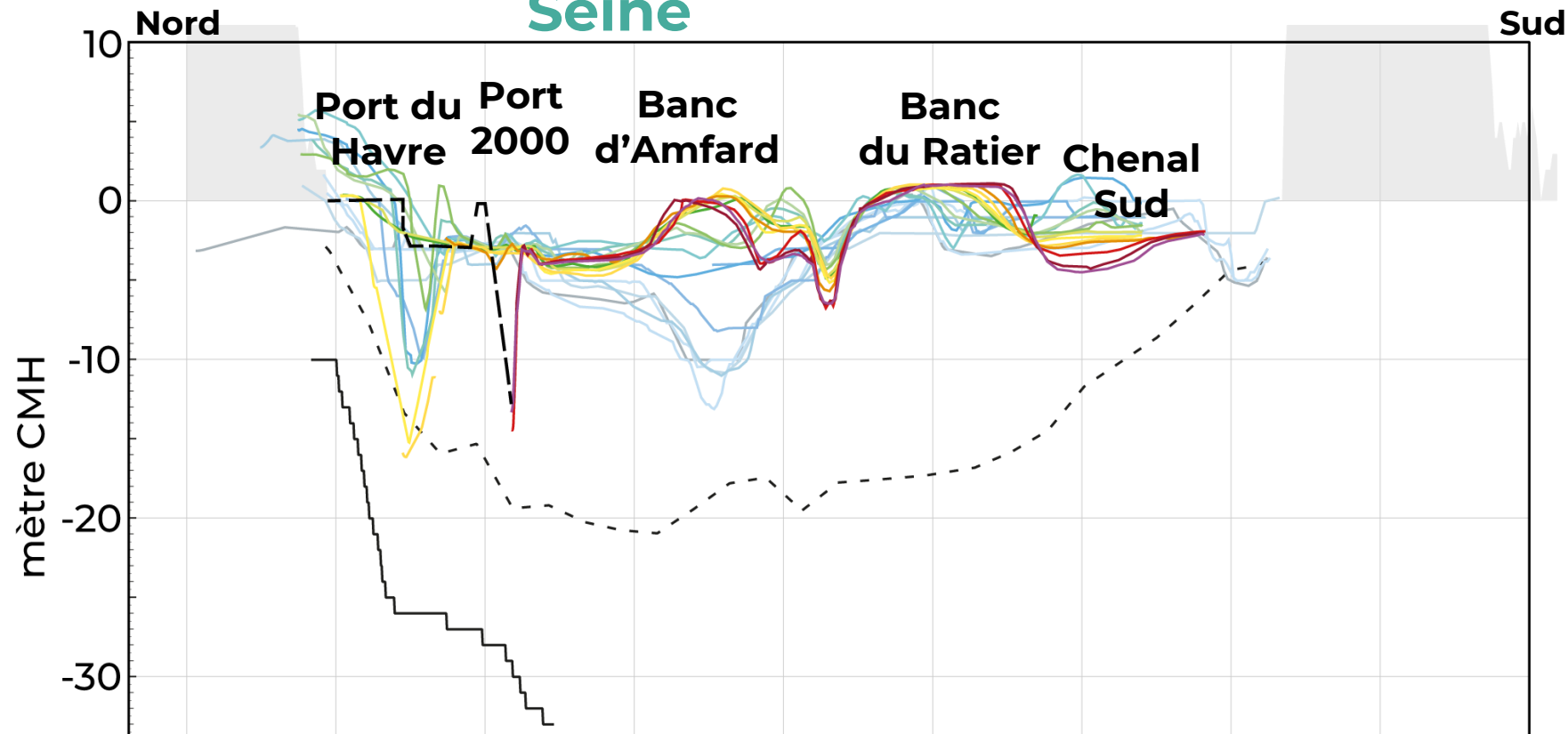
# LE PROJET PSES

## Mieux anticiper l'évolution morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Seine

Etat des lieux des données géologiques et géophysiques

2 interprétations du fond sédimentaire non remobilisable

35 cartes « paléo » bathymétriques



### Relevés Bathymétriques

### Interprétations du substratum Mésozoïque

— 20201231	— 20041231	— 1985	— 1965	— 1894
— MNT2016	— 19991231	— 1980	— 1960	— 1875
— 20141231	— 19941231	— 1975	— 1936	— 1866
— 20091231	— 19891231	— 1970	— 1913	— 1834

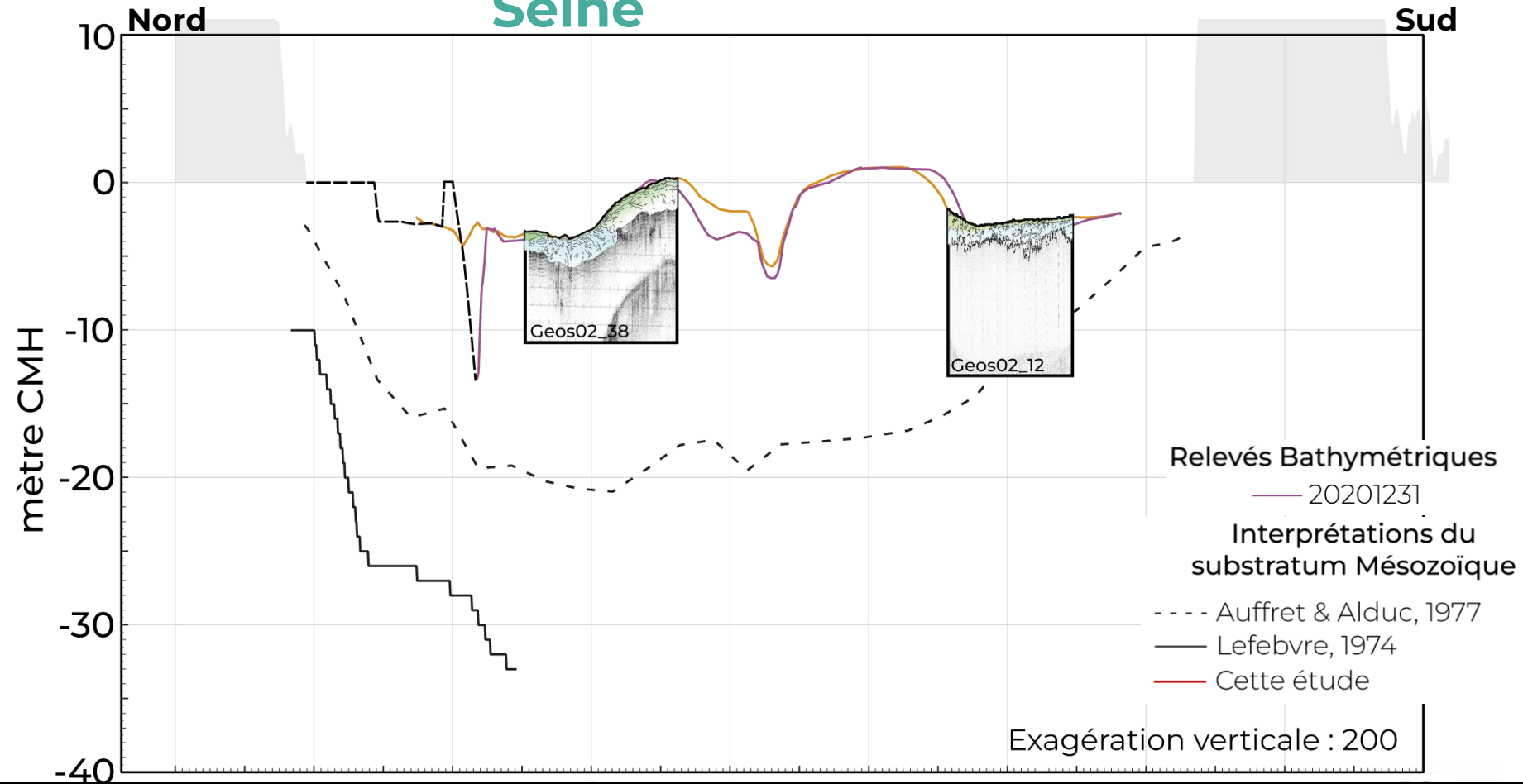
----- Auffret & Alduc, 1977
— Lefebvre, 1974
— Cette étude

# LE PROJET PSES

## Mieux anticiper l'évolution morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Seine

Etat des lieux des données géologiques et géophysiques

2 campagnes géophysiques



### Interprétation sismique et stratigraphique (Delsinne, 2002)



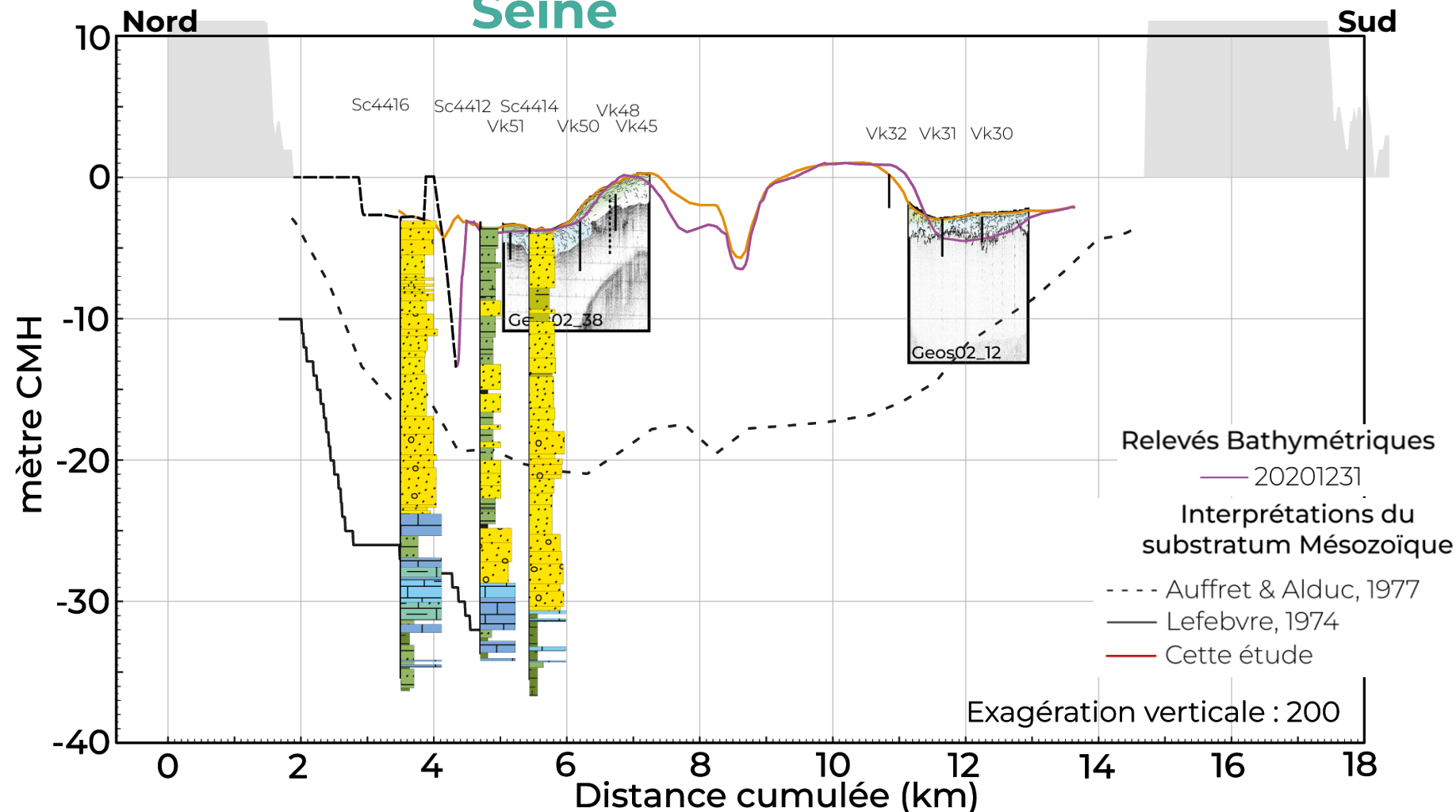
# LE PROJET PSES

## Mieux anticiper l'évolution morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Seine

Etat des lieux des données géologiques et géophysiques

2 campagnes géophysiques

158 forages



### En caractérisant la répartition des sédiments (nature et épaisseur)

Séminaire scientifique – 21 et 22 novembre 2023



GIP Seine-Aval  
GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC



# LE PROJET PSES

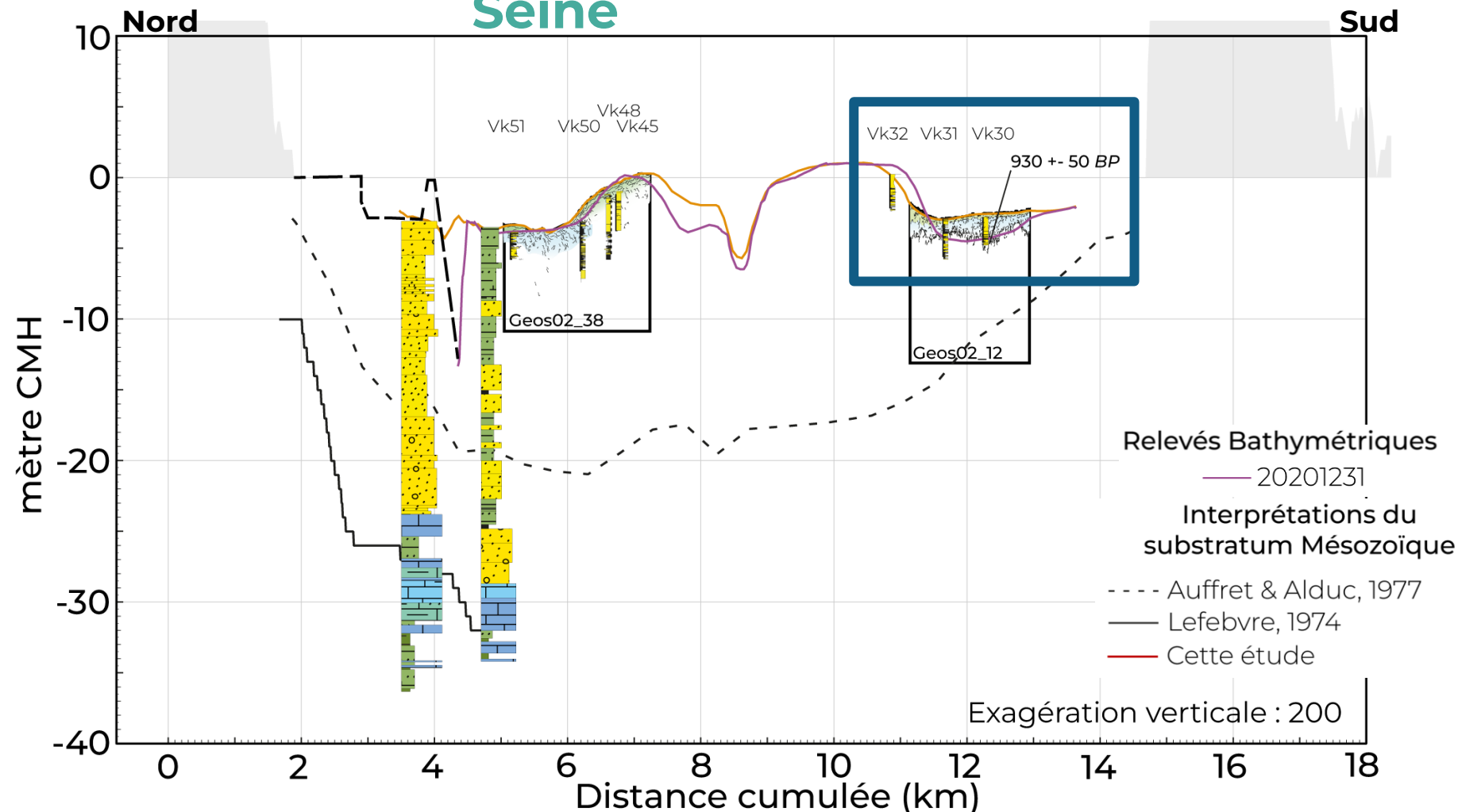
## Mieux anticiper l'évolution morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Seine

### Etat des lieux des données géologiques et géophysiques

2 campagnes géophysiques

158 forages

41 carottes sédimentaires



## En caractérisant la répartition des sédiments (nature et épaisseur)

Séminaire scientifique – 21 et 22 novembre 2023



# LE PROJET PSES

## Mieux anticiper l'évolution morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Seine

Etat des lieux des données géologiques et géophysiques

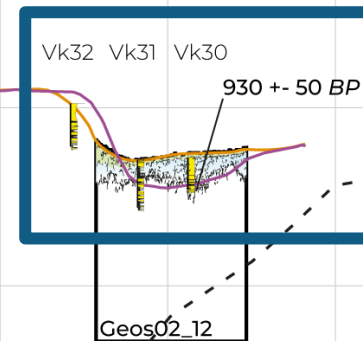
10 Nord

Sud

Vk51 Vk50 <sup>Vk48</sup> Vk45

Vk32 Vk31 Vk30

930 +/- 50 BP



- Relevés Bathymétriques  
— 20201231
- Interprétations du substratum Mésozoïque  
- - - - Auffret & Alduc, 1977  
— Lefebvre, 1974  
— Cette étude

Exagération verticale : 200

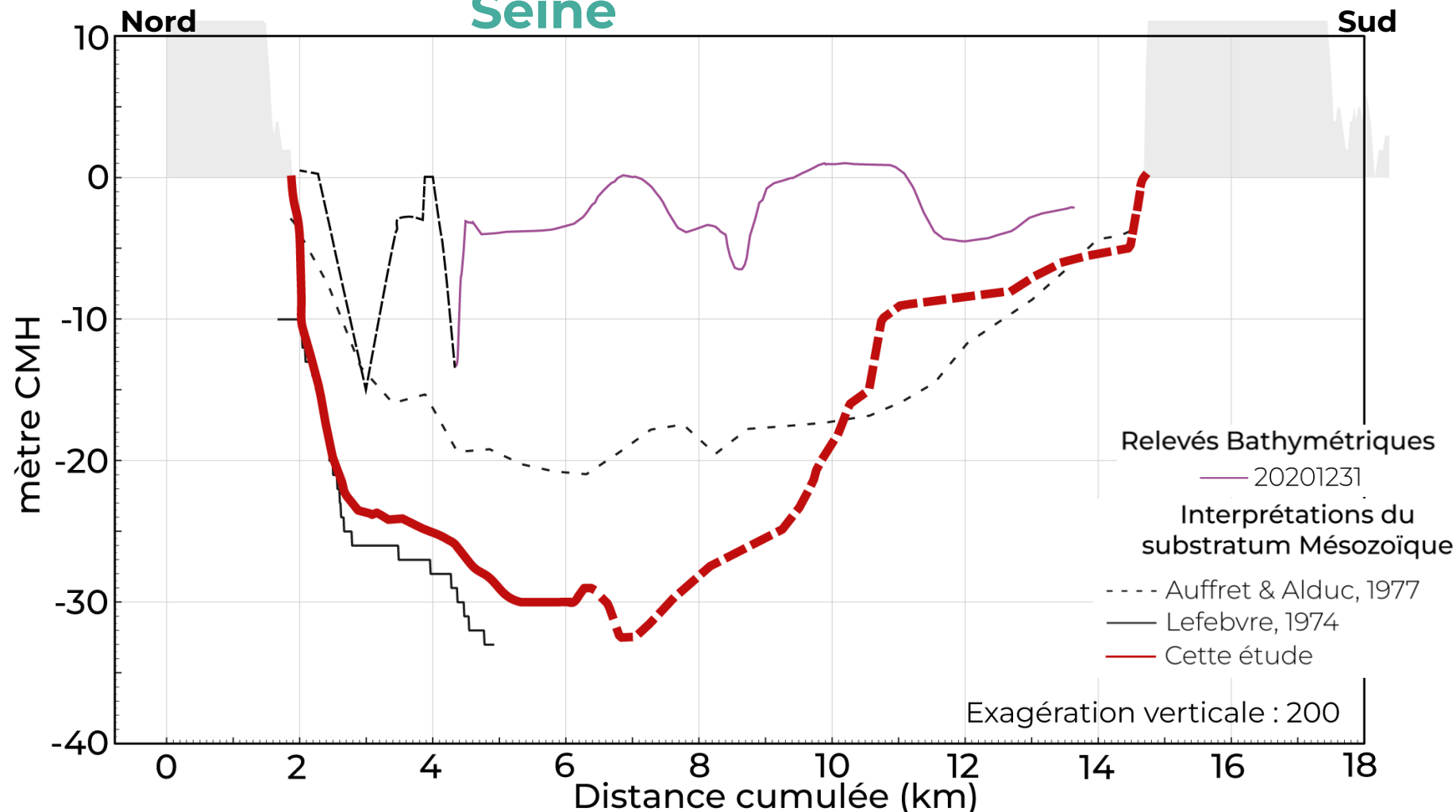
10 12 14 16 18  
ulée (km)

# LE PROJET PSES

## Mieux anticiper l'évolution morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Seine

Etat des lieux des données géologiques et géophysiques

Cartographie des « points durs » (substratum/ nappe de galet)



### En caractérisant la répartition des sédiments (nature et épaisseur)

Séminaire scientifique – 21 et 22 novembre 2023



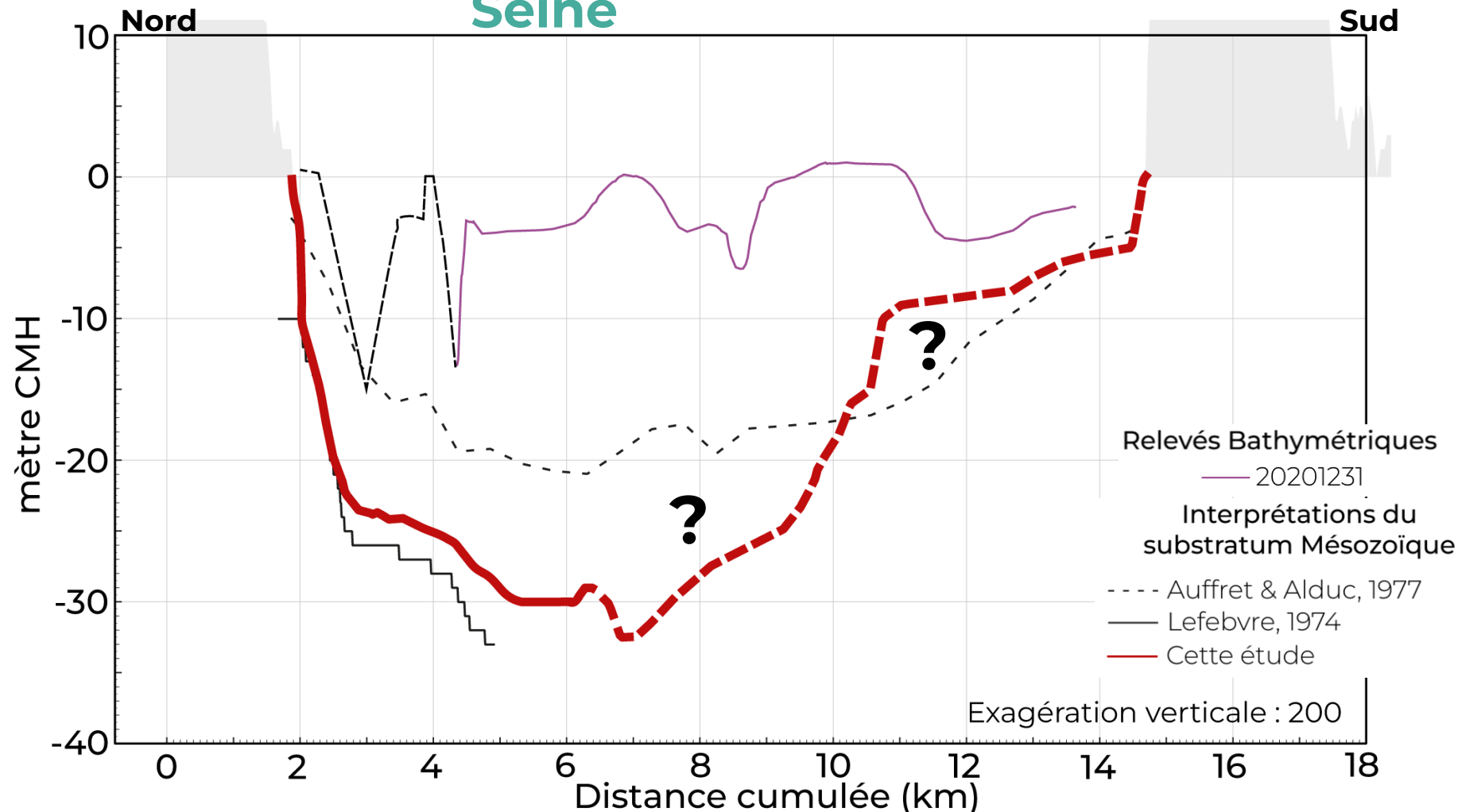
# LE PROJET PSES

## Mieux anticiper l'évolution morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Seine

Etat des lieux des données géologiques et géophysiques

Cartographie des « points durs » (substratum/ nappe de galet)

Pointer les zones d'ombre concernant la répartition et nature des sédiments



### En caractérisant la répartition des sédiments (nature et épaisseur)

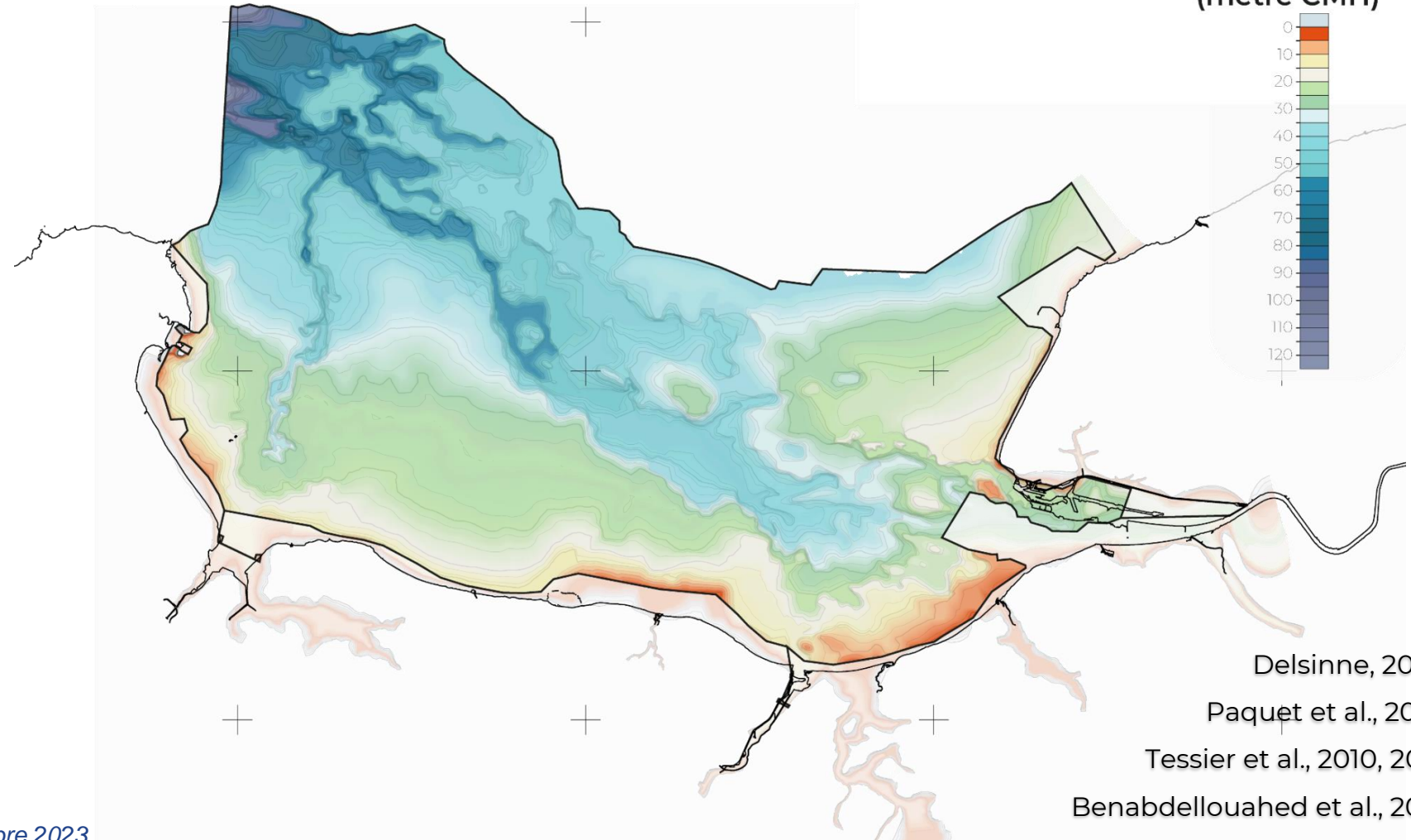
Séminaire scientifique – 21 et 22 novembre 2023



# PLUS DE 35 m DE SEDIMENT EN 10 000 ans

## Cartographie du toit du socle Mésozoïque

Profondeur du substratum Quaternaire  
(mètre CMH)



20 000 ans dans le passé

La Seine, un affluent du  
fleuve Manche durant le  
dernier maximum  
glaciaire

Delsinne, 2005

Paquet et al., 2023

Tessier et al., 2010, 2012

Benabdellouahed et al., 2013

Lefebvre, 1974; Auffret & Ozouville, 1985

Séminaire scientifique – 21 et 22 novembre 2023



GIP Seine-Aval  
GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC

Milliers d'années BP

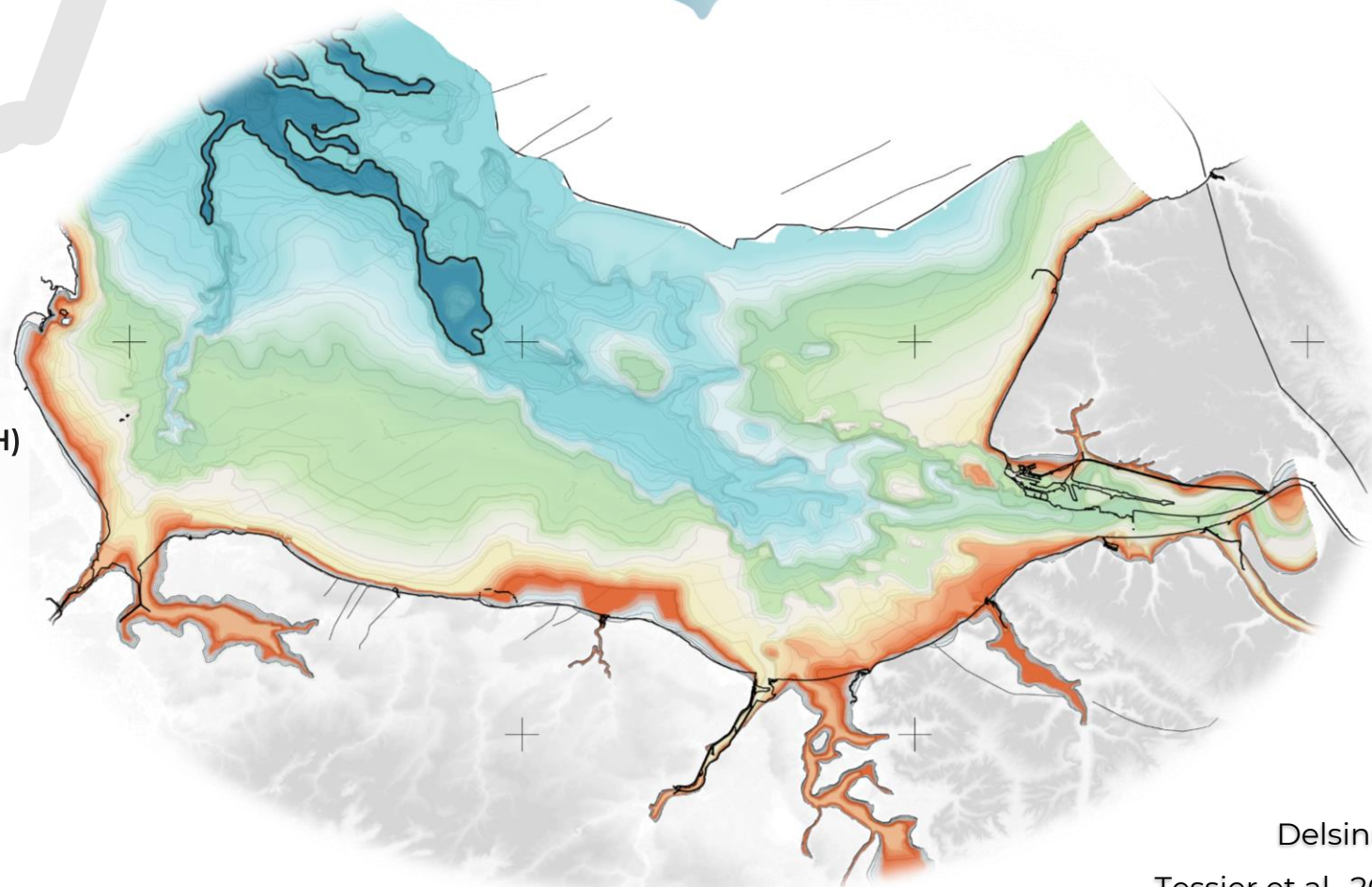
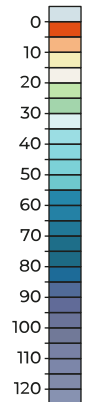
Grave de fond (U2)

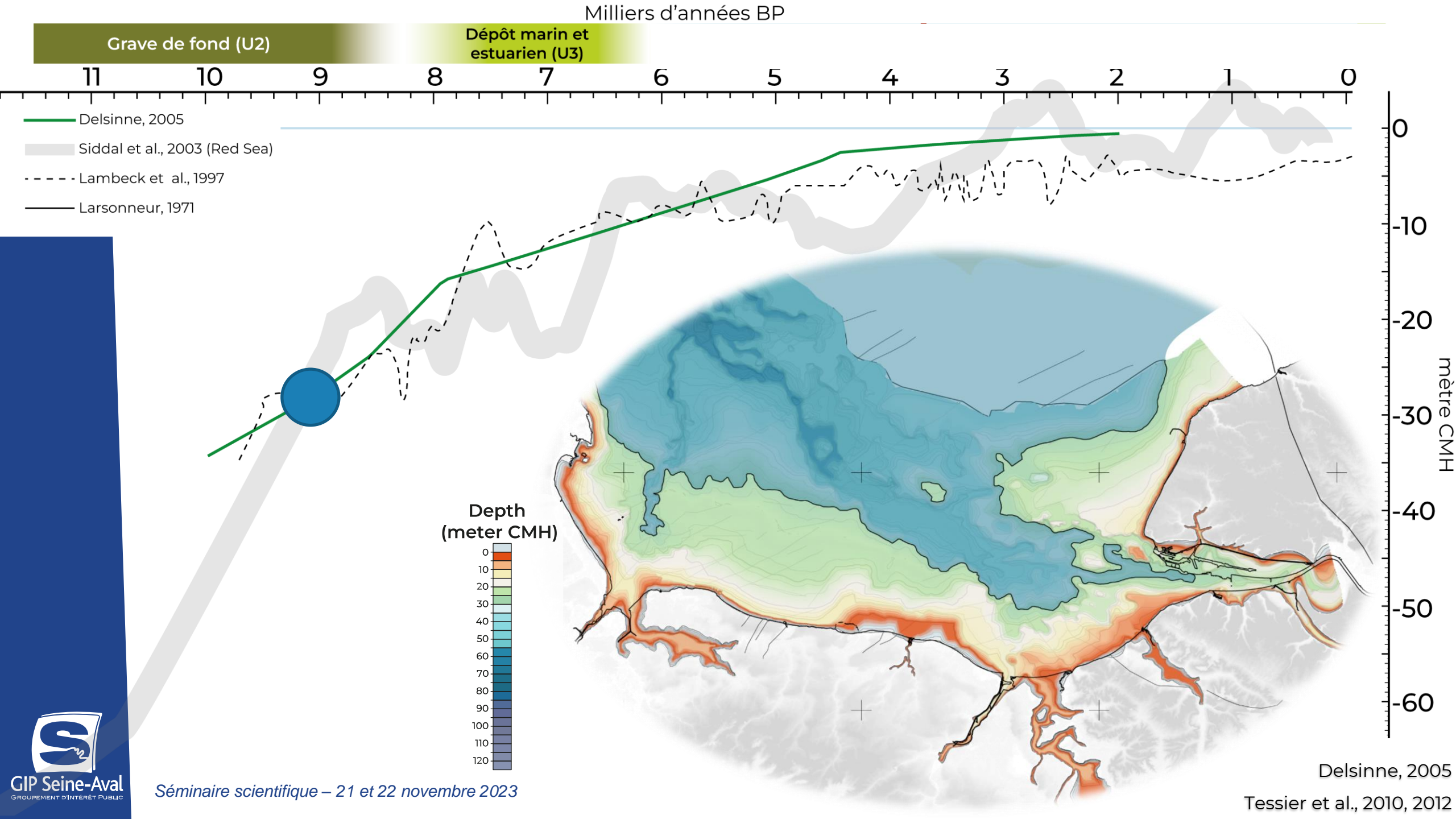
11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

- Delsinne, 2005
- Siddal et al., 2003 (Red Sea)
- - - Lambeck et al., 1997
- Larsonneur, 1971

0  
-10  
-20  
-30  
-40  
-50  
-60  
mètre CMH

Depth  
(meter CMH)





