

La face cachée des deltas : nouvelles observations sous-marines et implications

Sophie Hage

Département Géosciences, Université de Calgary (AB, Canada)

Collaborateurs: Matthieu Cartigny, Michael Clare, Valier Galy, Stephen Hubbard,
Gwyn Lintern, Esther Sumner, Peter Talling, **et al.**

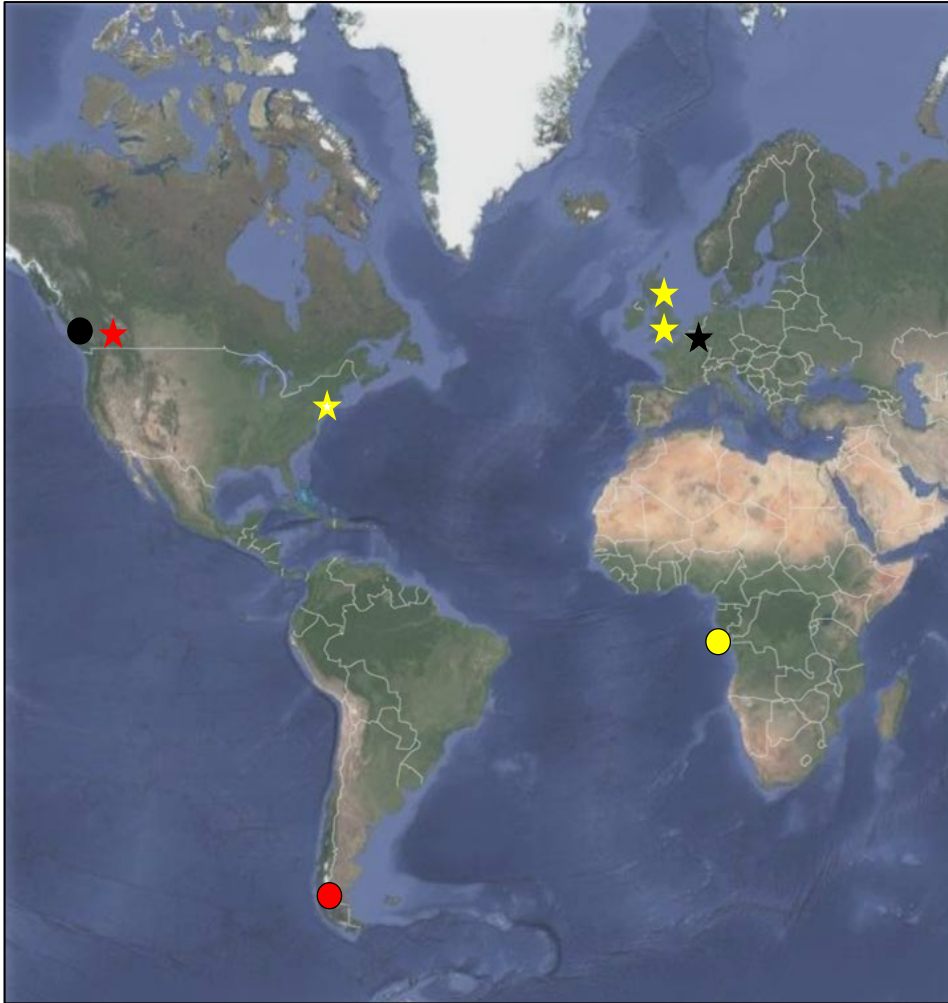
Parcours depuis 2009

Universités/Institutions

- ★ 2009-2012: BSc Géographie, ULiège
2012-2014: Msc Géomorphologie, ULiège
- ★ 2015 – 2019: PhD Sédimentologie marine
 - National Oceanography Centre, UK
 - Université de Durham, UK
 - Woods Hole Oceanographic Institution, USA
- ★ 2020: Post-doctorat Géologie marine, UCalgary, Canada

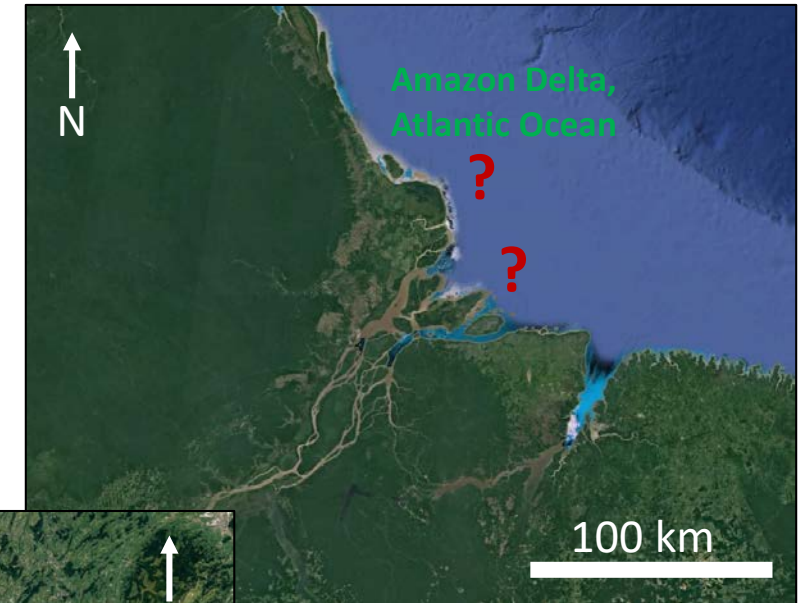
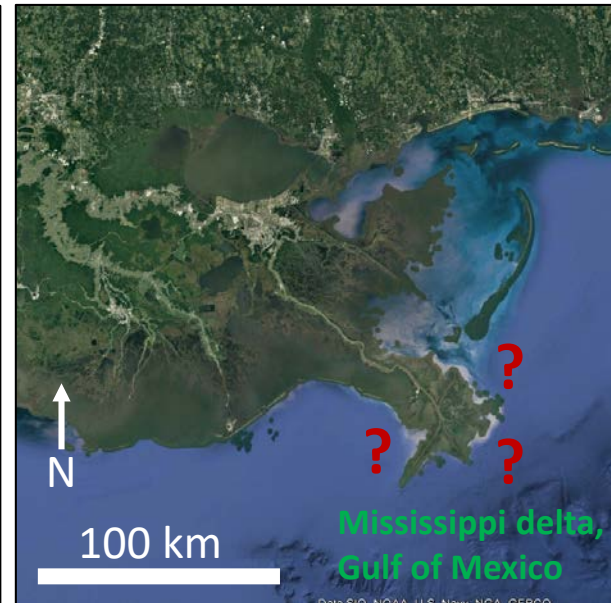
Principaux Sites d'étude

- Fjords de Colombie Britannique, Canada: 4 expéditions en mer
- Canyon sous-marin du Congo, Afrique: 1 expédition en mer
- Dépôts Crétacés, Patagonie chilienne: 1 expédition de terrain



Les deltas: Interfaces entre rivières et mer, océan, lacs

Centre d'intérêt: Partie sub-aquatique des deltas



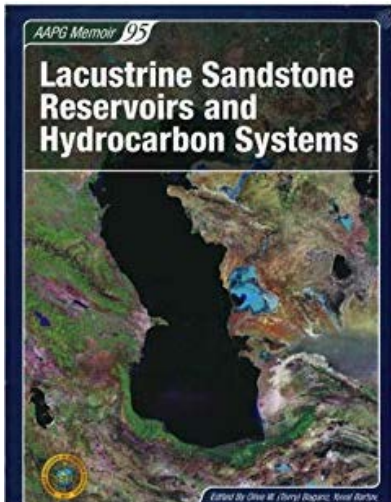
©Google Earth

Pourquoi étudier la partie “cachée” des deltas?

© Copyright – National Geographic



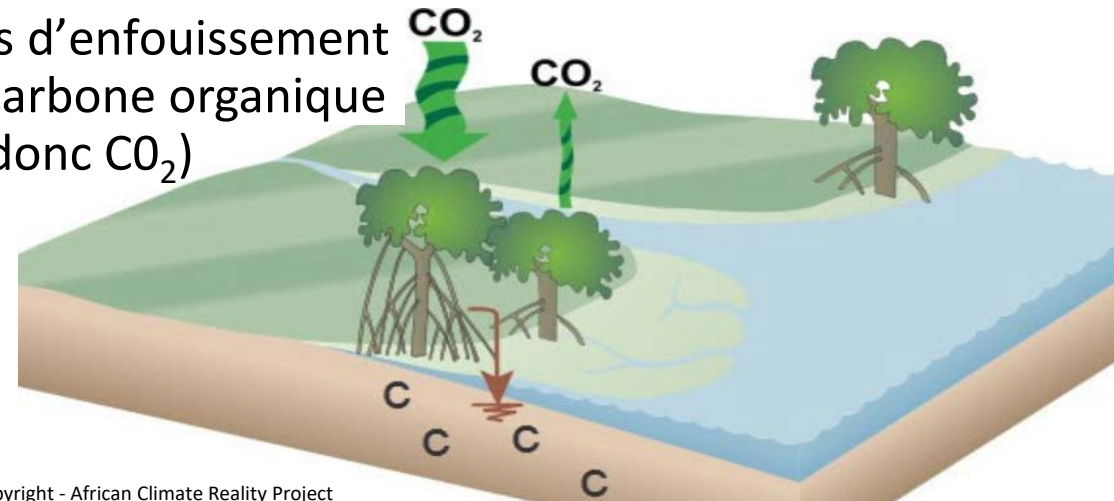
Sites de transfert de polluants depuis les continents vers l'océan



Anciens dépôts de deltas peuvent former des réservoirs d'hydrocarbures



Sites d'enfouissement de carbone organique (et donc CO₂)



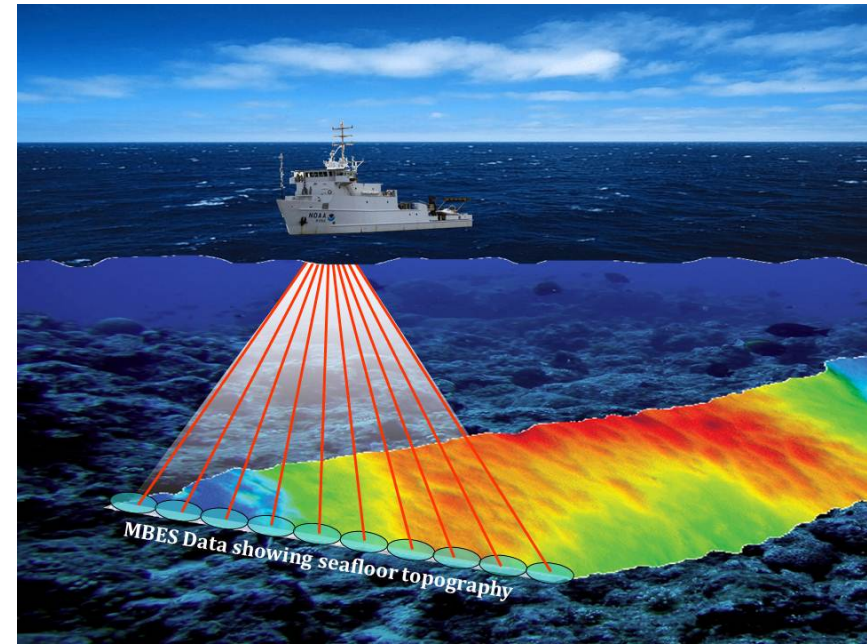
© Copyright - African Climate Reality Project

Partie 1. Chronologie de la recherche sur les deltas sub-aquatiques

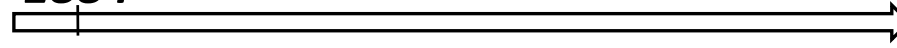
19^{ème} siècle



21^{ème} siècle



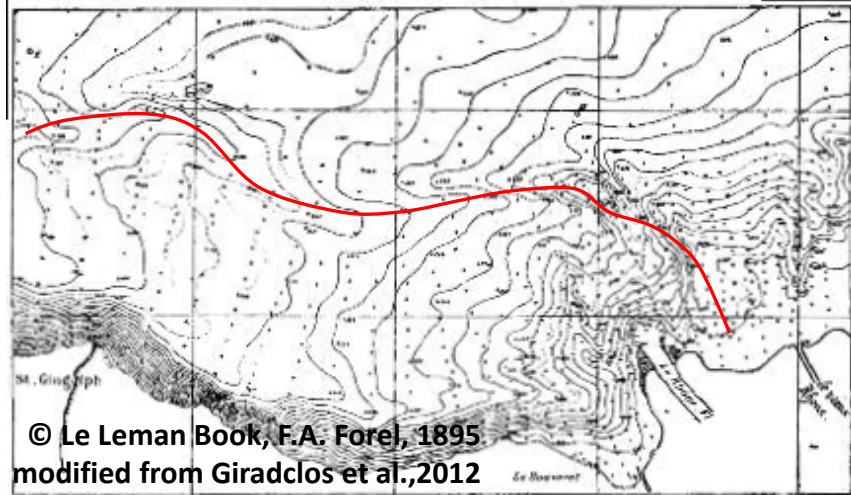
1884



Découverte d'un canyon sous-lacustre en aval du delta du Rhône par F. A. Forel



© Musée du
Léman and
Famille Forel



© Le Léman Book, F.A. Forel, 1895
modified from Girardclos et al., 2012

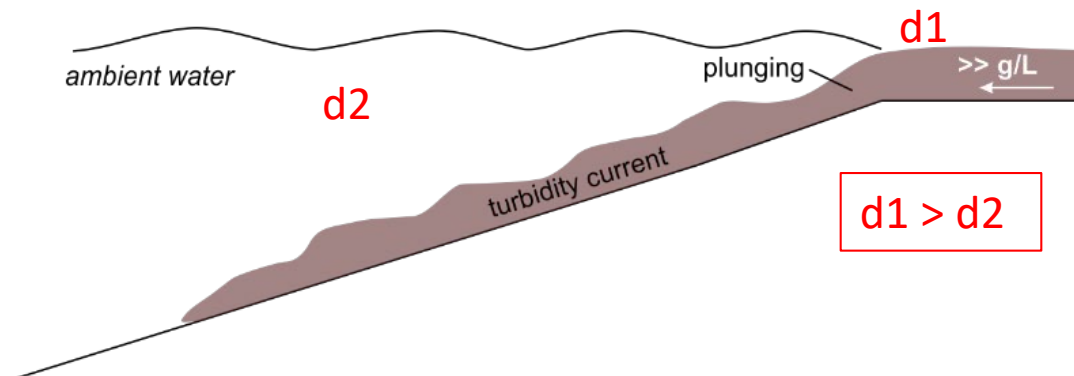
Ces ravins sont constitués par un sillon creusé dans le talus général du delta sous-lacustre, et par des digues latérales fai-

Comment les expliquer?

D'après leur profil transverse, ils sont en partie causés par une action de creusement, érosion d'un courant qui attaque le sol du delta, en partie par une action de dépôt sur les bords de ce courant, qui bâtit les digues latérales. Le courant du

1884

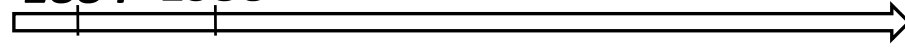
Découverte d'un canyon sous-lacustre en aval du delta du Rhône par F. A. Forel



de ce courant, qui bâtit les digues latérales. Le courant du fleuve se continue donc dans la profondeur, sous la nappe des eaux, en suivant la déclivité du delta.

Ce courant profond résulte de la plus grande densité des eaux fluviales, qui sont plus lourdes que les eaux du lac : 1° par le fait de leur température, 2° par leur charge d'alluvion qui les rend laiteuses.

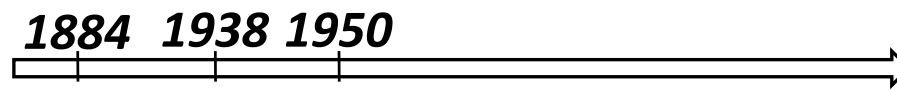
1884 1938



“Courants de turbidité” = courants sédimentaires sous-marins, épisodiques et à l’origine des canyons sous-marins

Johnson, 1938





Premiers essais de modélisation en bassin des courants de turbidité

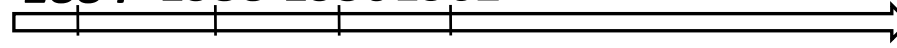
Kuenen, 1950



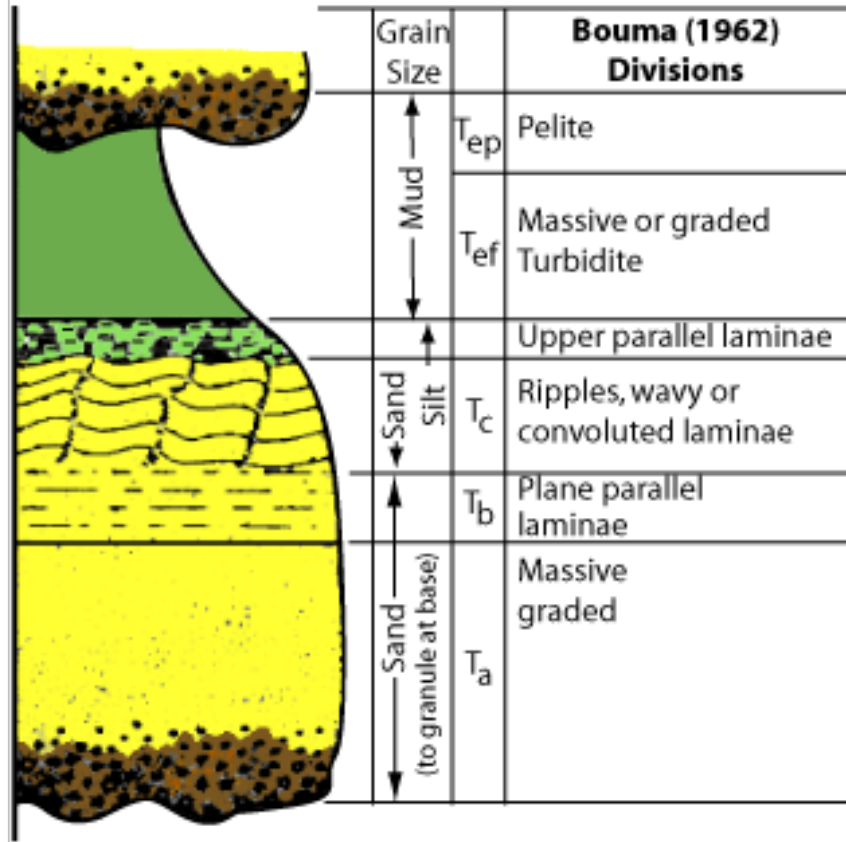
©Western Washington University

“avalanches sous-marines” entraînées par la densité du mélange eau +
sédiment par rapport à l’eau ambiante

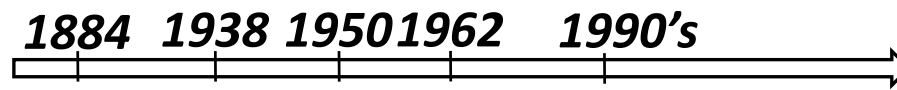
1884 1938 1950 1962



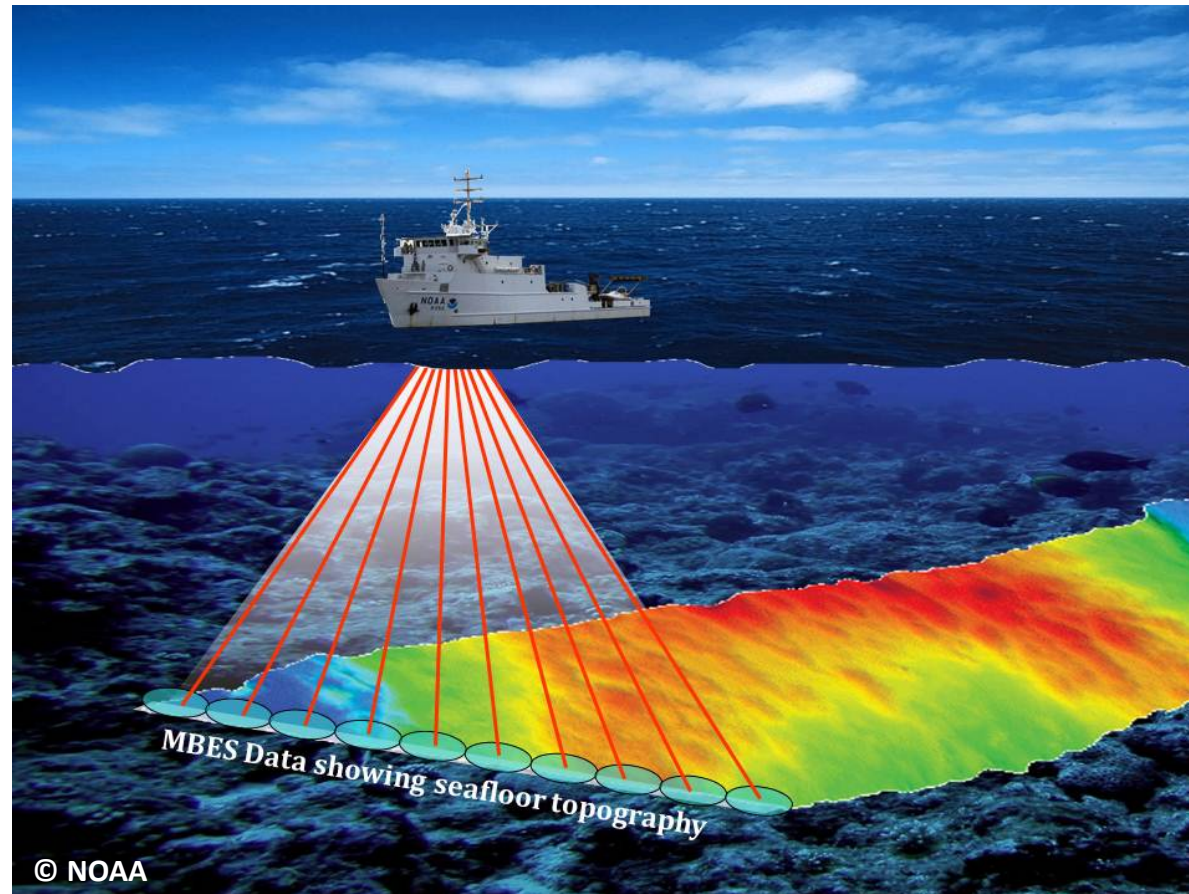
Modèle pour les dépôts résultant des courants de turbidité: “turbidites”



20 million years old rock interpreted as a turbidite – New Zealand (© Zane Jobe)



Utilisation d'instruments acoustiques (sondeurs multi-faisceaux) pour cartographier les fonds marins/lacustres

