

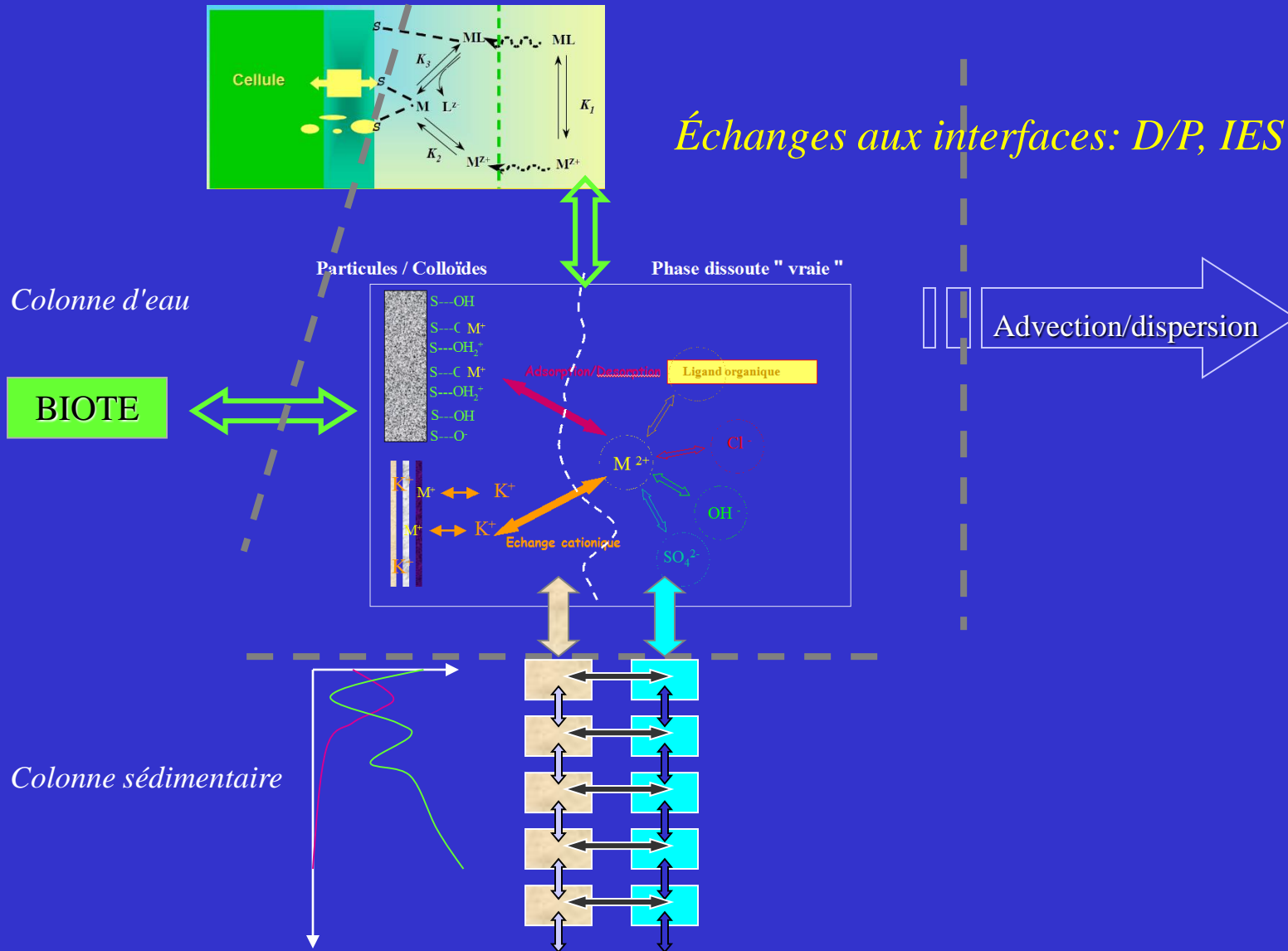
*"Potentiel des carottes sédimentaires dans le cadre de la surveillance"*