Milliers d'années BP

Grave de fond (U2)

Dépôt marin et estuarien (U3)

11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

- Delsinne, 2005
- Siddal et al., 2003 (Red Sea)
- - - Lambeck et al., 1997
- Larsonneur, 1971

0  
-10  
-20  
-30  
-40  
-50  
-60  
mètre CMH

Depth (meter CMH)

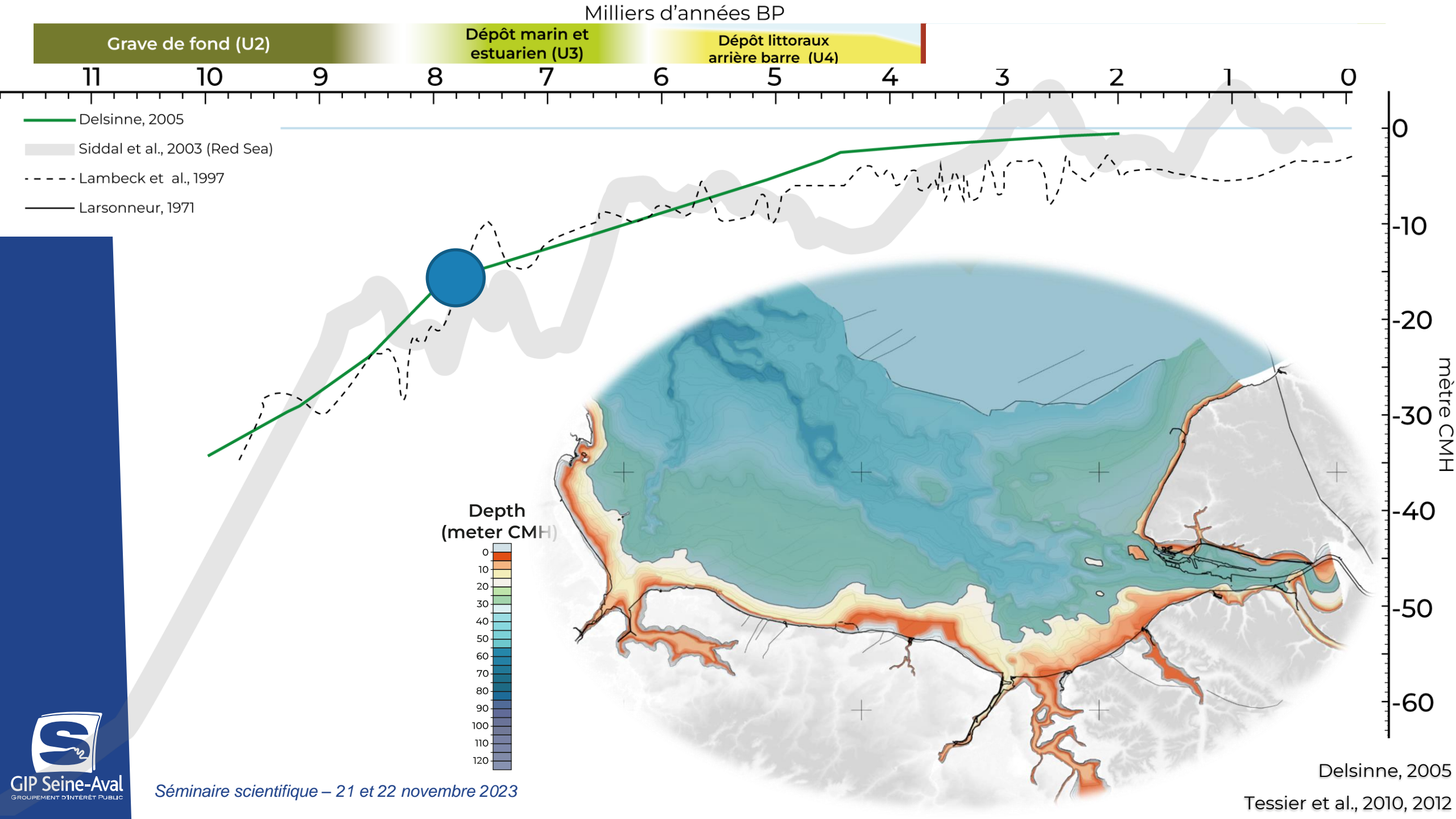
0  
10  
20  
30  
40  
50  
60  
70  
80  
90  
100  
110  
120



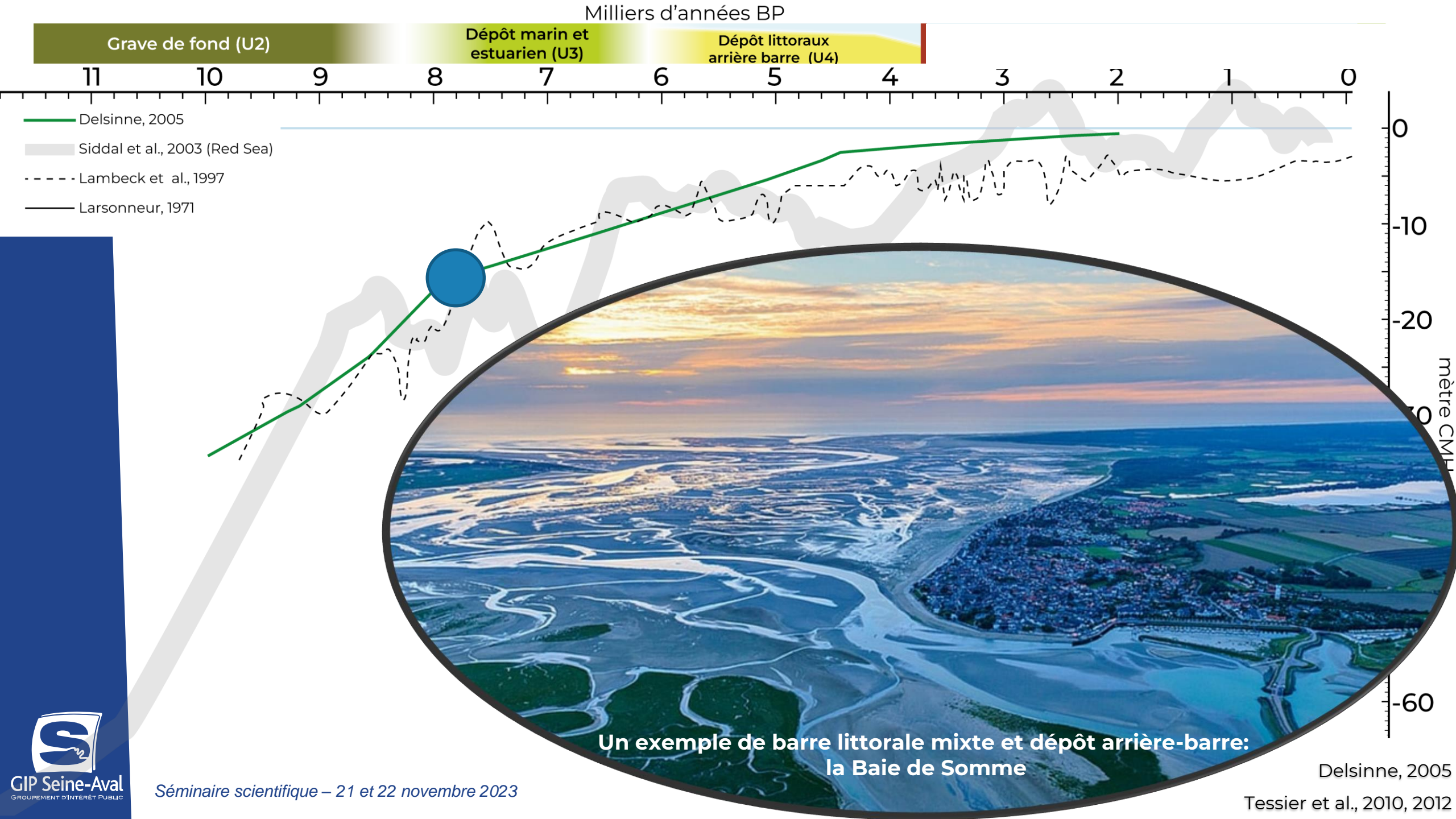
GIP Seine-Aval  
GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC

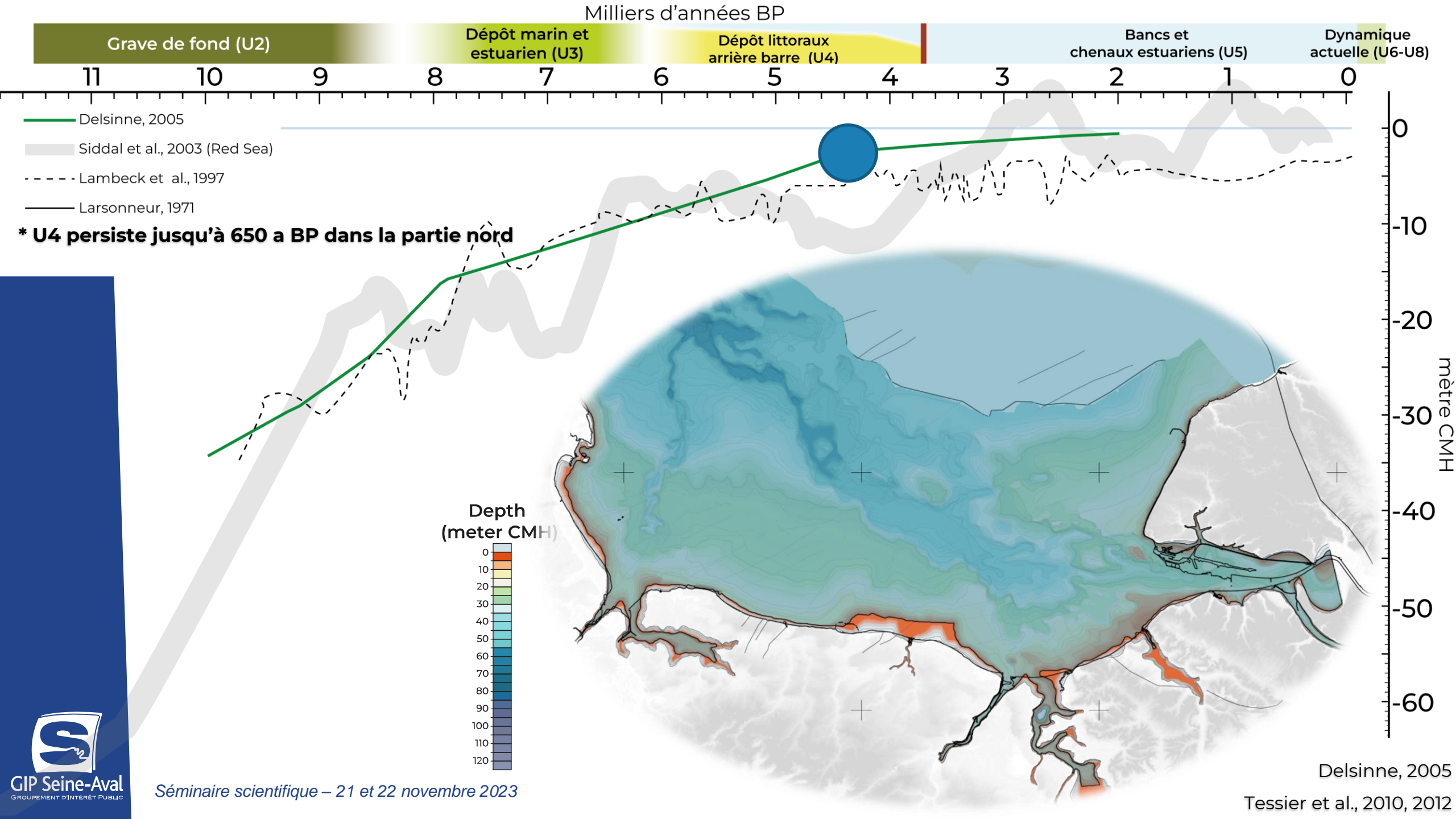
Séminaire scientifique – 21 et 22 novembre 2023

Delsinne, 2005  
Tessier et al., 2010, 2012



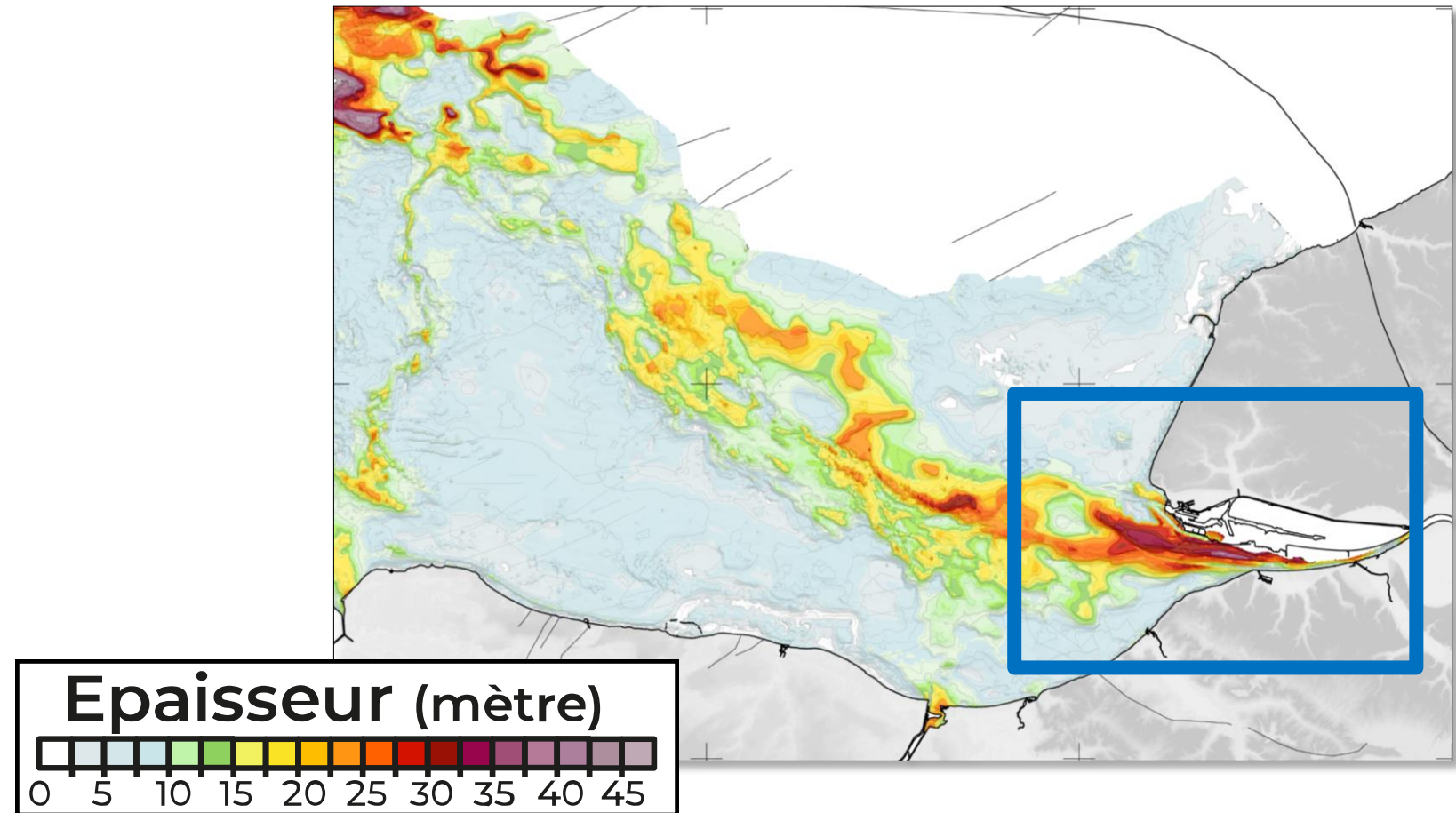






# UN REMPLISSAGE SEDIMENTAIRE PARTIELLEMENT CONNU

Evolution générale de la nature des sédiments Holocène

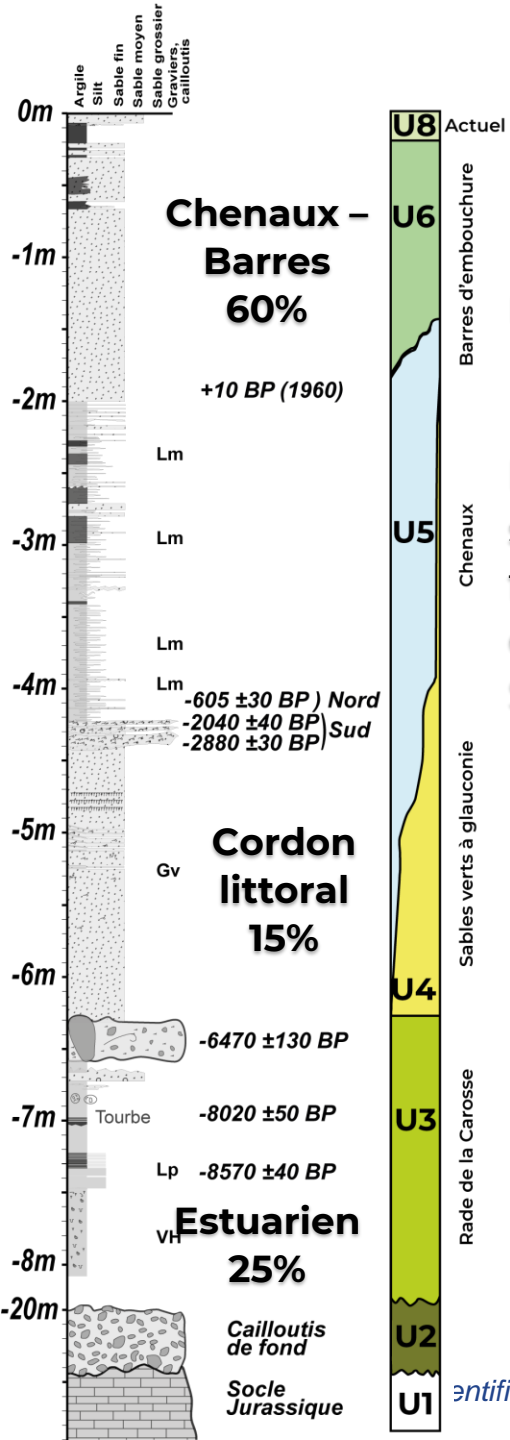


# UN REMPLISSAGE SEDIMENTAIRE

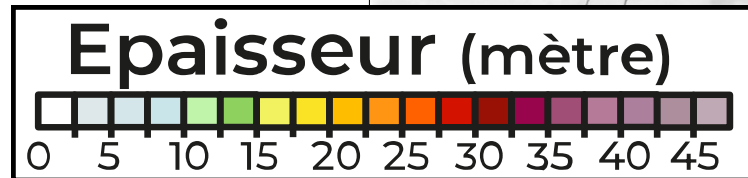
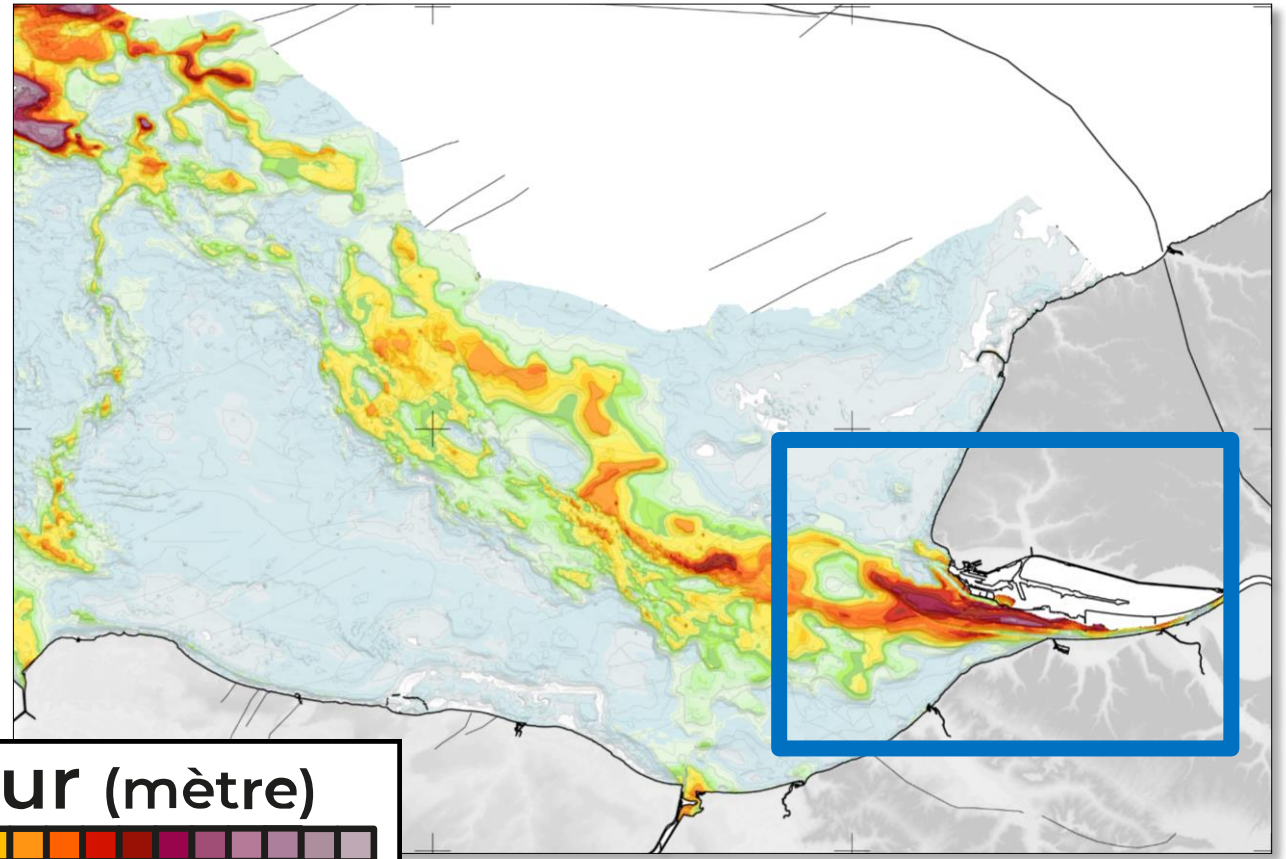
## PARTIELLEMENT CONNU

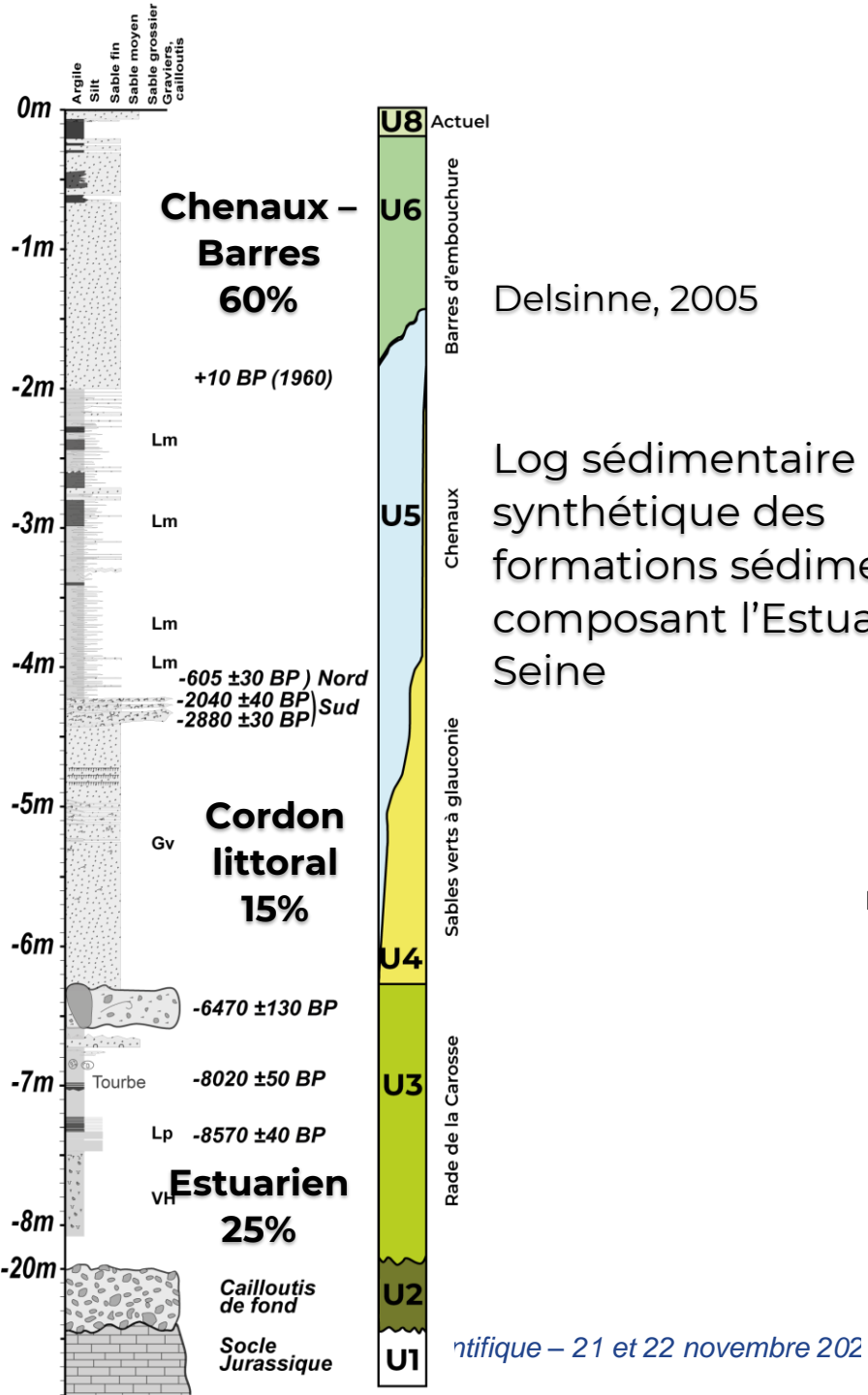
### Evolution générale de la nature des sédiments Holocène

Delsinne, 2005



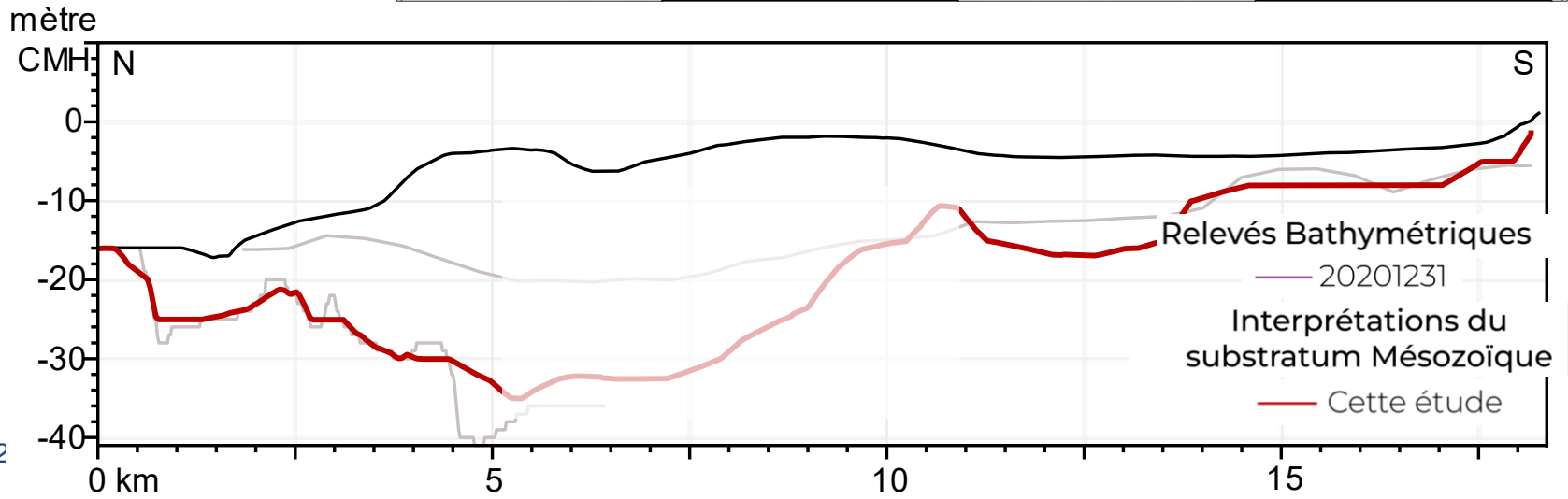
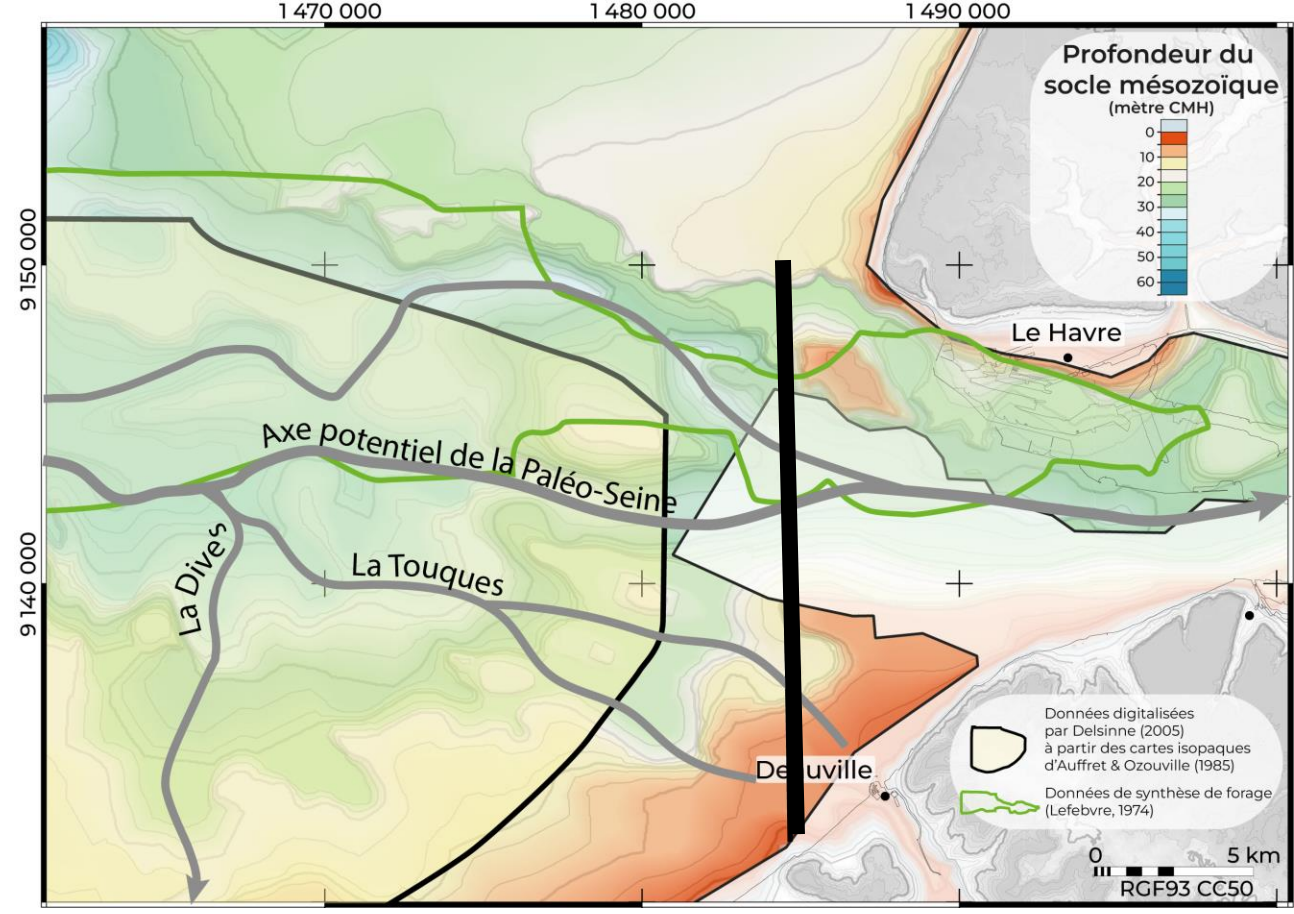
Log sédimentaire synthétique des formations sédimentaires composant l'Estuaire de la Seine

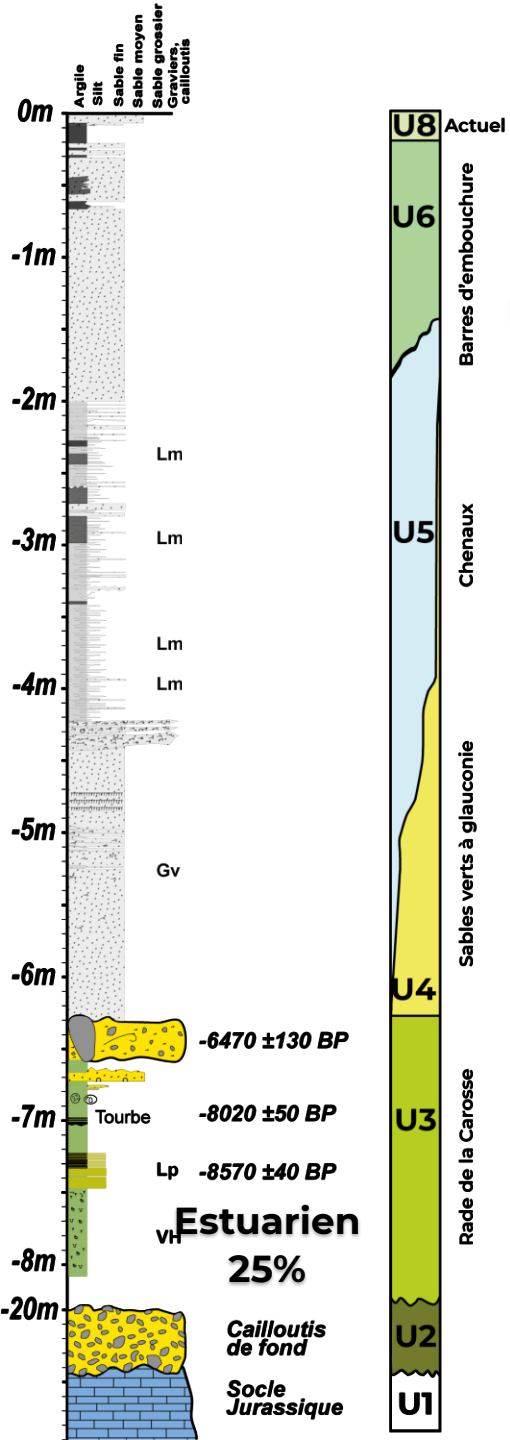




Delsinne, 2005

Log sédimentaire synthétique des formations sédimentaires composant l'Estuaire de la Seine