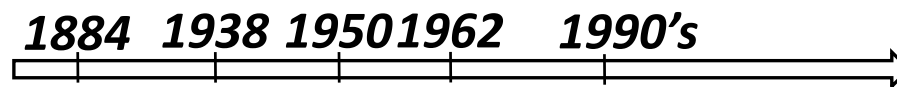


Temps Δt
émission & réception signal

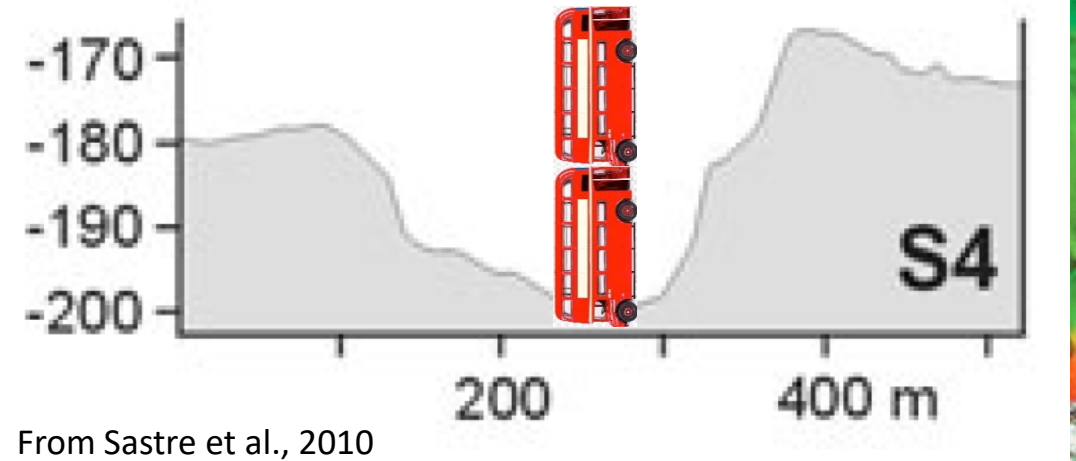
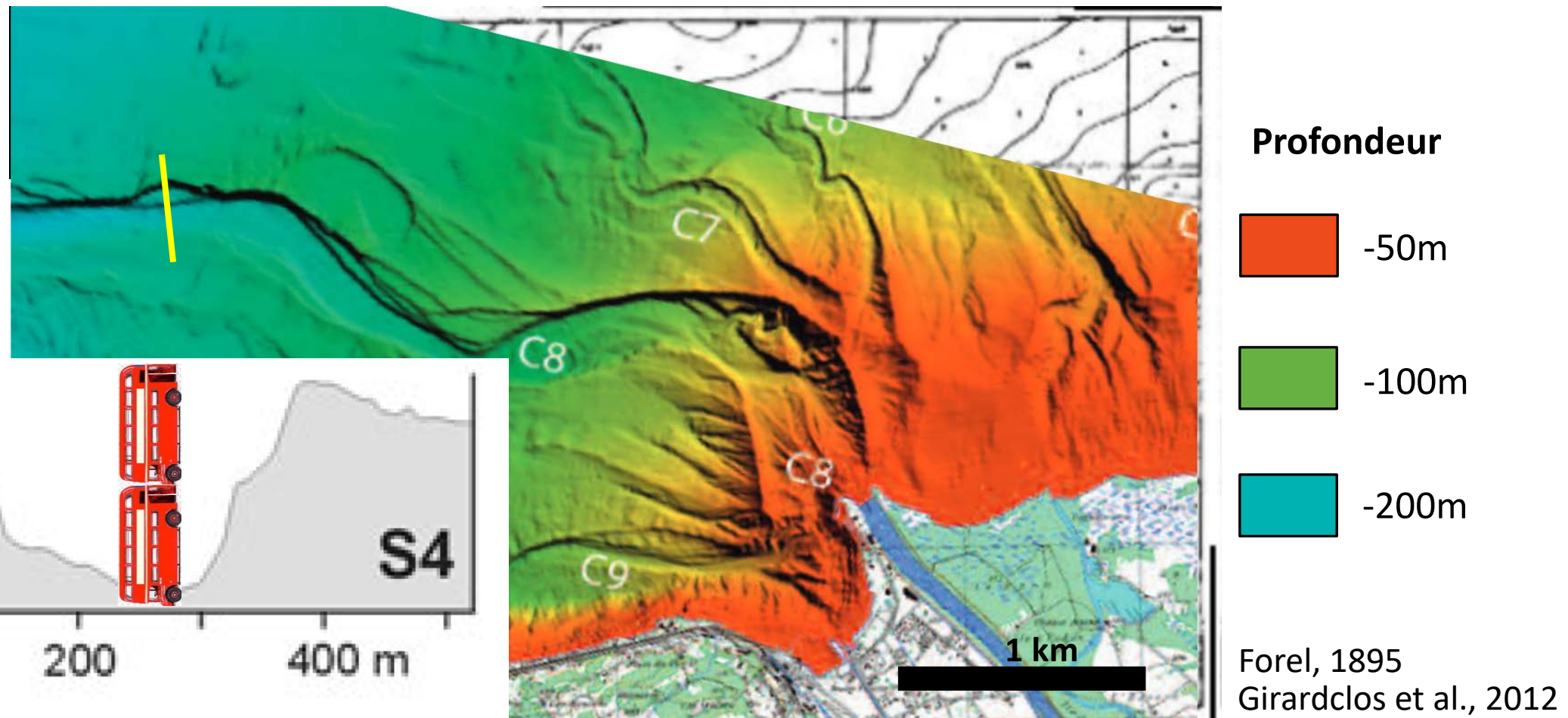
Vitesse v
Onde dans l'eau

$$\rightarrow D = v * \Delta t$$

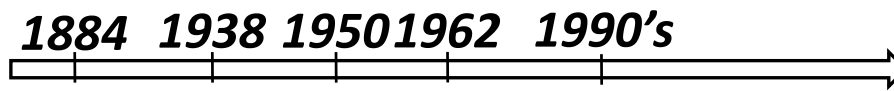
D = distance surface $\rightarrow$ fond
= profondeur d'eau



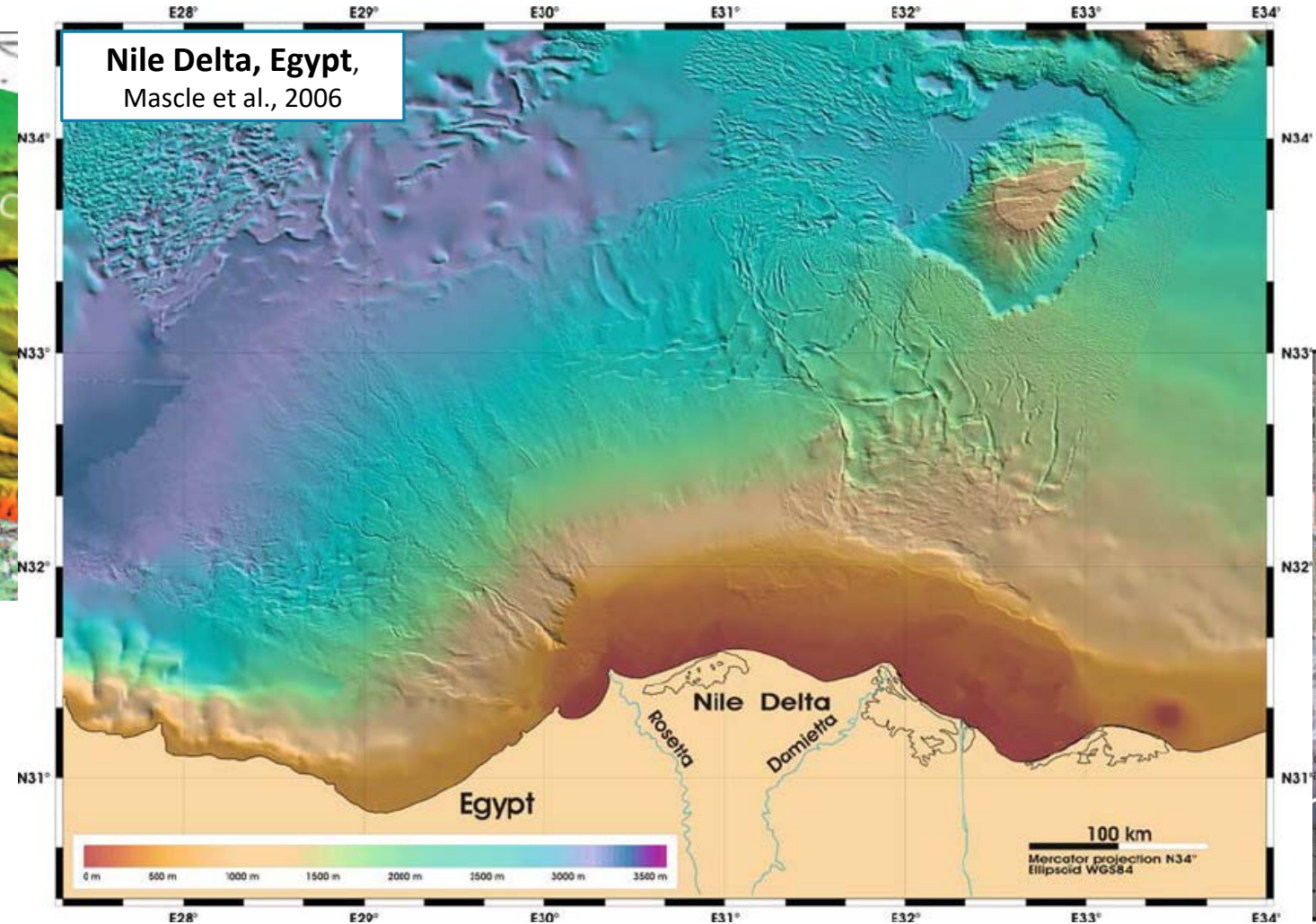
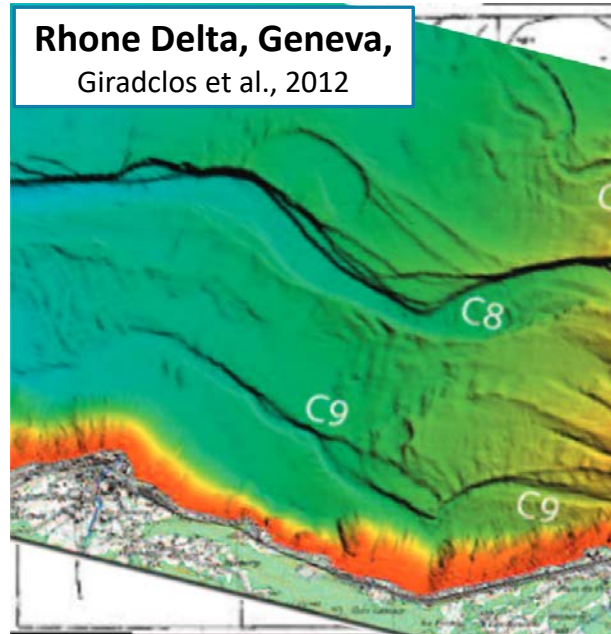
Utilisation d'instruments acoustiques (sondeurs multi-faisceaux) pour cartographier les fonds marins/lacustres



From Sastre et al., 2010

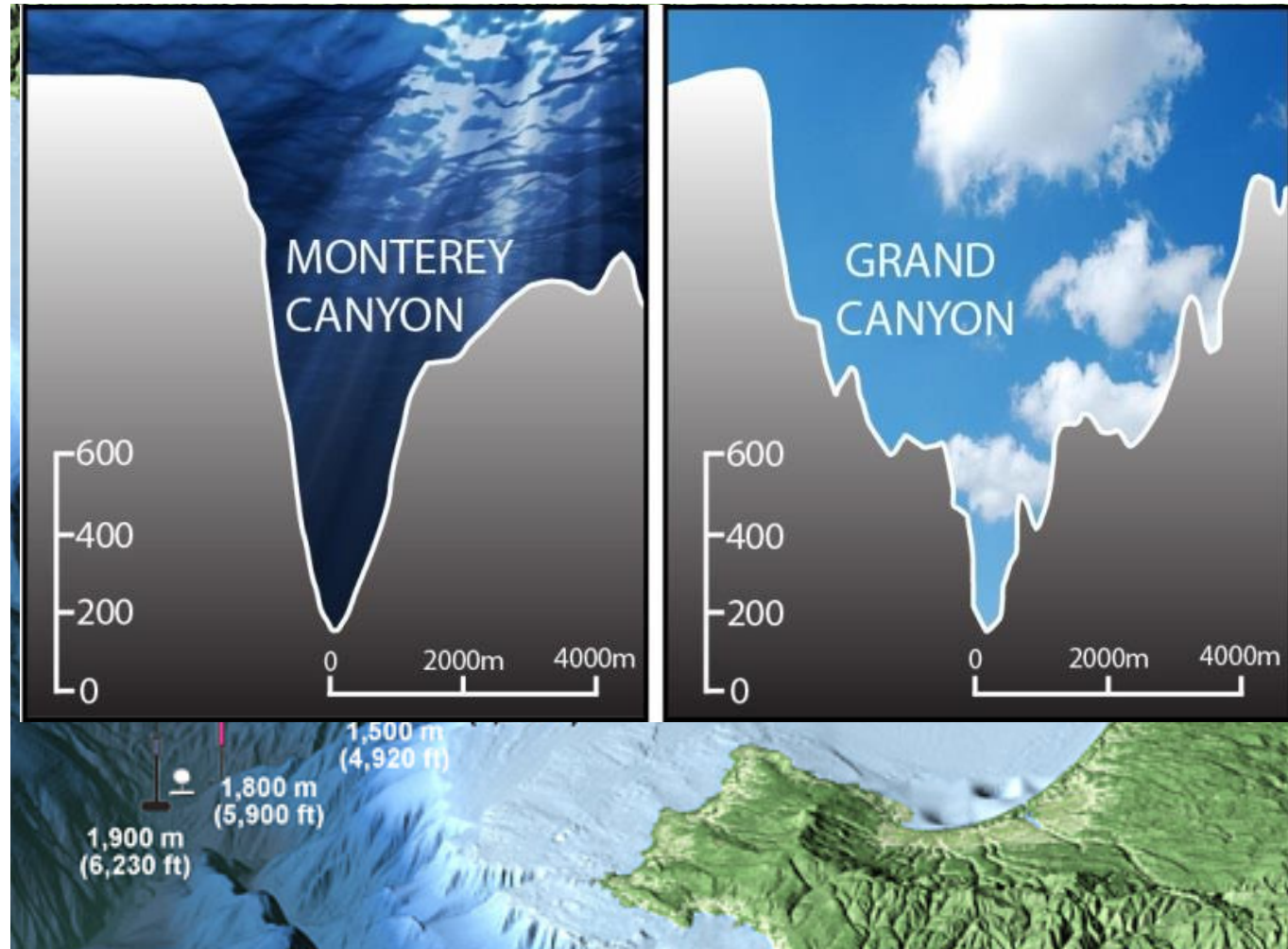


Découverte d'une multitude de canyons sous-marins



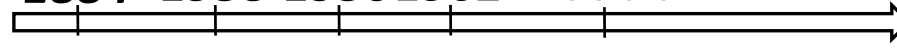
1884 1938 1950 1962 1990's 2000's →

Découverte d'une multitude de canyons sous-marins

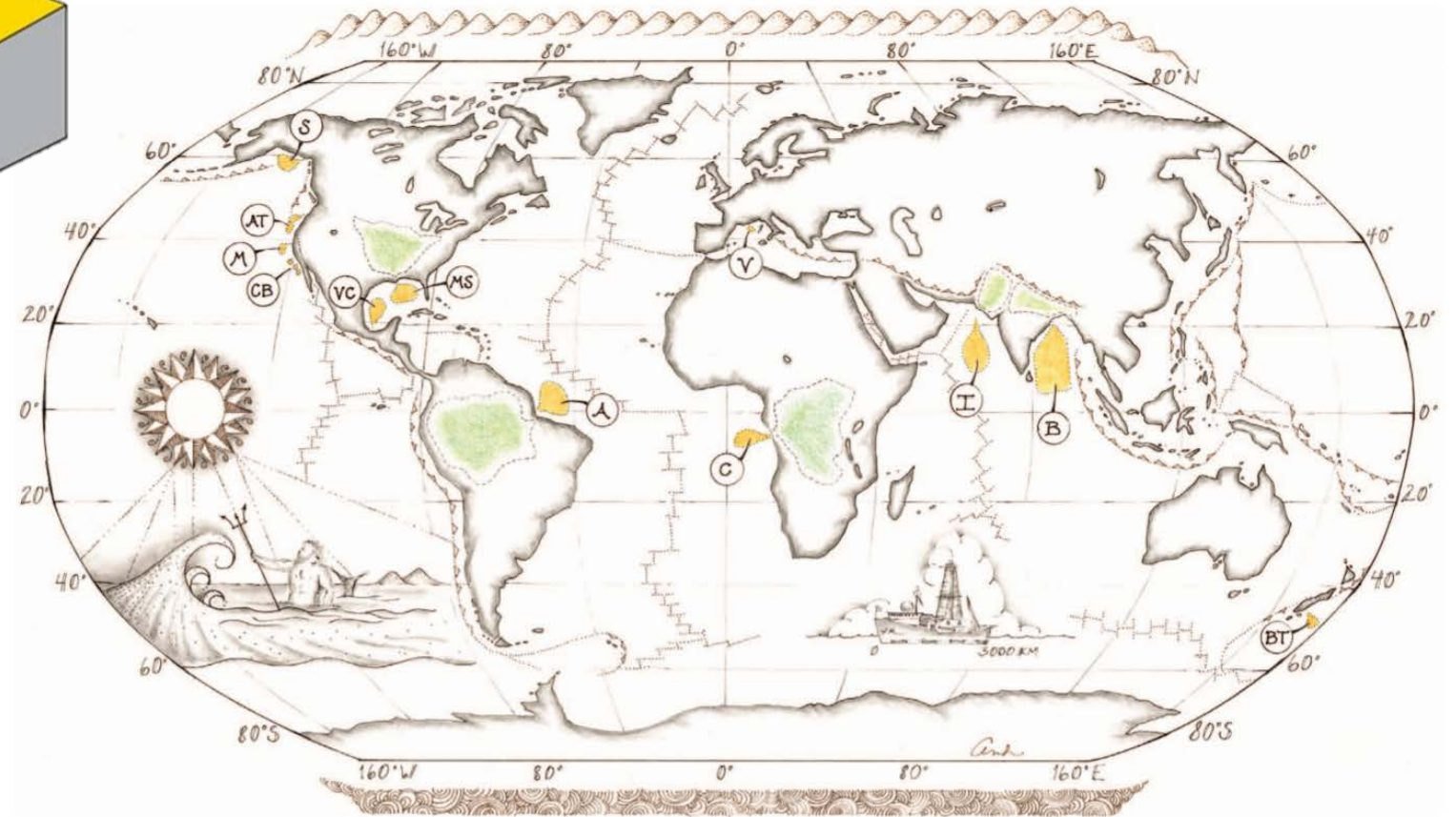
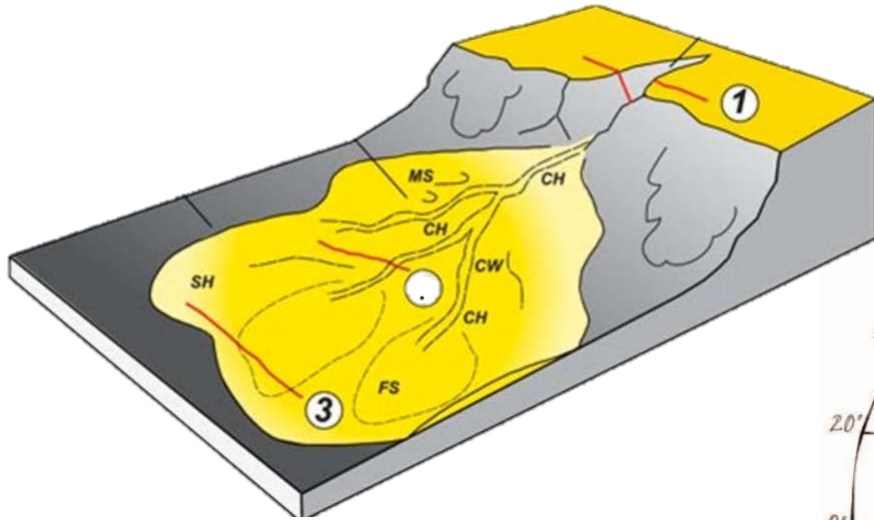


**Monterey Canyon,
California (USA)**
MBARI

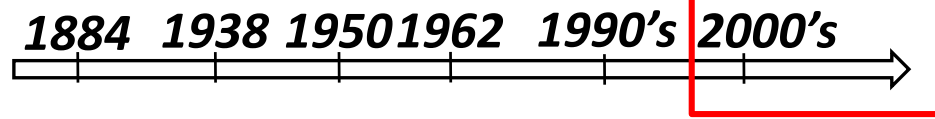
1884 1938 1950 1962 1990's



Ces canyons débouchent sur des éventails sous-marins



Hessler and Fildani, 2019

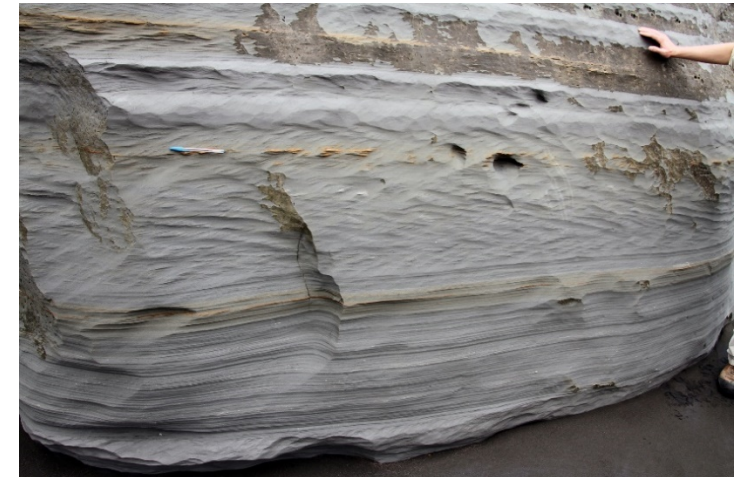


Questions de recherche

1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?
2. A quoi ressemble la géomorphologie sous-marine des deltas ?
3. Quel est le rôle des turbidites dans le cycle du carbone ?



Processus

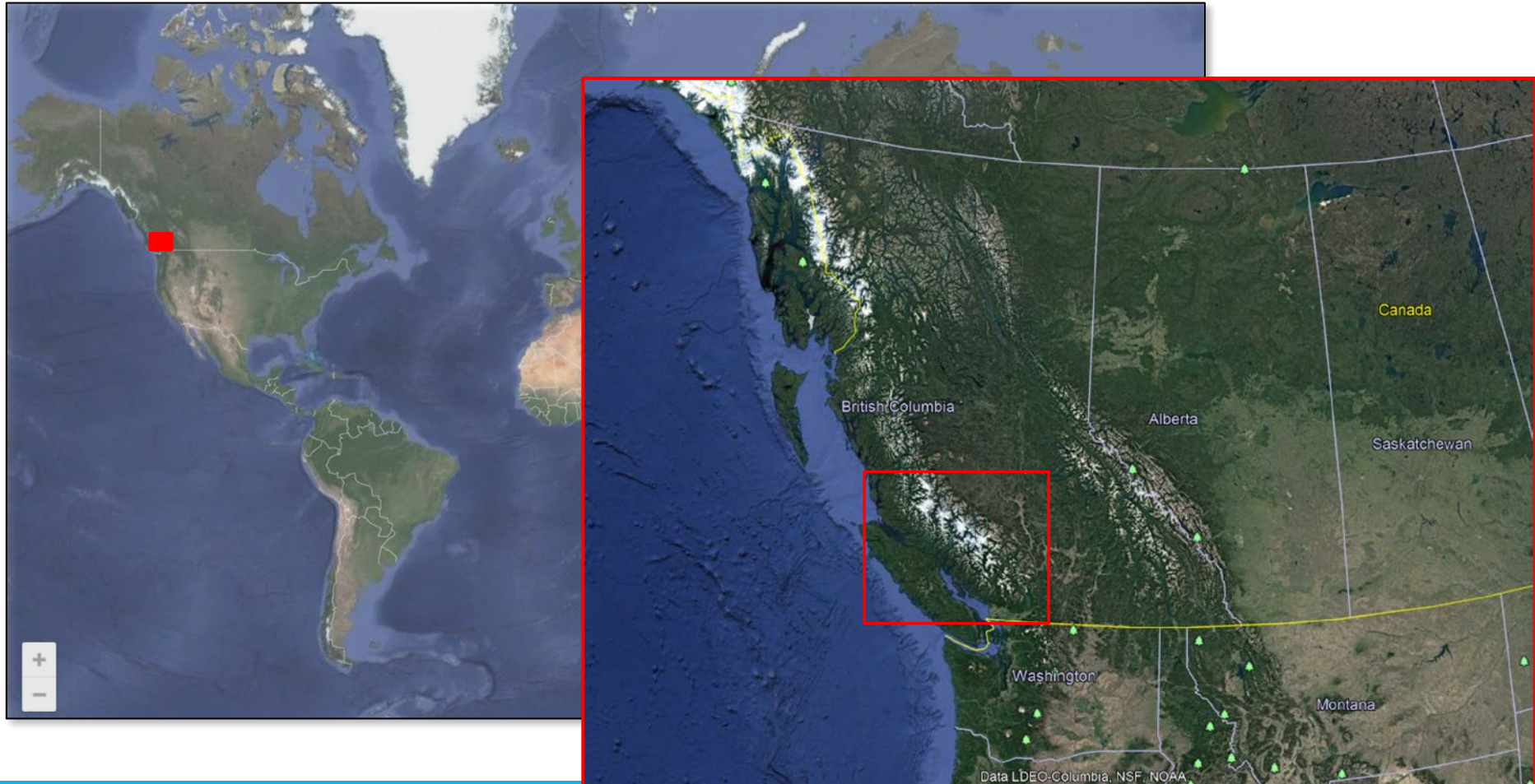


Dépôts

Partie 2. Fjords canadiens: labos naturels pour étudier les courants de turbidité

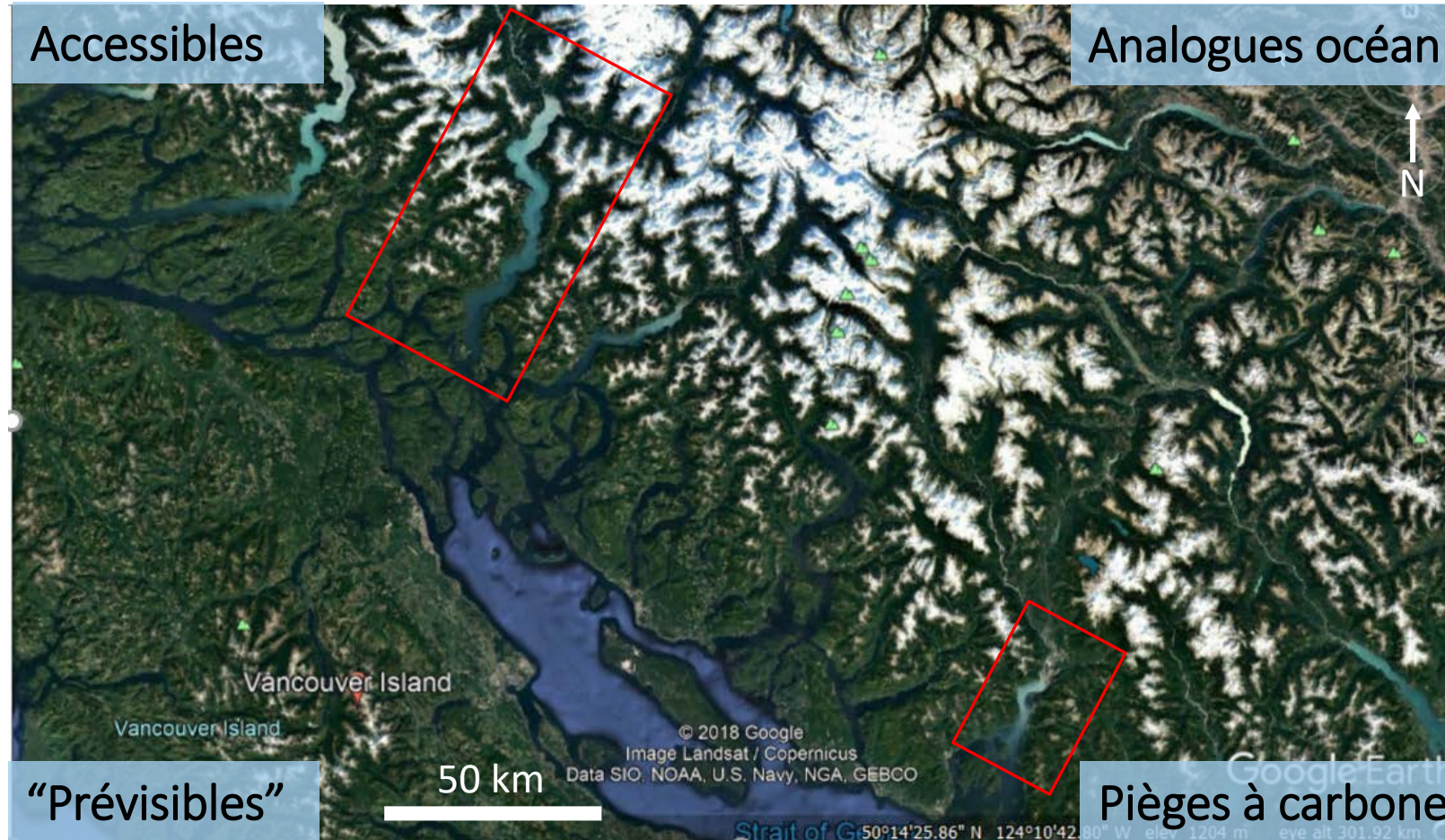


Partie 2. Fjords canadiens: labos naturels pour étudier les courants de turbidité



Partie 2. Fjords canadiens: labos naturels pour étudier les courants de turbidité

Homathko and
Southgate Deltas
➔ Bute Inlet



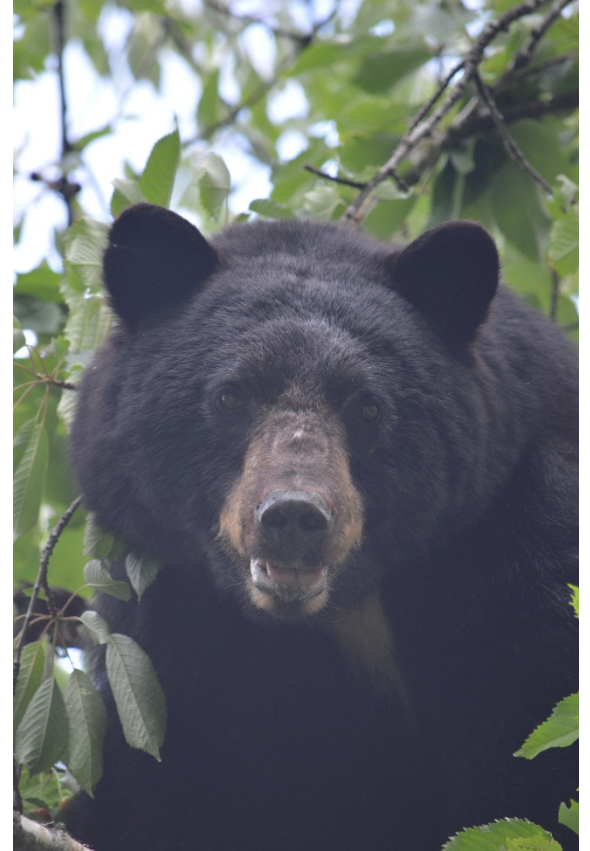
Partie 2. Fjords canadiens: labos naturels pour étudier les courants de turbidité



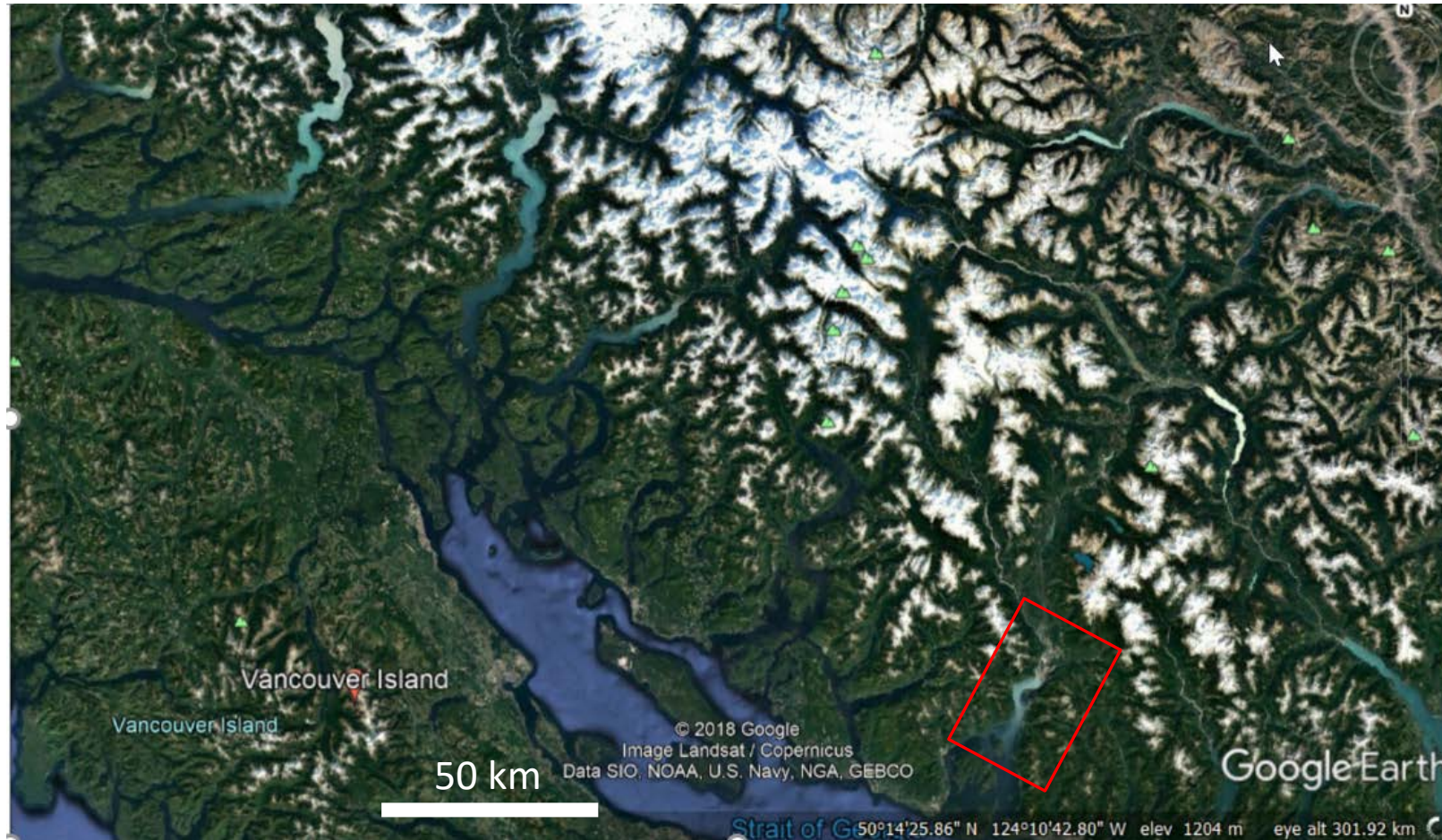
Navire de la garde côtière
canadienne (CCGS Vector)



Partie 2. Fjords canadiens: labos naturels pour étudier les courants de turbidité

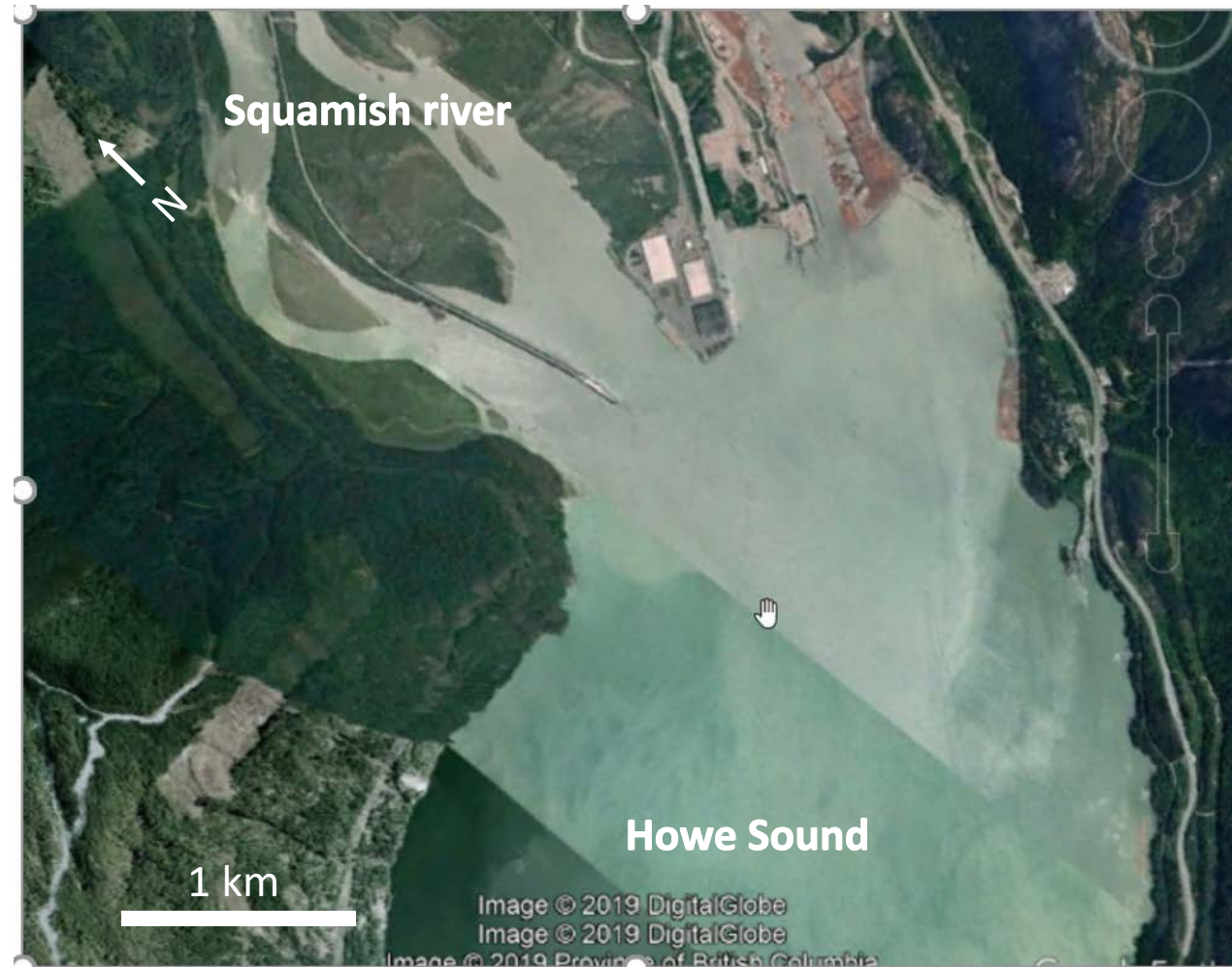


1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?



Squamish Delta
→ Howe Sound

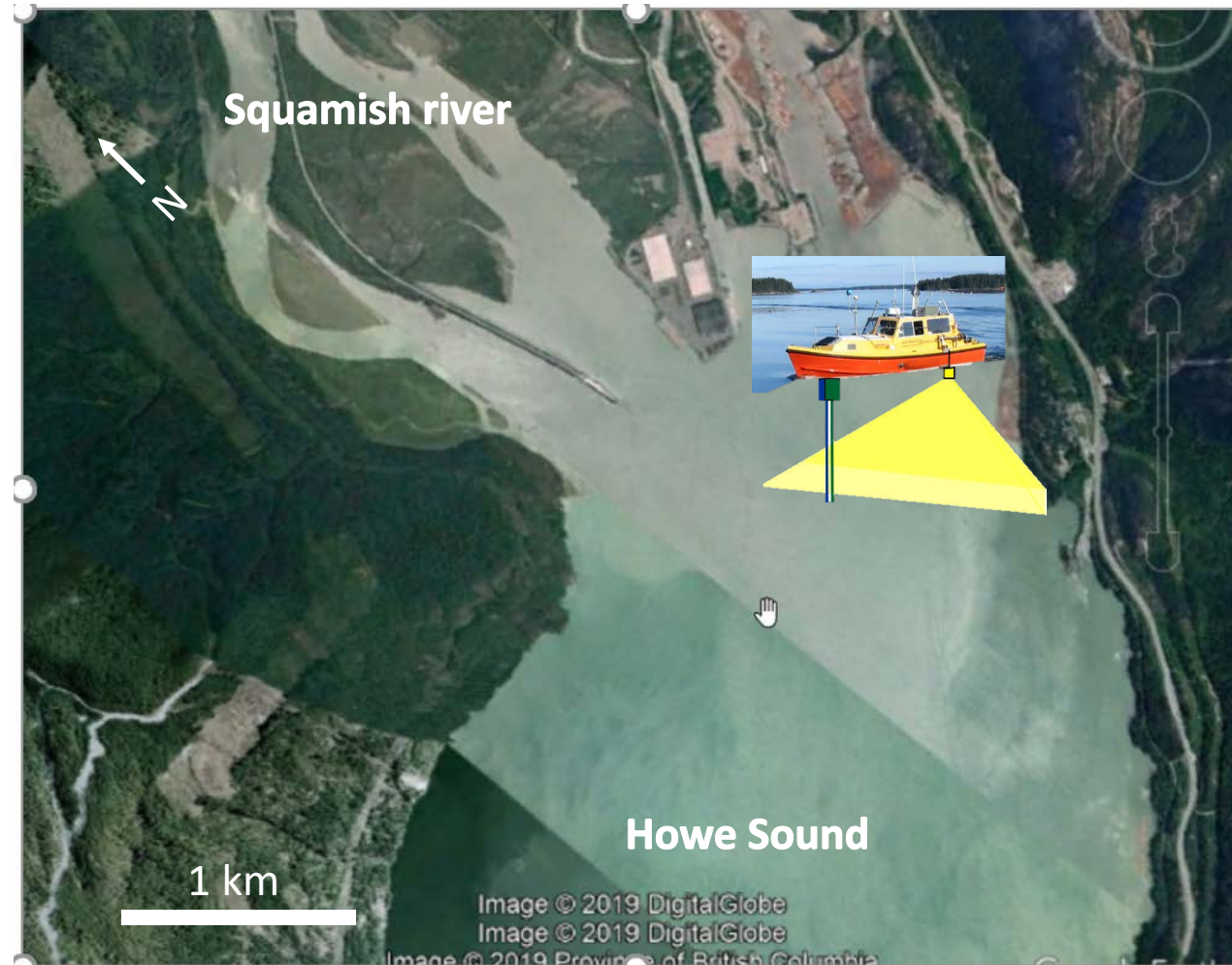
1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?



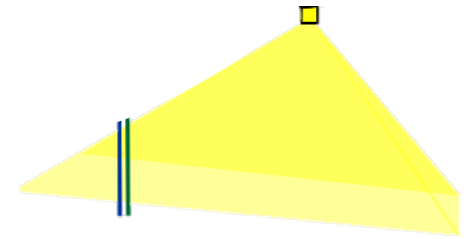
1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?



John Hughes Clarke
University of New Hampshire



Sondeur multi-faisceaux



→ Profondeur

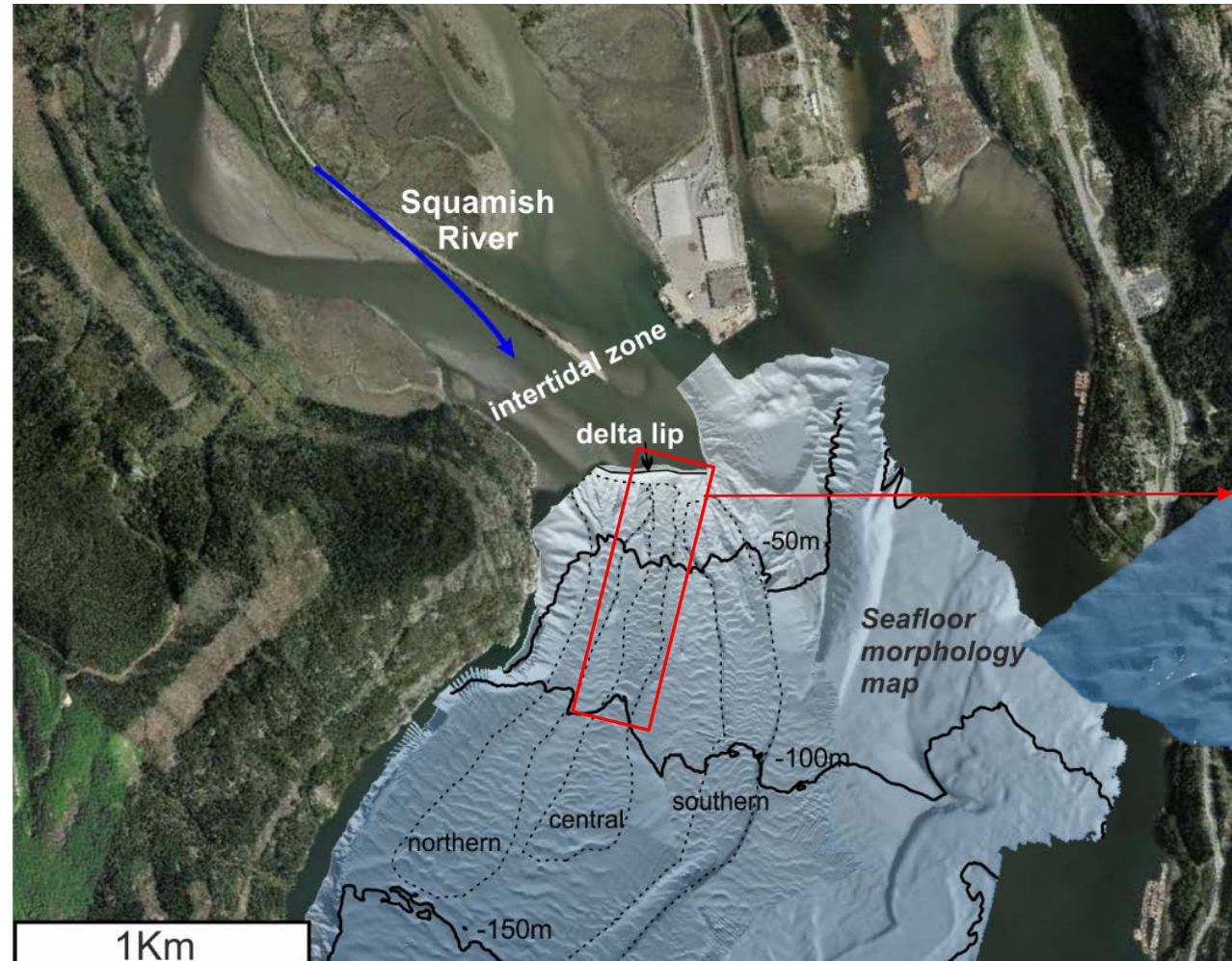
→ Carte bathymétrique

1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?