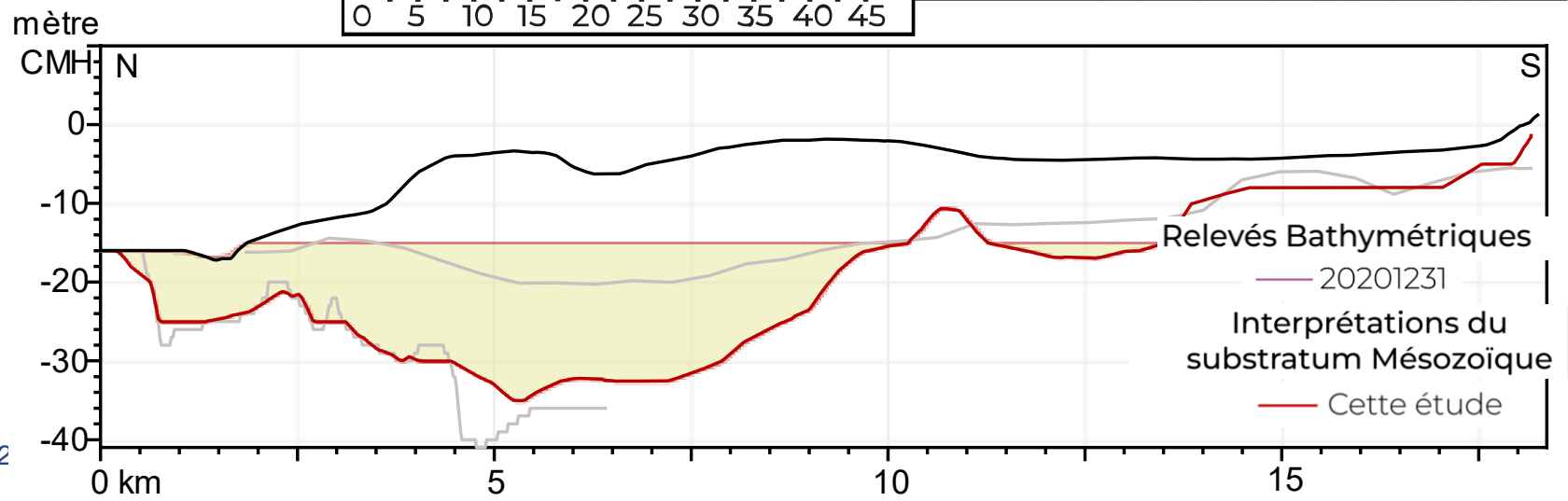
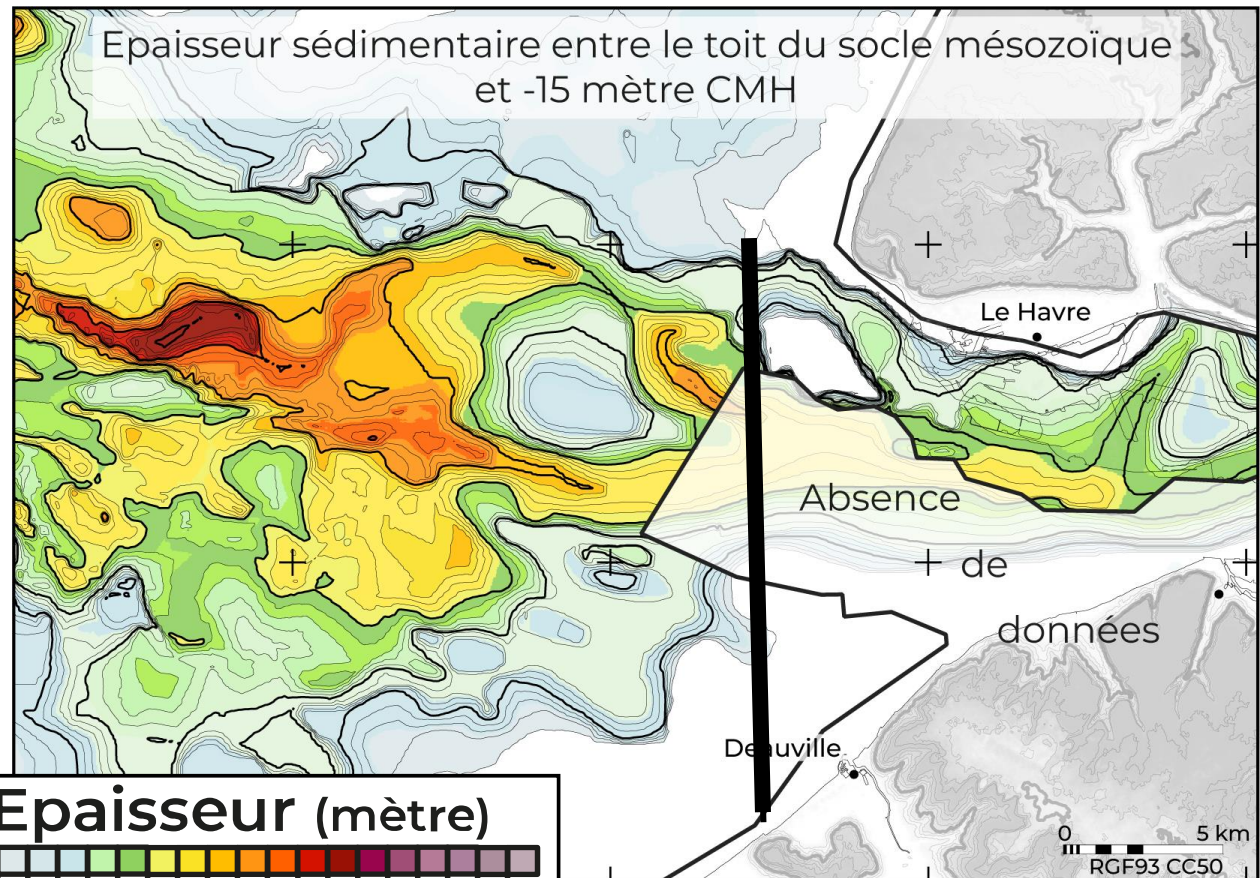


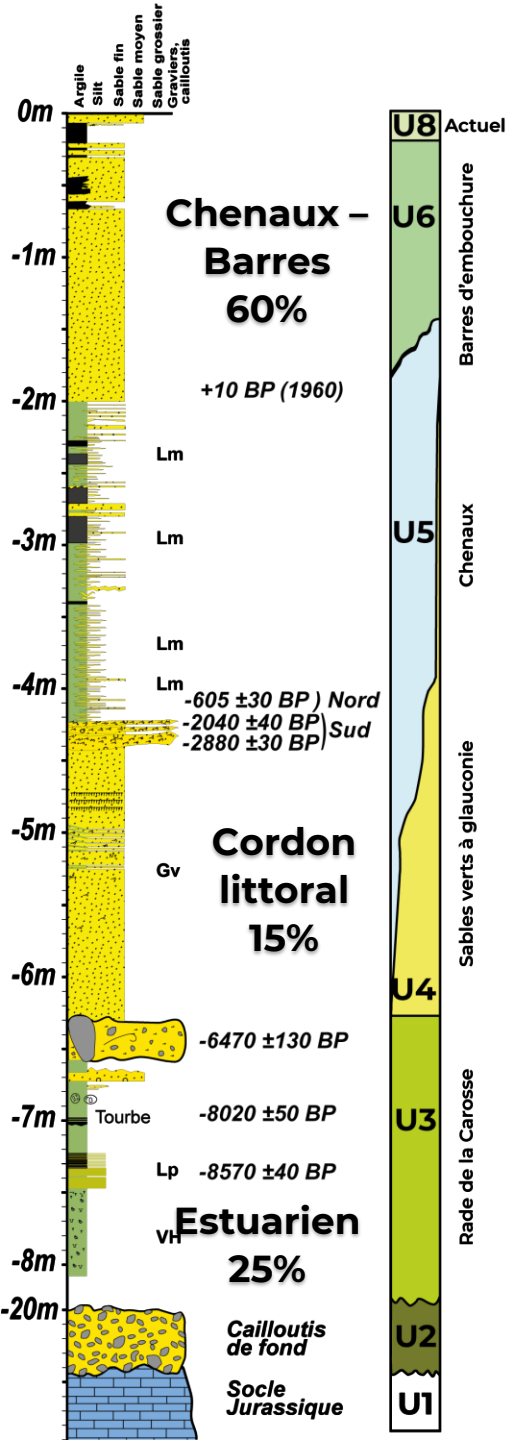


Delsinne, 2005

**Moins de la moitié des sédiments déposés à l'embouchure pourrait être associé à U2/U3**

- 21 et 22 novembre 202

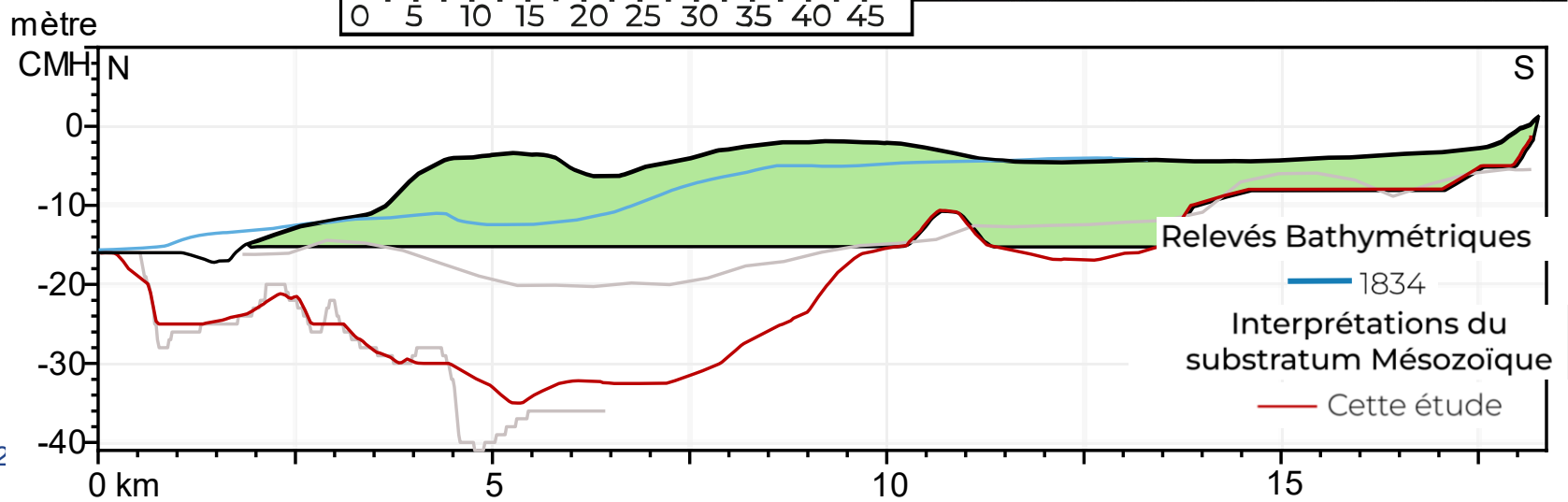
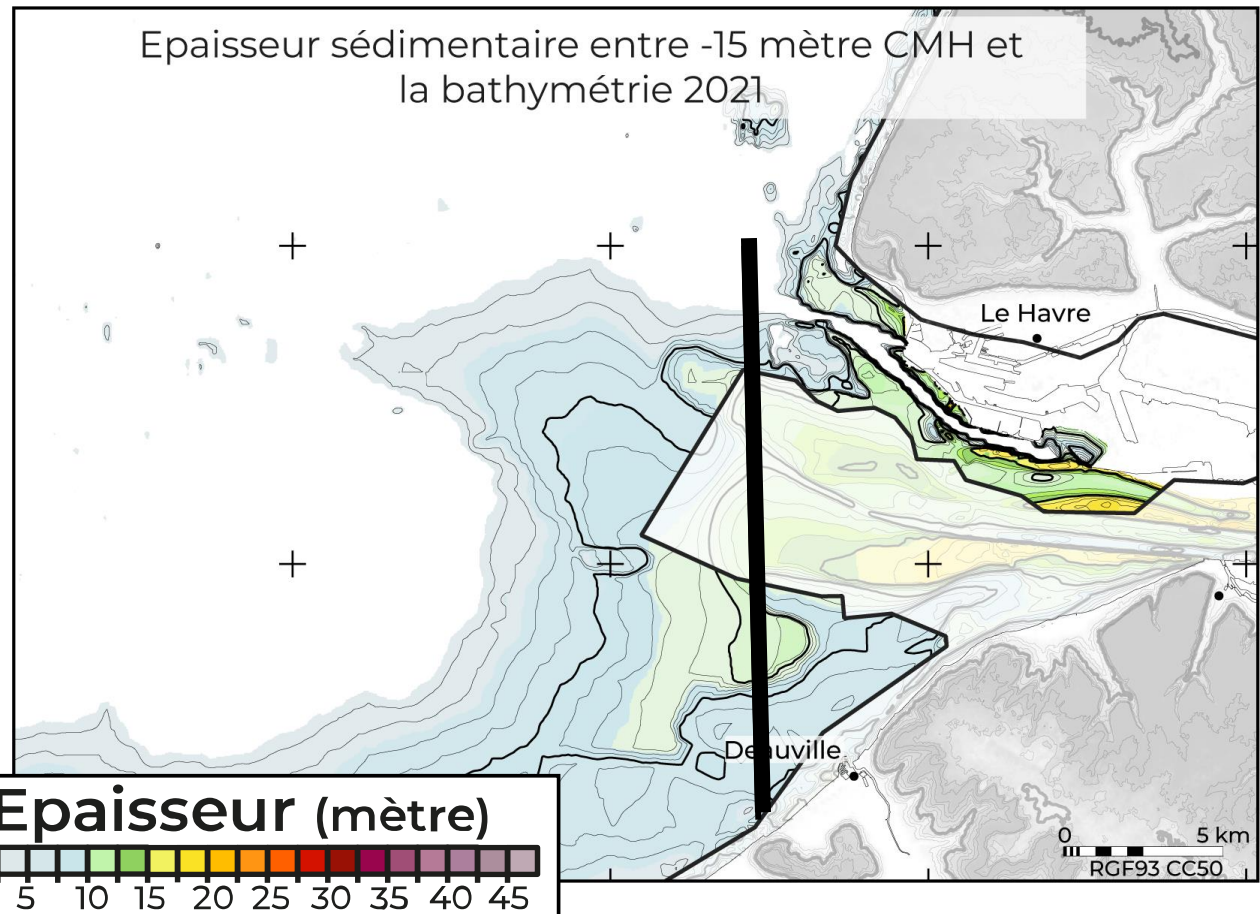




**Forte dynamique post-1834**  
**La partie sud et (centrale ?) du prisme extérieur pourrait être associée à U4/U5**

**Moins de la moitié des sédiments déposés à l'embouchure pourrait être associée à U2/U3**

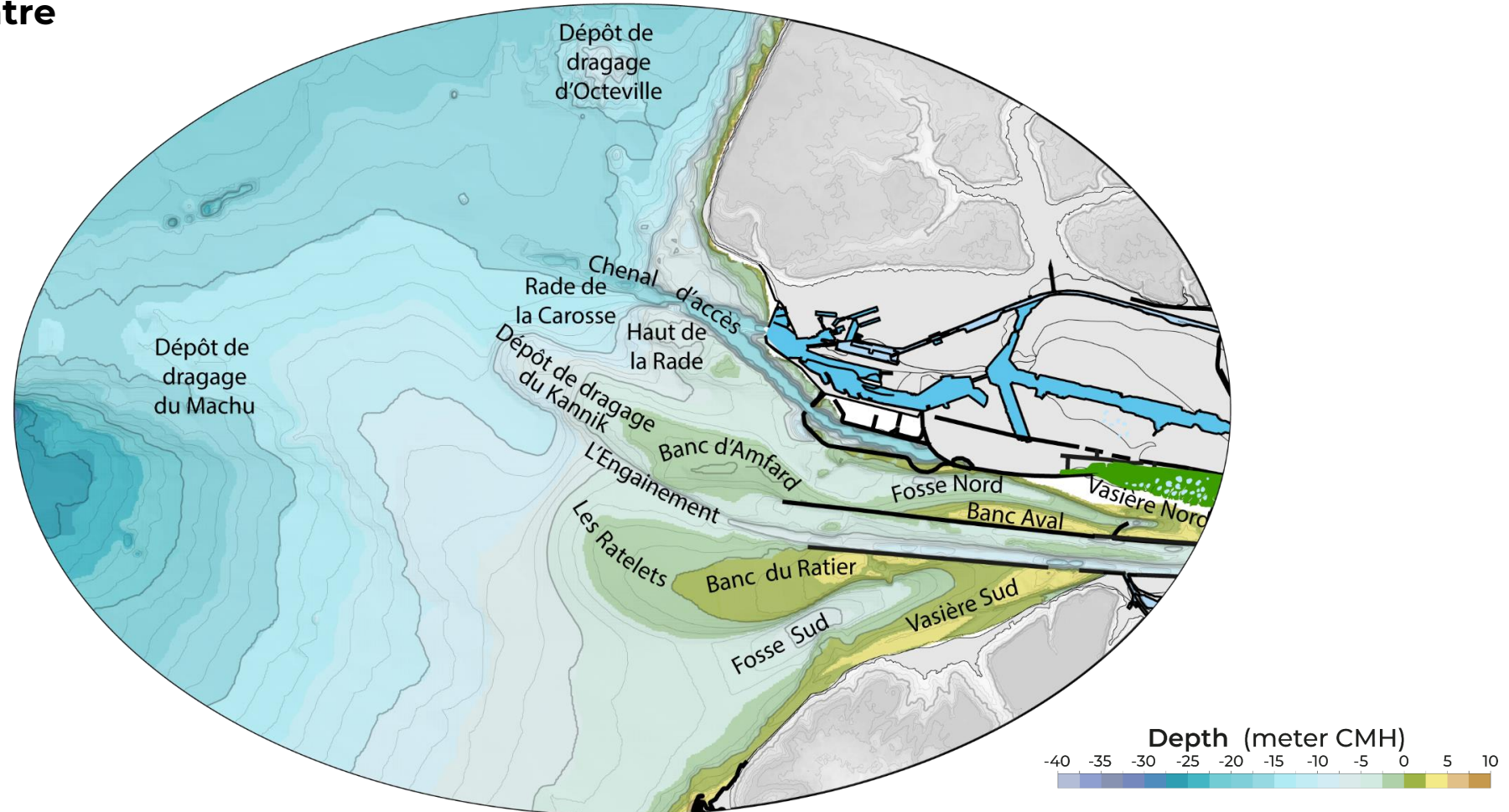
ue – 21 et 22 novembre 202



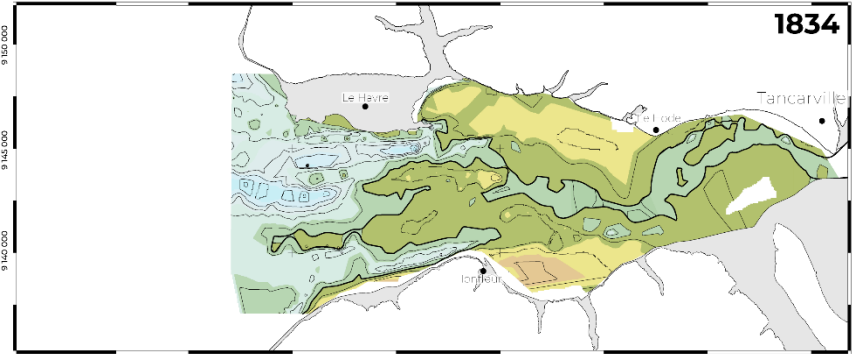
# UNE DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE IMPORTANTE DEPUIS 1834 A L'EMBOUCHURE

## Evolution générale de la morphologie de l'estuaire

35 « Paléo »-cartes entre  
1834 et 2021

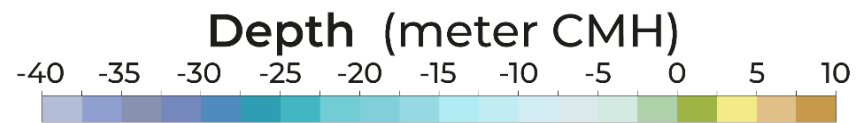




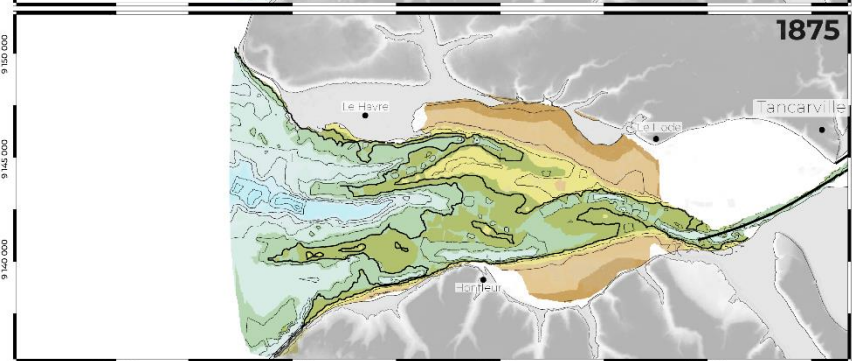
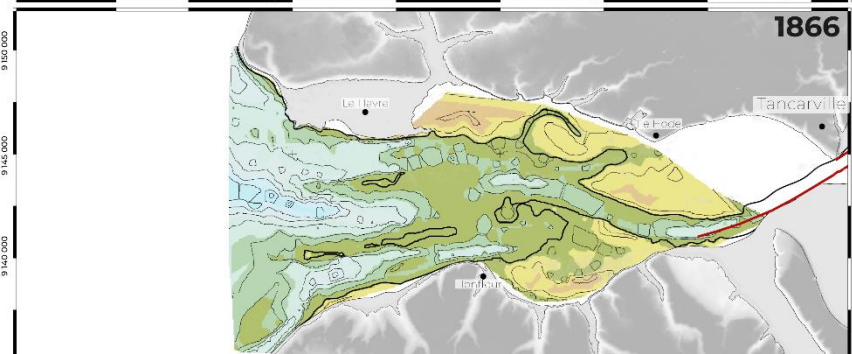
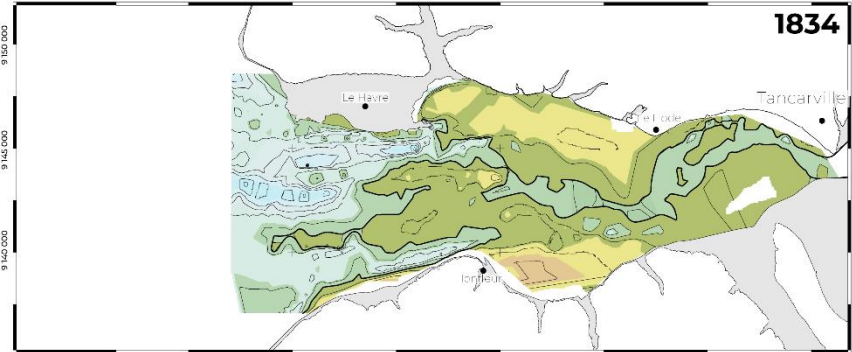


0 5 10 25 km  
RGF93 CC50

**1834-1875: Vaste système divagant**

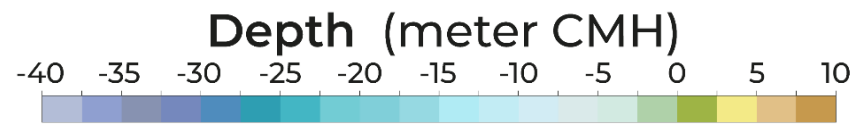


Modified from Delsinne, 2005; Lesourd et al., 2016

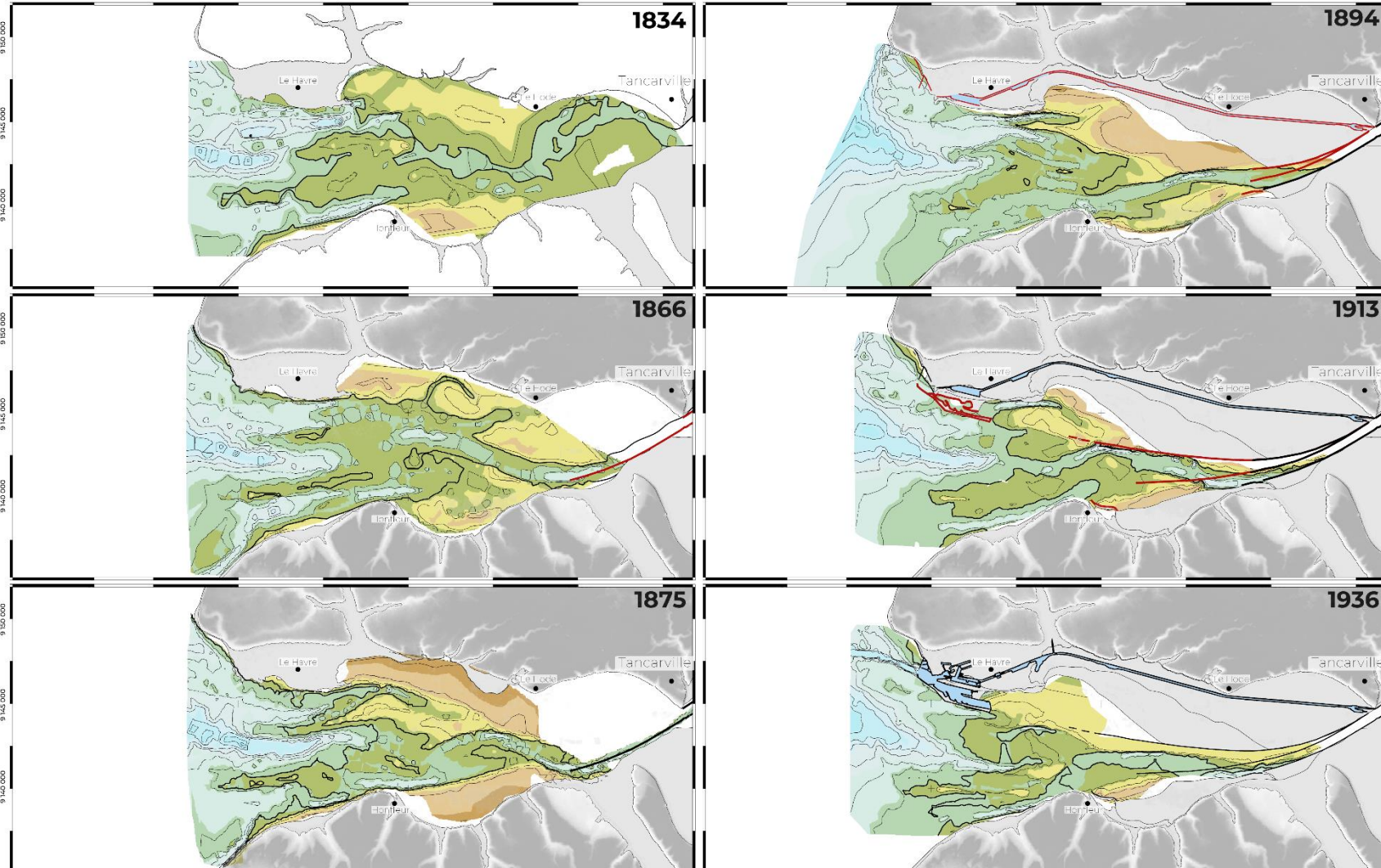


0 5 10 25 km  
RGF93 CC50

**1834-1875: Vaste système divagant**



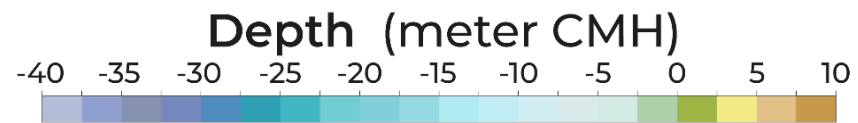
Modified from Delsinne, 2005; Lesourd et al., 2016



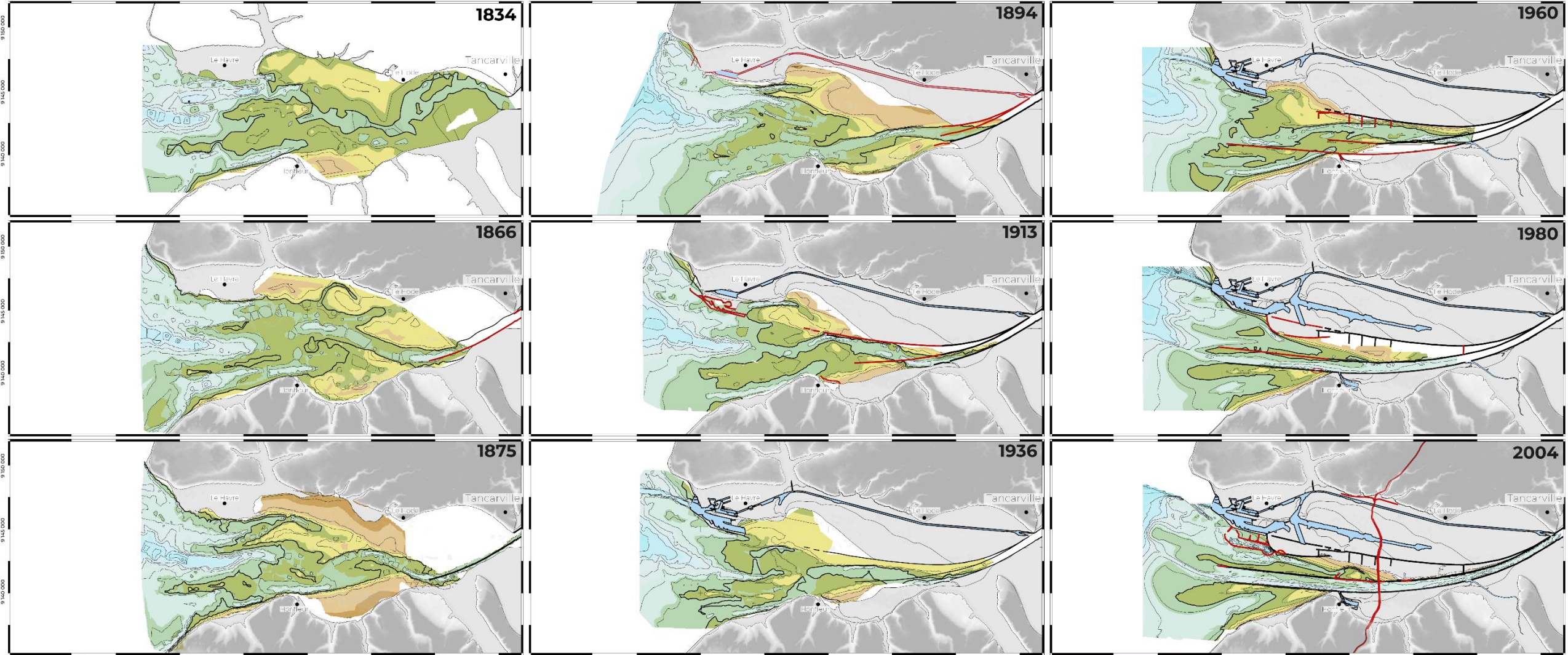
1834-1875: Vaste système divagant

**1875-1960: Développement des zones supratidales et comblement latéral du système**

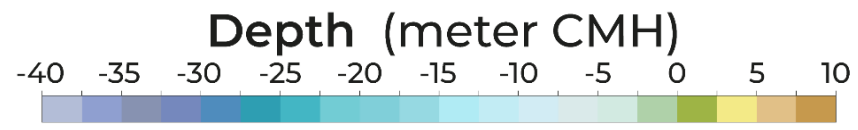
0 5 10 25 km  
RGF93 CC50



Modified from Delsinne, 2005; Lesourd et al., 2016



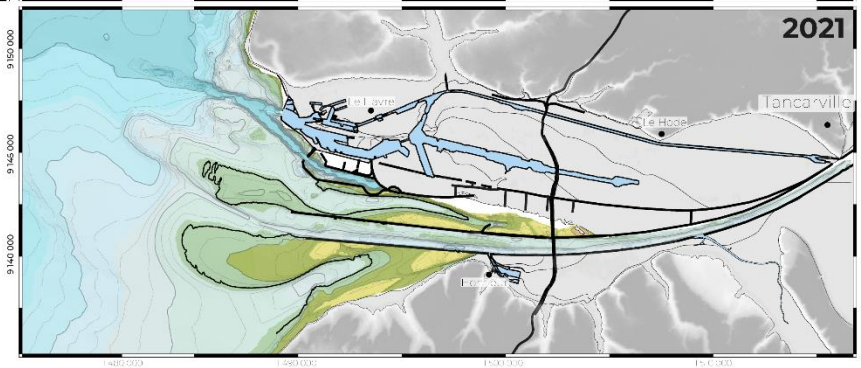
0 5 10 25 km  
RGF93 CC50



1834-1875: Vaste système divagant

1875-1960: Développement des zones supratidales et comblement latéral du système

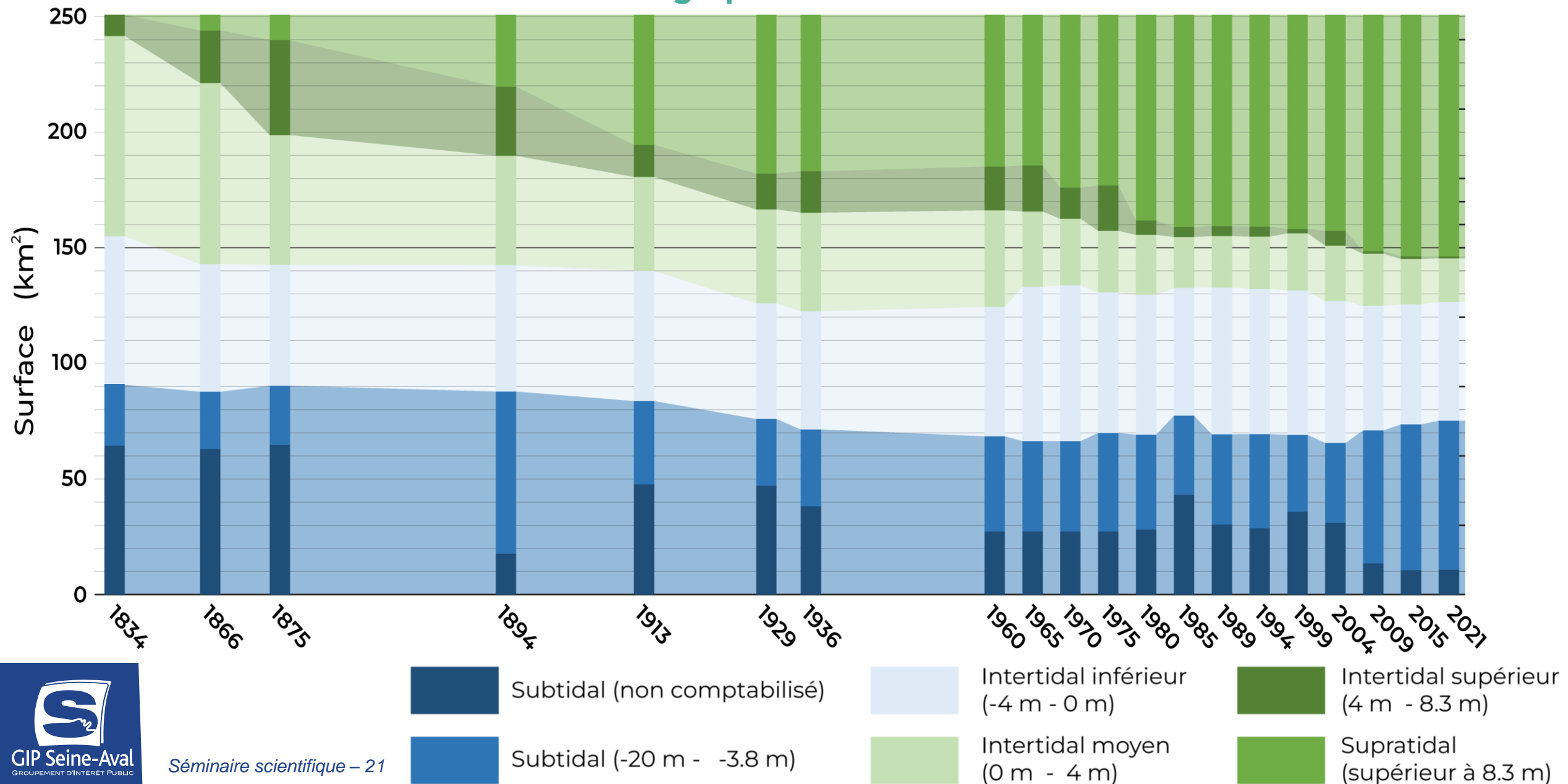
**1960-2021: Morphologie symétrique & progression rapide (50m/an)**