Profondeur

-50m

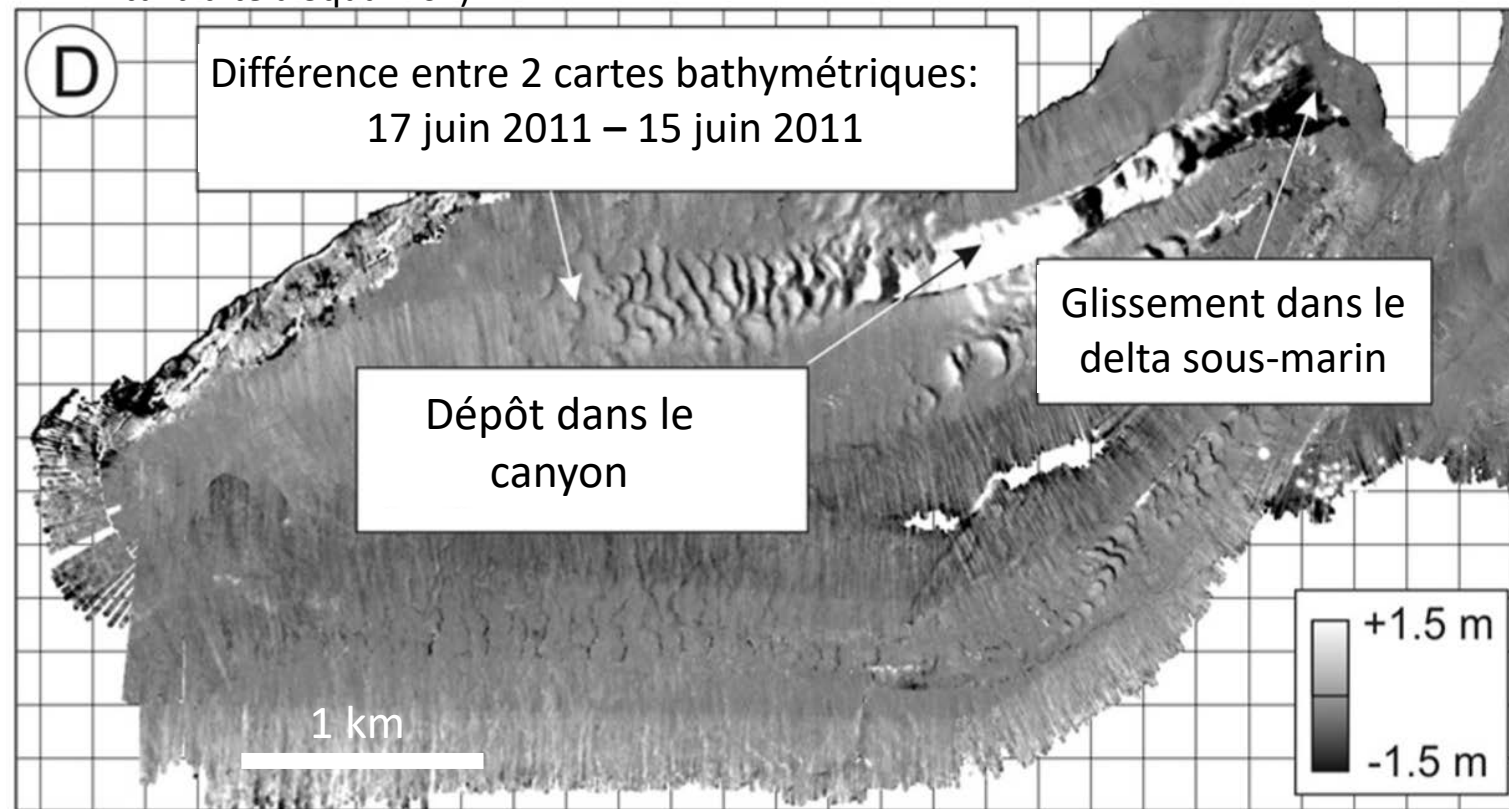
-100m



1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?

Glissements de terrain

(27 % des courants de turbidité à Squamish)



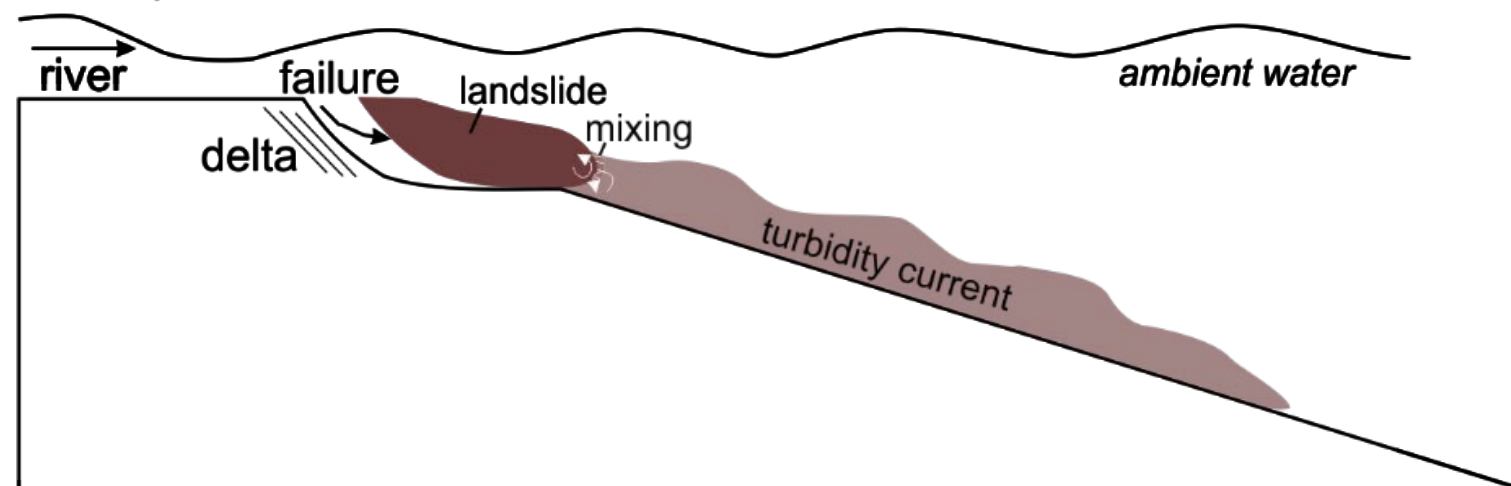
Clare et al., 2016,
Hizzett et al., 2017

1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?

Glissements de terrain

(27 % des courants de turbidité à Squamish)

A. Slope Failure



1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?

Glissements de
terrain
(27 % des courants de
turbidité à Squamish)

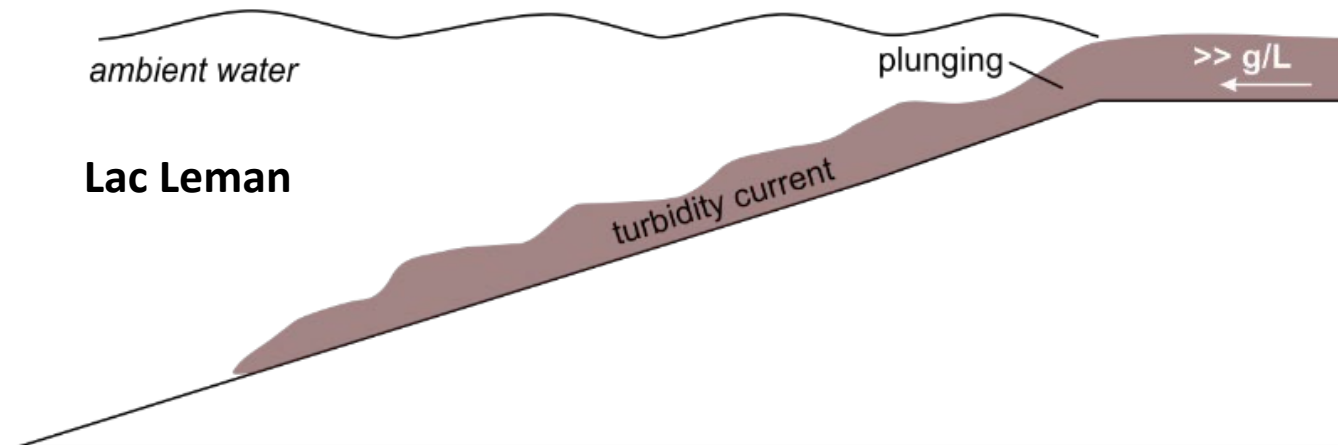
Rivières
hyperpycnales
(0 % des courants de
turbidité à Squamish)



1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?

Glissements de
terrain
(27 % des courants de
turbidité à Squamish)

Rivières
hyperpycnales
(0 % des courants de
turbidité à Squamish)



1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?

Glissements de
terrain
(27 % des courants de
turbidité à Squamish)

Rivières
hyperpycnales
(0 % des courants de
turbidité à Squamish)

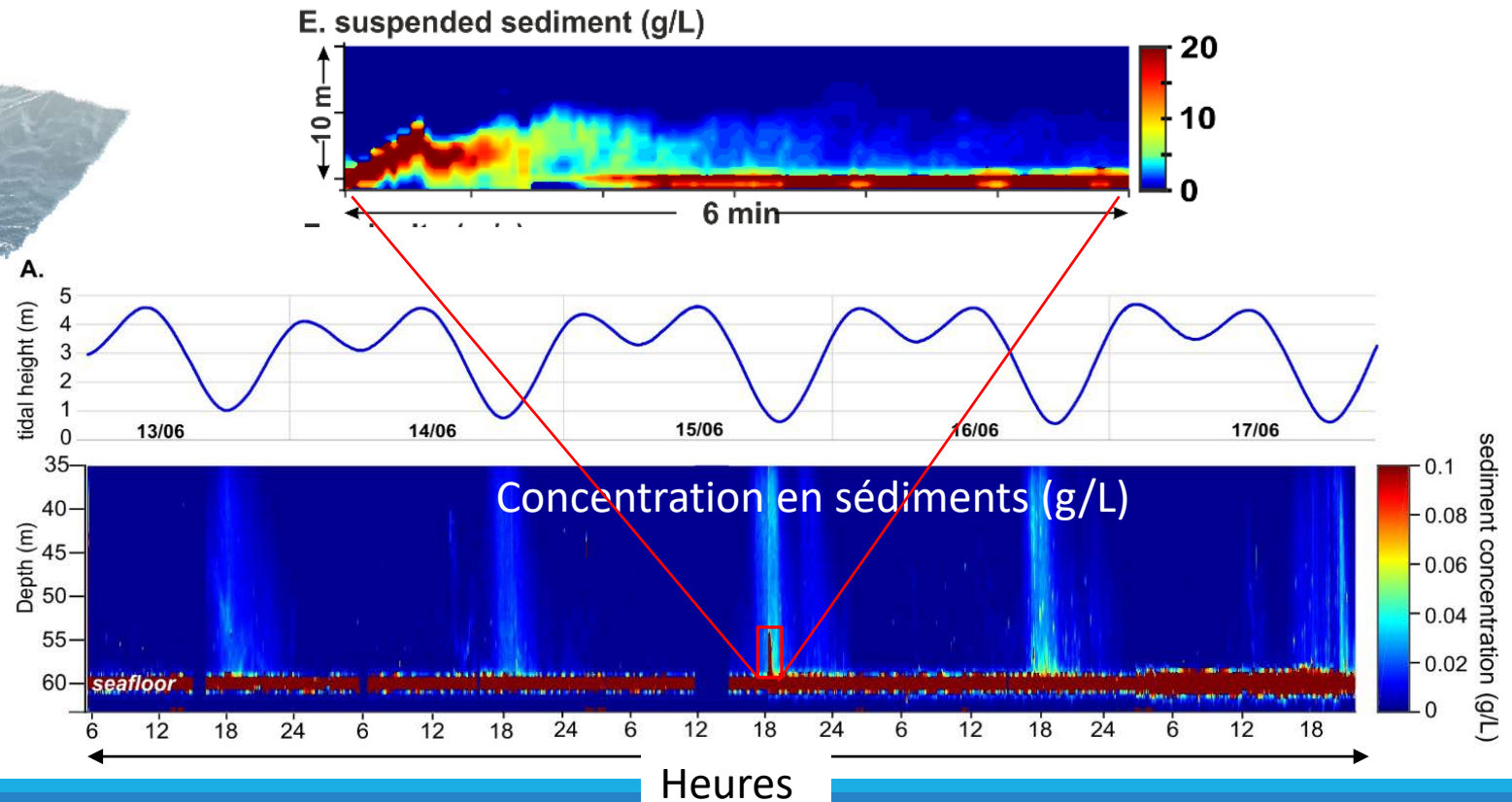
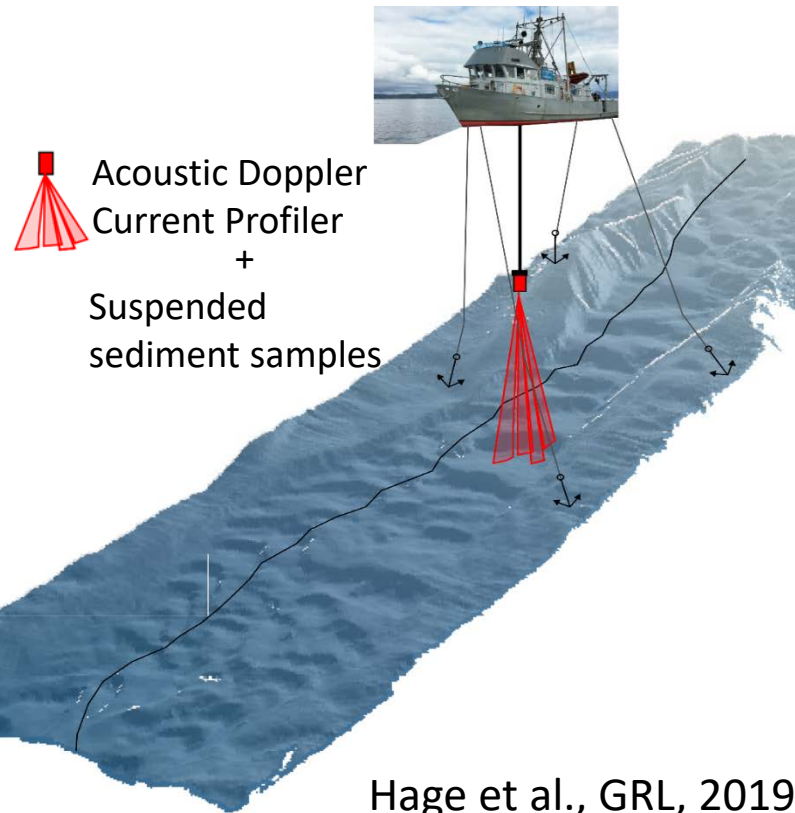
Décantation de panaches dilués
(73 % des courants de turbidité à Squamish)



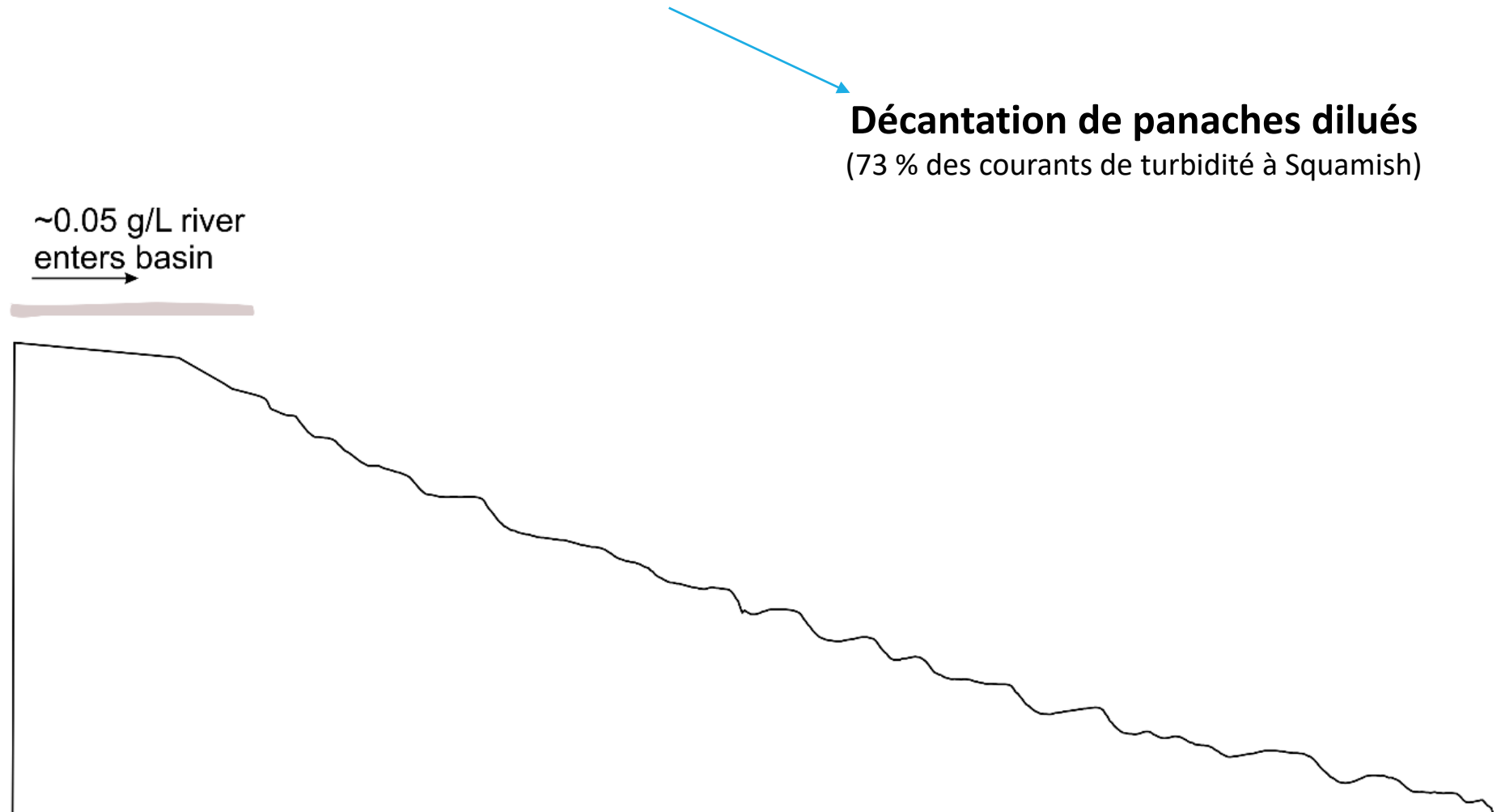
1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?

Décantation de panaches dilués

(73 % des courants de turbidité à Squamish)

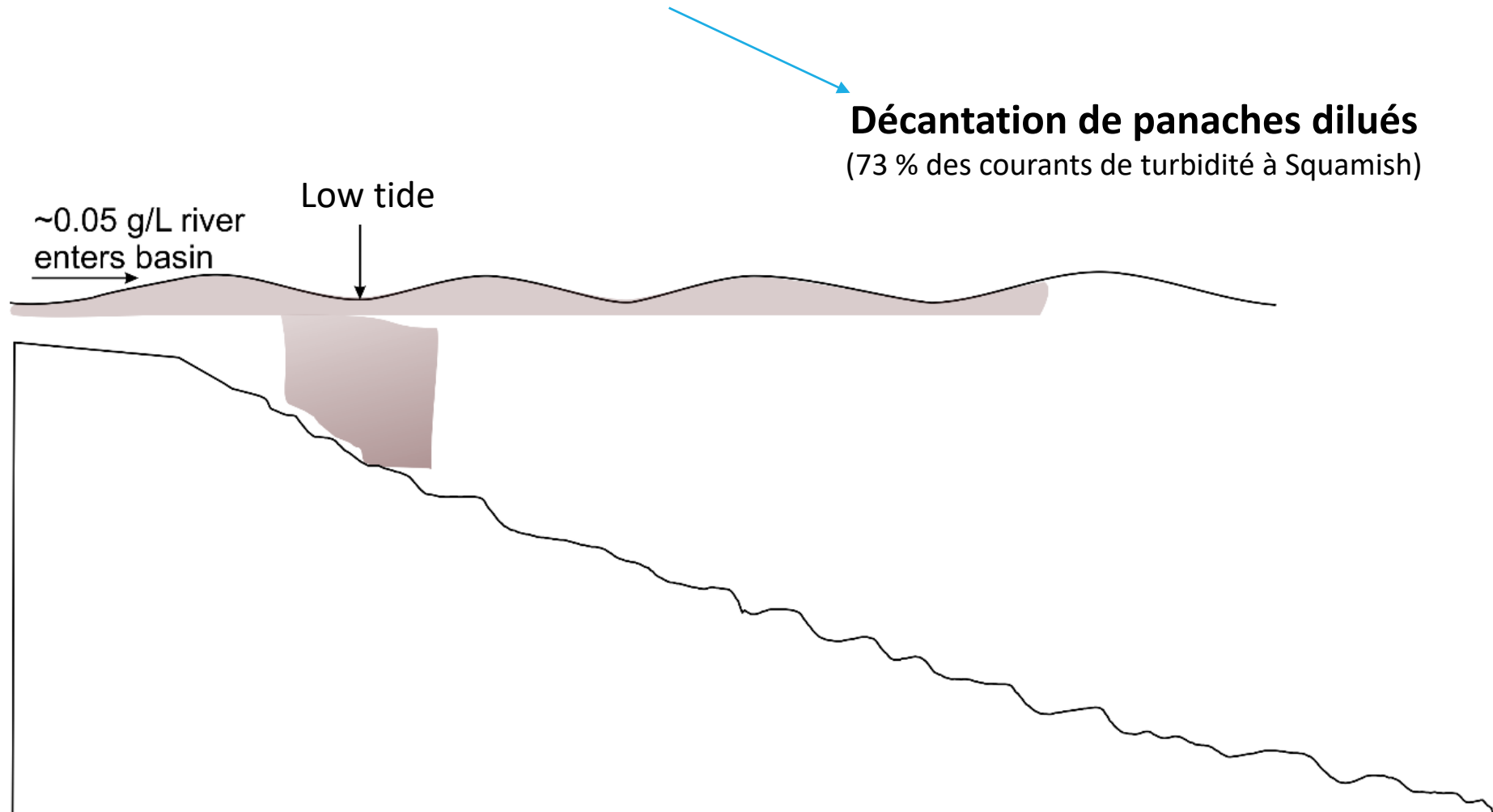


1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?



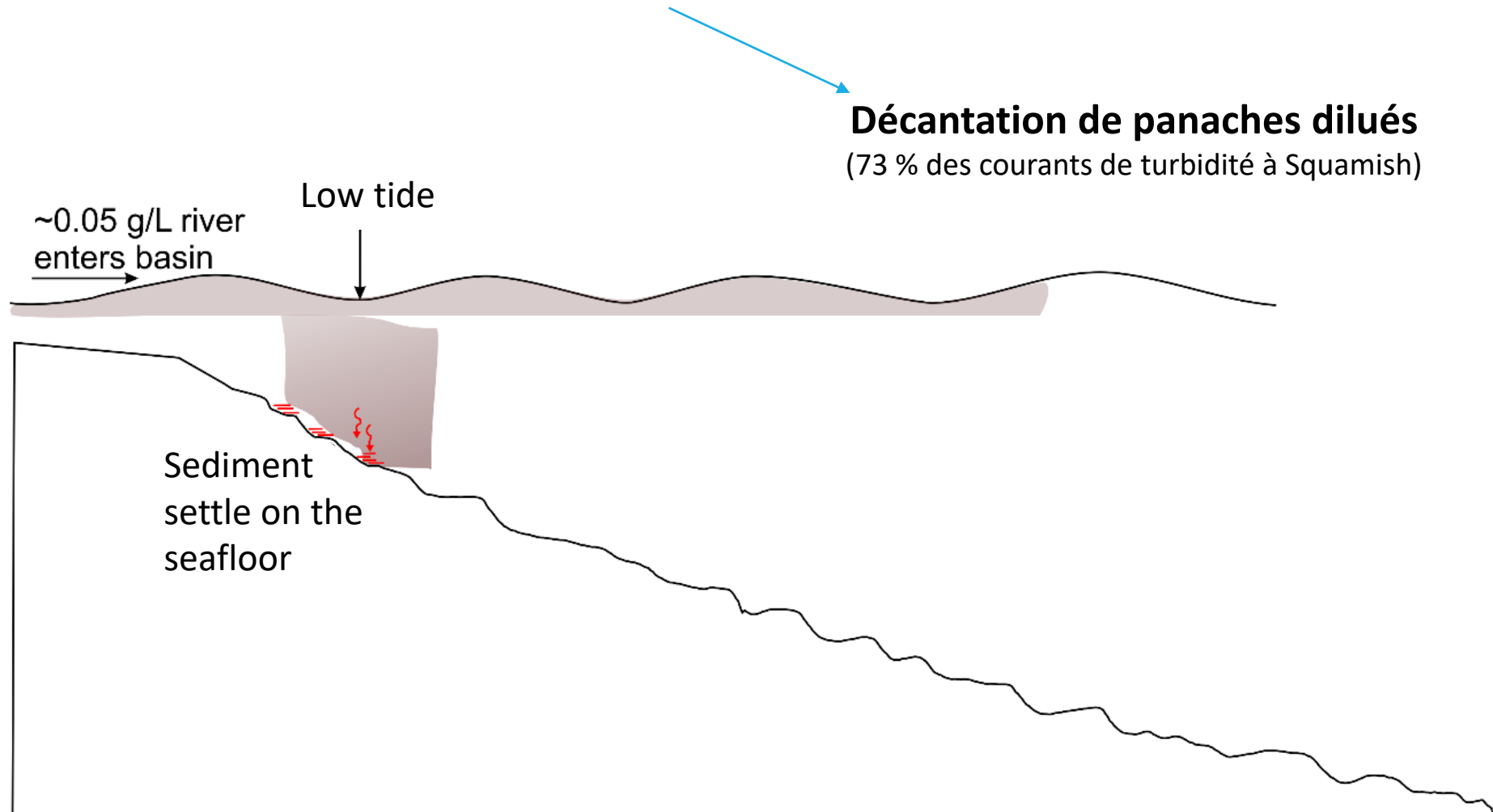
Hage et al., GRL, 2019

1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?



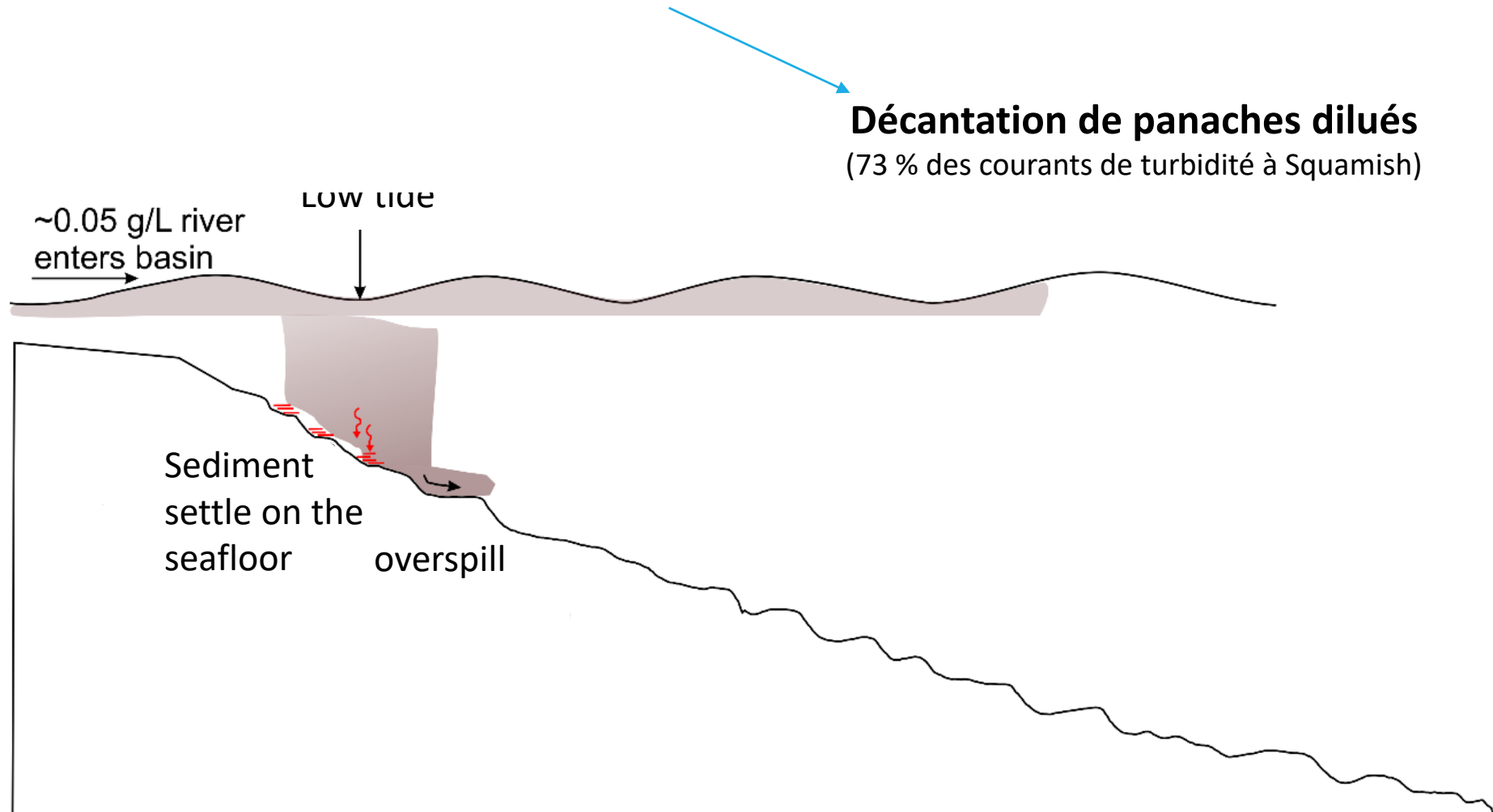
Hage et al., GRL, 2019

1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?



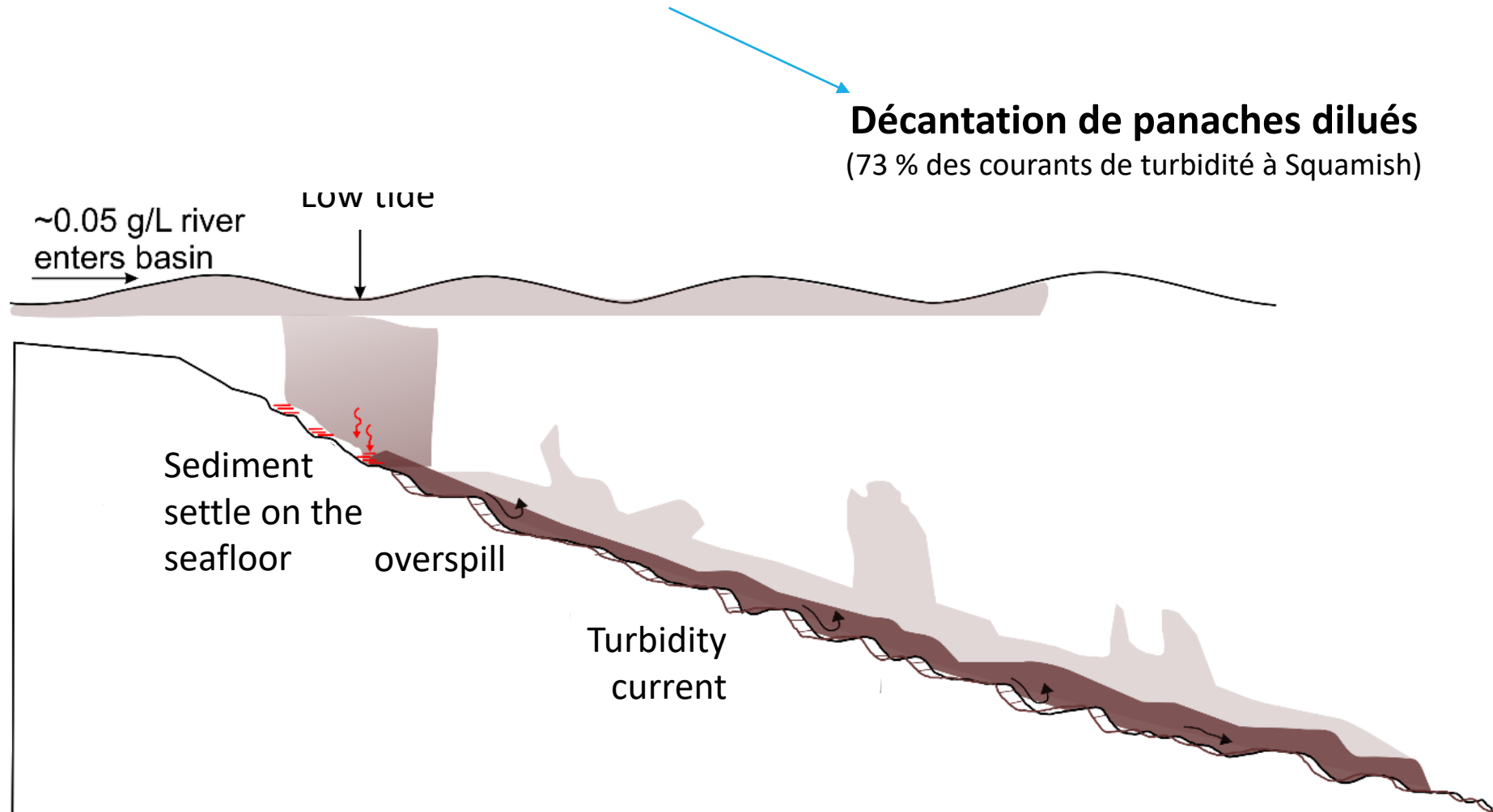
Hage et al., GRL, 2019

1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?



Hage et al., GRL, 2019

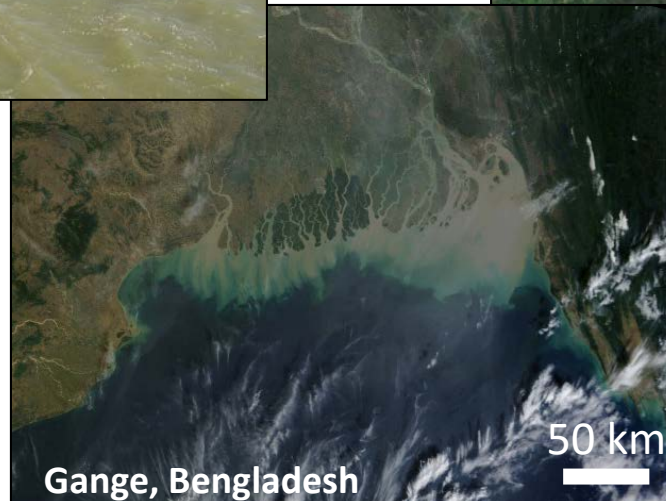
1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?



Hage et al., GRL, 2019

1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?

Ces panaches sont présents en aval de nombreux fleuves

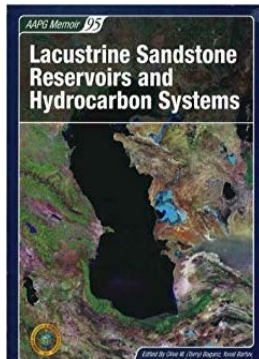


1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?

© Copyright – National Geographic



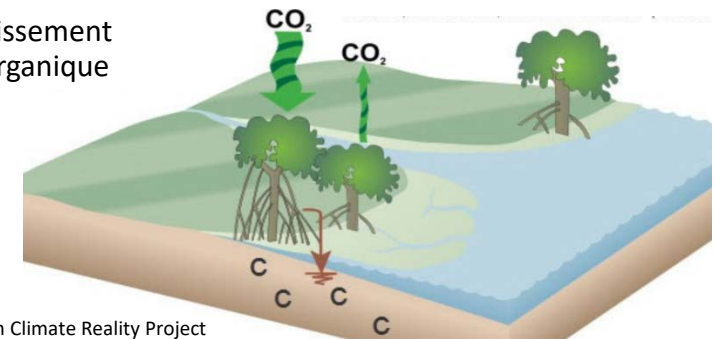
Sites de transfert de polluants depuis les continents vers l'océan



Anciens dépôts de deltas peuvent former des réservoirs d'hydrocarbures



Sites d'enfouissement de carbone organique (et donc CO₂)



© Copyright - African Climate Reality Project

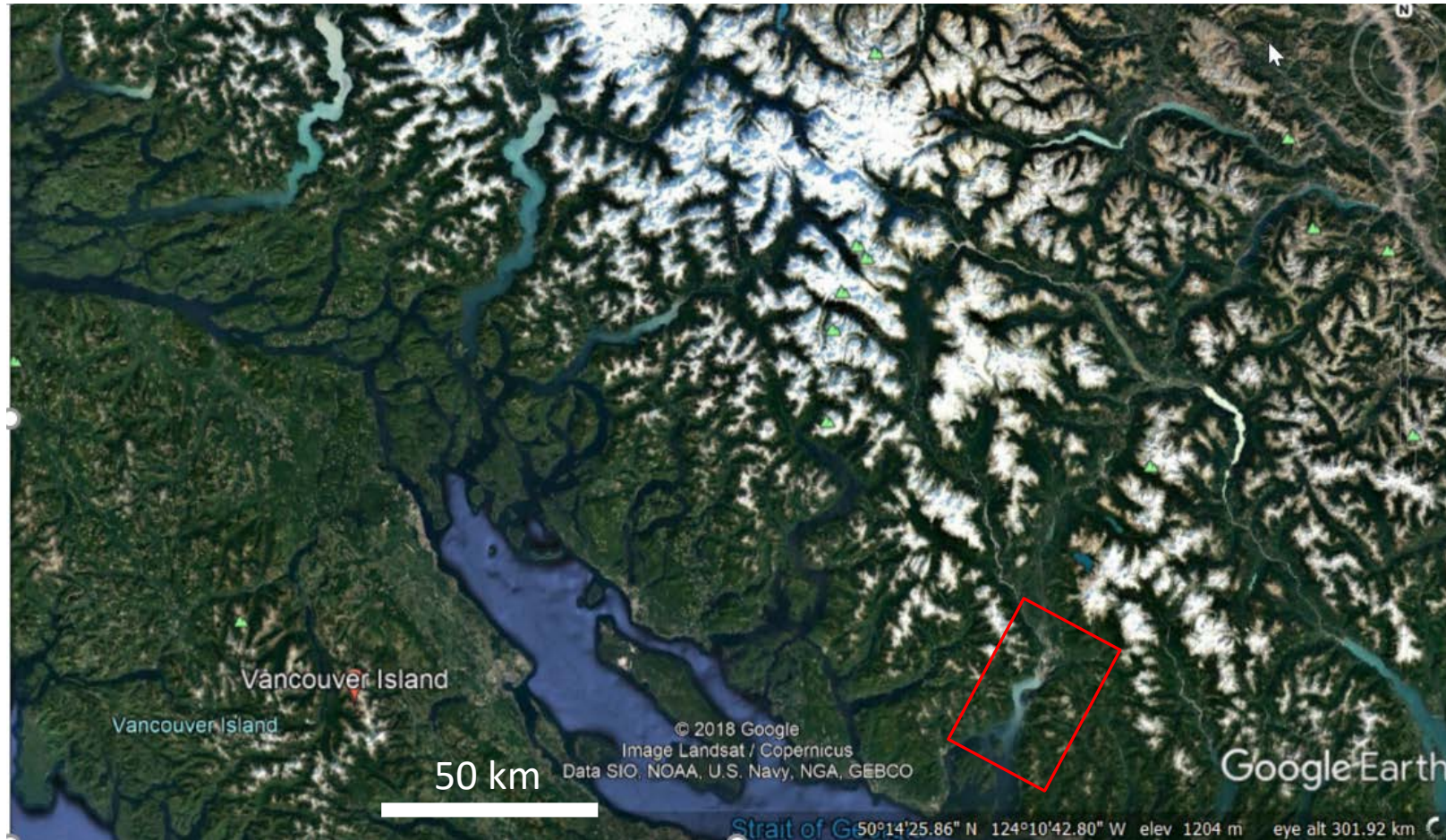
1. Comment les courants de turbidité sont-ils déclenchés en aval des deltas ?

© Copyright – National Geographic



Nos déchets dans le canyon de Messine, Italie
Pierdomenico et al., 2019

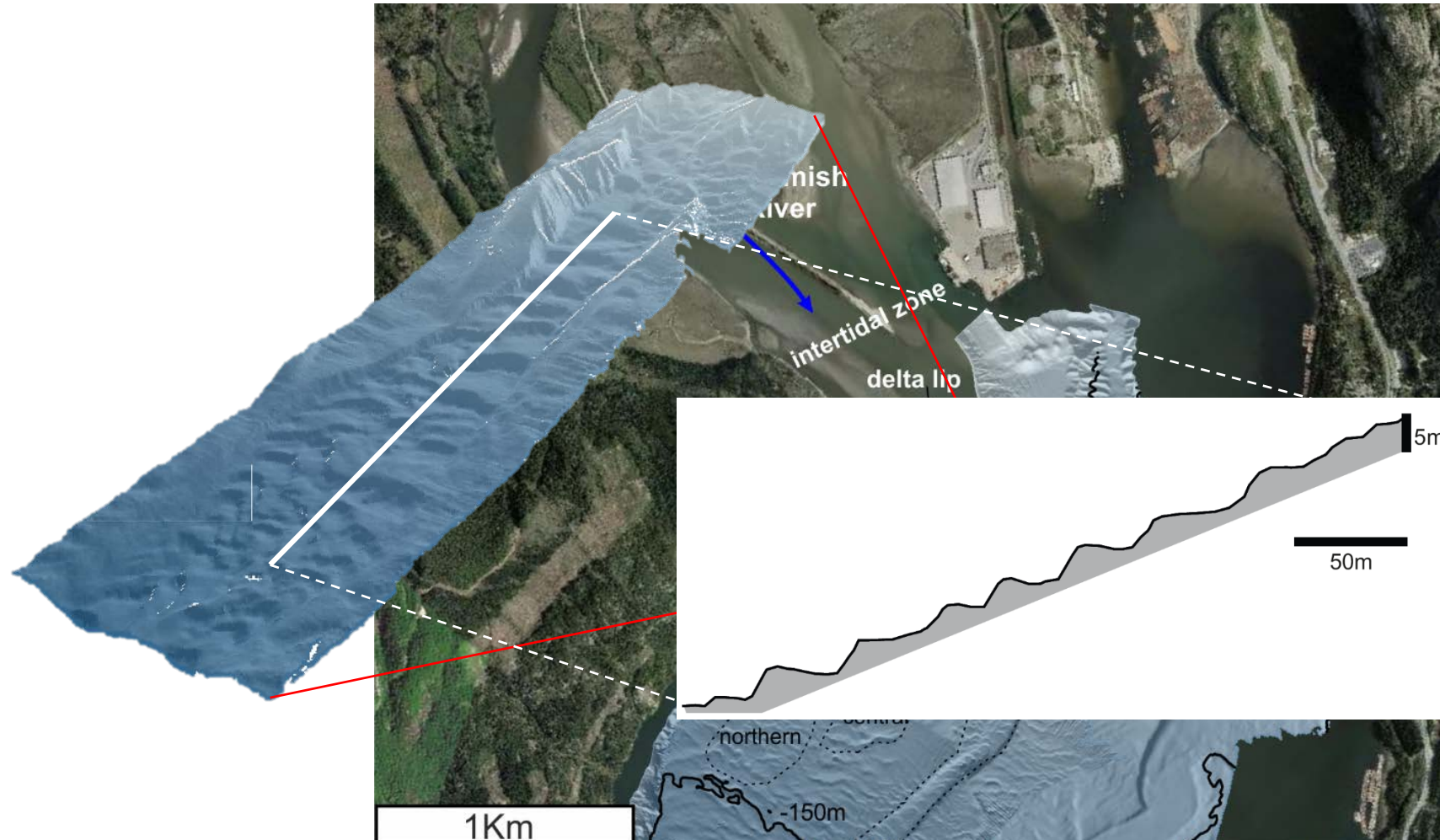
2. A quoi ressemble la géomorphologie sous-marine des deltas ?



Squamish Delta
→ Howe Sound

2. A quoi ressemble la géomorphologie sous-marine des deltas ?

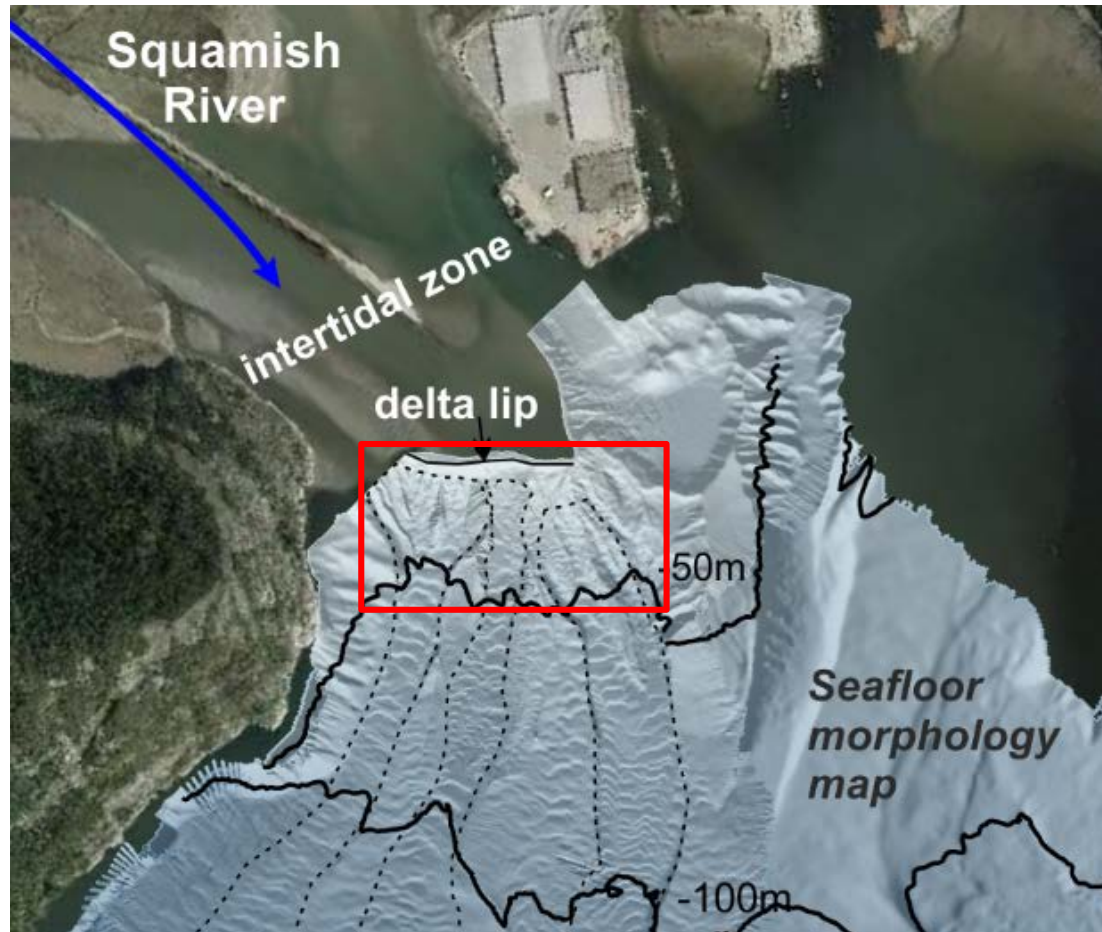
Canyons sous-marins fréquemment couverts par des dunes



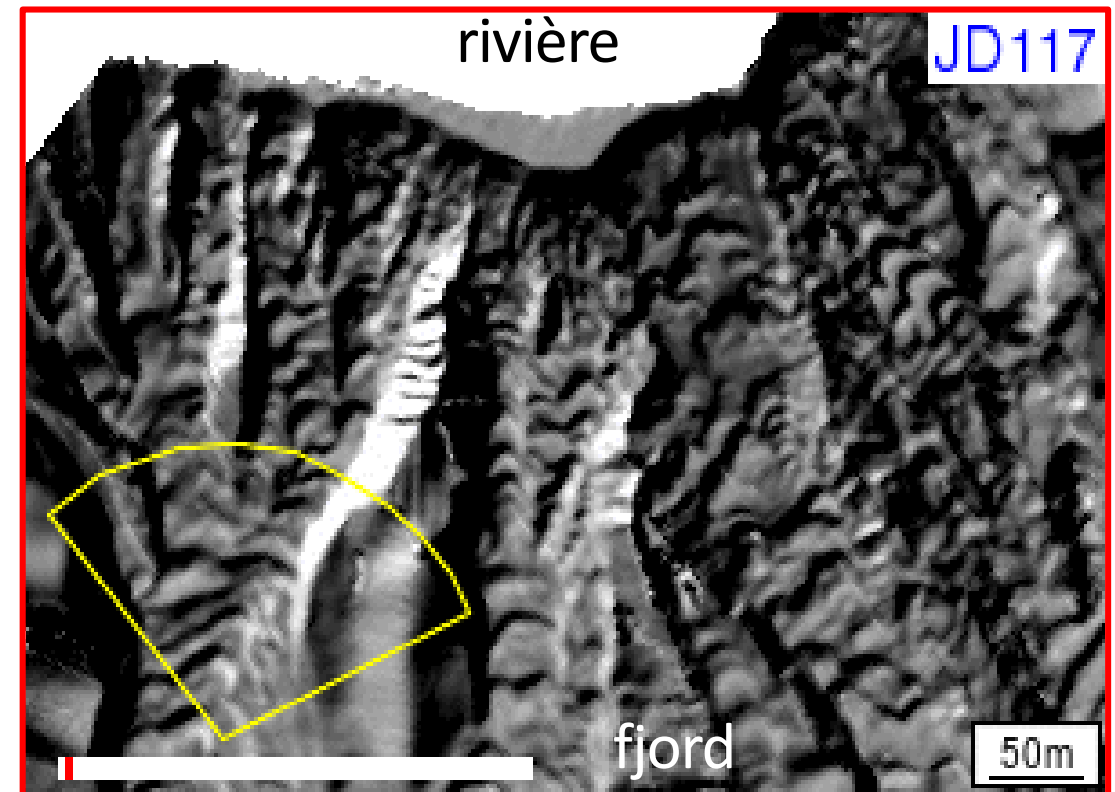
Hughes Clarke et al., 2012

2. A quoi ressemble la géomorphologie sous-marine des deltas ?

Ces dunes migrent vers l'amont quotidiennement en été!