# Evolution en km<sup>2</sup> des domaines intertidaux depuis 1834

Estimation sur la base de la cartographie de 1834

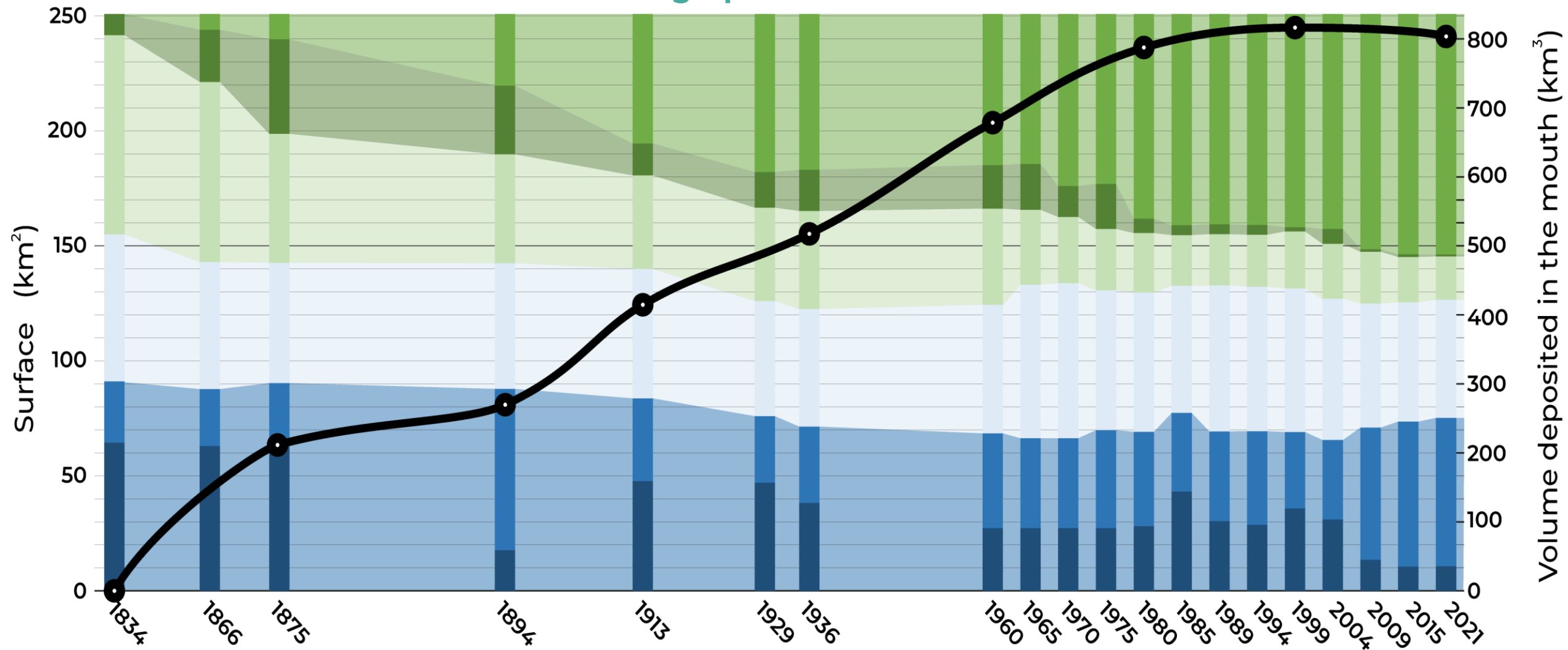
D'après Delsinne, 2005



# Evolution des volumes sédimentaires depuis 1834

Estimation sur la base de la cartographie de 1834

D'après Delsinne, 2005

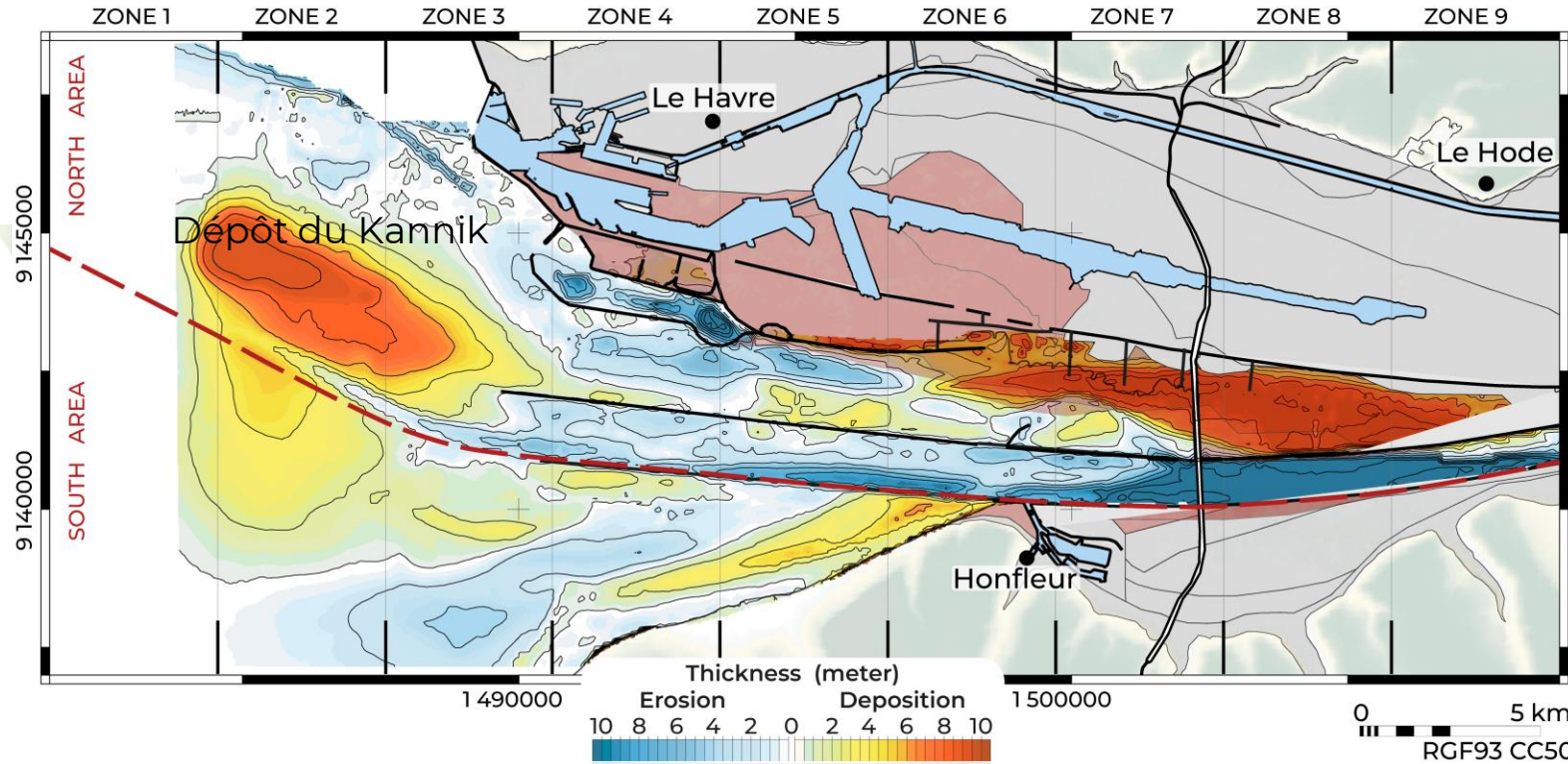
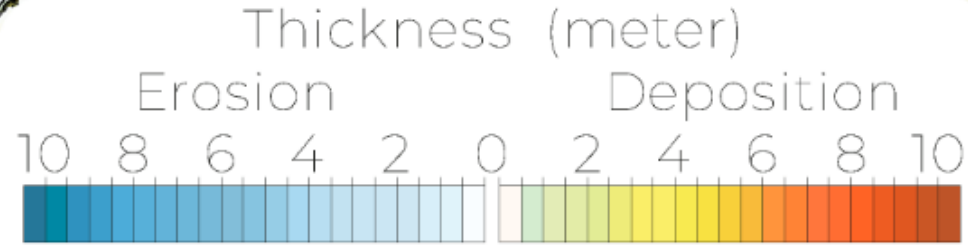


**Infilling (+817 .10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)**

**Stability**

# Répartition des volumes sédimentaires depuis 1834

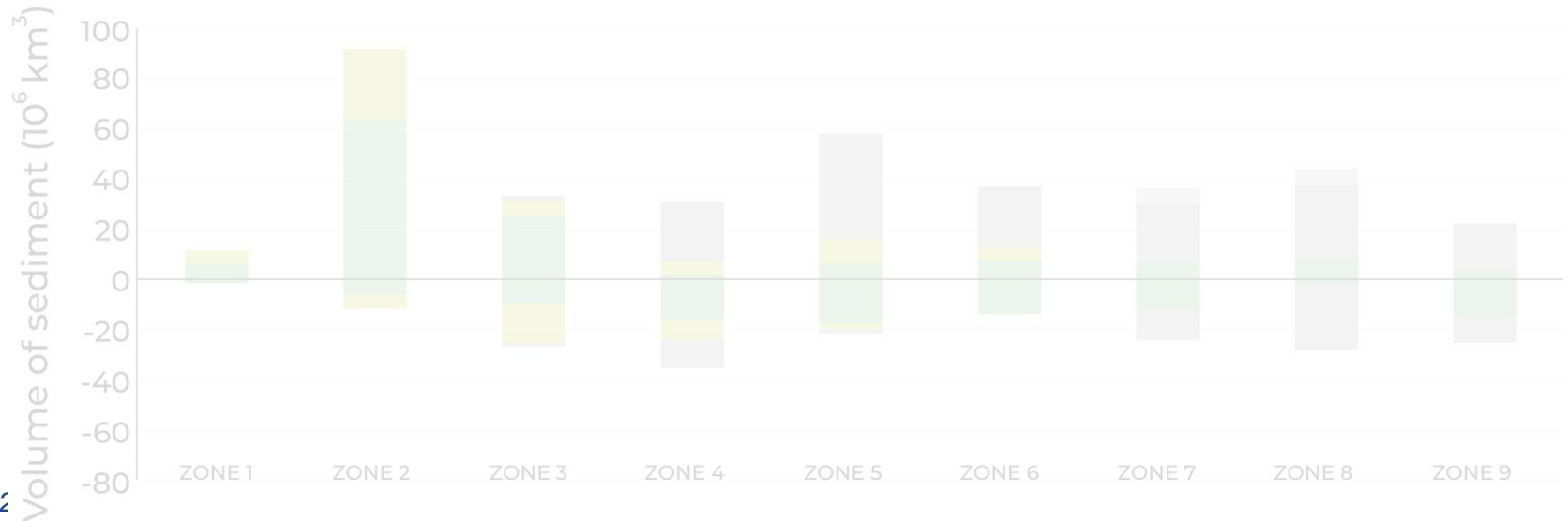
## 2021 - 1960



1834-1913: Comblement des futurs Polders et aménagement à l'est du chenal principal

1913-1960: Migration vers l'Ouest du « dépocentre »

**1960-2021: Aménagement du port du Havre et dépôt du Kannik**  
**Bilan à l'érosion**



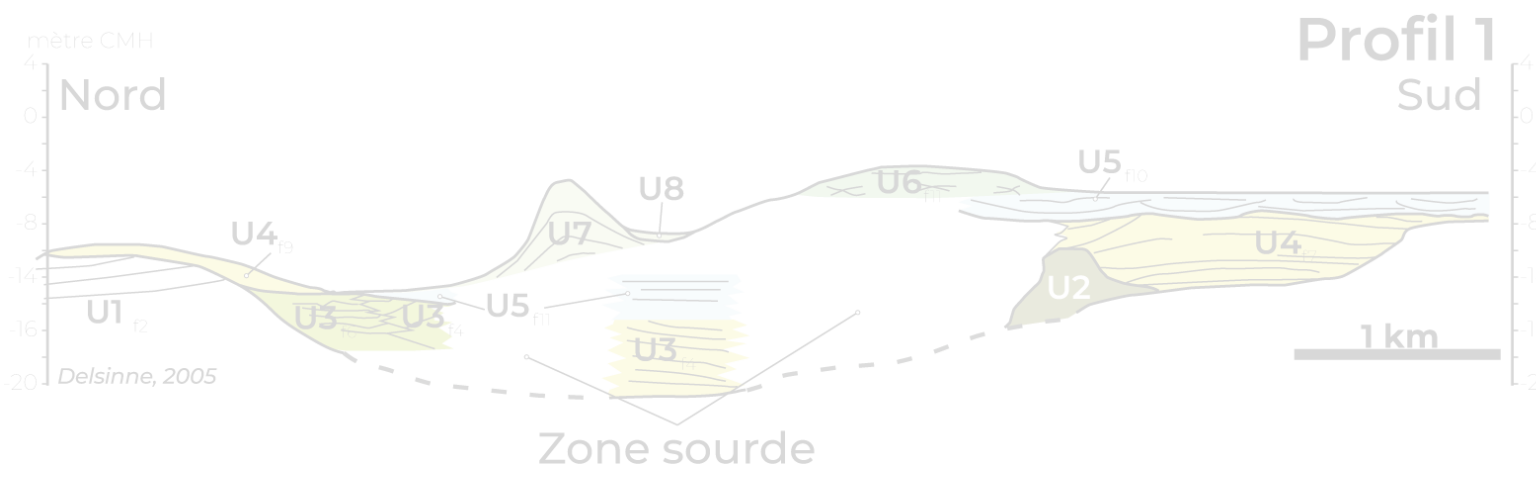
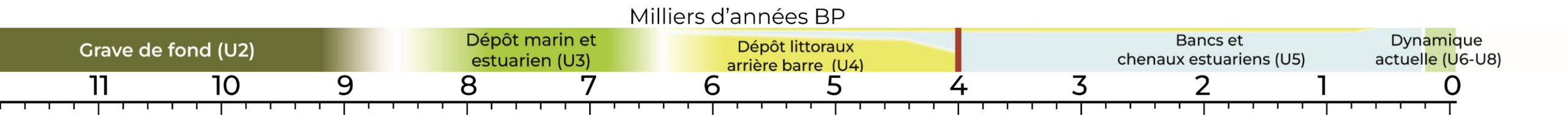
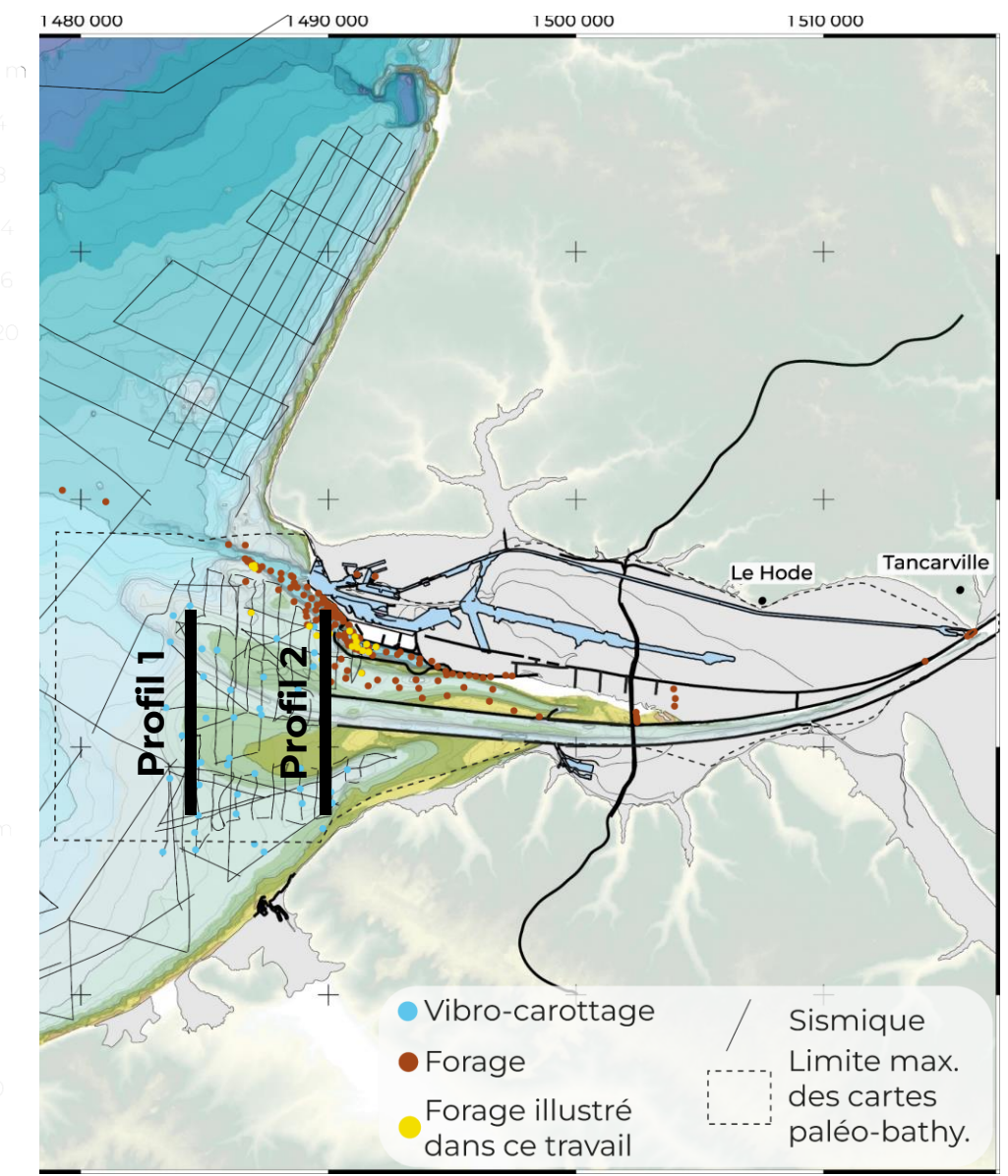
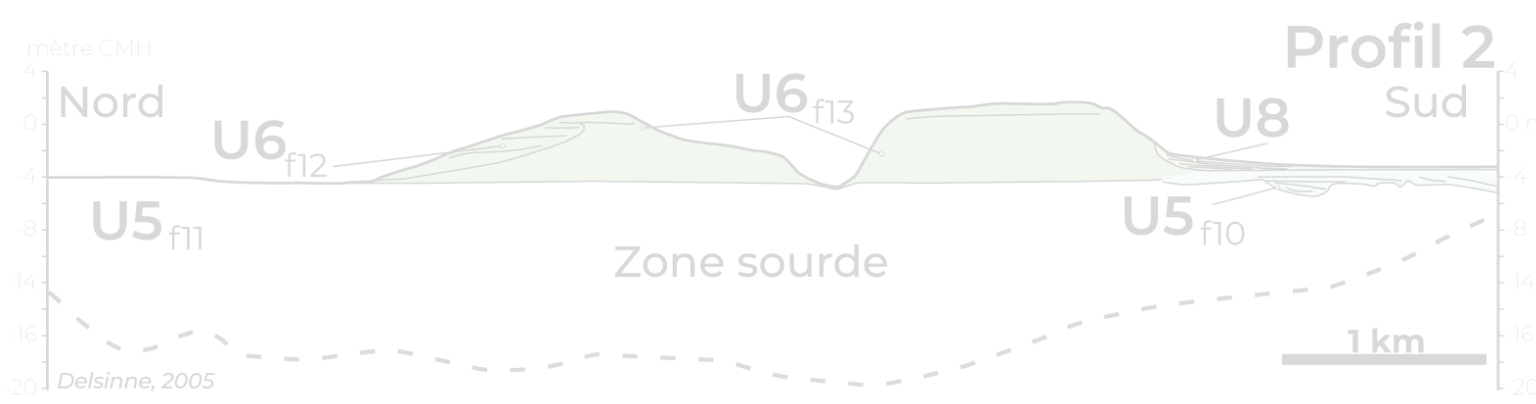
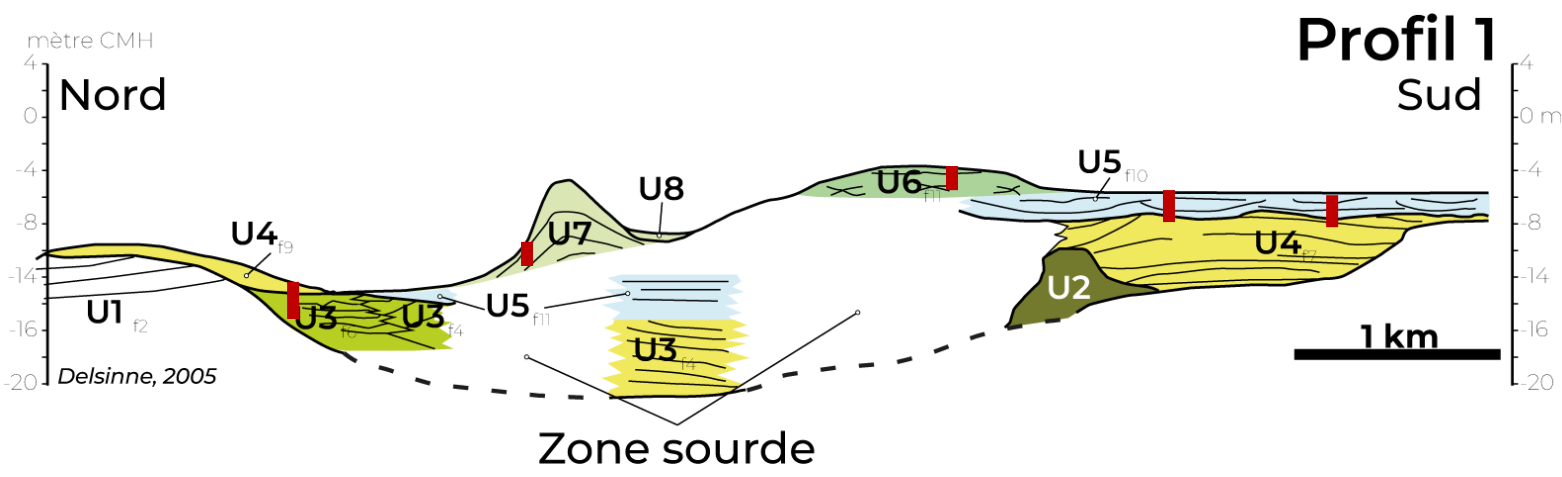


Illustration des relations géométriques entre unités sédimentaires  
(Delsinne, 2005 ; Tessier et al., 2010)





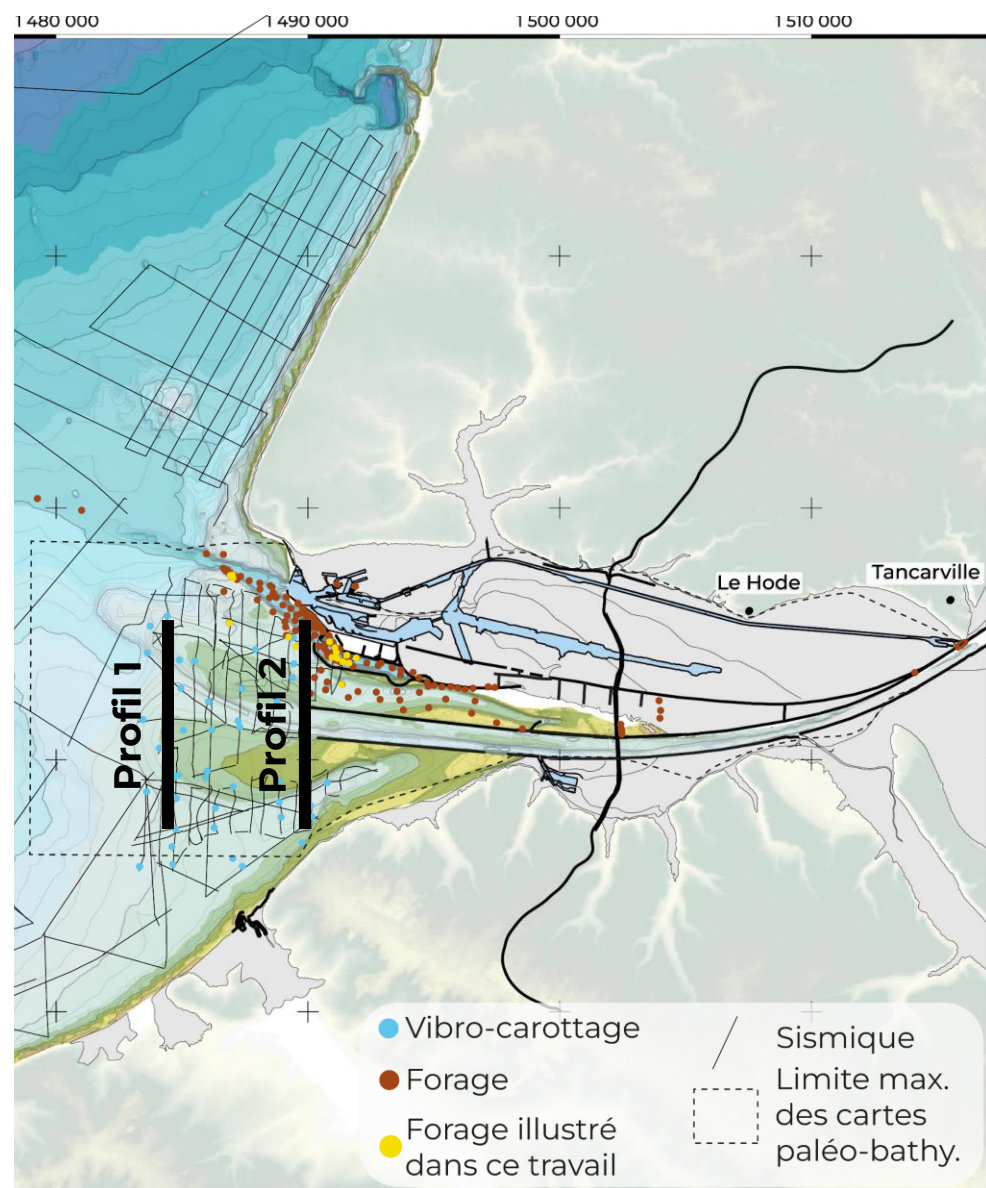
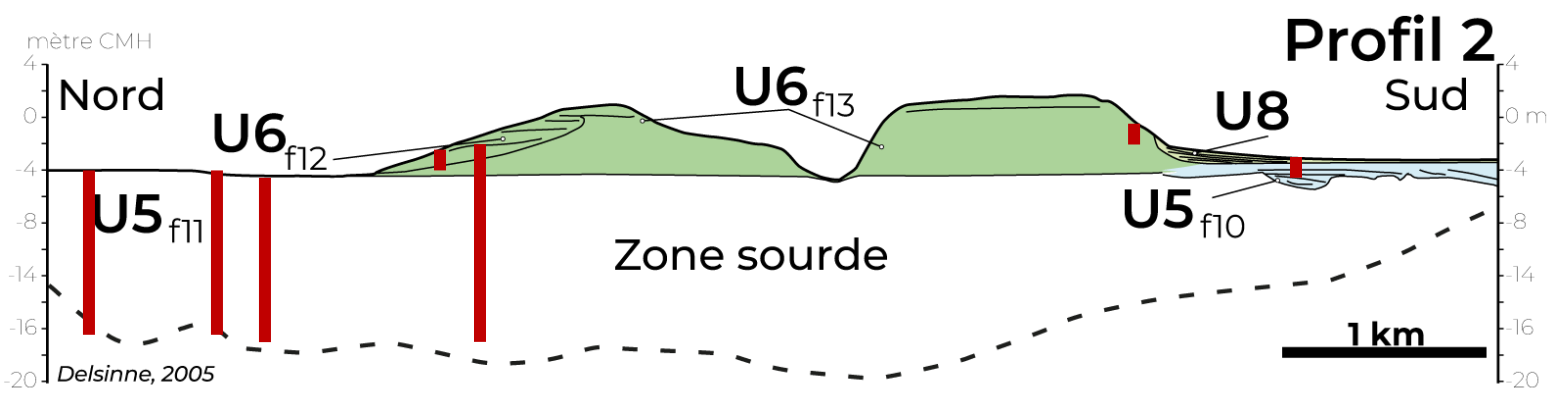


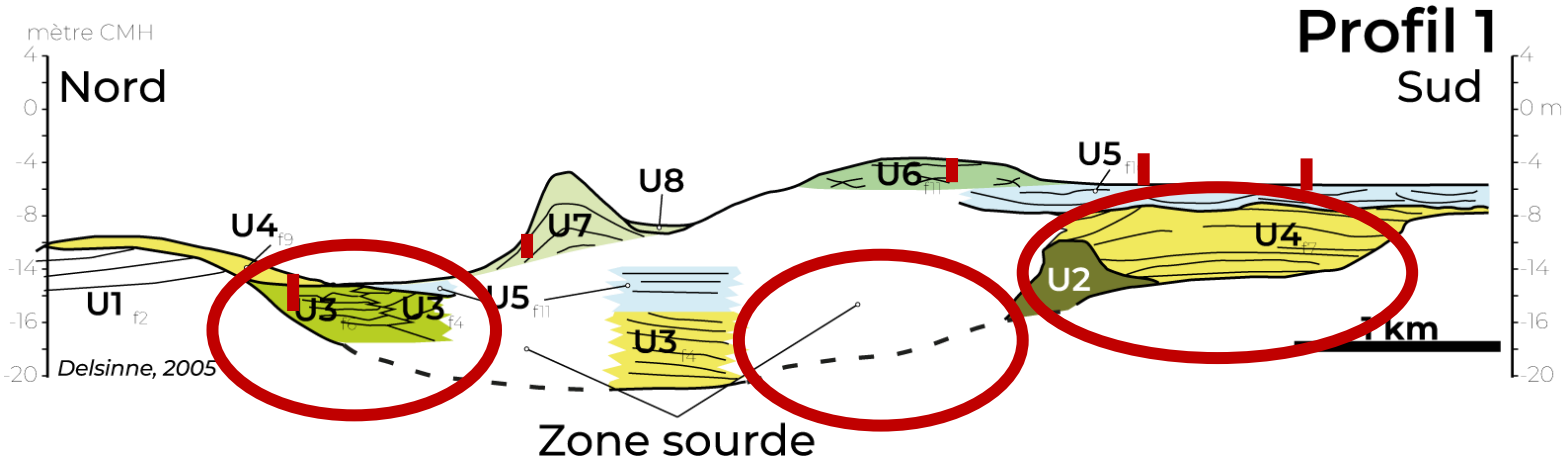
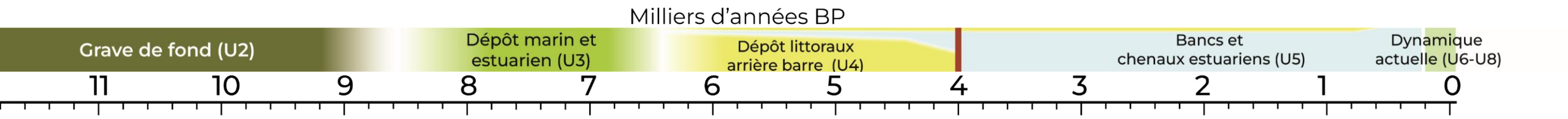


### Illustration des relations géométriques entre unités sédimentaires (Delsinne, 2005)

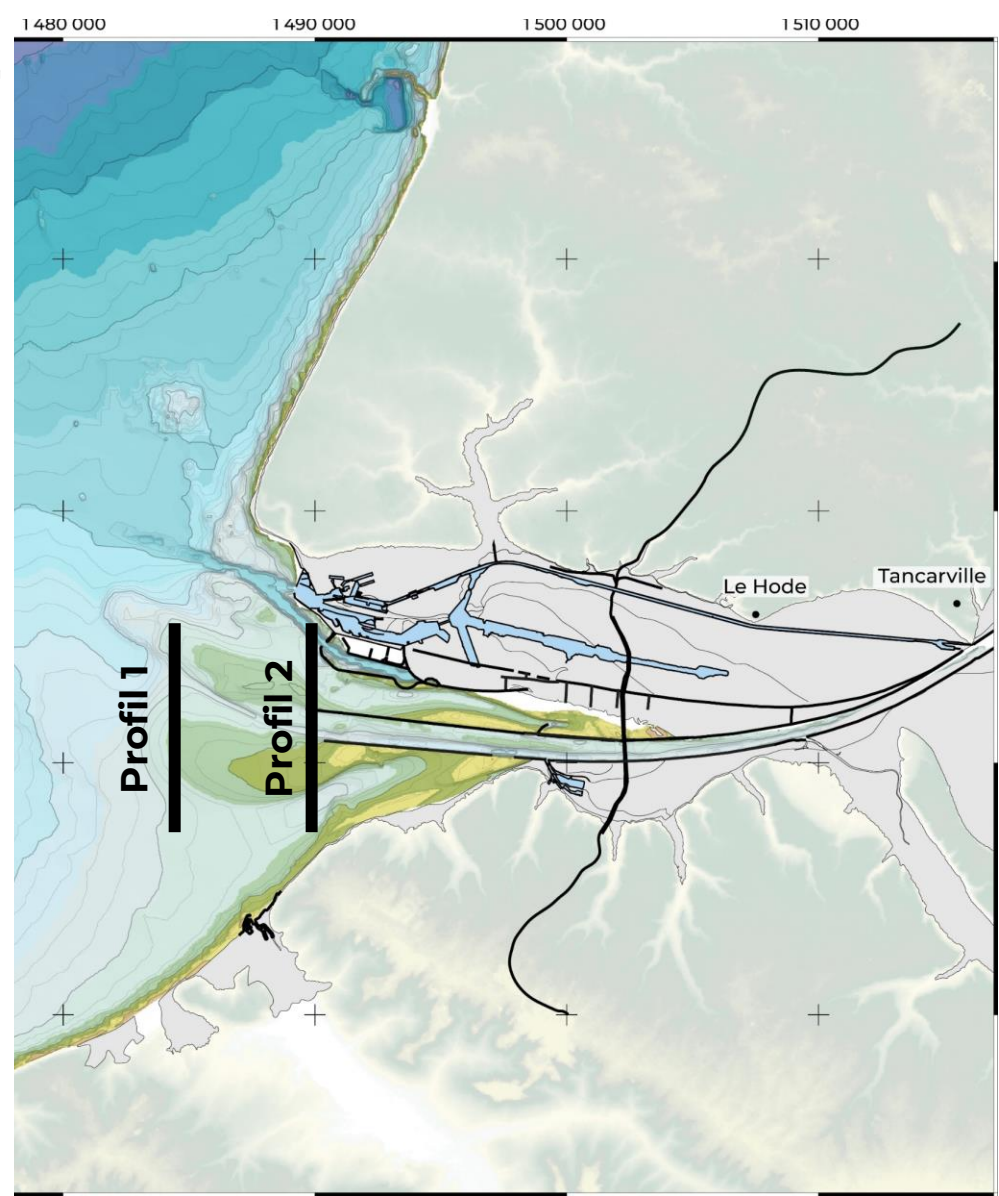
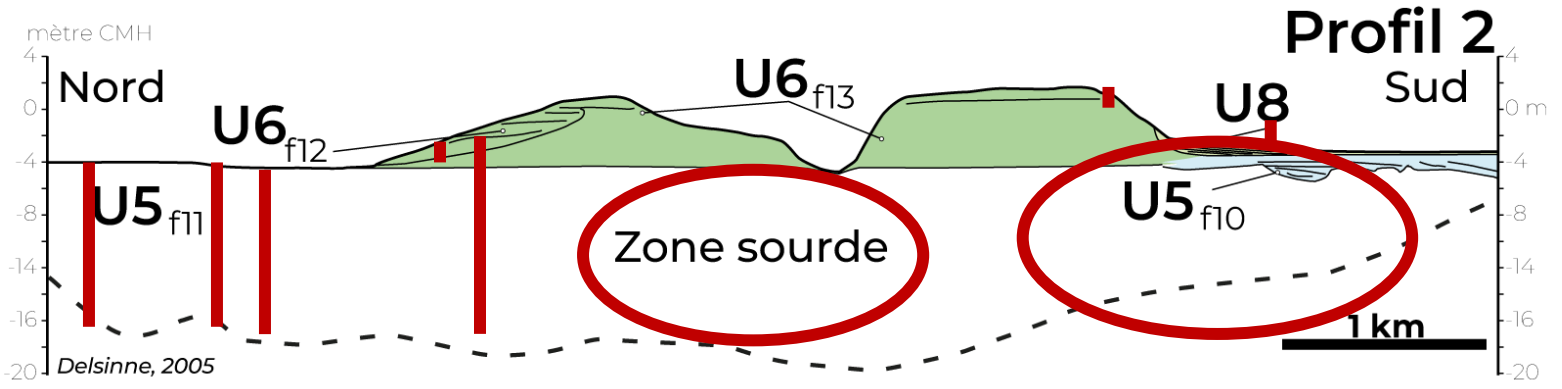
Relations et natures sédim. des unités supérieures cartographiées – non contraintes vers le centre du prisme

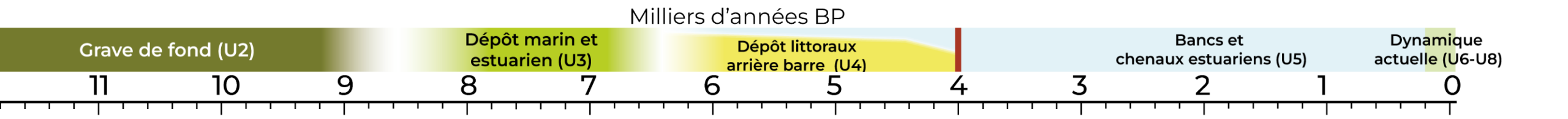
Seule la bordure centre-nord enregistre la base du socle mésozoïque





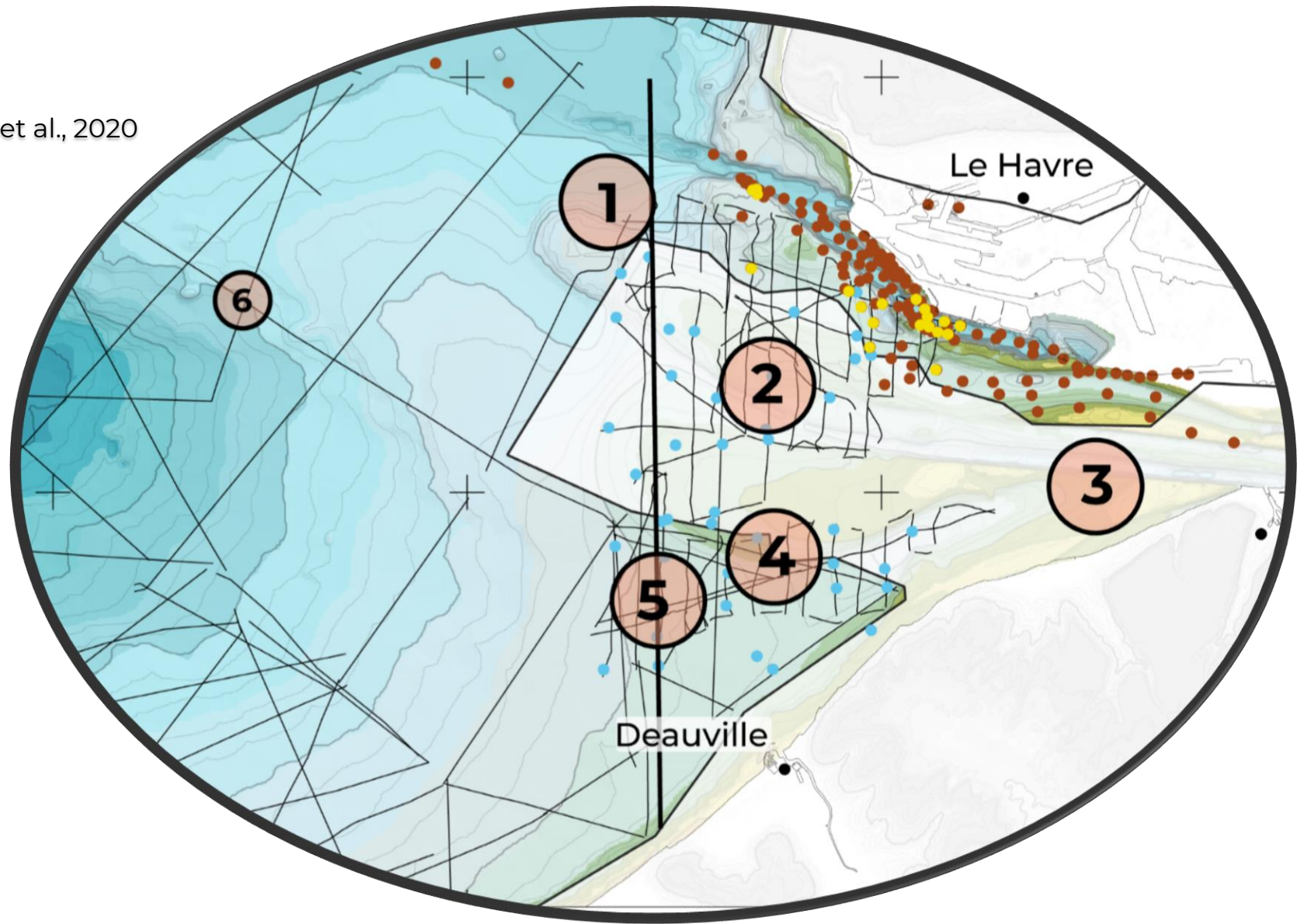
**Zones cibles pour mieux apprehender la nature du remplissage sédimentaire ET sa géométrie**

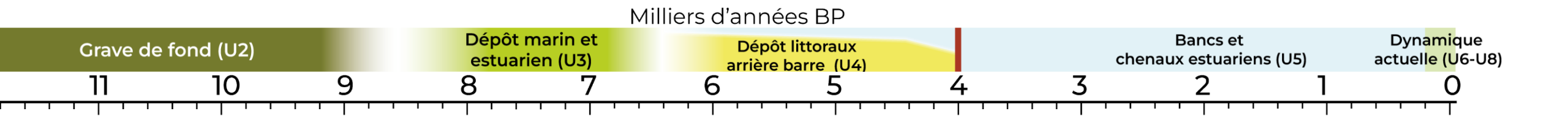




*Affinage des modélisations HMS*

Lemoine et al., 2020

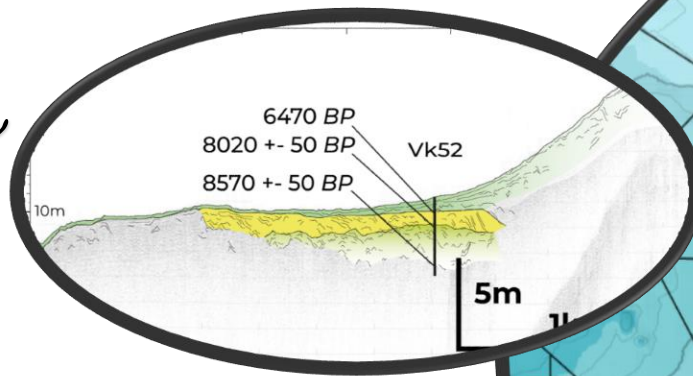




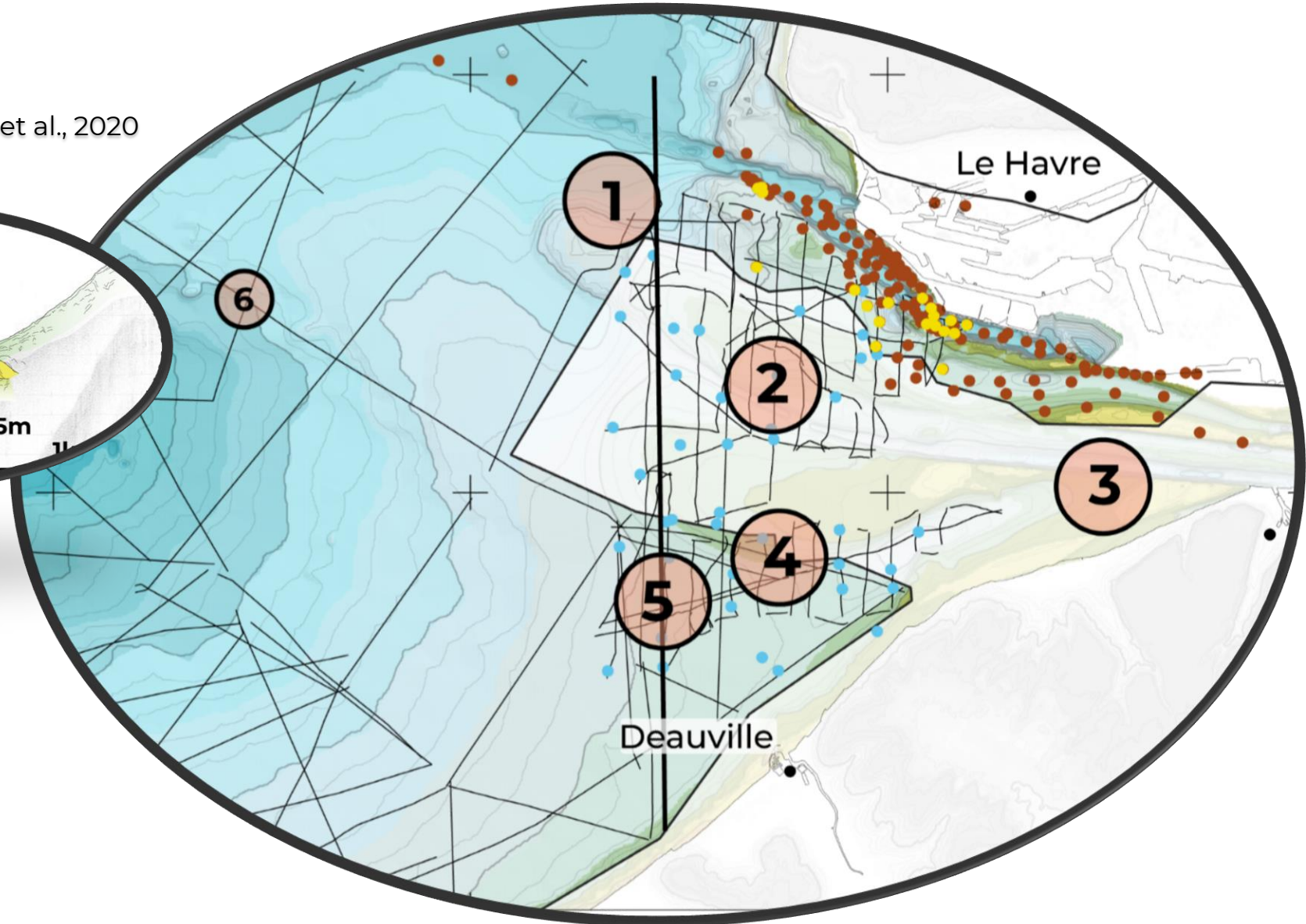
*Affinage des modélisations HMS*

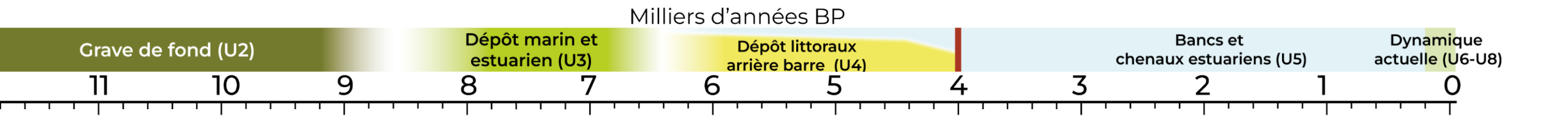
Lemoine et al., 2020

*Etude haute résolution du climat à l'Holocène*



Tessier et al., 2010, 2012

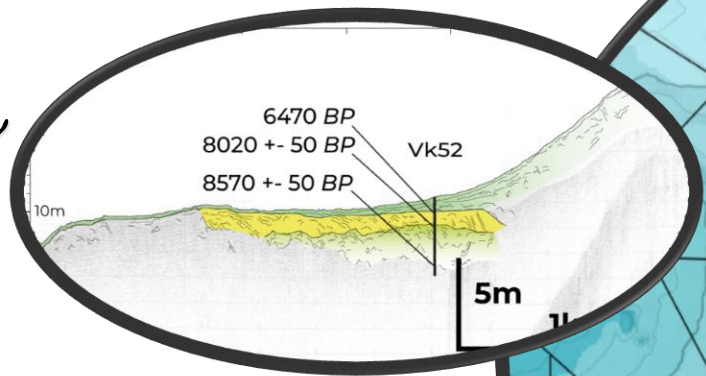




**Affinage des modélisations HMS**

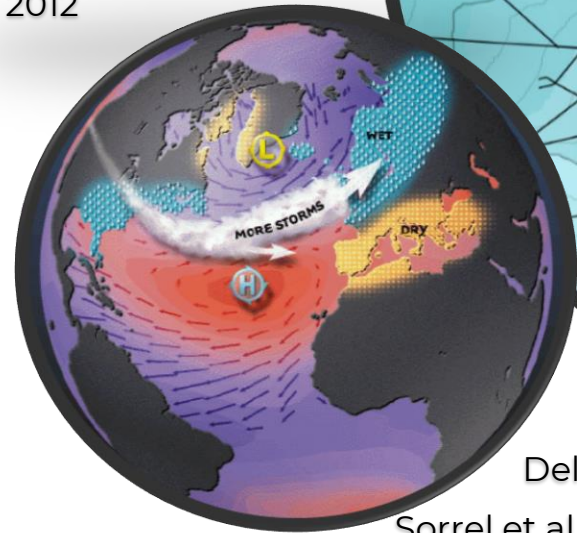
Lemoine et al., 2020

**Etude haute résolution du climat à l'Holocène**



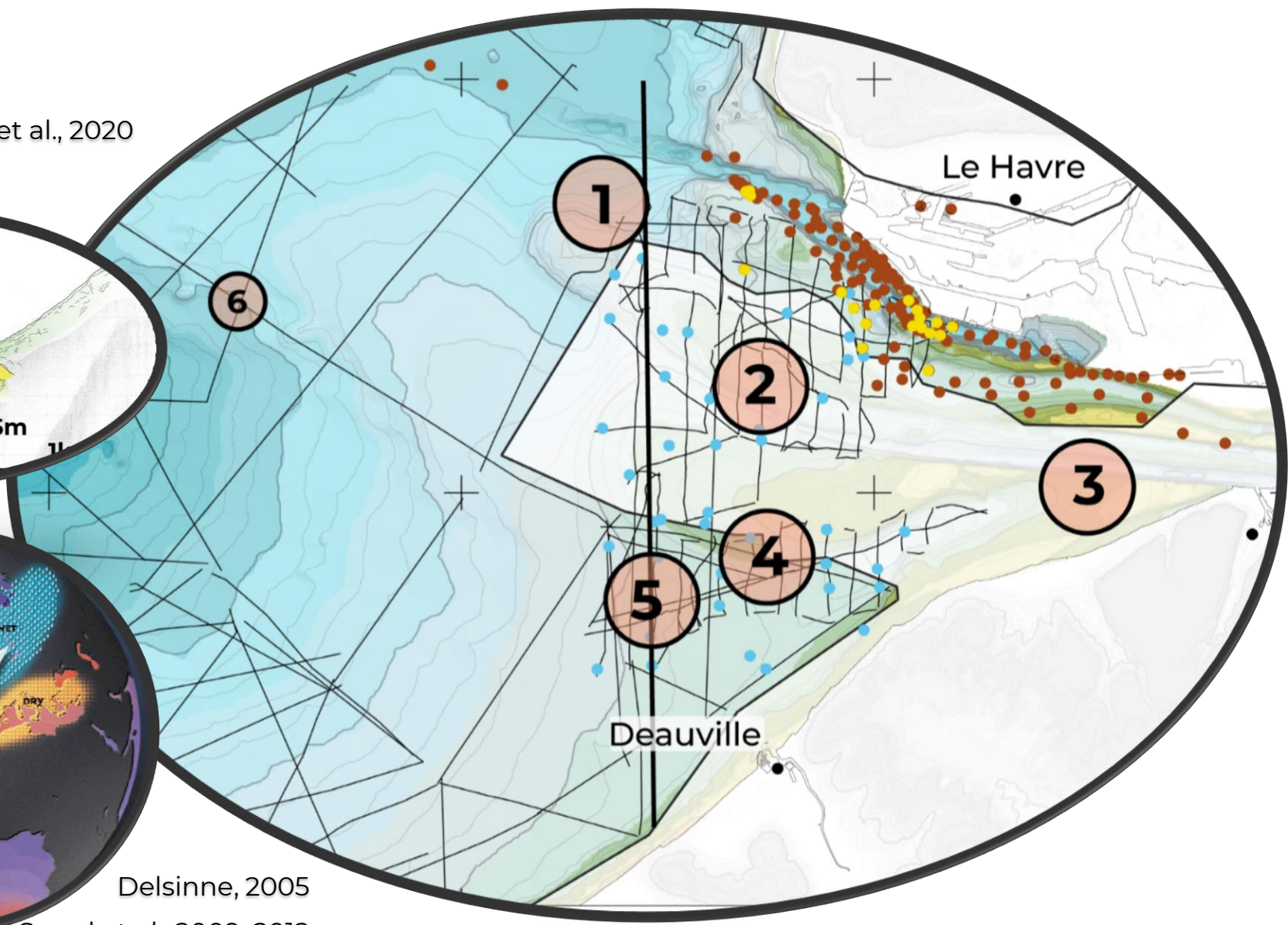
Tessier et al., 2010, 2012

**Fréquence et impact des tempêtes passées (Oscillation Nord Atlantique)**



Delsinne, 2005

Sorrel et al., 2009, 2012



**Tempête  
Ciara  
(port du Havre)**

**Merci  
Pour votre  
Attention!**



@Wermer Le Doaré  
(TanDeMM)

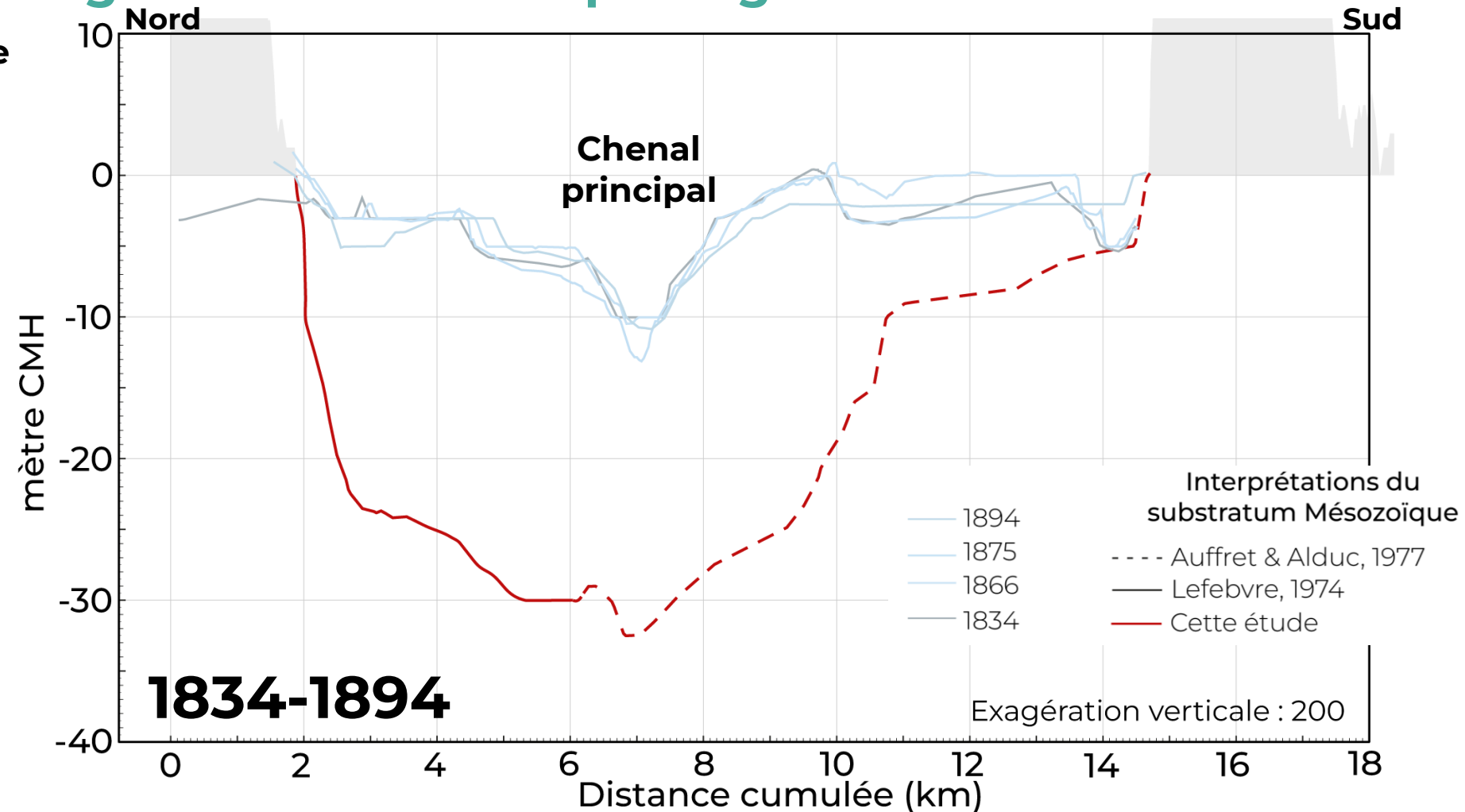
Séminaire scientifique – 21 et 22 novembre 2022



# UNE DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE IMPORTANTE DEPUIS 1834 A L'EMBOUCHURE

## Evolution générale de la morphologie de l'estuaire

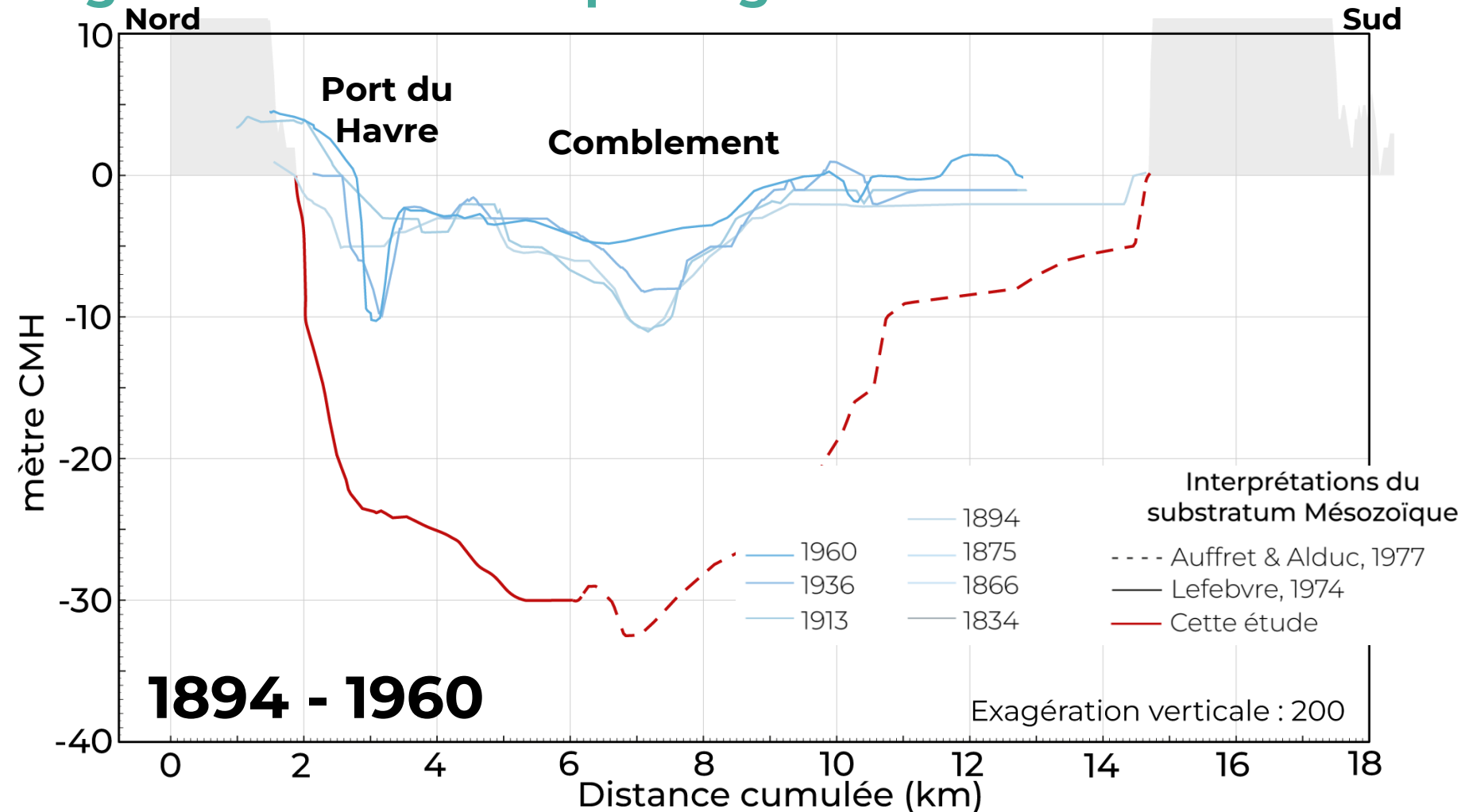
35 Paléo-cartes entre 1834 et 2021



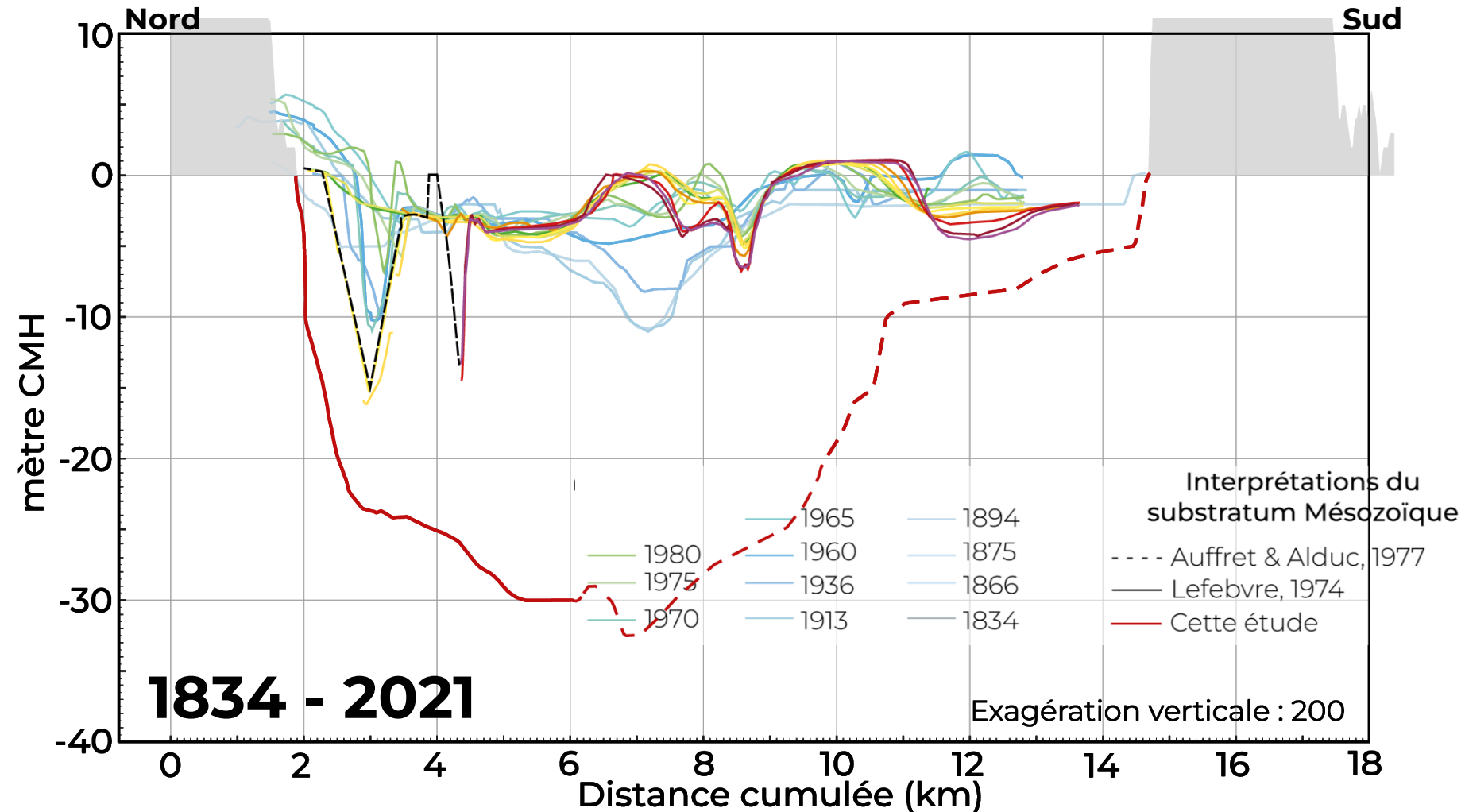


# UNE DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE IMPORTANTE DEPUIS 1834 A L'EMBOUCHURE

## Evolution générale de la morphologie de l'estuaire

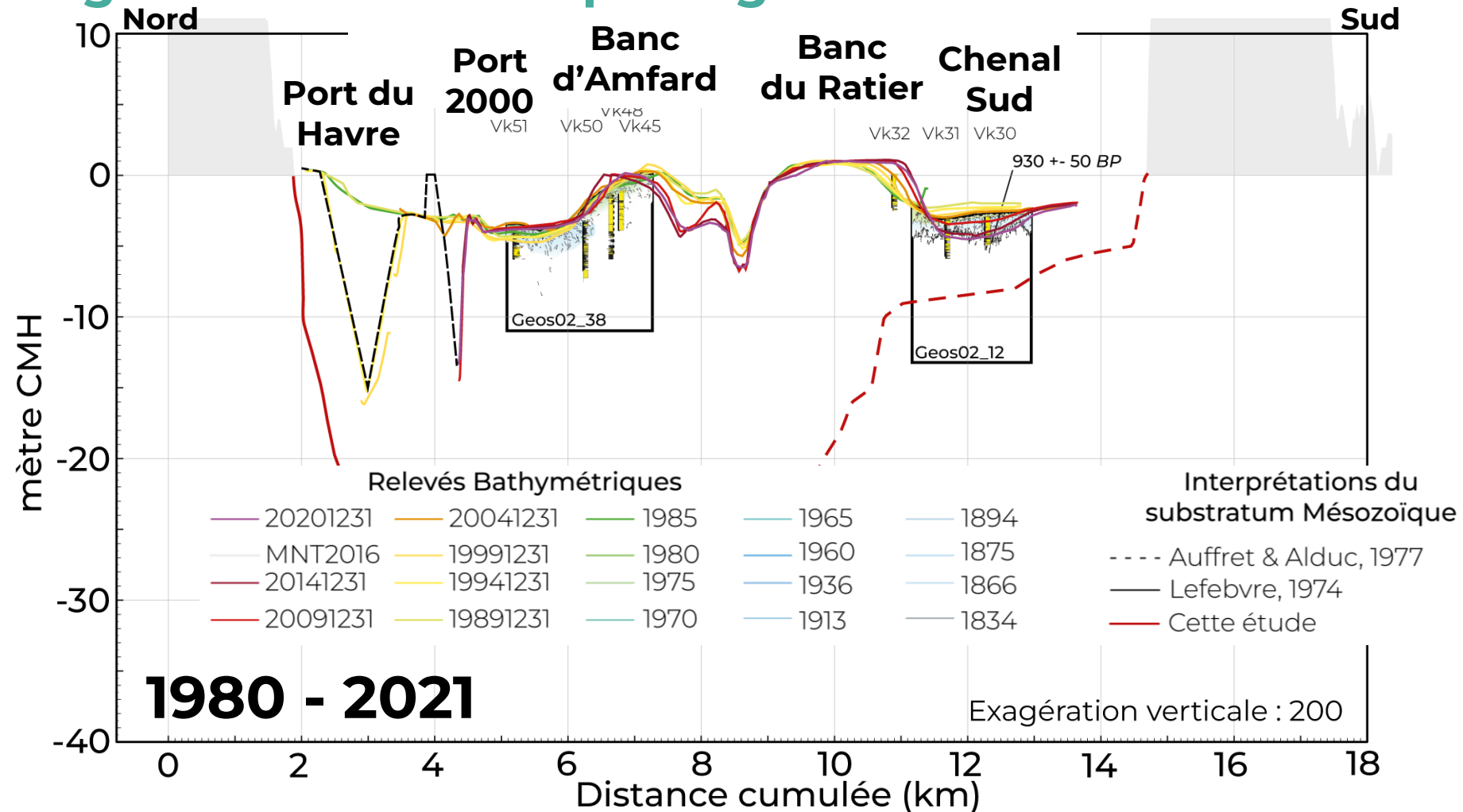


# UNE DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE IMPORTANTE DEPUIS 1834 A L'EMBOUCHURE



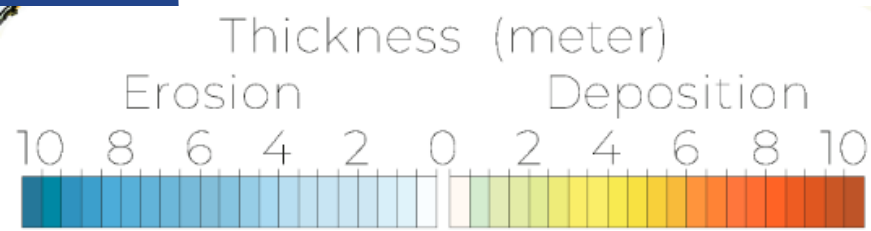
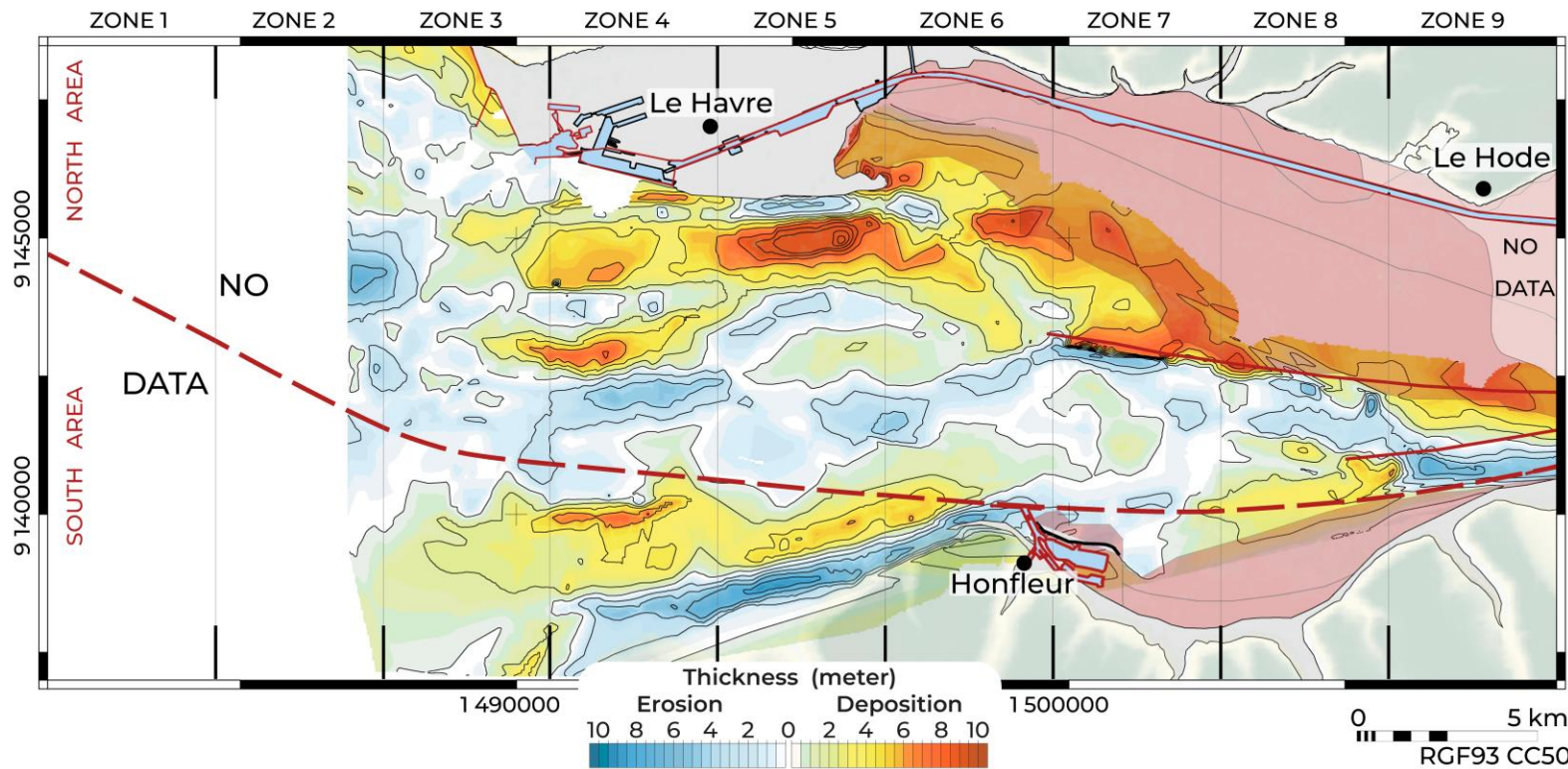
# UNE DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE IMPORTANTE DEPUIS 1834 A L'EMBOUCHURE

## Evolution générale de la morphologie de l'estuaire



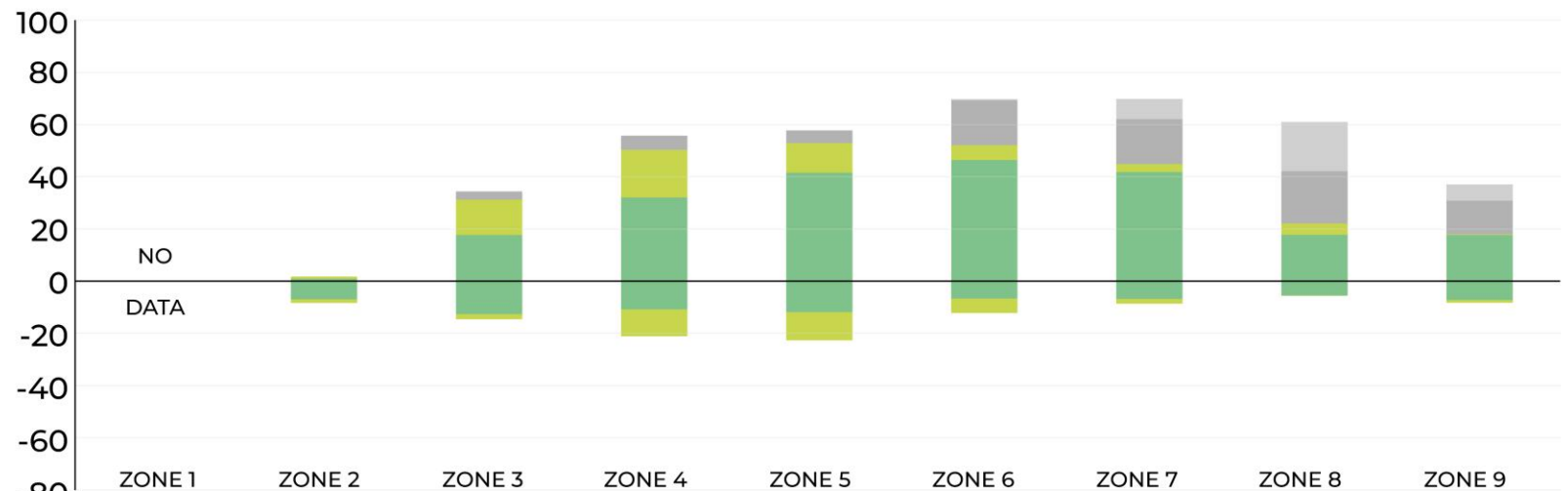
# Répartition des volumes sédimentaires depuis 1834

## 1913 - 1834



1834-1913: Comblement des futurs Polders et aménagement à l'est du chenal principal