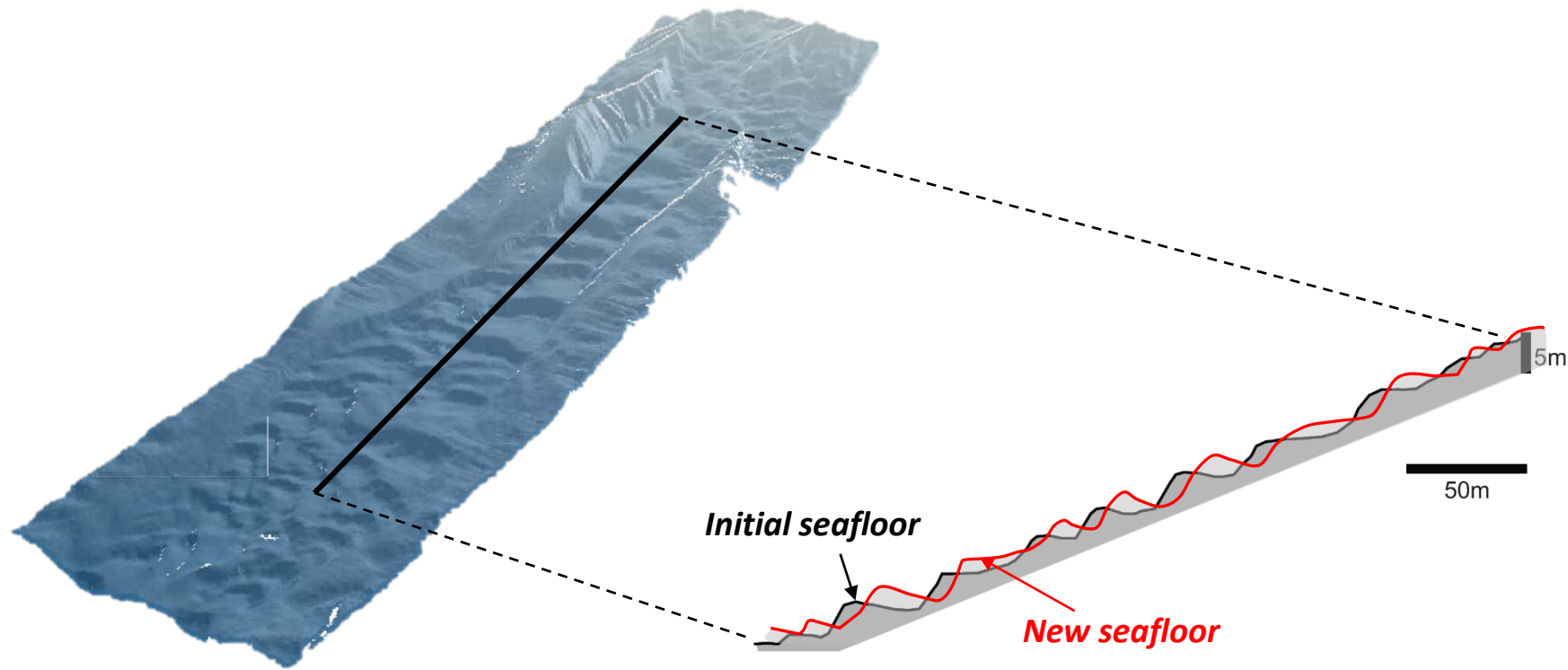


Hughes Clarke et al. (2012)



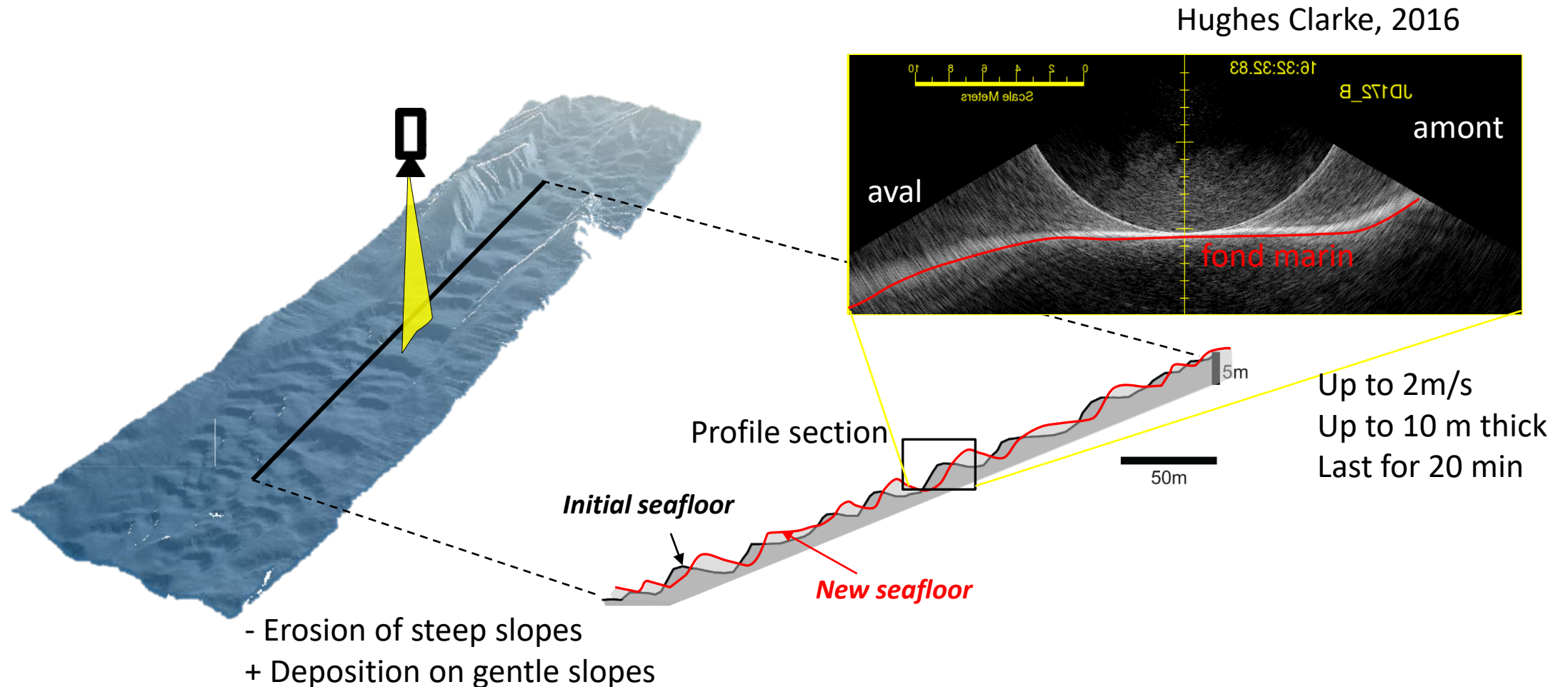
2. A quoi ressemble la géomorphologie sous-marine des deltas ?

Ces dunes migrent vers l'amont ~ tous les jours en été!



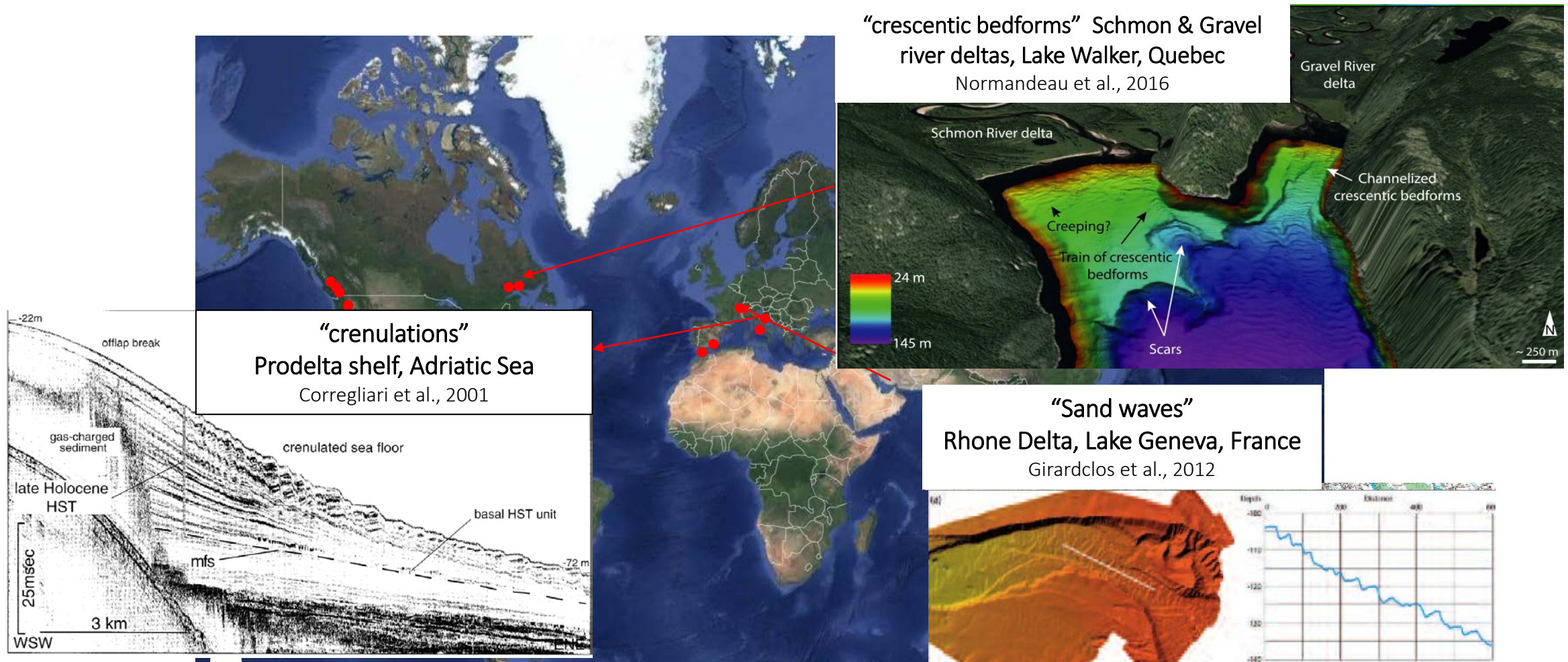
2. A quoi ressemble la géomorphologie sous-marine des deltas ?

Ces dunes migrent en raison de courants de turbidité rapides et érosifs



2. A quoi ressemble la géomorphologie sous-marine des deltas ?

Ces dunes sont présentes en aval de nombreux deltas

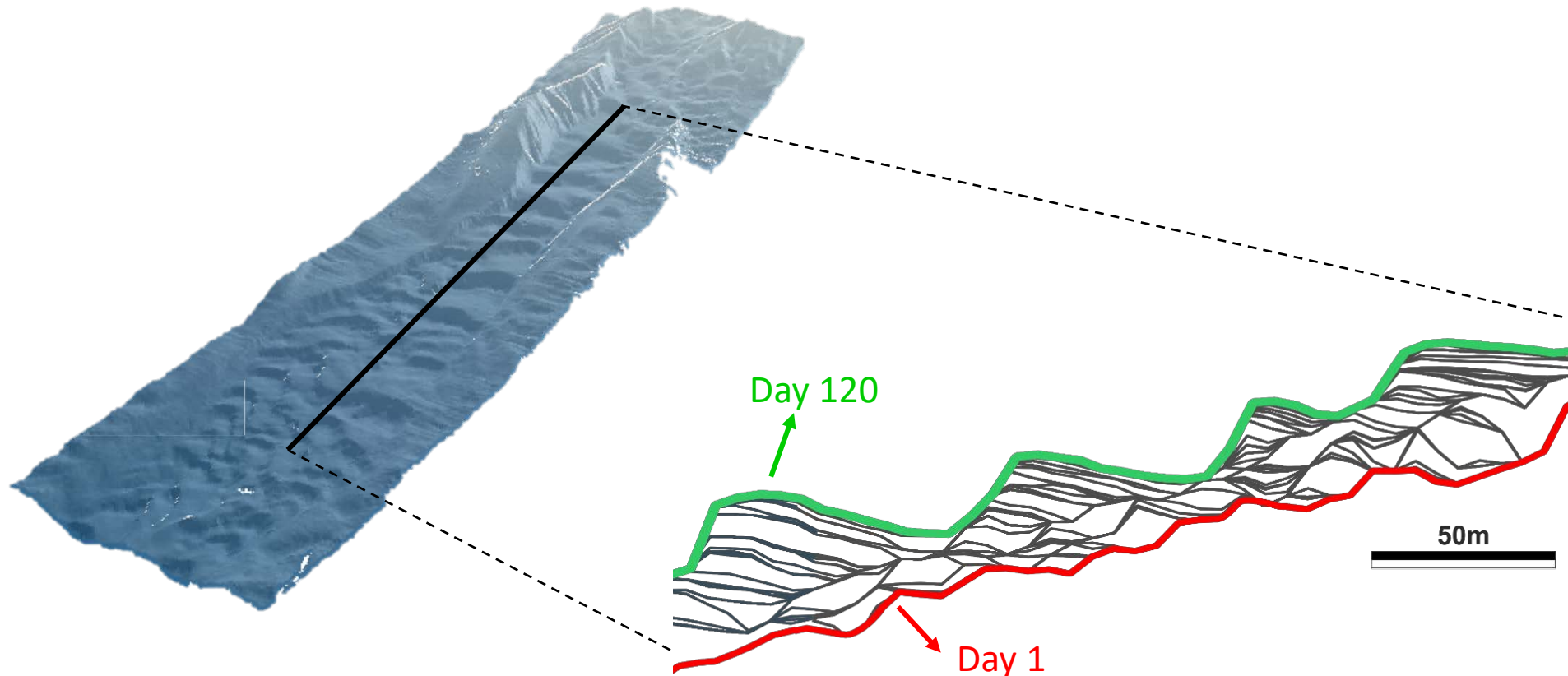


2. A quoi ressemble la géomorphologie sous-marine des deltas ?

composition des dunes sous-marines

Hage et al., Geology, 2018

A. Architecture sur base des cartes journalières



2. A quoi ressemble la géomorphologie sous-marine des deltas ?

composition des dunes sous-marines

Hage et al., Geology, 2018

D Central channel
June 2016

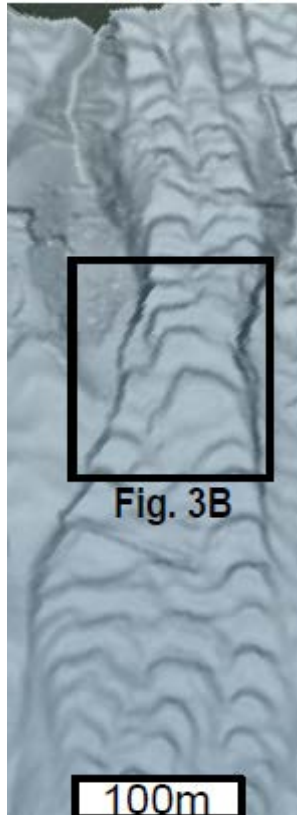
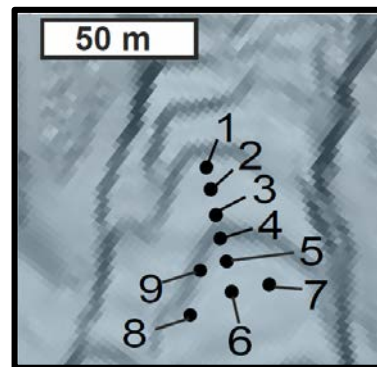
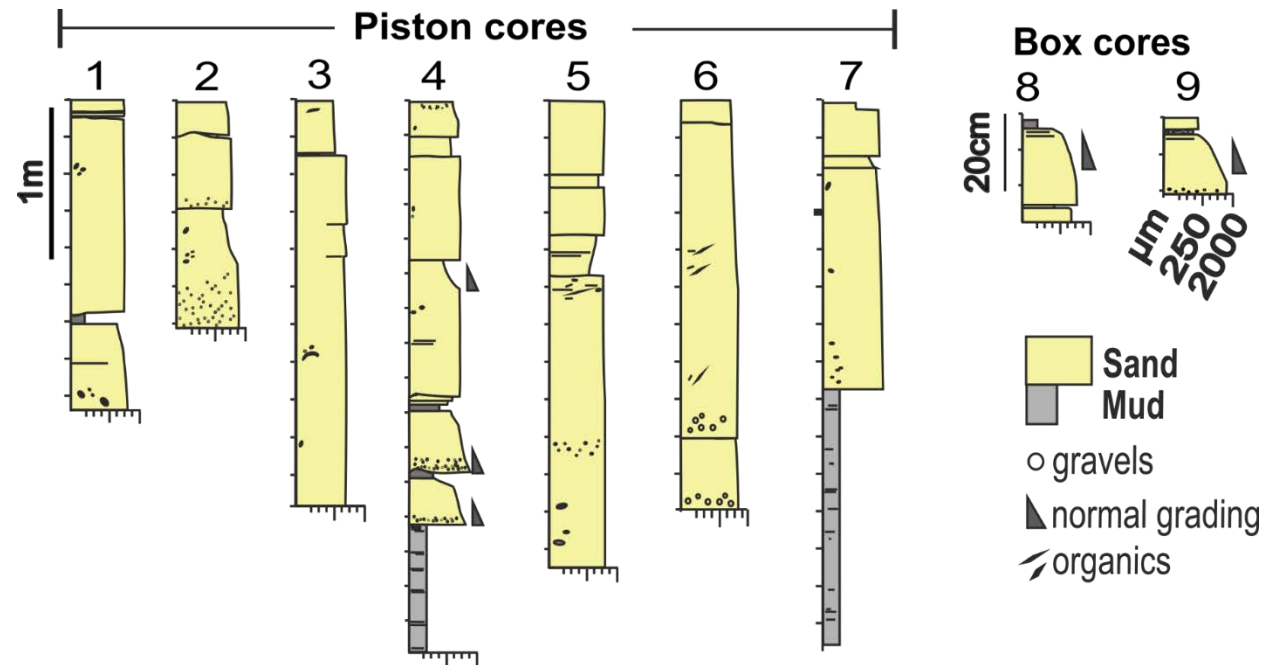