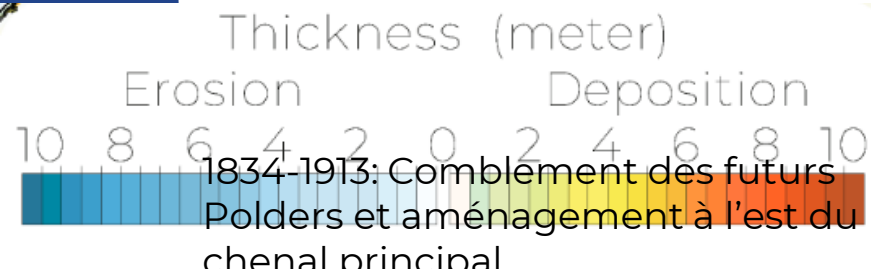
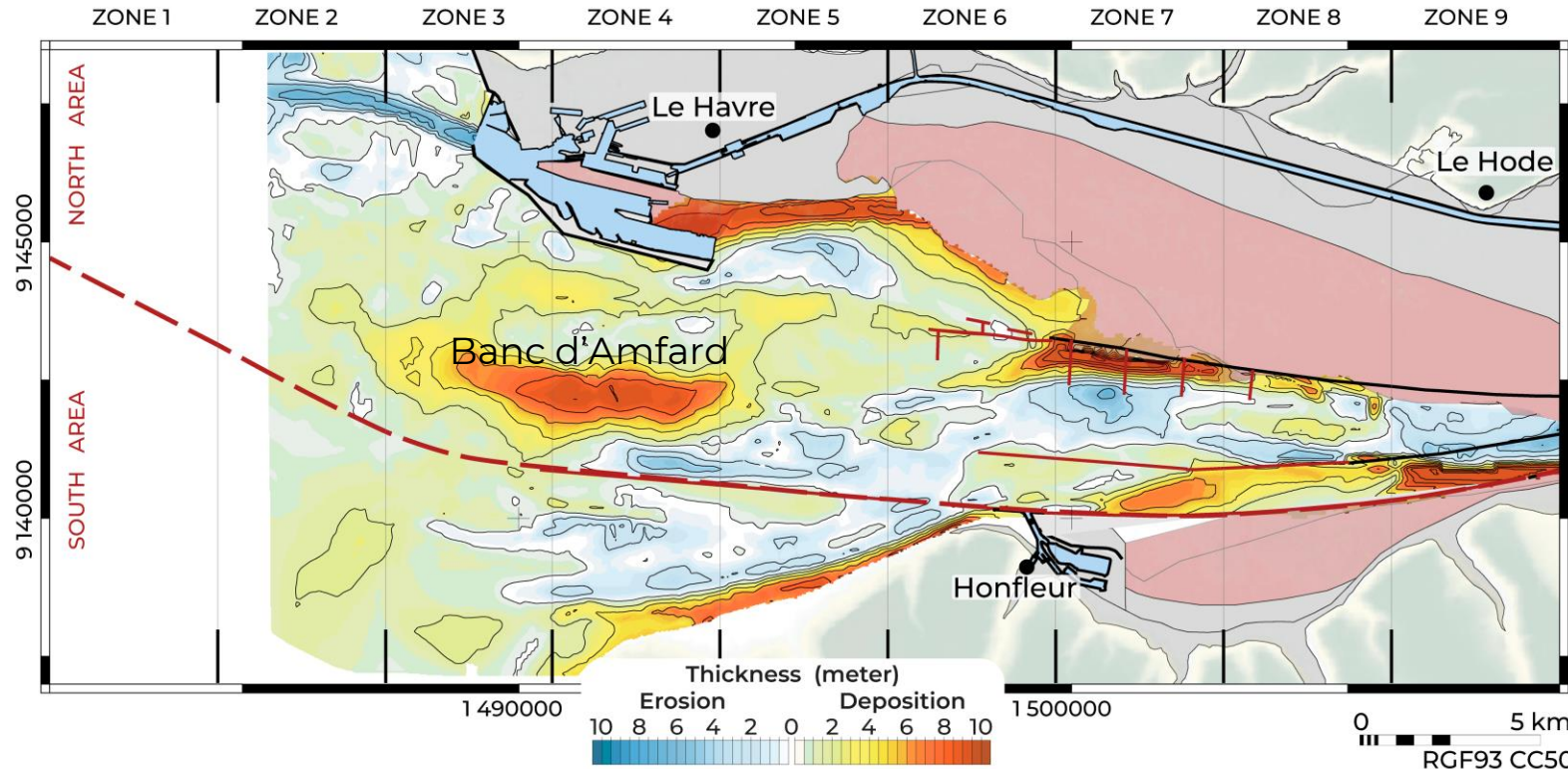
Volume of sediment ( $10^6 \text{ km}^3$ )



D'après Delsinne, 2005



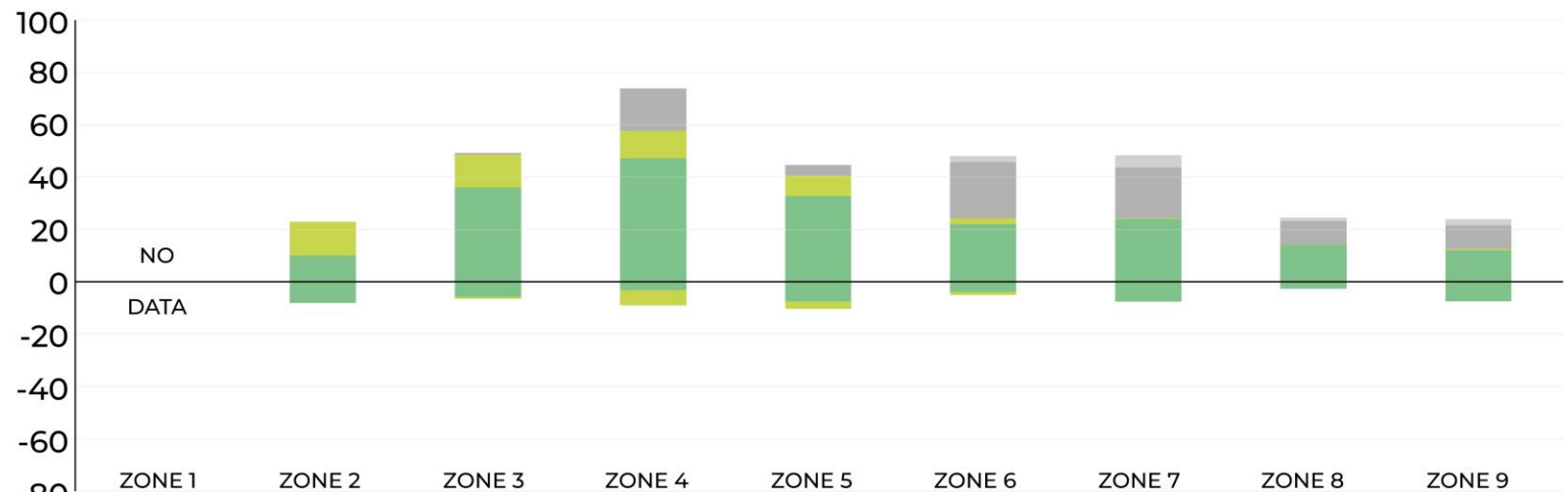
# 1960 - 1913



1834-1913: Comblement des futurs Polders et aménagement à l'est du chenal principal

1913-1960: Migration vers l'Ouest du « dépointe »

Volume of sediment ( $10^6 \text{ km}^3$ )



D'après Delsinne, 2005

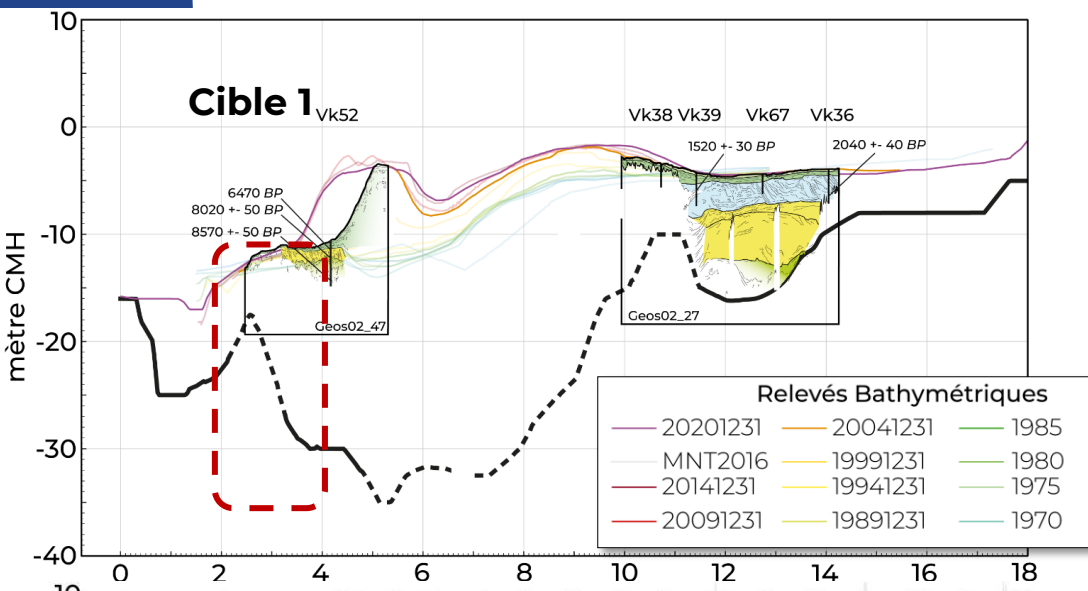
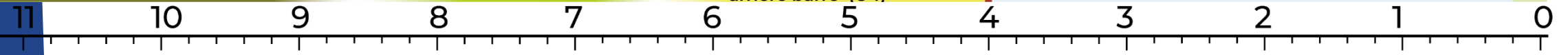
Grave de fond (U2)

Dépôt marin et estuarien (U3)

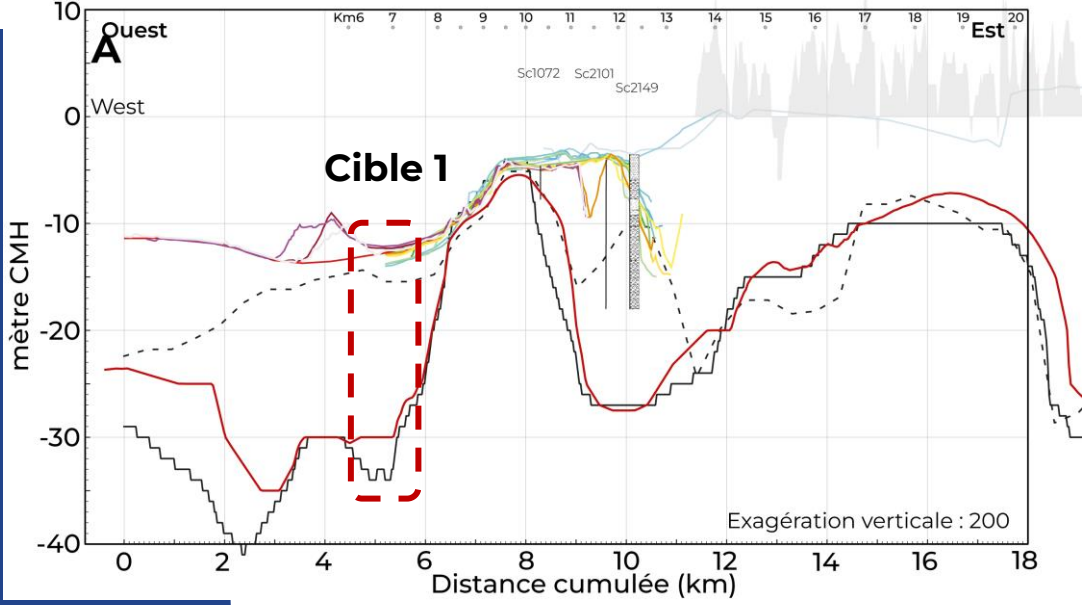
Dépôt littoraux arrière barre (U4)

Bancs et chenaux estuariens (U5)

Dynamique actuelle (U6-U8)

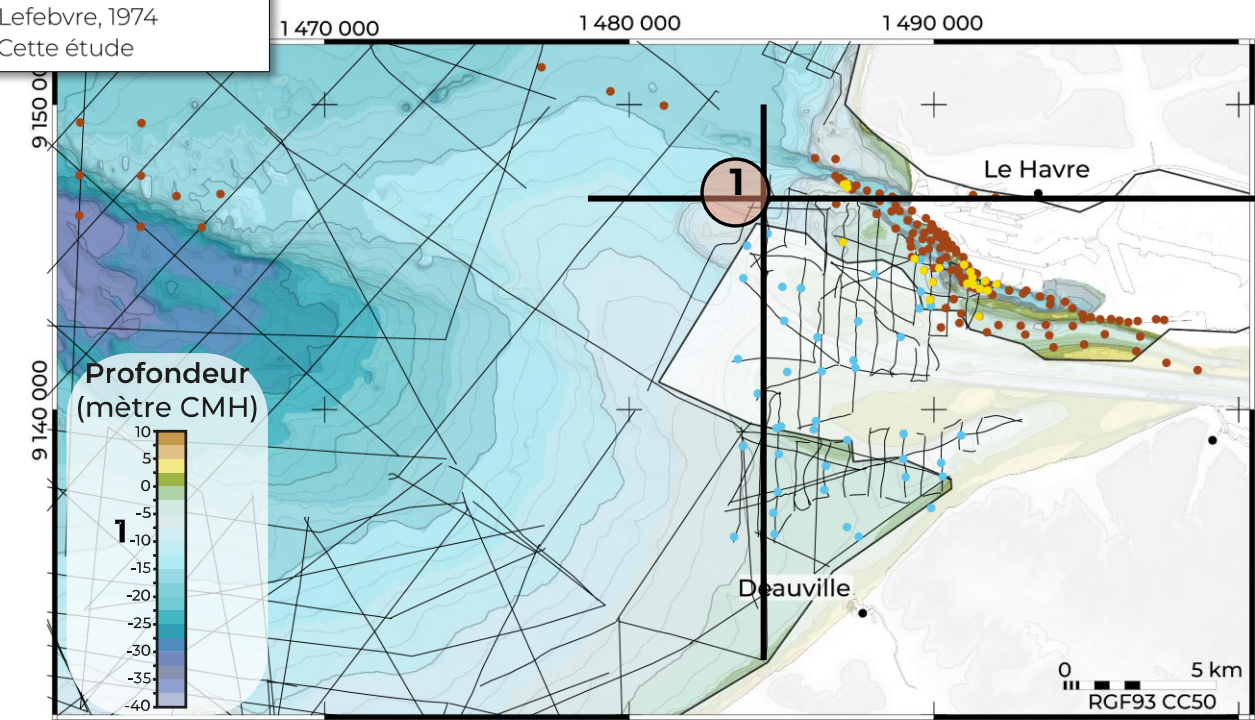


Relevés Bathymétriques			Interprétations du substratum Mésozoïque		
— 20201231	— 20041231	— 1985	— 1965	--- Auffret & Alduc, 1977	— Lefebvre, 1974
— MNT2016	— 19991231	— 1980	— 1960	— Lefebvre, 1974	— Cette étude
— 20141231	— 19941231	— 1975	— 1913		
— 20091231	— 19891231	— 1970	— 1834		



### Objectifs du site 1

- Echantillonnage des 1ers moments de la transgression (niveaux riches en M.O., tourbe, transition U2 et U3)
- Consolider la cartographie des graves et du toit du socle



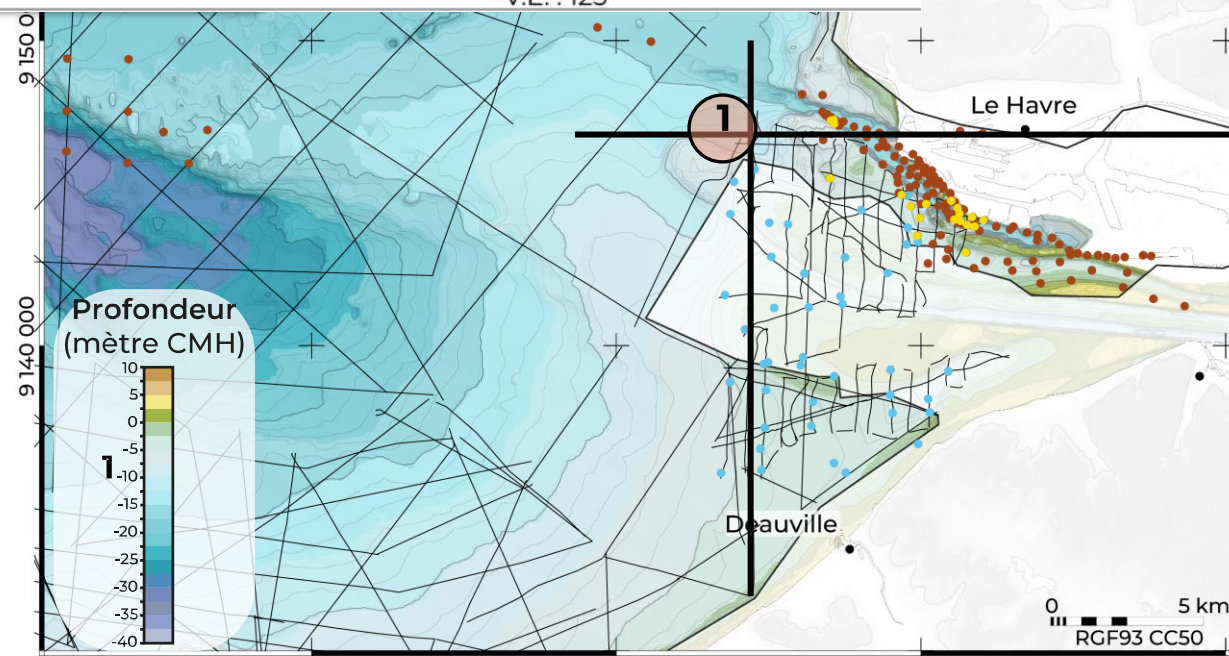
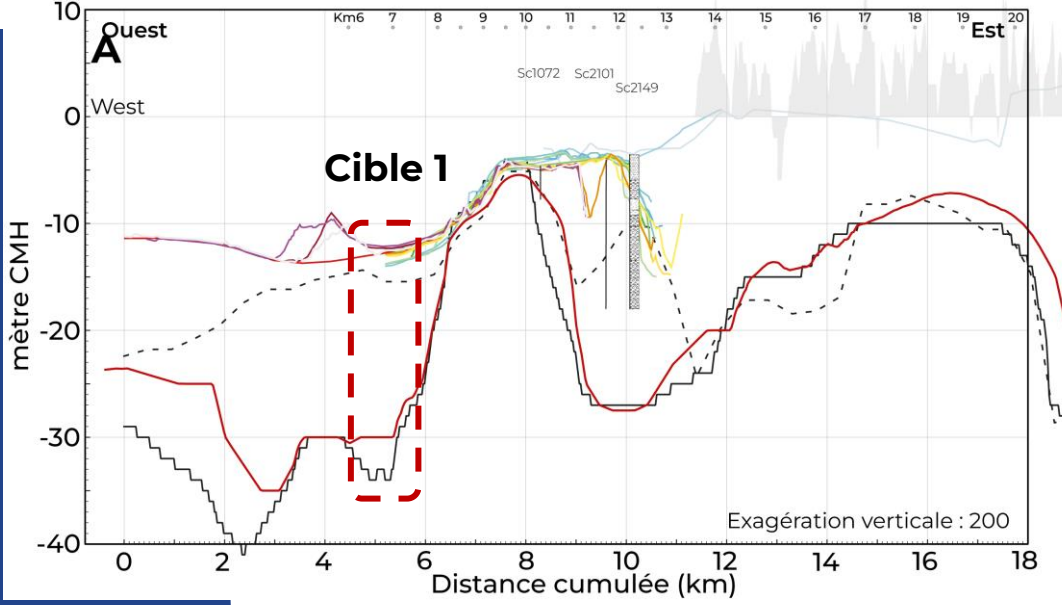
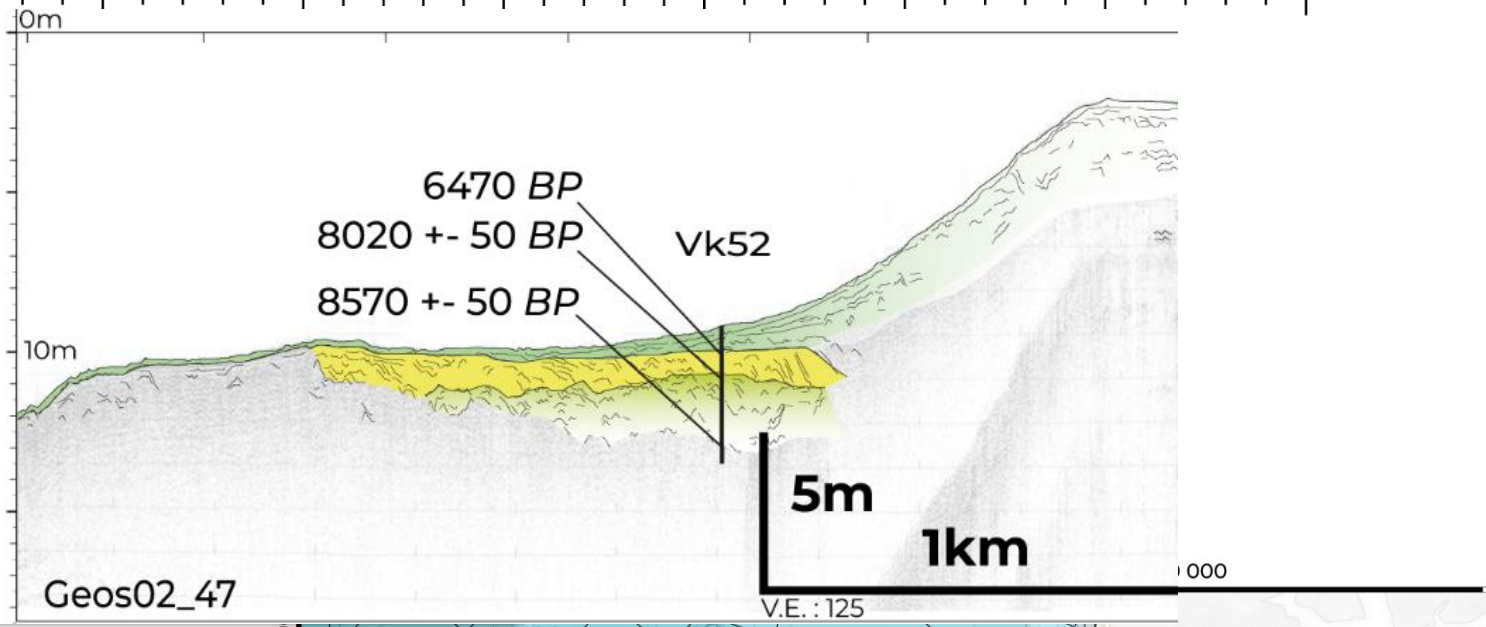
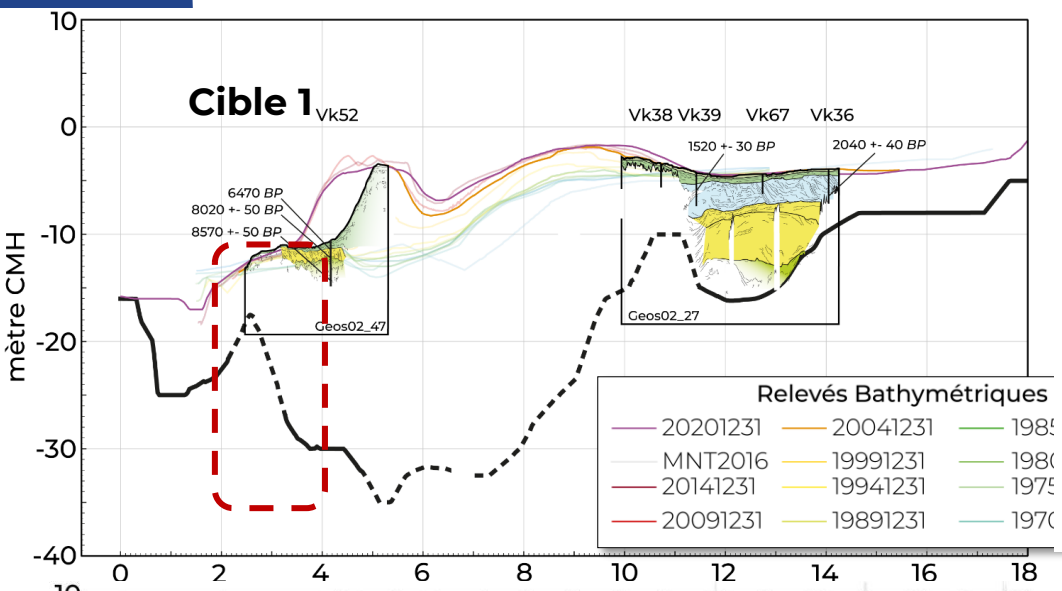
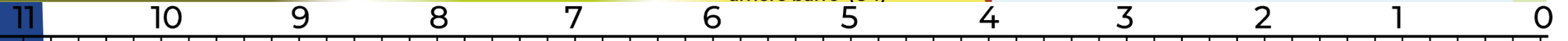
Grave de fond (U2)

Dépôt marin et estuarien (U3)

Dépôt littoraux arrière barre (U4)

Bancs et chenaux estuariens (U5)

Dynamique actuelle (U6-U8)



Milliers d'années BP

Grave de fond (U2)

Dépôt marin et estuarien (U3)

Dépôt littoraux arrière barre (U4)

chenal cote marine bathy 2002

11

10

9

8

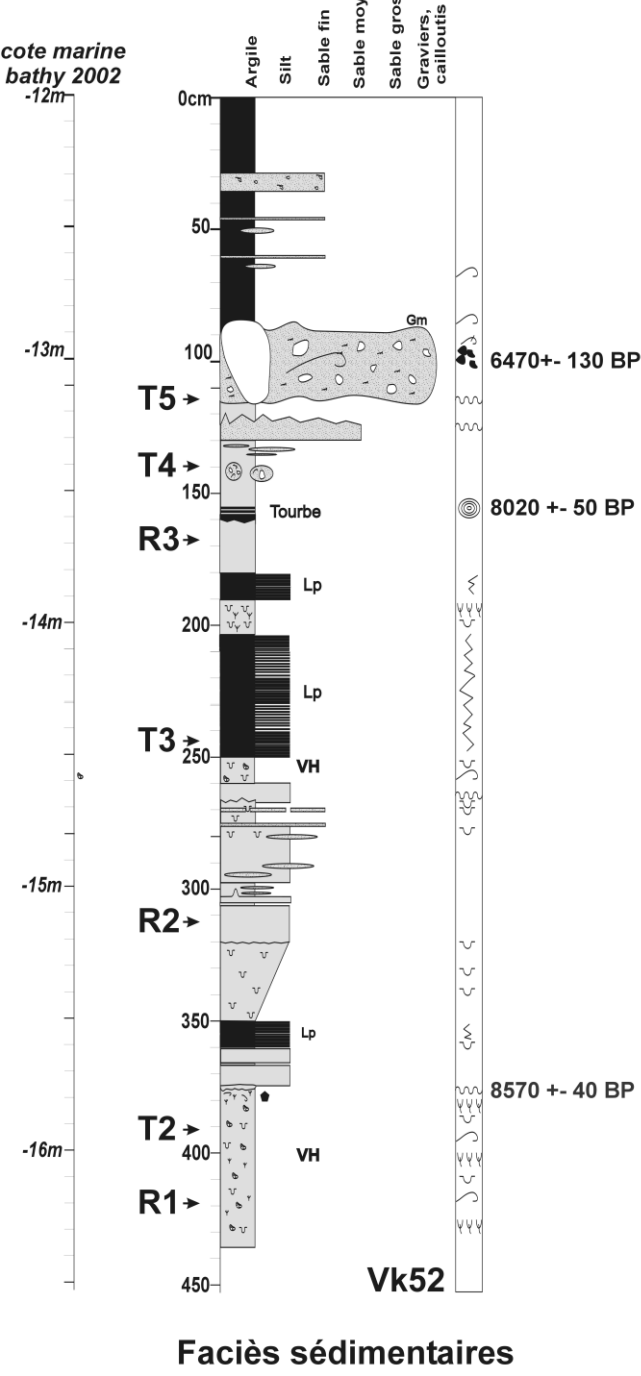
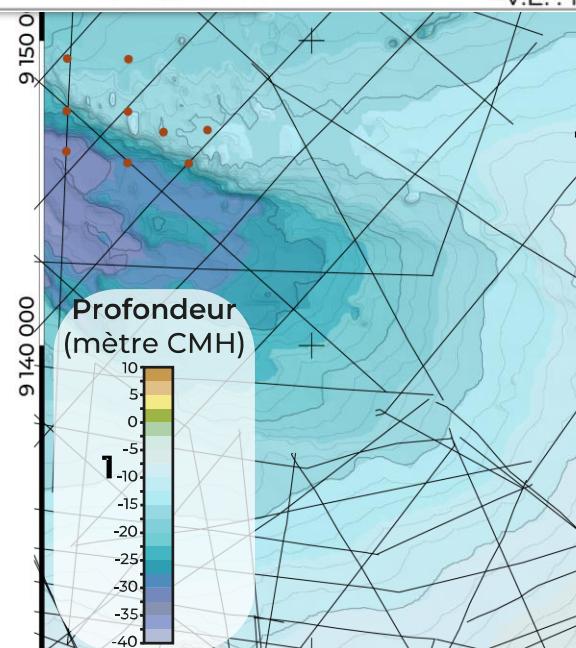
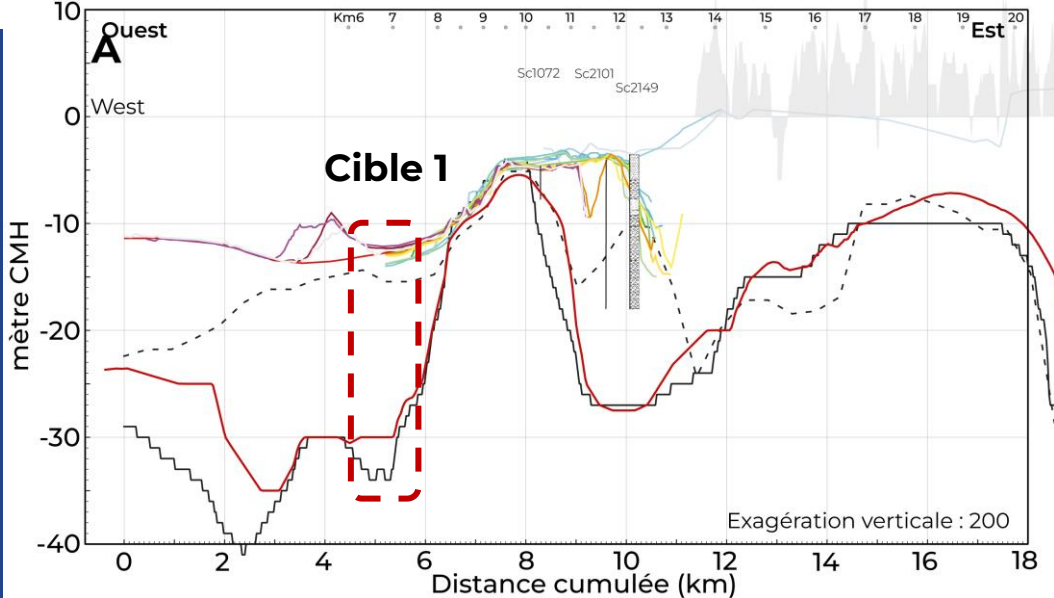
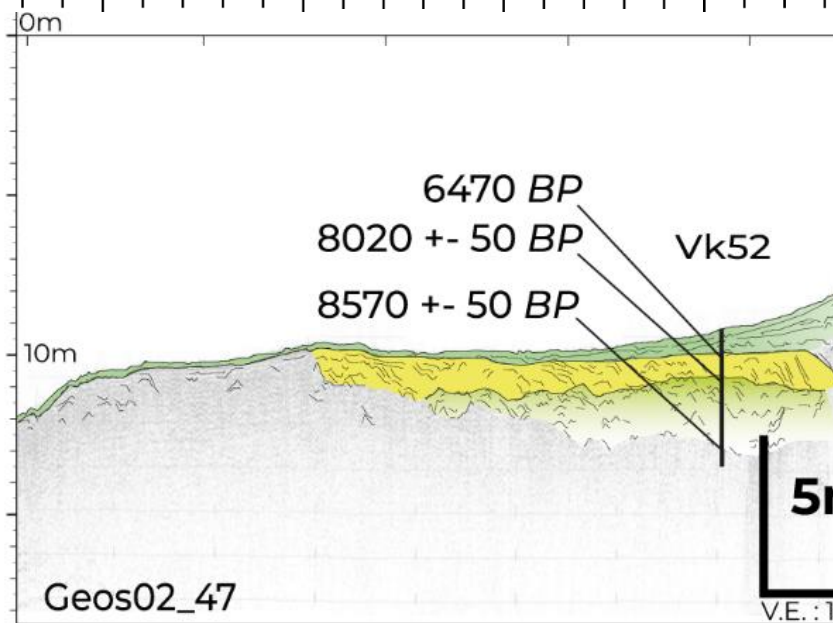
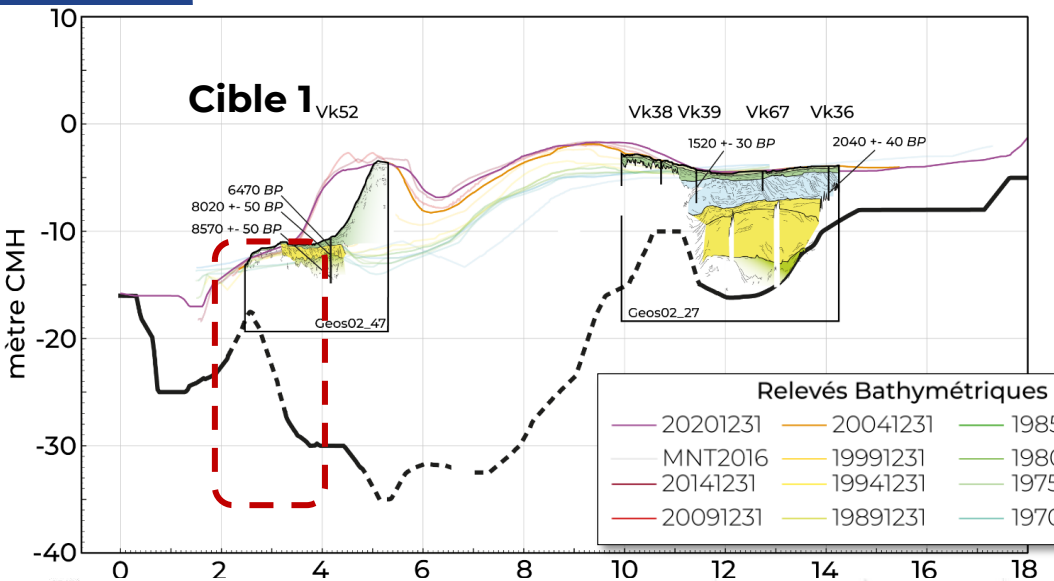
7

6

5

4

3





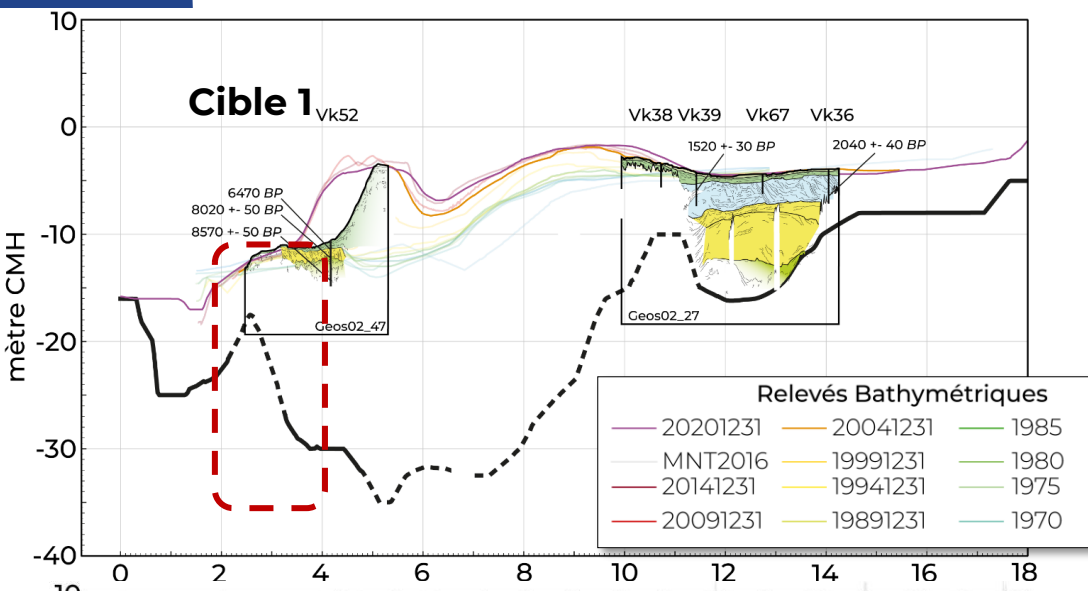
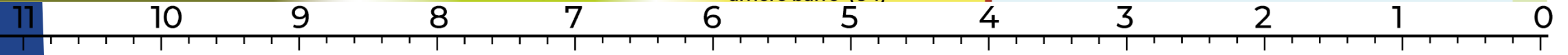
Grave de fond (U2)

Dépôt marin et estuarien (U3)

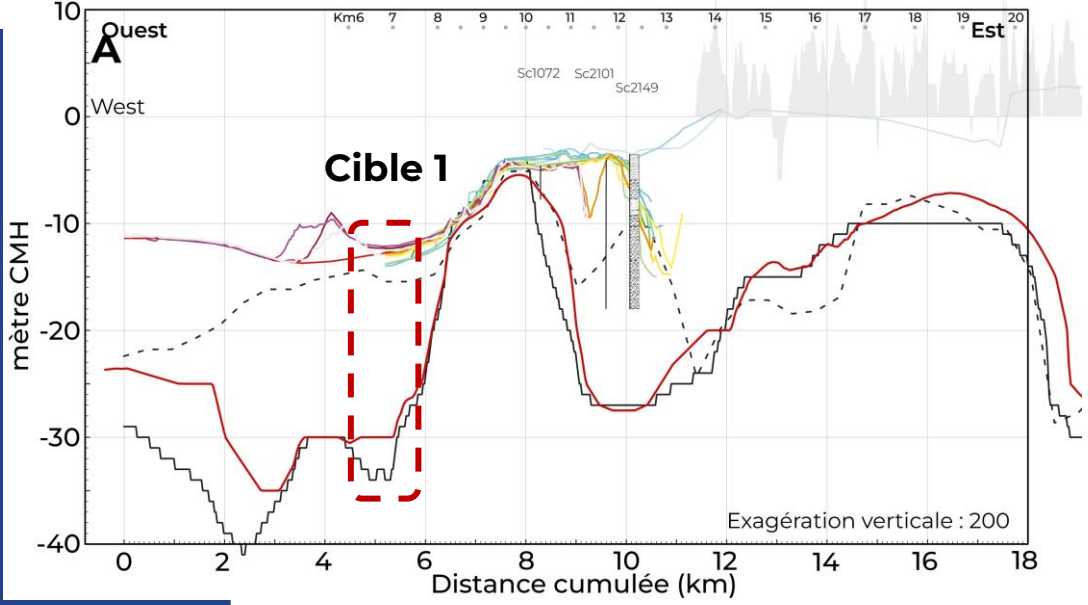
Dépôt littoraux arrière barre (U4)

Bancs et chenaux estuariens (U5)

Dynamique actuelle (U6-U8)



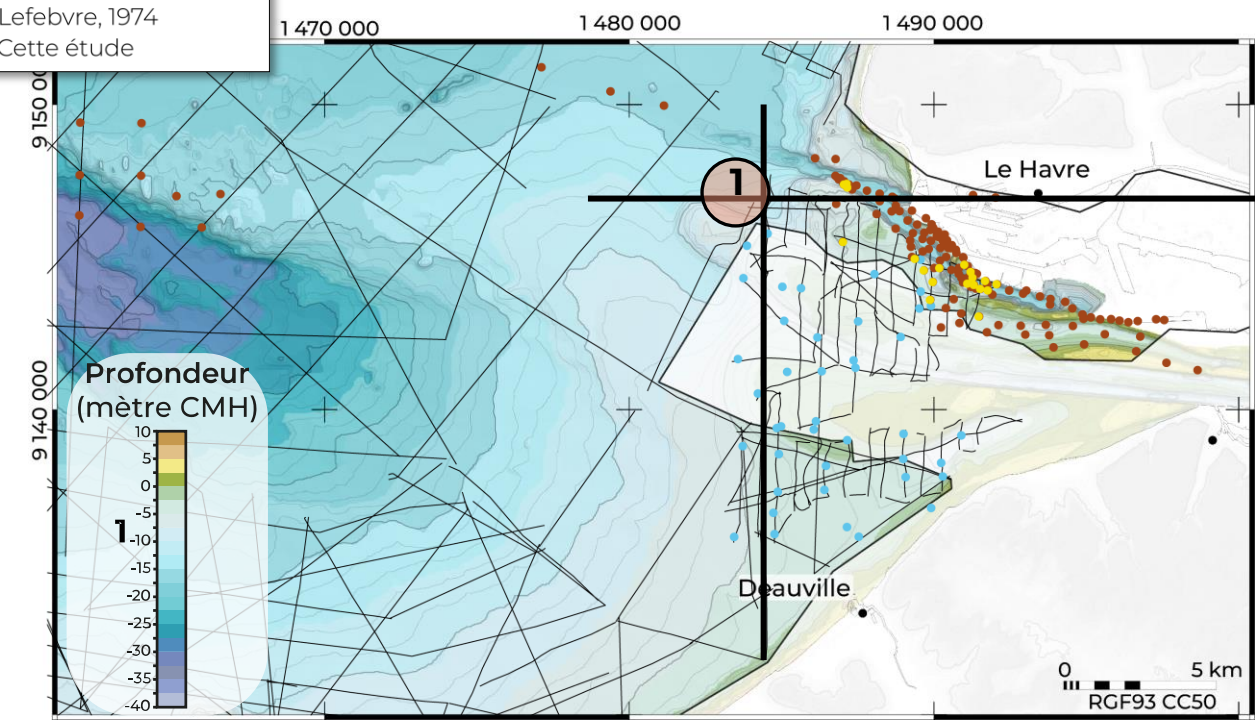
Relevés Bathymétriques			Interprétations du substratum Mésozoïque		
20201231	20041231	1985	1965	Auffret & Alduc, 1977	
MNT2016	19991231	1980	1960	Lefebvre, 1974	
20141231	19941231	1975	1913	Cette étude	
20091231	19891231	1970	1834		



### Objectifs du site 1

Echantillonnage des 1ers moments de la transgression (niveaux riches en M.O., tourbe, transition U2 et U3)

Consolider la cartographie des graves et du toit du socle



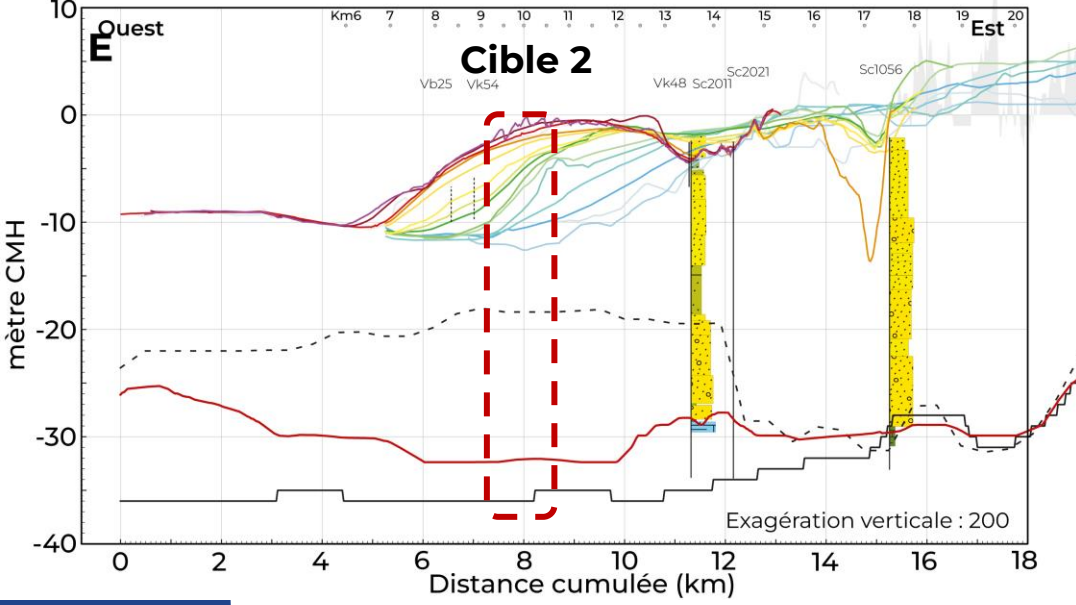
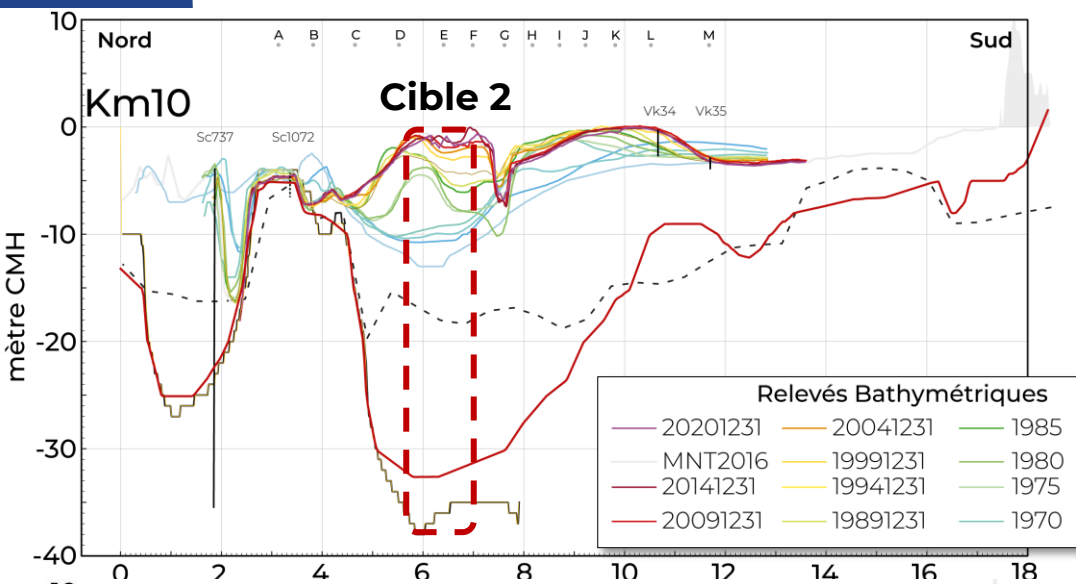
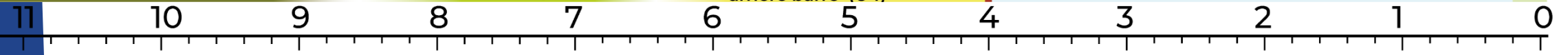
Grave de fond (U2)

Dépôt marin et estuarien (U3)

Dépôt littoraux arrière barre (U4)

Bancs et chenaux estuariens (U5)

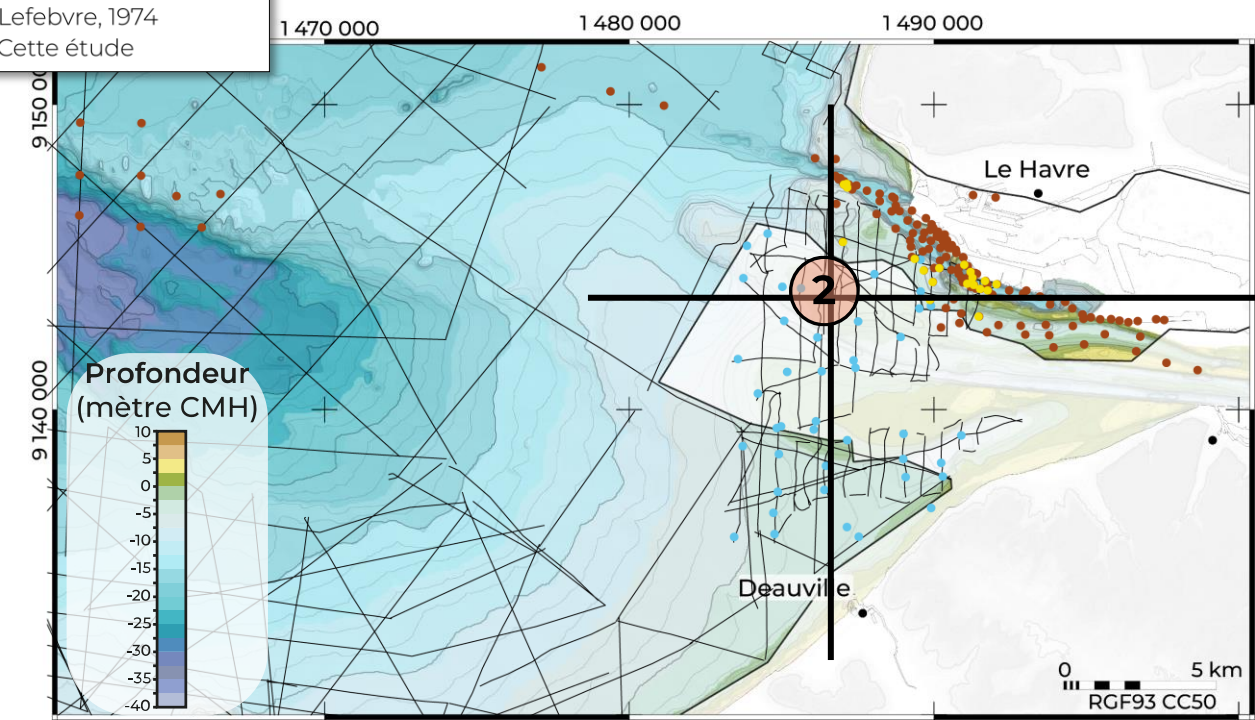
Dynamique actuelle (U6-U8)



### Objectifs du site 2

Vérification de la base des graves et du toit du socle

Épaisseur et extension des niveaux riches en M.O. (U2, U3, U4),  
Origine du gaz biogénique ?



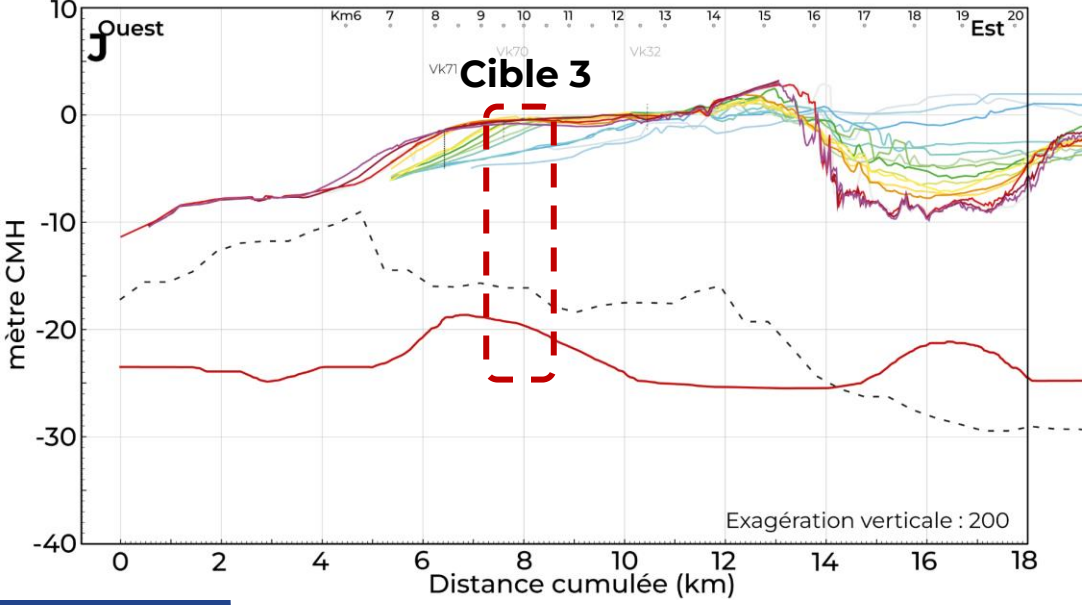
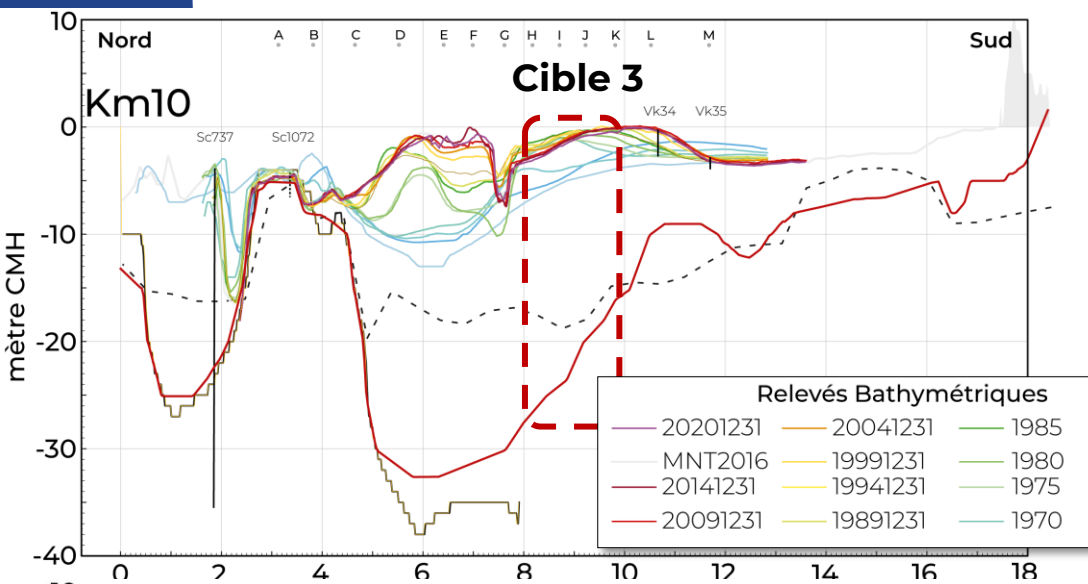
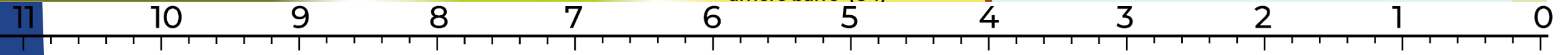
Grave de fond (U2)

Dépôt marin et estuarien (U3)

Dépôt littoraux arrière barre (U4)

Bancs et chenaux estuariens (U5)

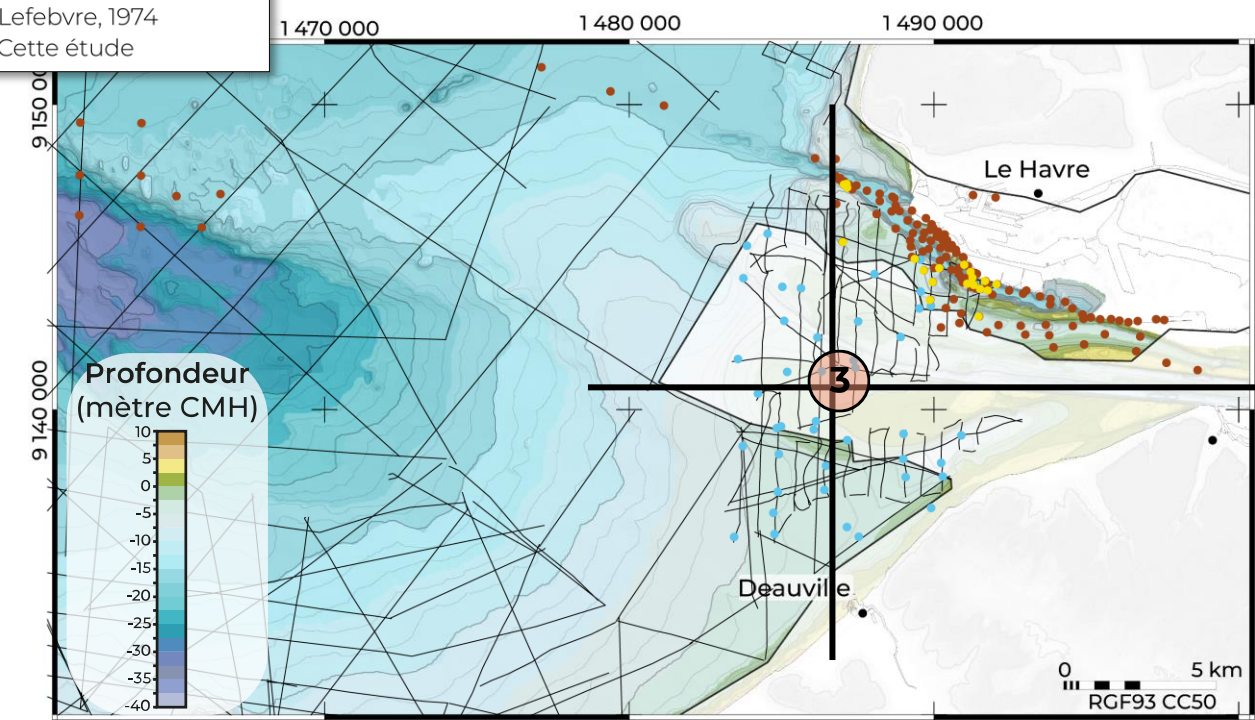
Dynamique actuelle (U6-U8)



### Objectifs du site 3

Vérification de la base des graves et du toit du socle

Épaisseur et extension des niveaux riches en M.O. (U2, U3, U4),  
Origine du gaz biogénique ?



Milliers d'années BP

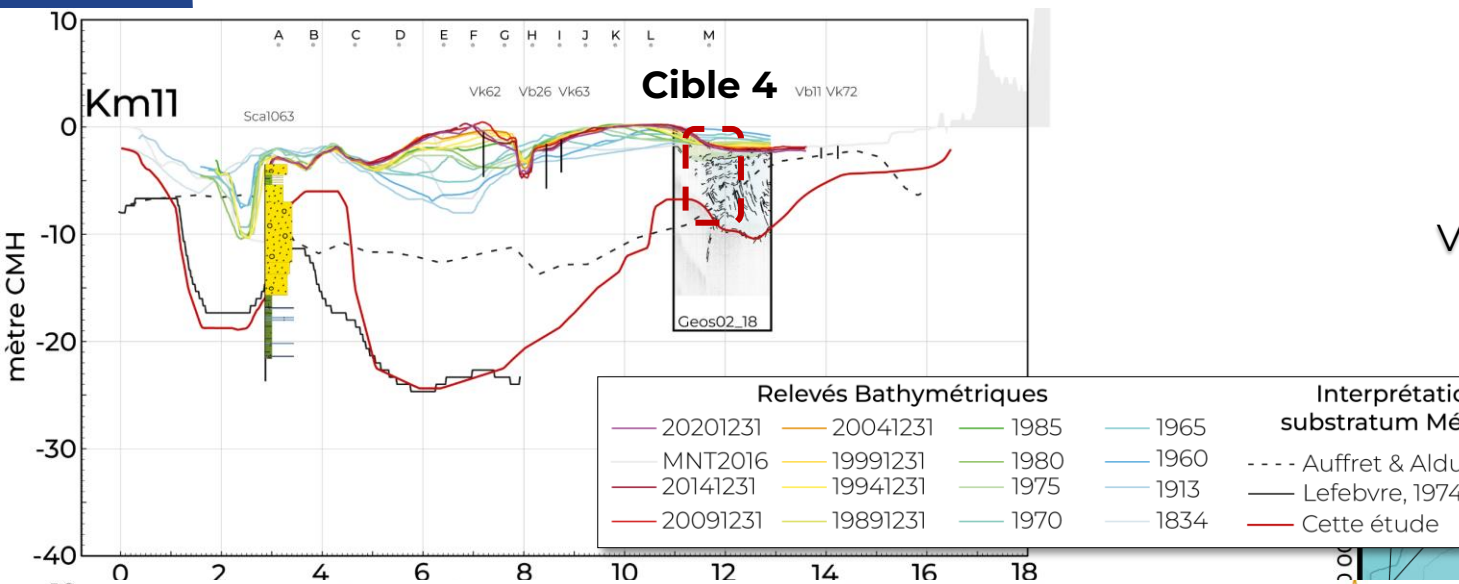
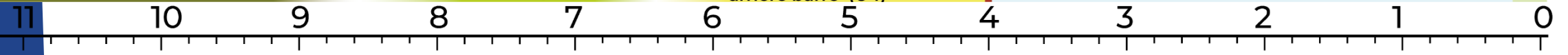
Grave de fond (U2)

Dépôt marin et estuarien (U3)

Dépôt littoraux arrière barre (U4)

Bancs et chenaux estuariens (U5)

Dynamique actuelle (U6-U8)

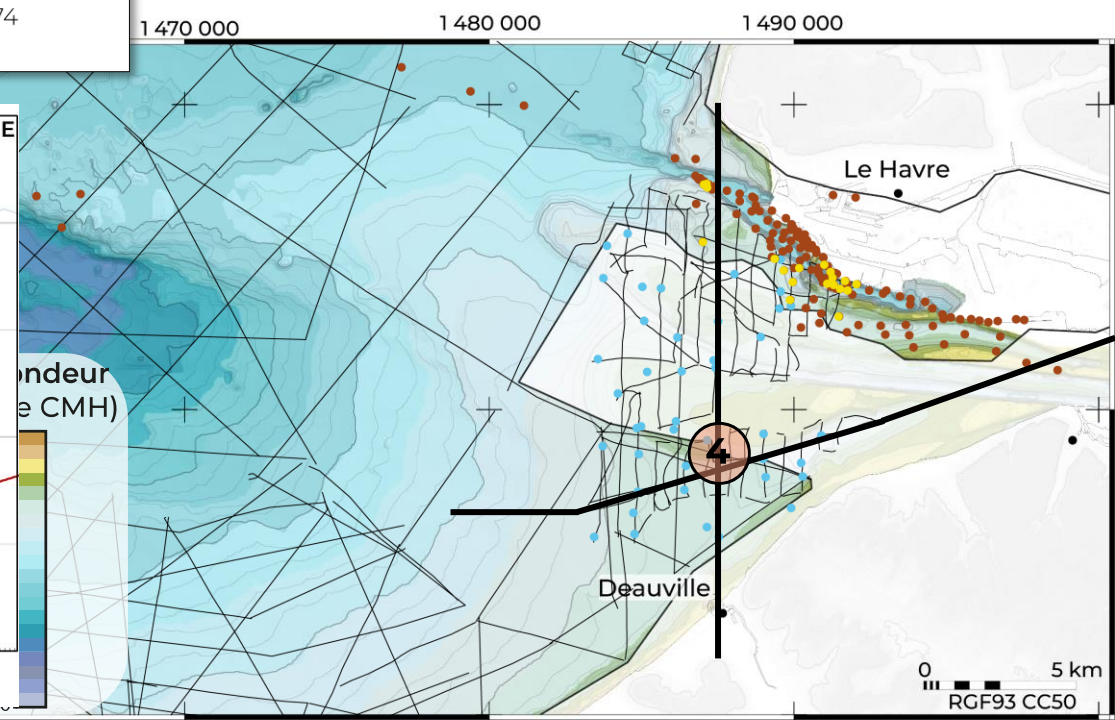
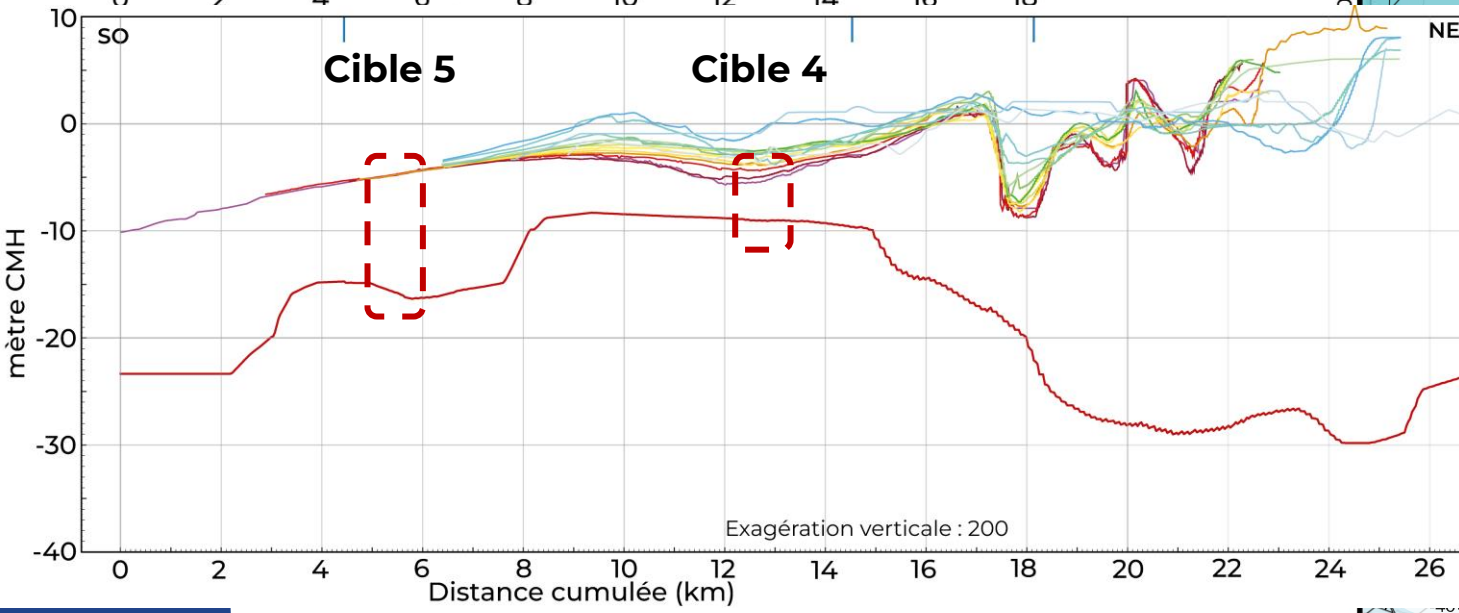


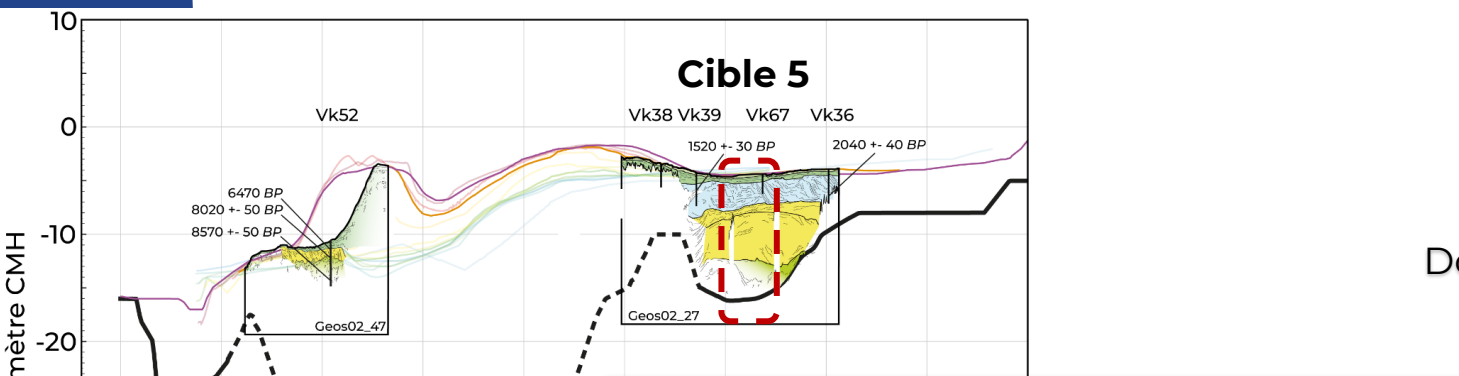
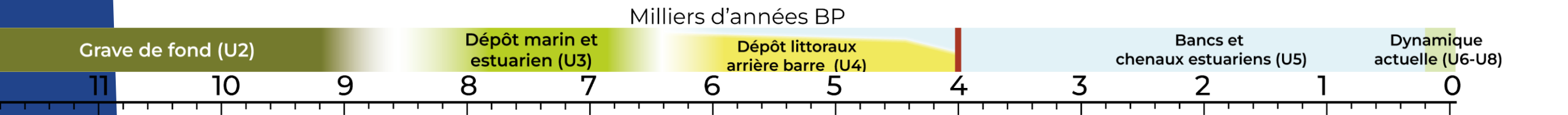
Relevés Bathymétriques				Interprétations du substratum Mésozoïque	
20201231	20041231	1985	1965	---	Auffret & Alduc, 1977
MNT2016	19991231	1980	1960	---	Lefebvre, 1974
20141231	19941231	1975	1913	---	Cette étude
20091231	19891231	1970	1834		

### Objectifs du site 4

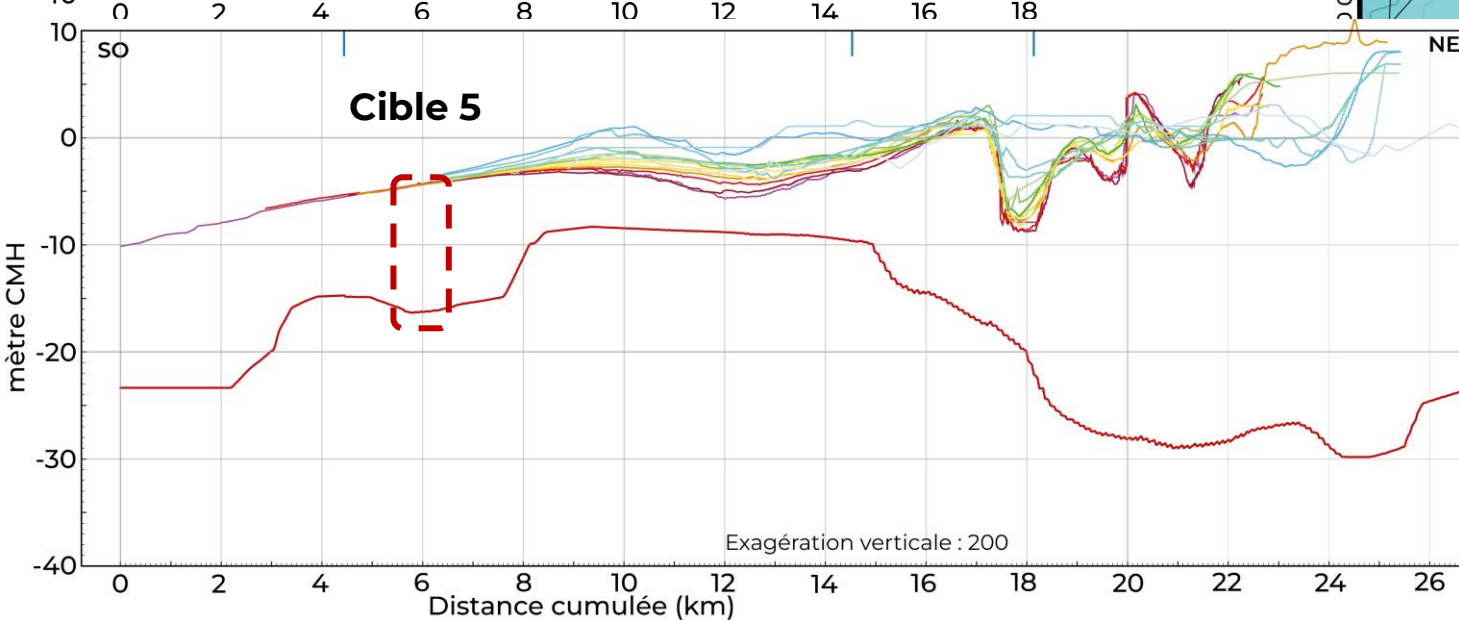
Zone acuellement en érosion

Vérification du toit du socle et de sa géométrie, Nature des dépôts sous-jacents





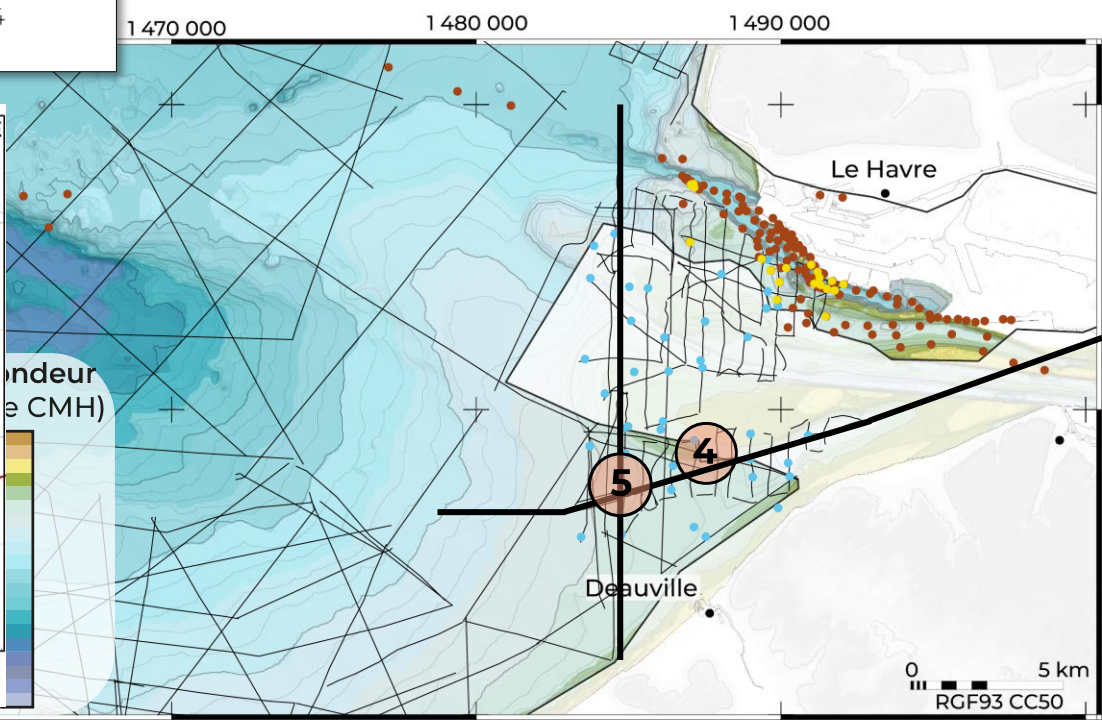
Relevés Bathymétriques				Interprétations du substratum Mésozoïque	
— 20201231	— 20041231	— 1985	— 1965	--- Auffret & Alduc, 1977	— Lefebvre, 1974
— MNT2016	— 19991231	— 1980	— 1960	— Lefebvre, 1974	— Cette étude
— 20141231	— 19941231	— 1975	— 1913		
— 20091231	— 19891231	— 1970	— 1834		