Fig. 3B



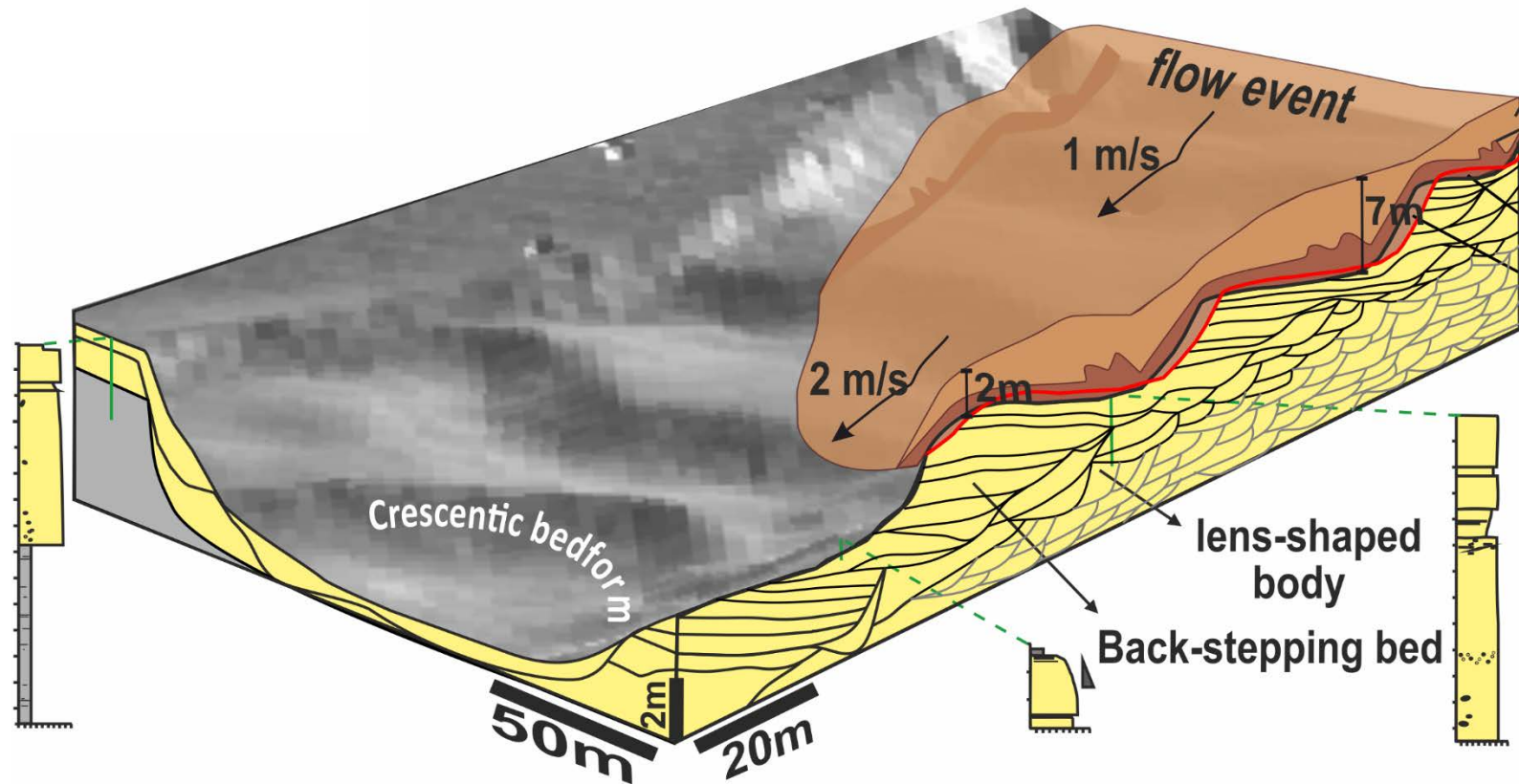
B. Carottes sédimentaires



2. A quoi ressemble la géomorphologie sous-marine des deltas ?

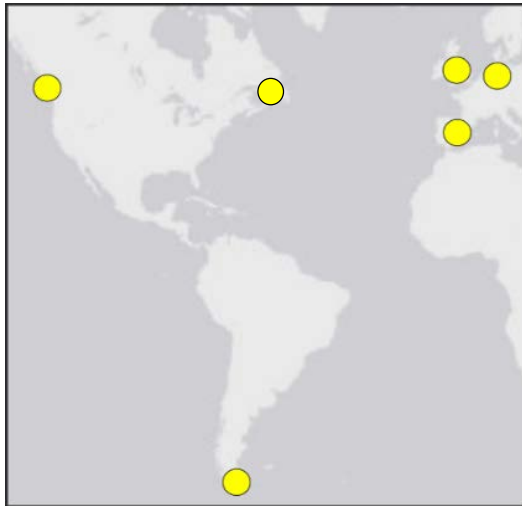
composition des dunes sous-marines

Hage et al., Geology, 2018



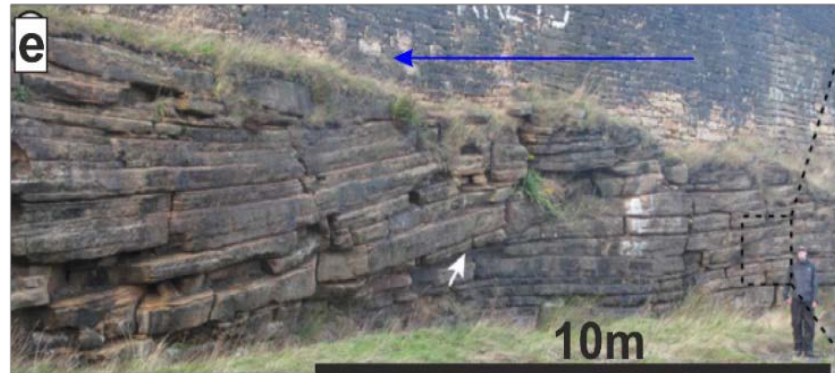
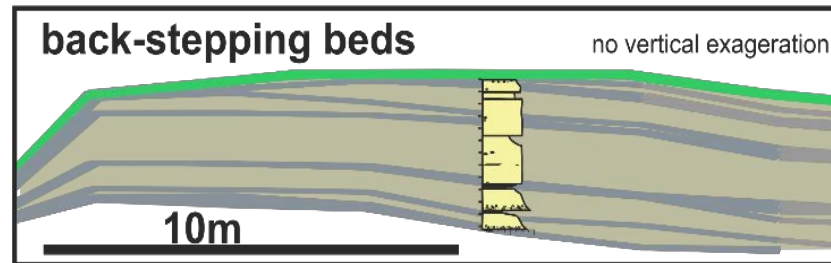
2. A quoi ressemble la géomorphologie sous-marine des deltas ?

Ces types de dépôts sont décrits dans des deltas fossiles



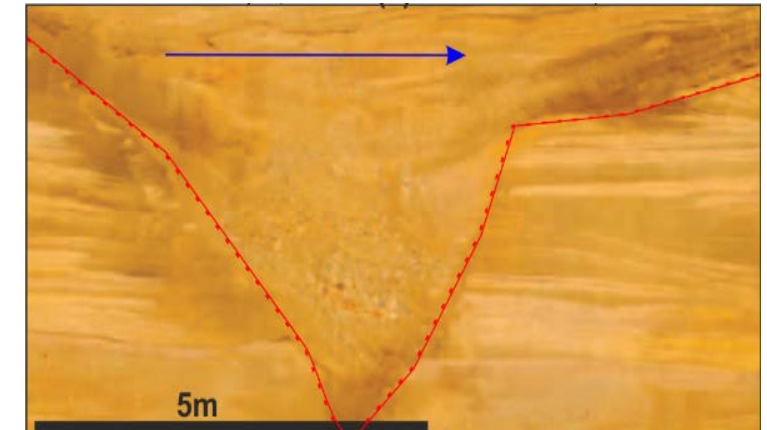
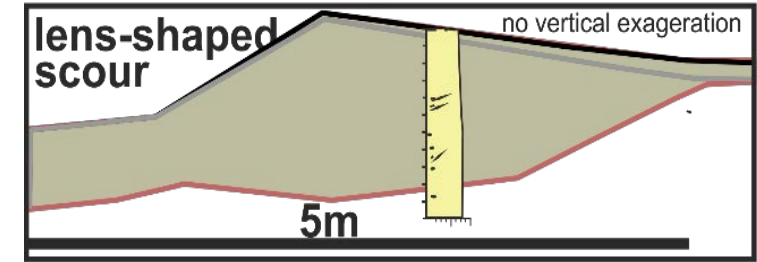
Examples of ancient delta deposits

Full preservation



Pennine Basin, UK (Ventra et al., 2015)

Partial preservation

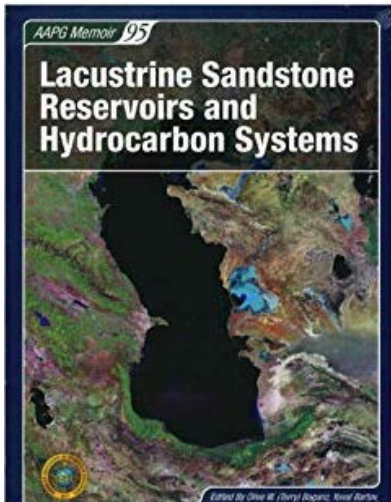


St Laurent Delta, Quebec (Dietrich et al., 2016)

2. A quoi ressemble la géomorphologie sous-marine des deltas ?



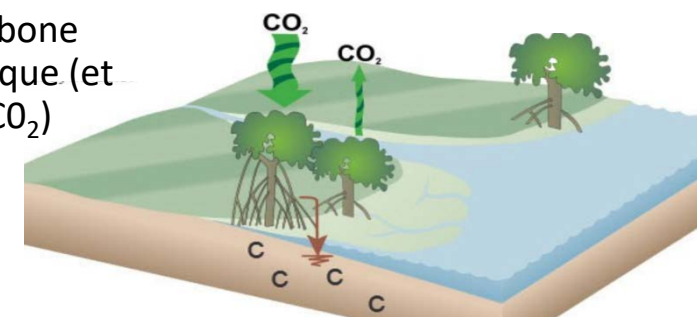
Sites de transfert de polluants depuis les continents vers l'océan



Anciens dépôts de deltas peuvent former des réservoirs d'hydrocarbures



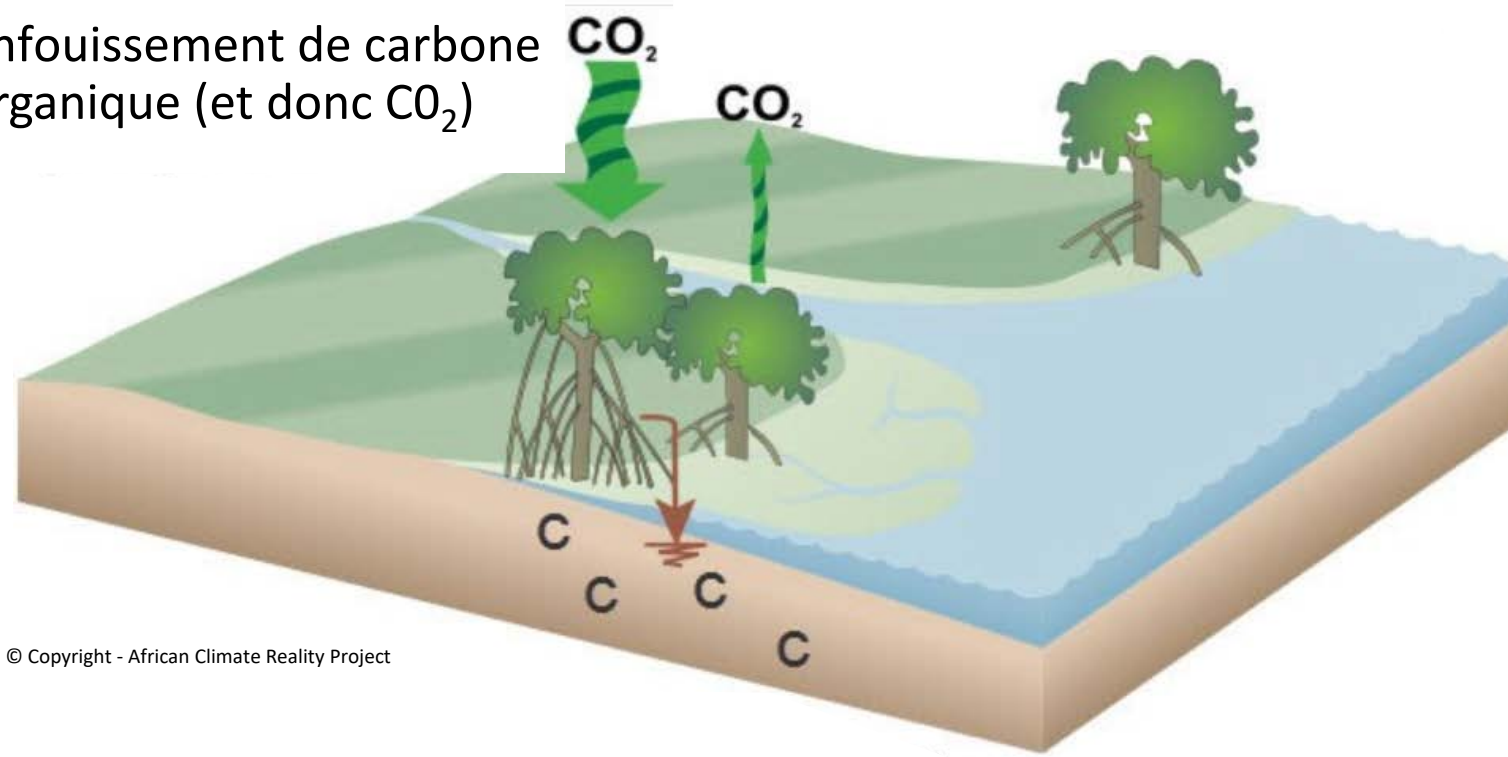
Sites d'enfouissement de carbone organique (et donc CO_2)



© Copyright - African Climate Reality Project

3. Quel est le rôle des turbidites dans le cycle du carbone ?

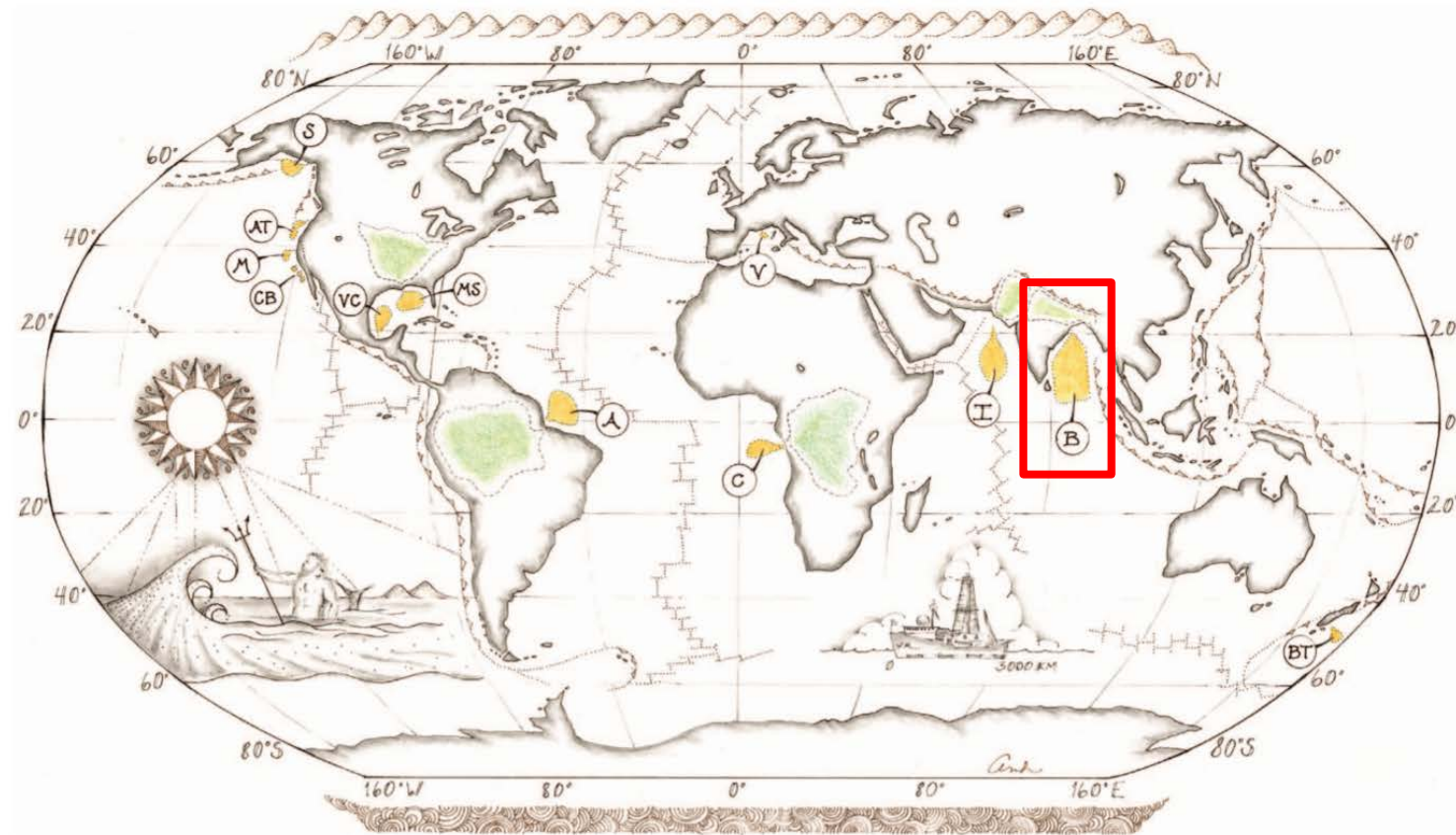
Enfouissement de carbone organique (et donc CO_2)



© Copyright - African Climate Reality Project

3. Quel est le rôle des turbidites dans le cycle du carbone ?

Carte des éventails sous-marins en aval des fleuves majeurs sur Terre

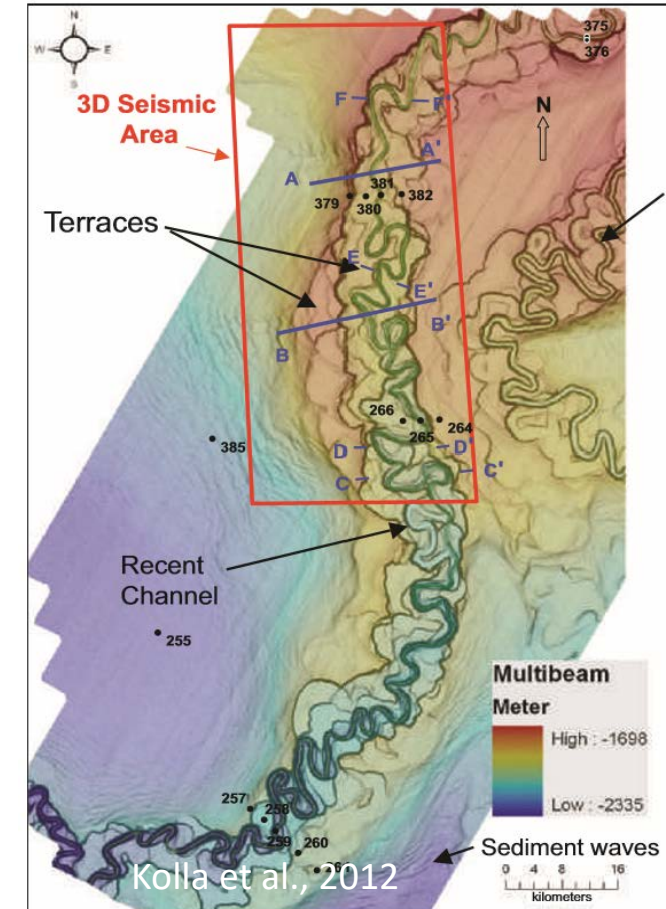


Hessler and Fildani, 2019

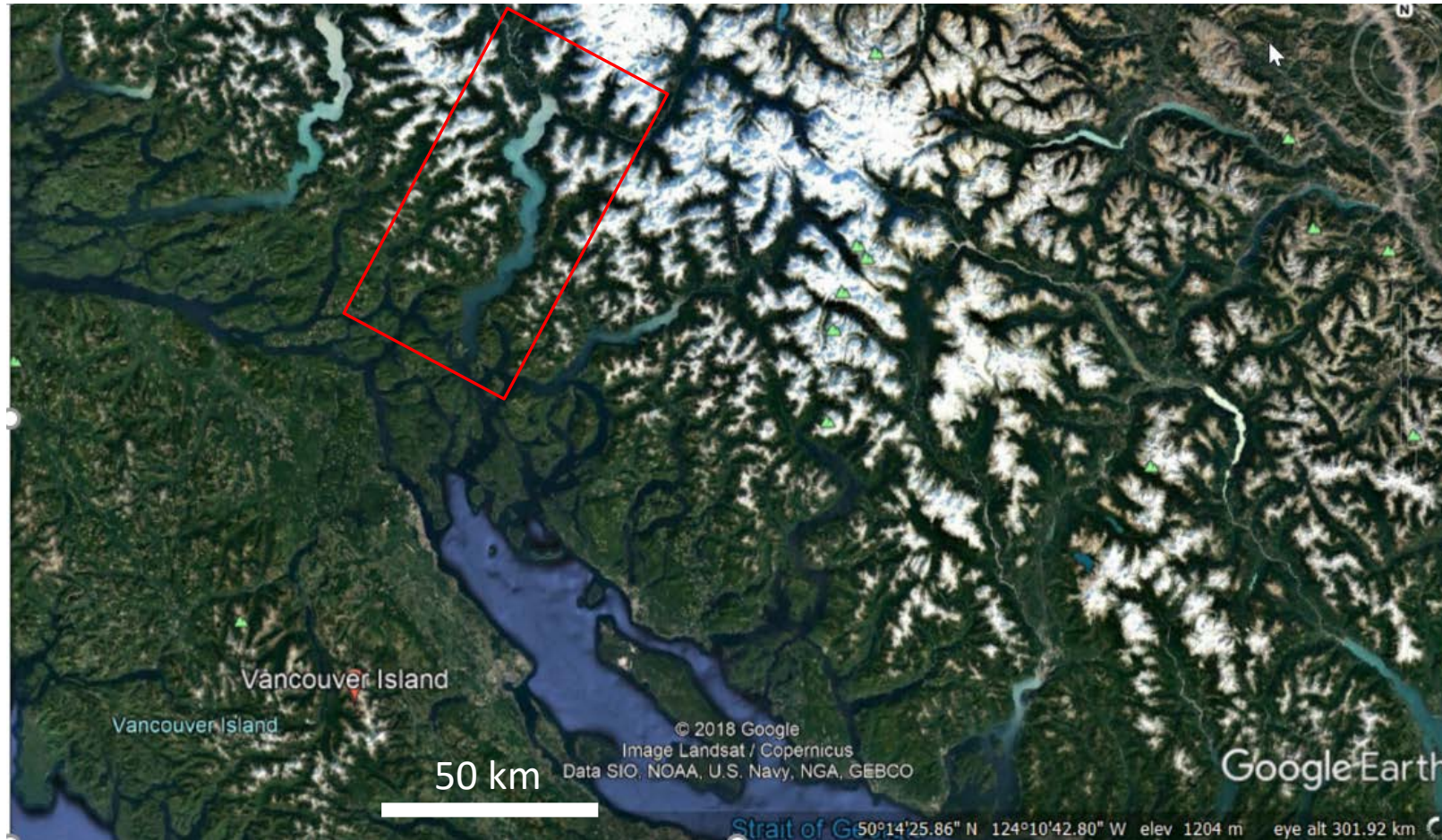
3. Quel est le rôle des turbidites dans le cycle du carbone ?



L'éventail du Bengal comprend à lui seul 10 – 20 % du carbone organique total enfoui dans les fonds marins! (Galy et al., 2007)

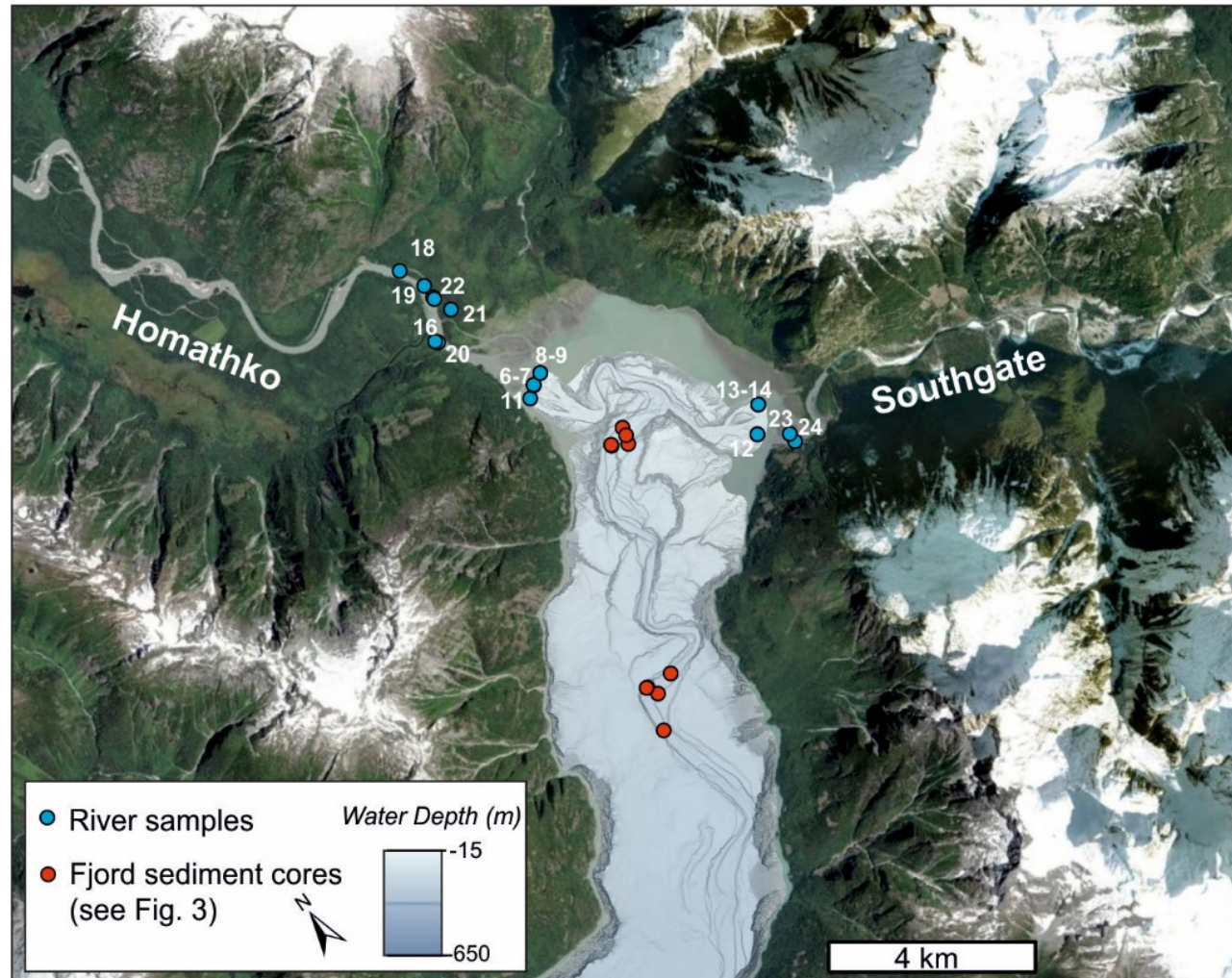


3. Quel est le rôle des turbidites dans le cycle du carbone ?

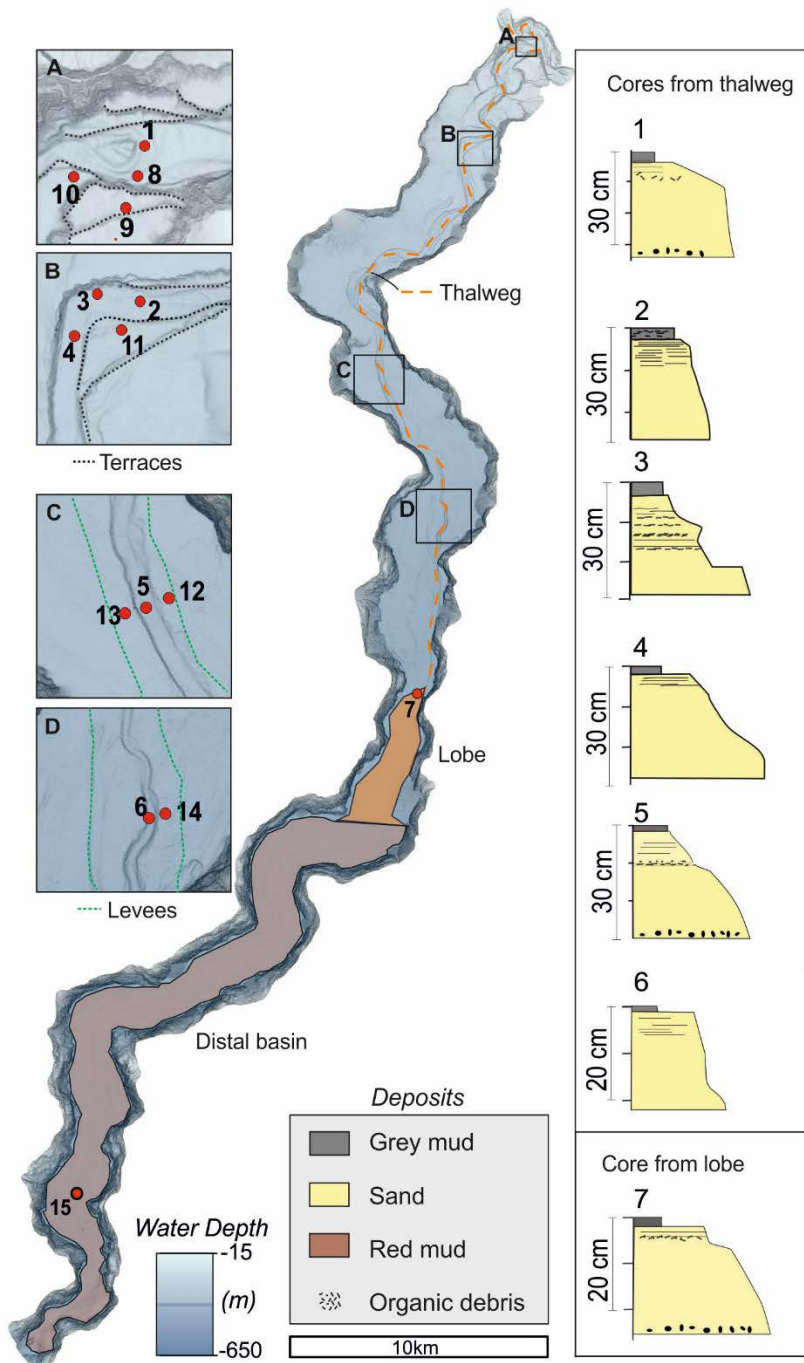


Homathko and
Southgate Deltas
→ Bute Inlet

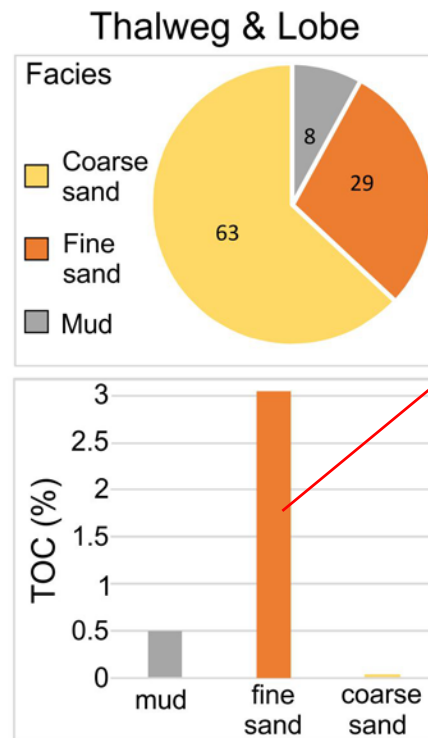
3. Quel est le rôle des turbidites dans le cycle du carbone ?



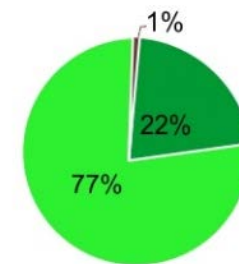
Hage et al., in prep.



3. Quel est le rôle des turbidites dans le cycle du carbone ?



1 turbidite



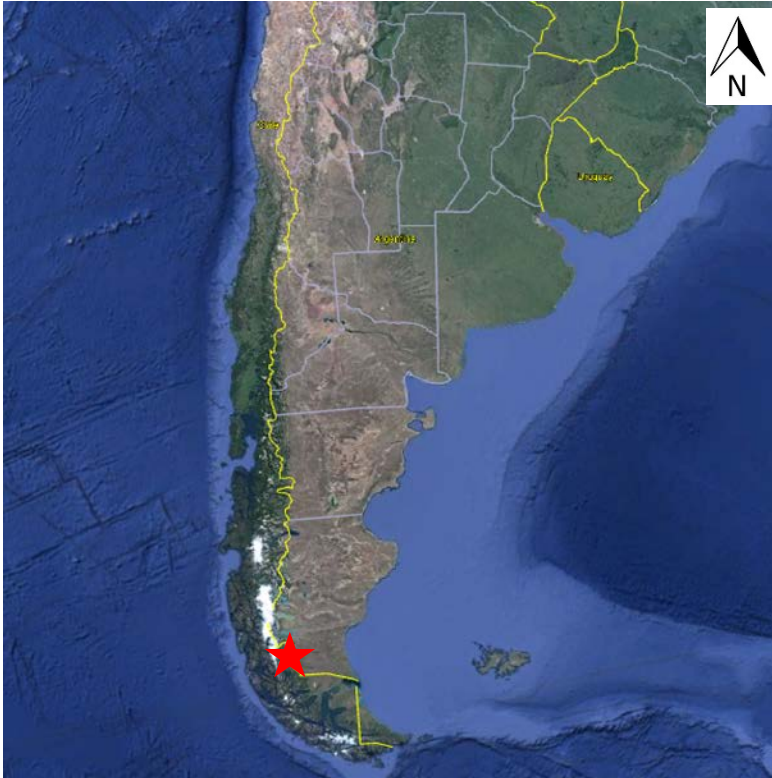
Carbone jeune (débris de bois)

Carbone dégradé issu des sols

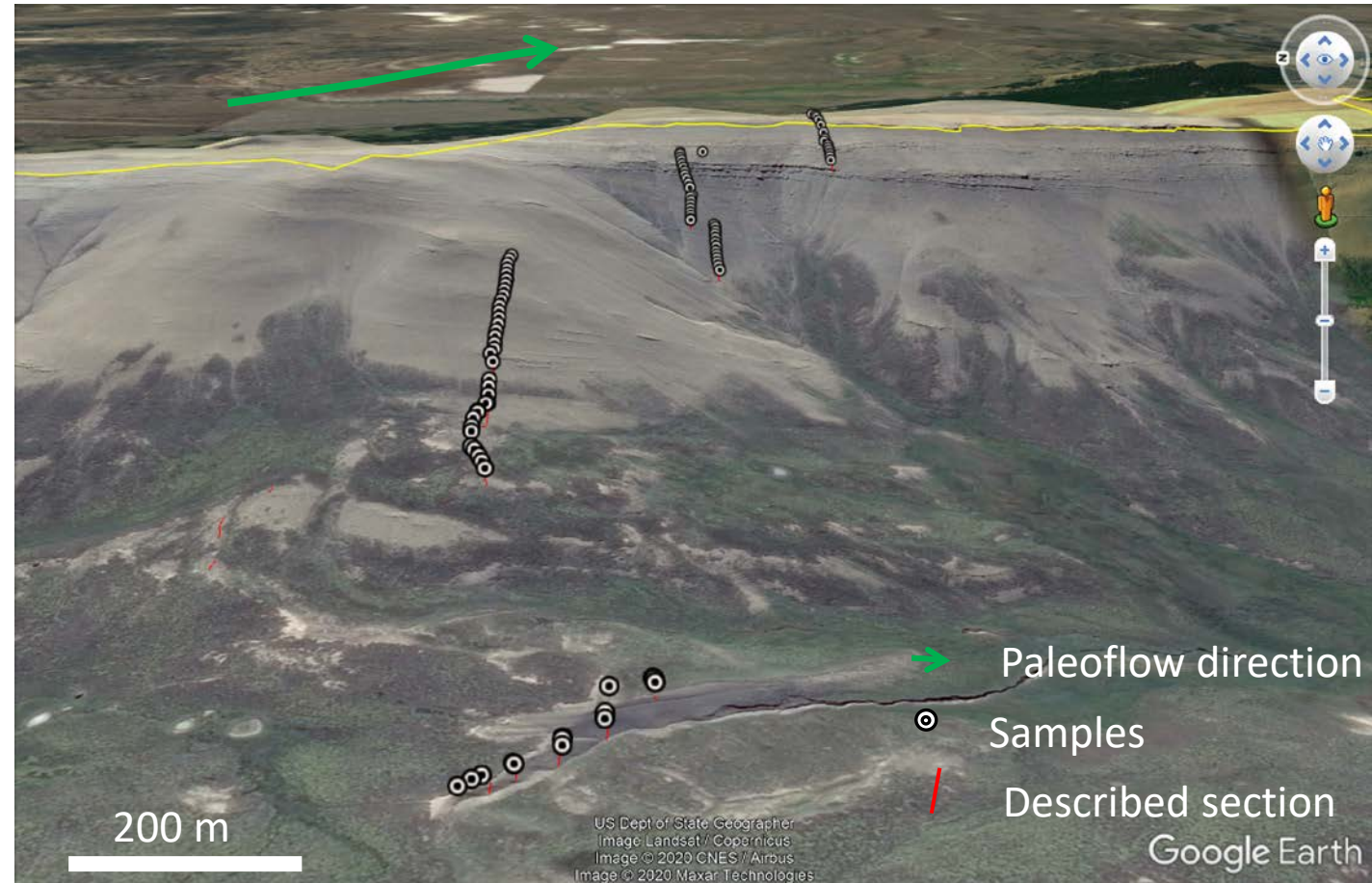
Carbone ancien érodé des roches géologiques

Hage et al., Geology, 2020

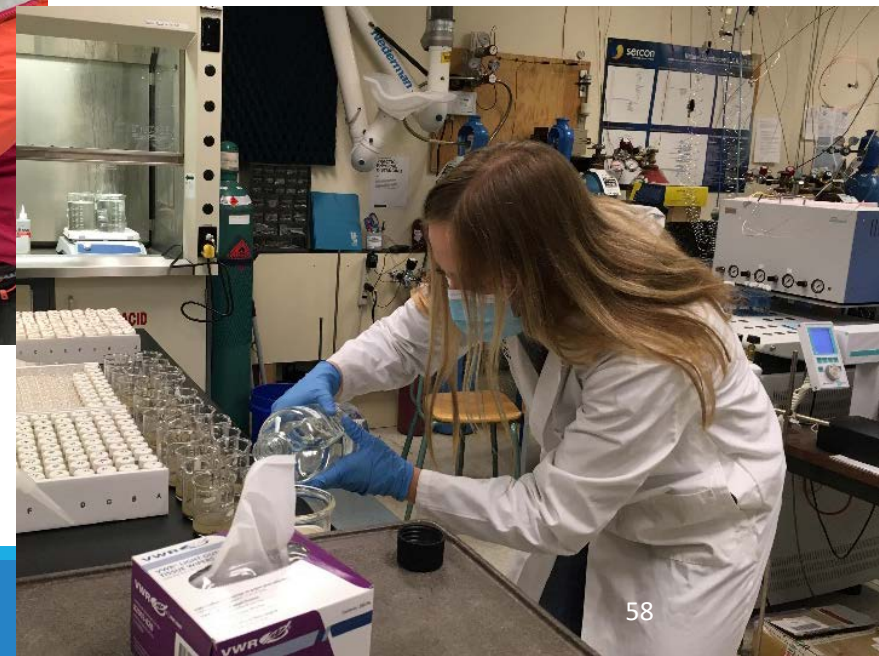
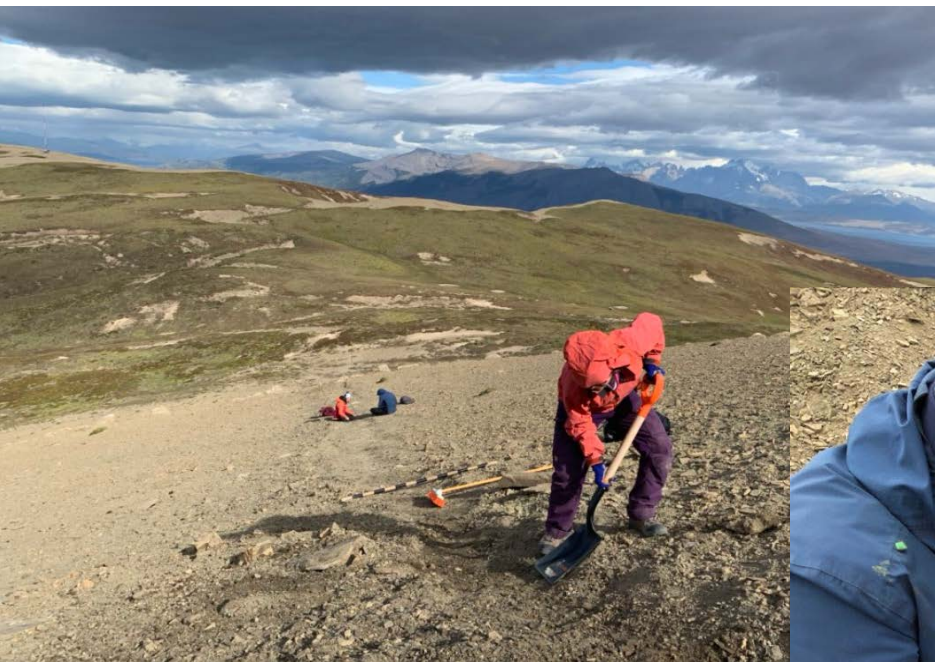
3. Quel est le rôle des turbidites dans le cycle du carbone ?



Bassin sédimentaire de Magallanes en Patagonie chilienne (Crétacé supérieur; 70 Ma)



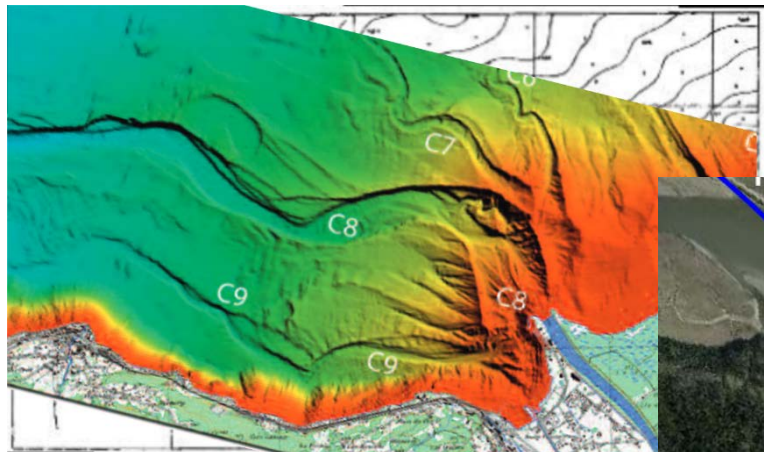
3. Quel est le rôle des turbidites dans le cycle du carbone ?



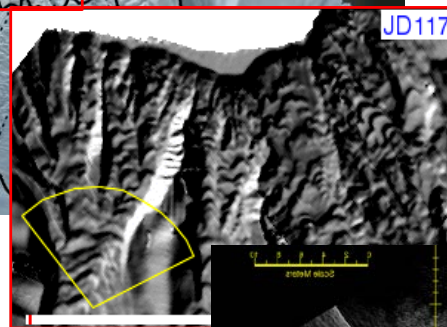
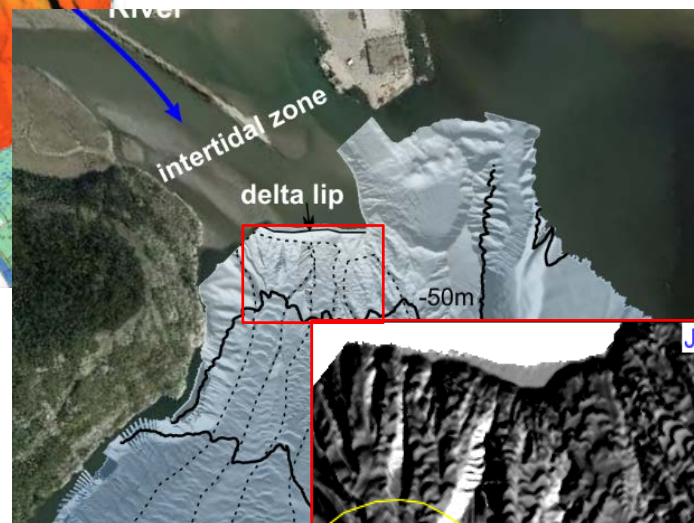
3. Quel est le rôle des turbidites dans le cycle du carbone ?



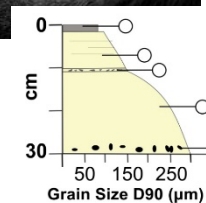
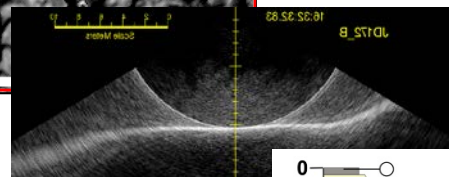
Perspectives de recherche sur cette face *pas si* cachée des deltas



Lacs



Fjords



Delta du Nil



Delta du Gange

...Oceans

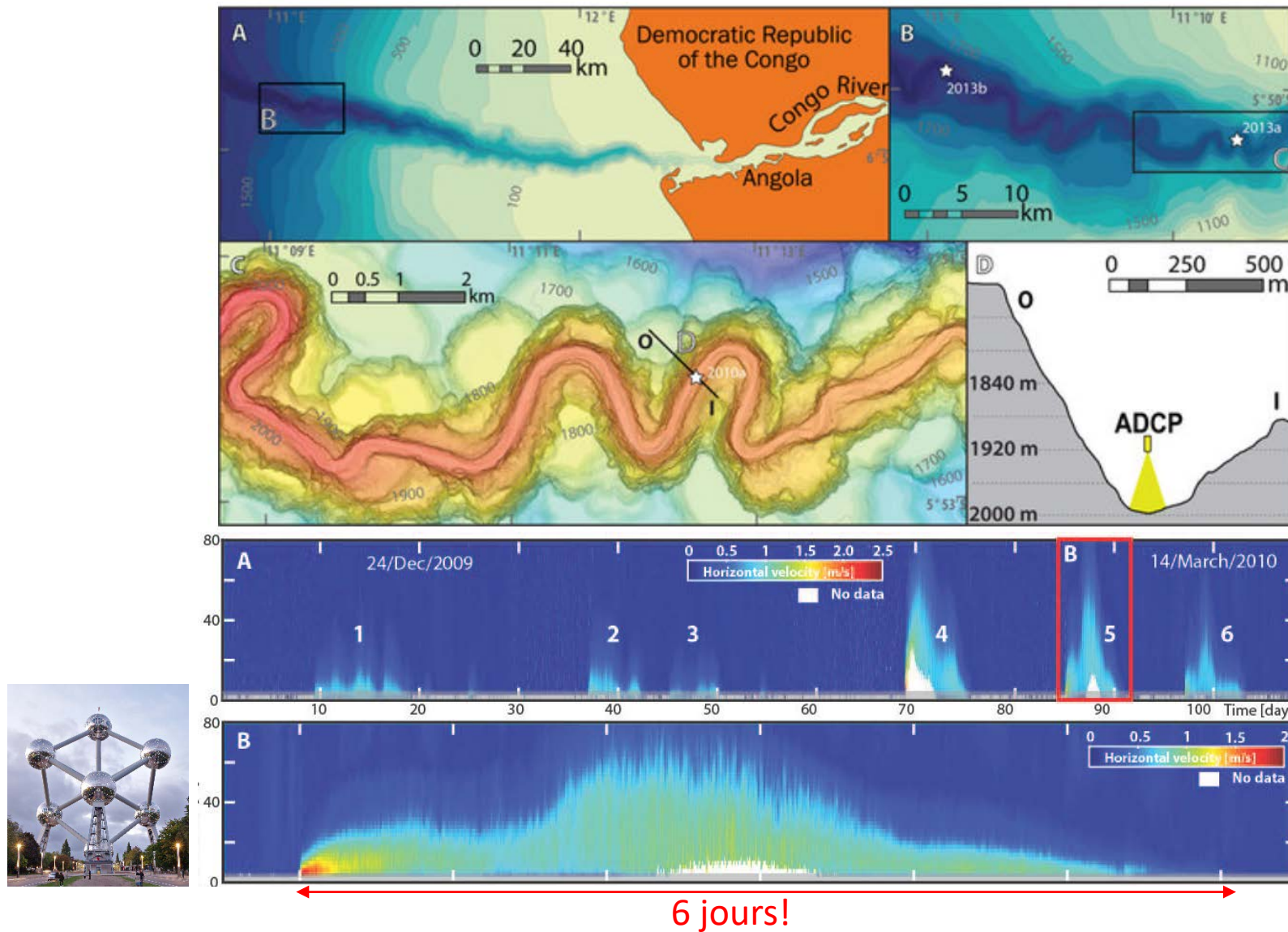


Recherches en cours dans le canyon sous-marin du Congo



Expédition James Cook 187 : Août - Octobre 2019. PI: Peter Talling

Recherches en cours dans le canyon sous-marin et éventail du Congo



Merci à la société géographique de Liège et ses auditeurs



sophie.hage1@ucalgary.ca

@SophieHageo 

En transit vers l'Île de Vancouver depuis Bute Inlet, BC (Canada) ©Matthieu Cartigny