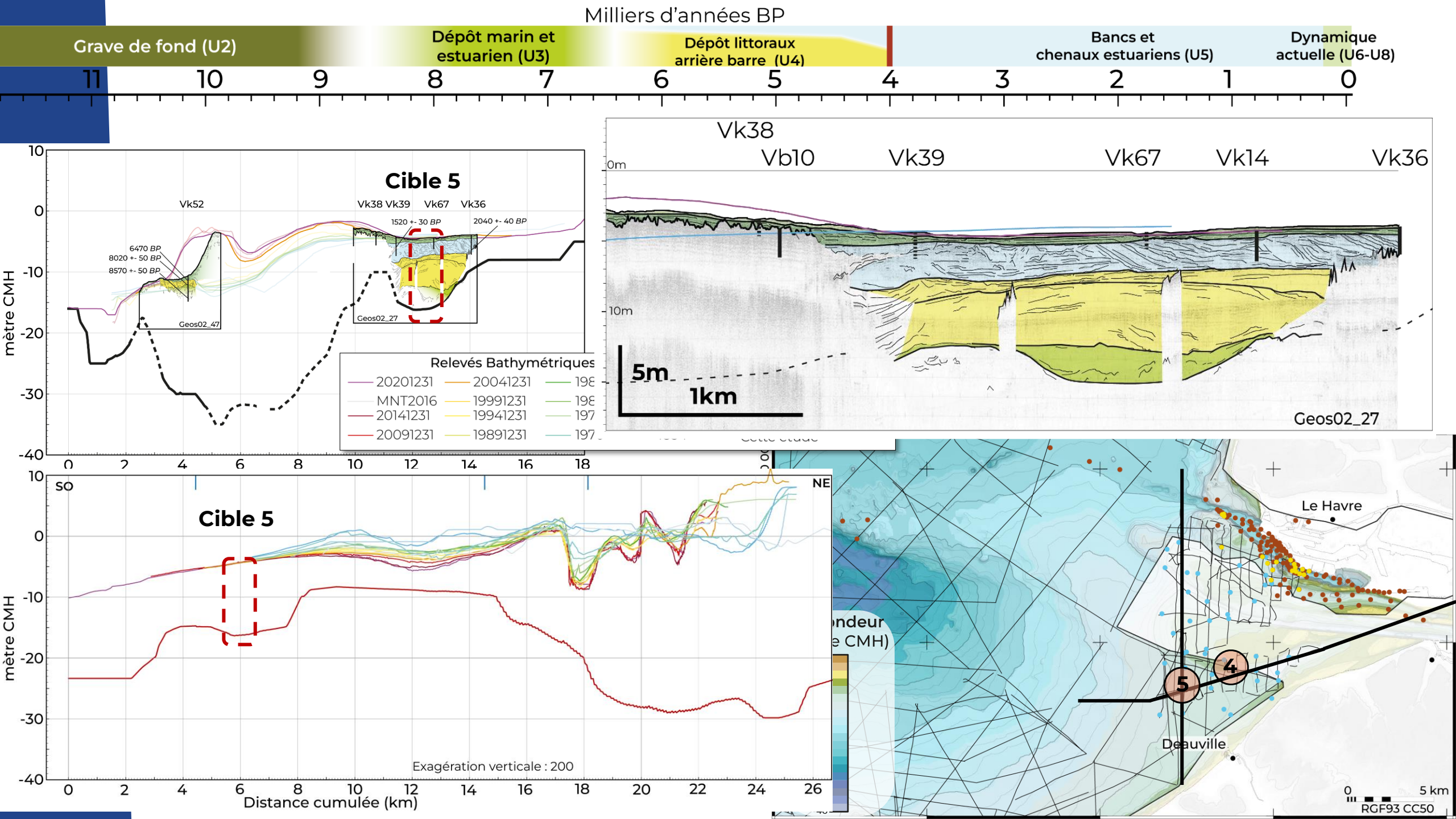


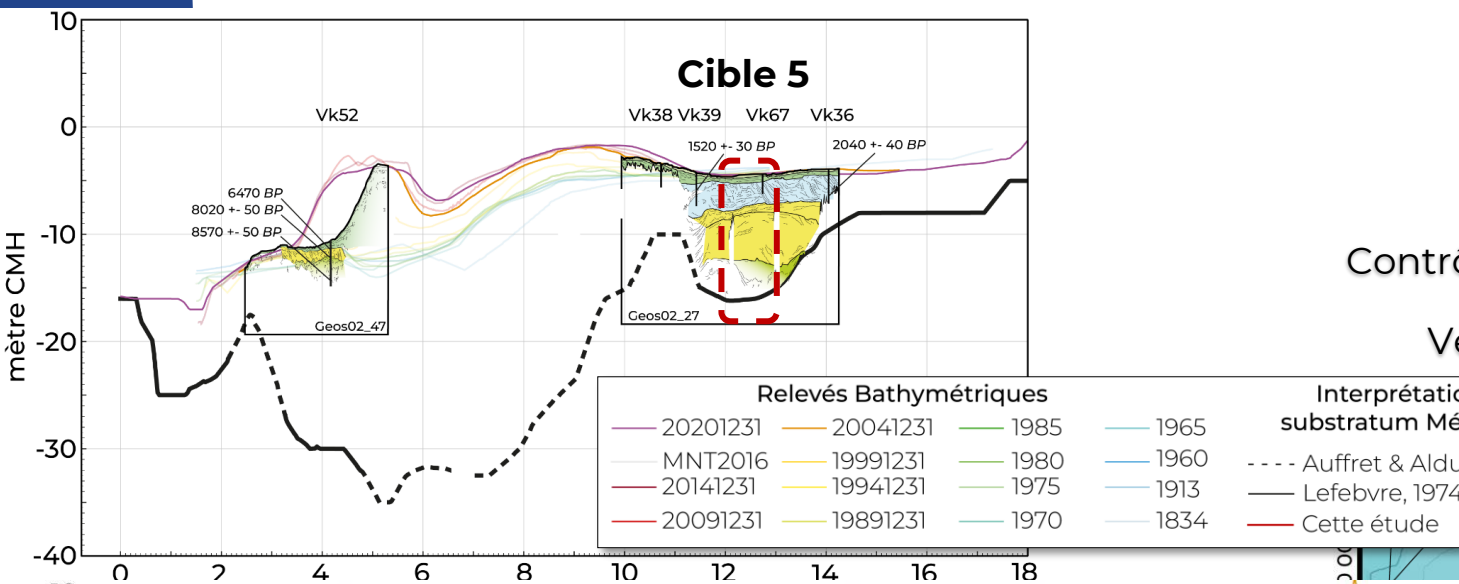
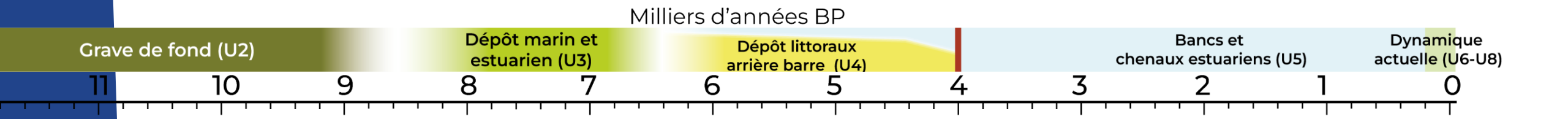
### Objectifs du site 5

Bonnes informations géophysiques

Données carottage limitées à la transition U4/U5

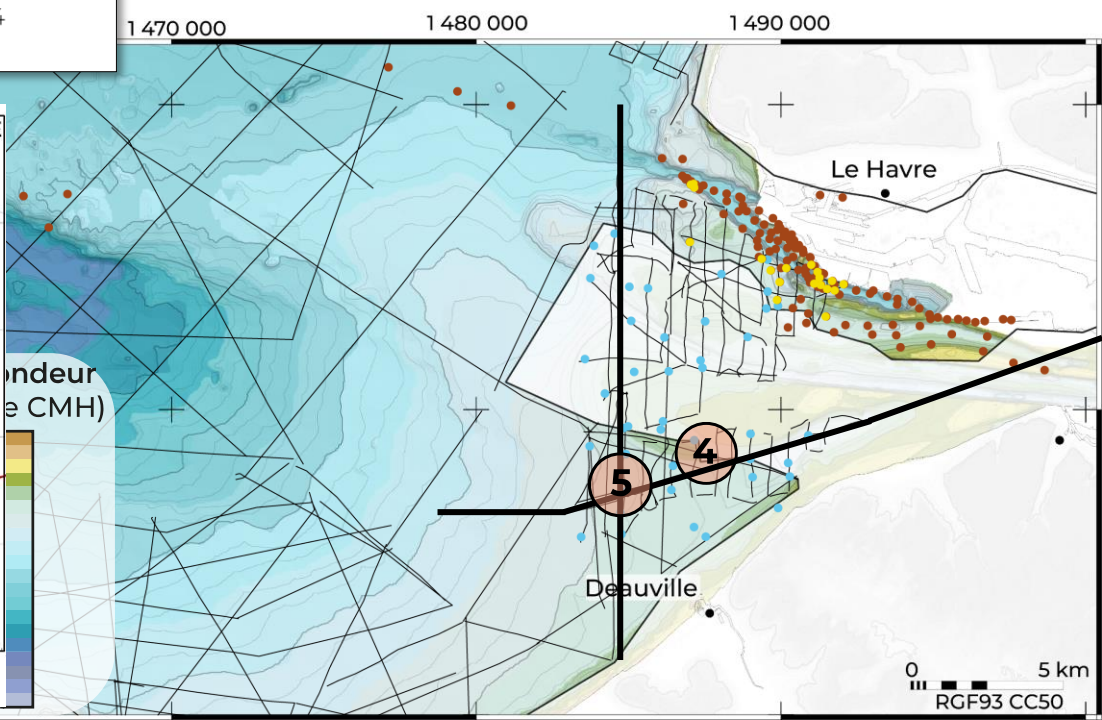
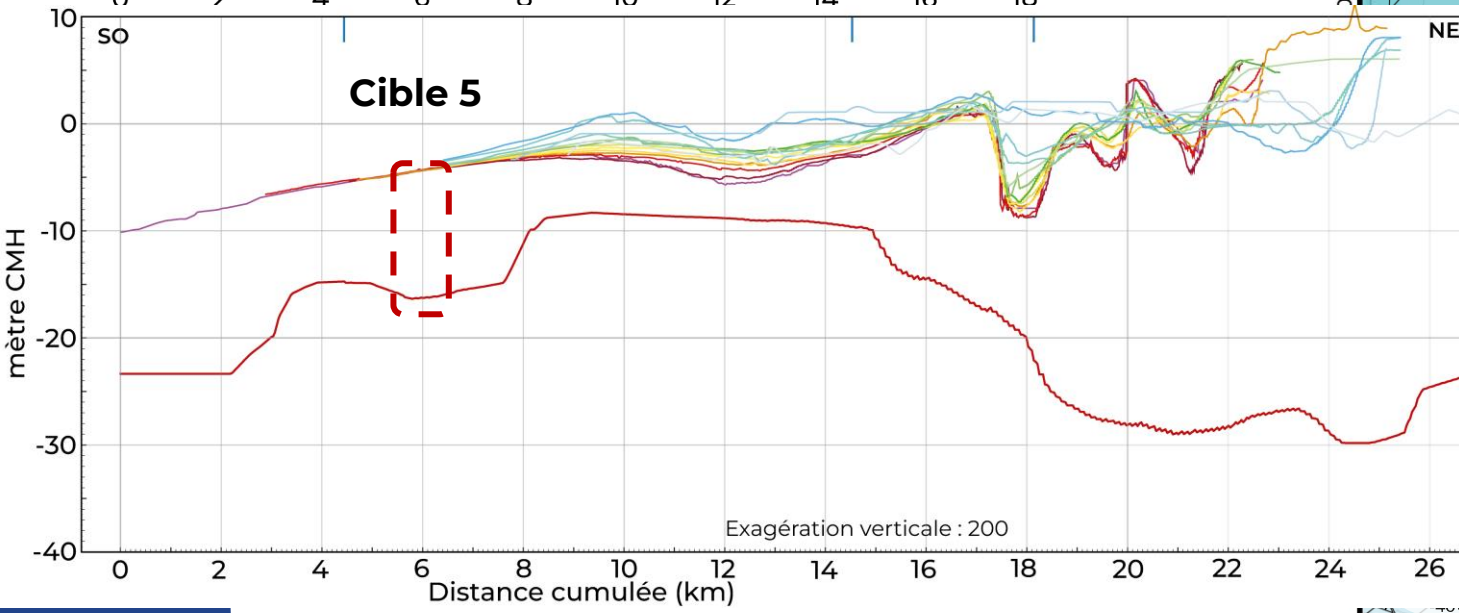


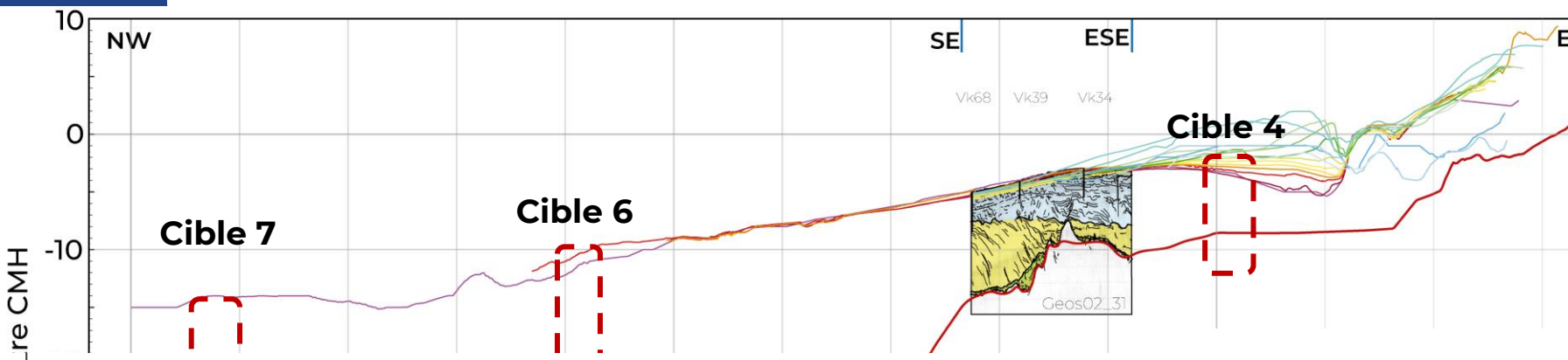
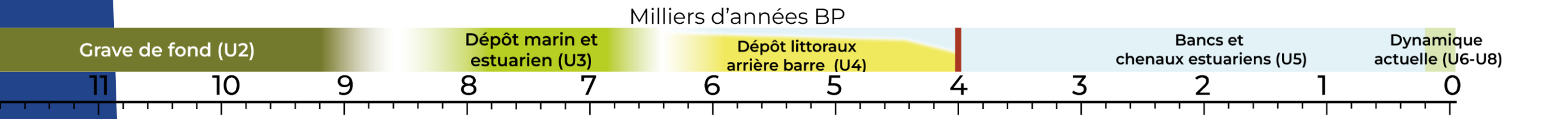




## Objectifs du site 5

- Bonnes informations géophysiques
- Contrôle des transitions entre les unités stratigraphiques
- Vérifier la nature des lers dépôts au toit du socle

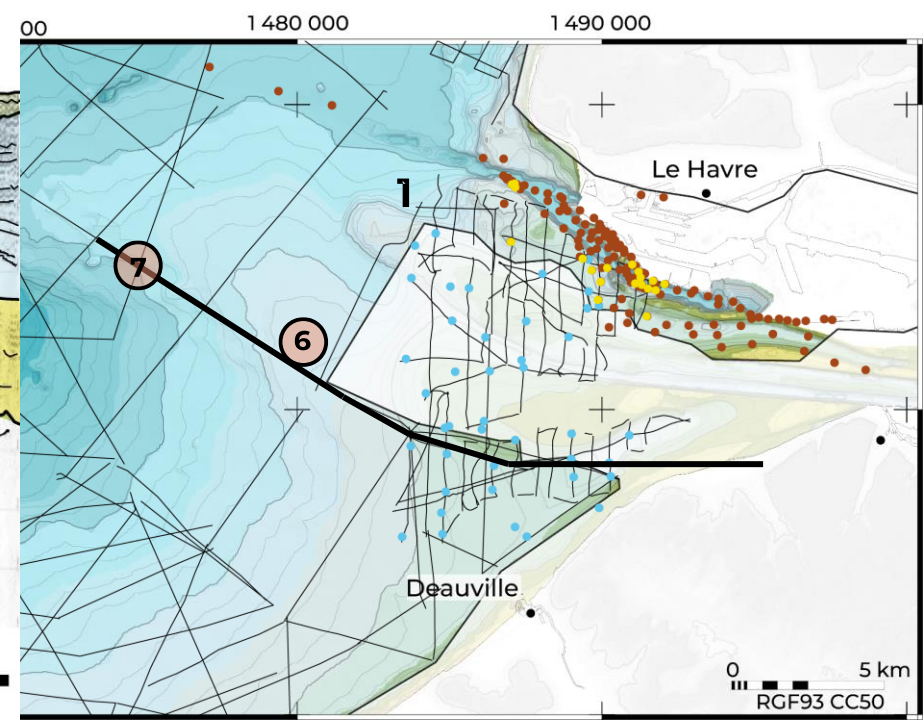
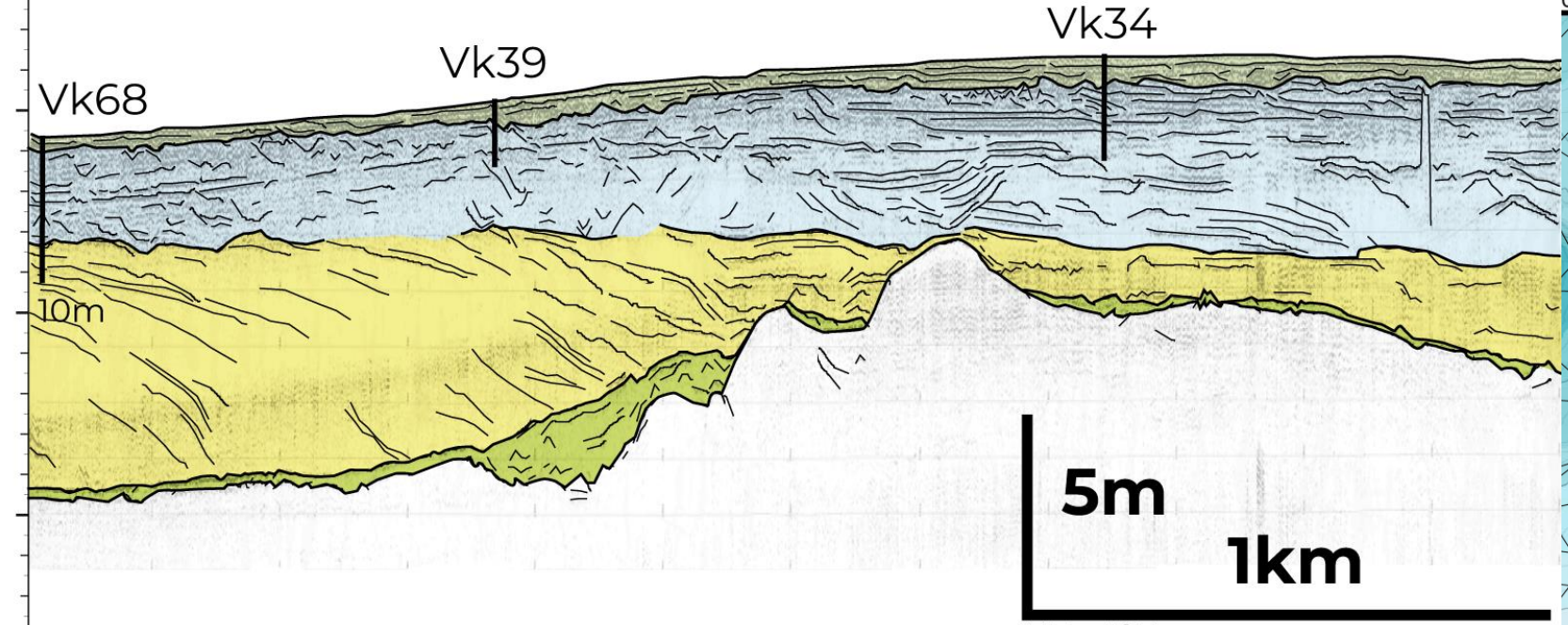




**Objectifs du site 6**

Récupération d'archives sédimentaires  
Sans hiatus important

Transition stratigraphique des unités pointés au niveau du prisme extérieur





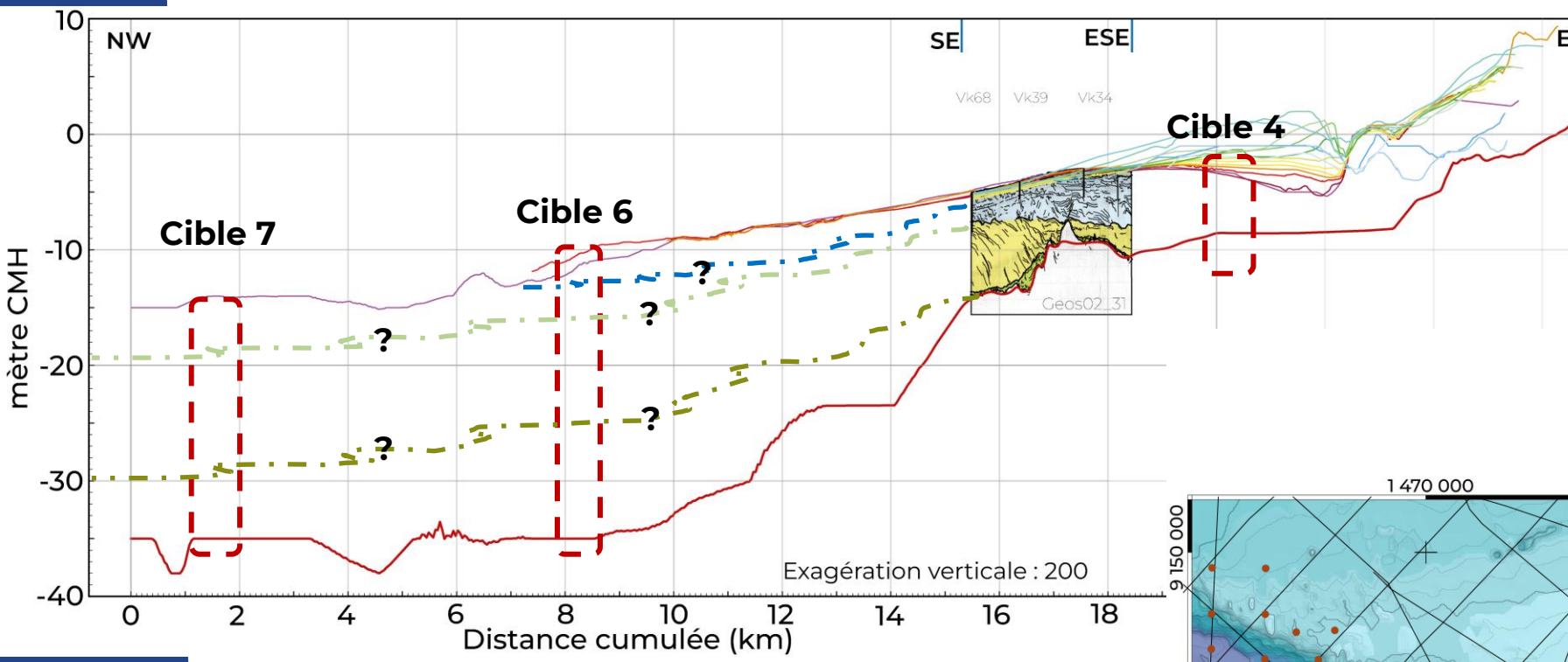
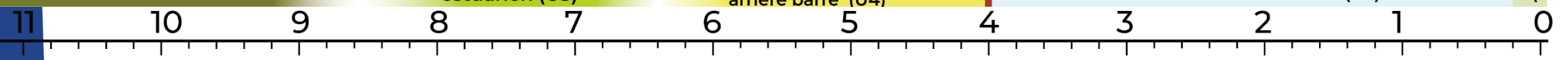
Grave de fond (U2)

Dépôt marin et estuarien (U3)

Dépôt littoraux arrière barre (U4)

Bancs et chenaux estuariens (U5)

Dynamique actuelle (U6-U8)

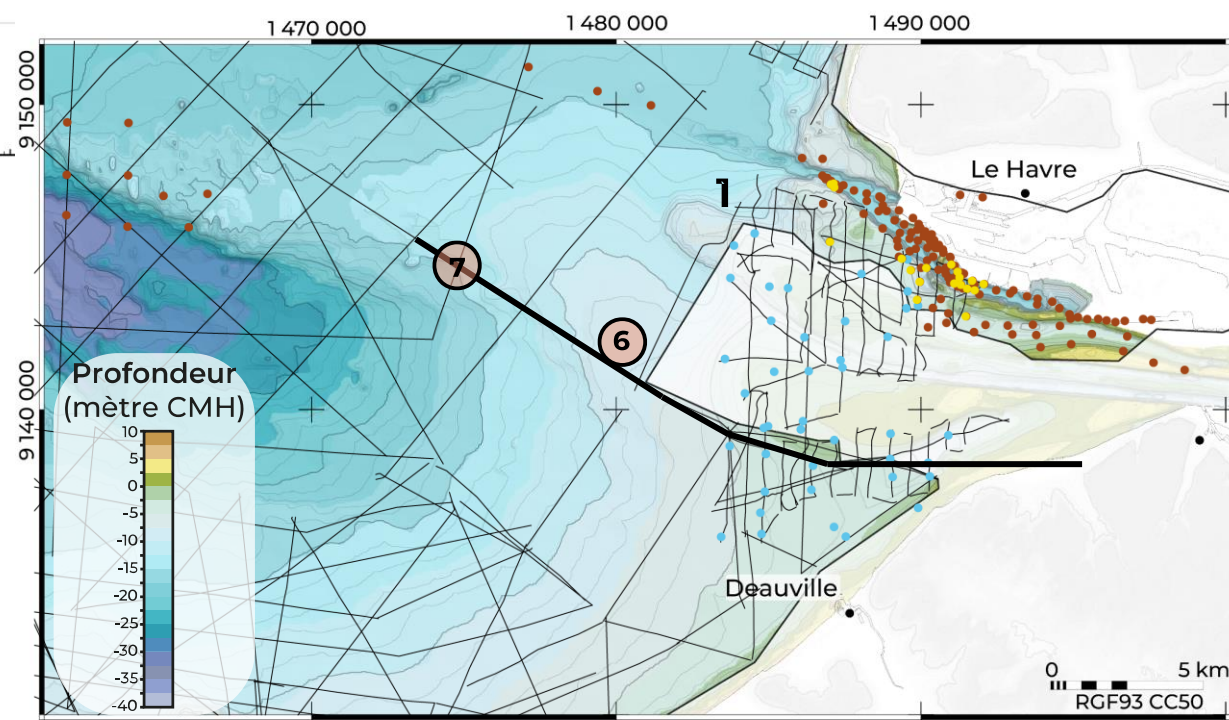


**Objectifs du site 6**

Récupération d'archives sédimentaires  
Sans hiatus important

Transition stratigraphique des unités pointés au niveau du prisme extérieur

Relevés Bathymétriques				Interprétations du substratum Mésozoïque	
20201231	20041231	1985	1965	---	Auffret & Alduc, 1977
MNT2016	19991231	1980	1960	---	Lefebvre, 1974
20141231	19941231	1975	1913	---	Cette étude
20091231	19891231	1970	1834		



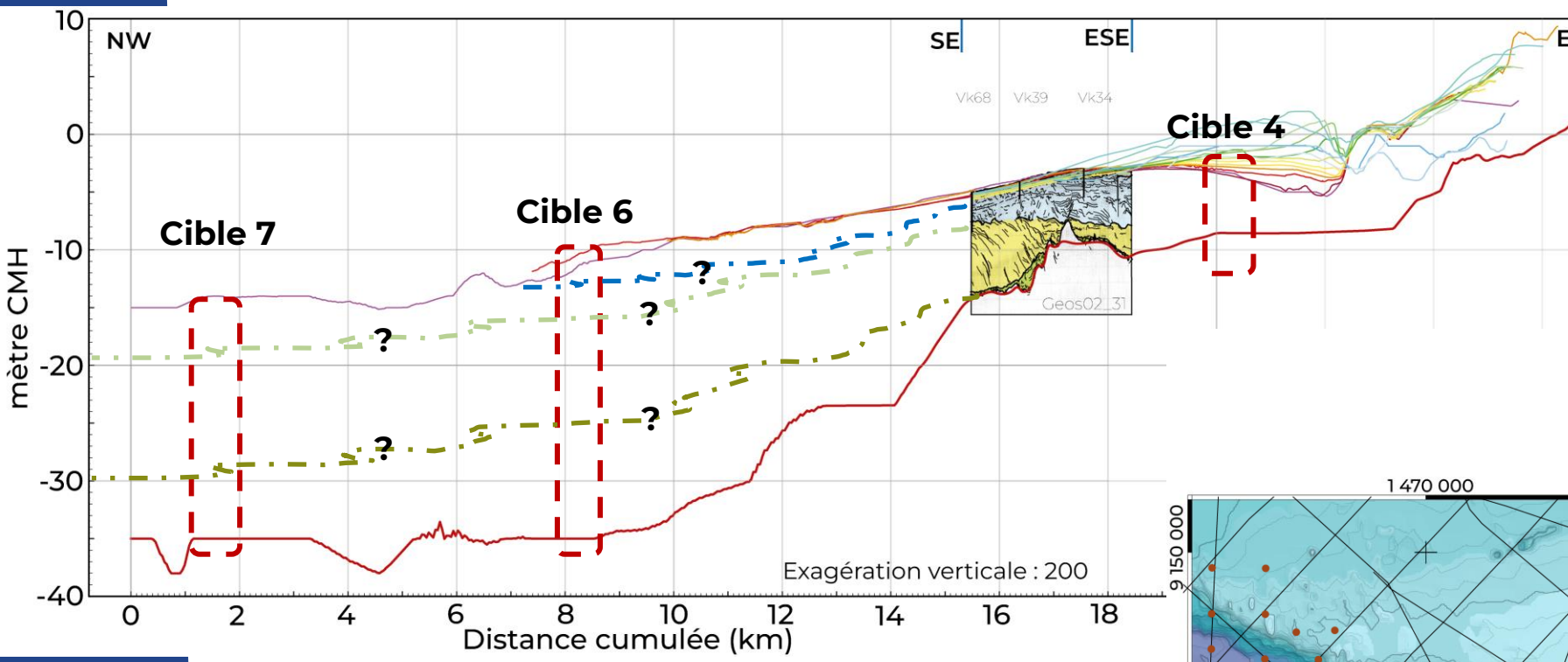
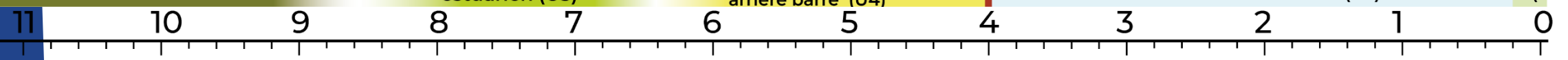
Grave de fond (U2)

Dépôt marin et estuarien (U3)

Dépôt littoraux arrière barre (U4)

Bancs et chenaux estuariens (U5)

Dynamique actuelle (U6-U8)



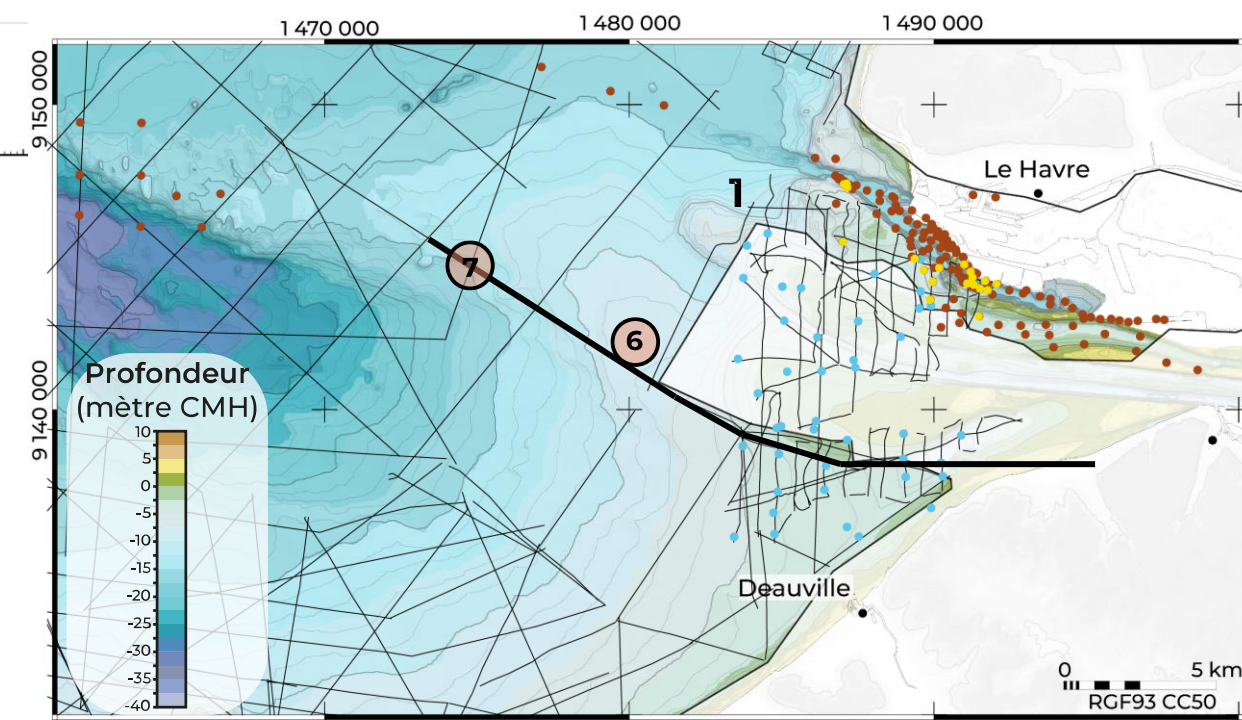
### Objectifs du site 7

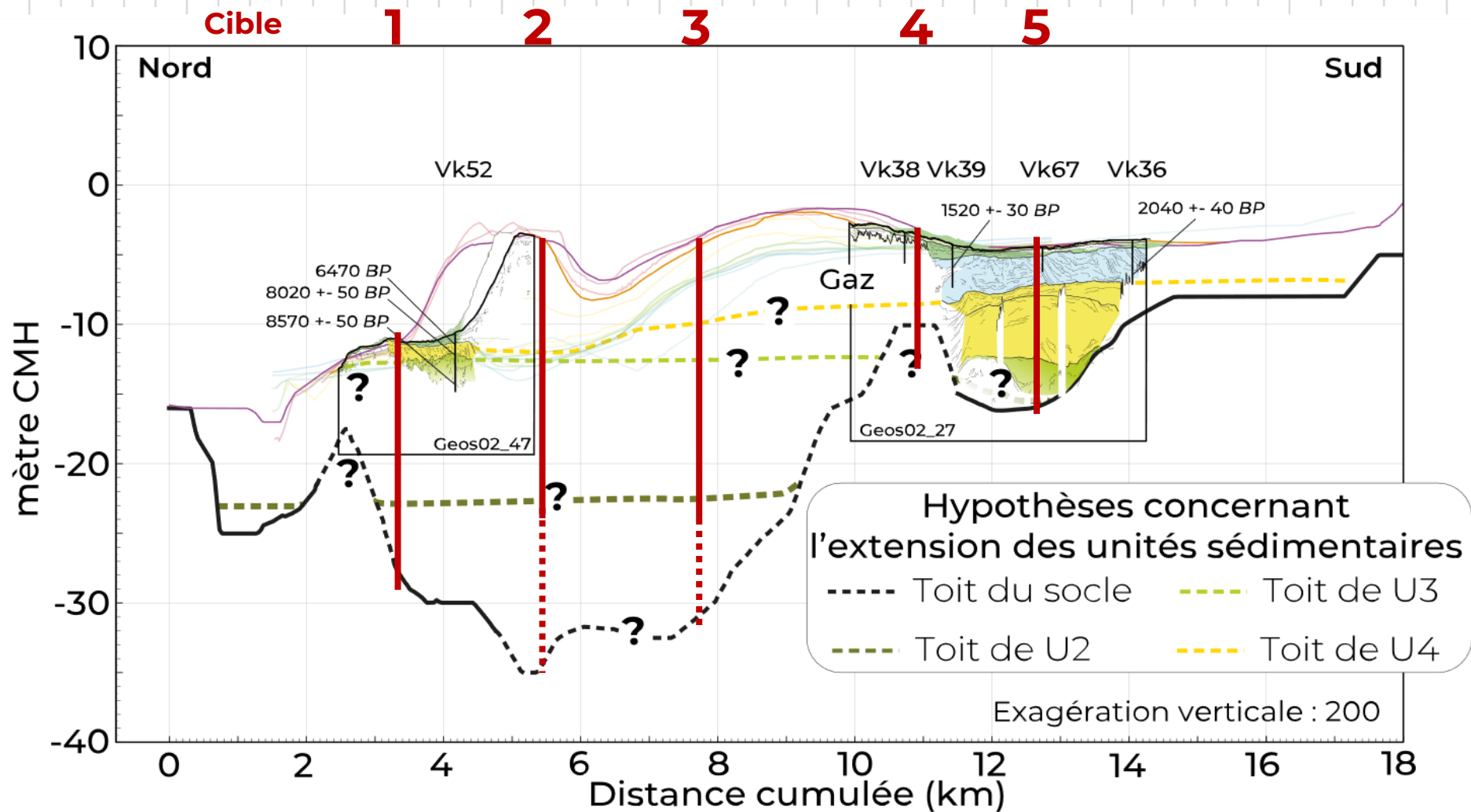
Récupération d'archives sédimentaires  
Sans hiatus important

Transition stratigraphique des unités pointés au niveau du prisme extérieur

Double vérification liée aux variations latérales

Relevés Bathymétriques				Interprétations du substratum Mésozoïque	
20201231	20041231	1985	1965	---	Auffret & Alduc, 1977
MNT2016	19991231	1980	1960	---	Lefebvre, 1974
20141231	19941231	1975	1913	---	Cette étude
20091231	19891231	1970	1834		





Interprétation sismique et stratigraphique (Delsinne, 2005)

- U6b/U6a (Bancs du Ratier et Amfard)
- U4 (dépôts littoraux d'arrière-barrière)
- U1
- U5 (Bancs et chenaux estuariens)
- U2/U3 (Cailloutis de fond/Tourbes)
- (Soile mésozoïque)