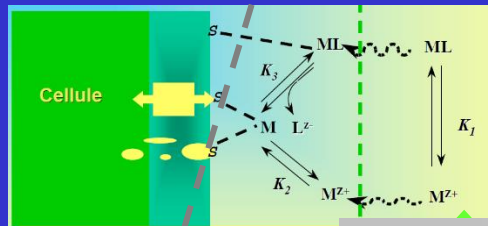
**Estival *ROCCH*  
2021**

*J.L. Gonzalez,  
LERPAC IfremerFREMER. La Seyne/mer  
gonzalez@ifremer.fr*

# La dynamique des contaminants...



# La surveillance...

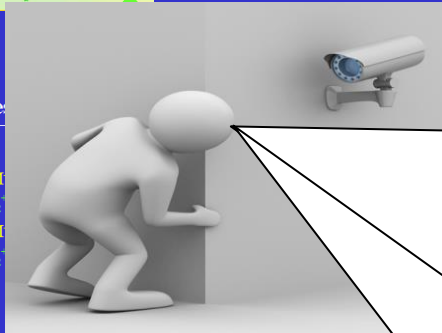
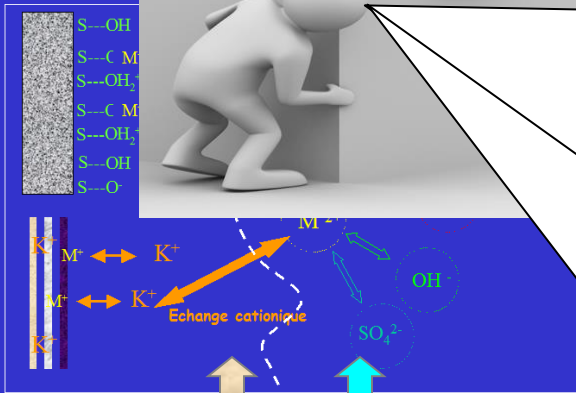


Colonne d'eau

BIOTE



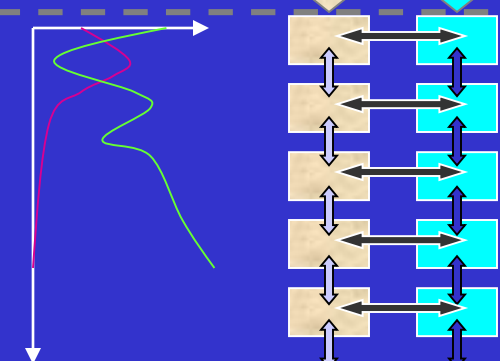
Particules / Colloïdes



Quel(s) compartiment(s) regarder: opérationnalité, pertinence... ?

Avec quel(s) outil(s) ?

Colonne sédimentaire



# ROCCH

- ✓ Suivi spatial et temporel des niveaux de contaminants chimiques
- ✓ Réseau basé sur le suivi de matrices "intégratrices" (plus de "ponctuel"= prélèvements d'eau)

- **Filtreurs (huîtres, moules)**



**Outils complémentaires  
et/ou comparables ?**

- **Compartiment sédimentaire**

**ROCCHSED**



# ROCCHSED

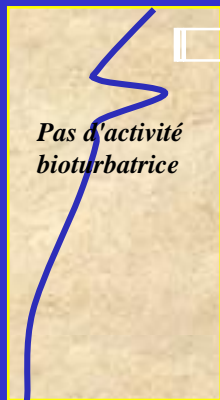
Suivi dans la couche "superficielle" du sédiment. "Hypothèses":

- ✓ La couche prélevée ("1<sup>er</sup> cm") représentative (intégrale) de la période écoulée depuis le dernier prélèvement (environ tous les 6 ans maintenant, avant c'était tous les 10 ans)
- ✓ On peut comparer spatialement et temporellement les sites de prélèvement

## Dans un monde idéal (plutôt abyssal...)

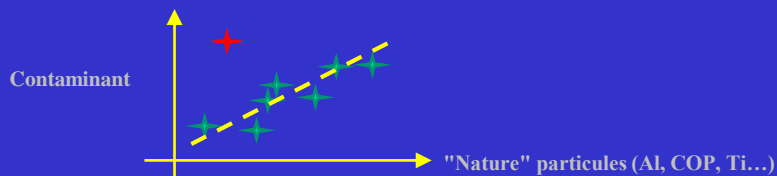


*Tx de sédimentation (flux de particules) "constant"*  
*"Nature" des particules "constante"*  
*Hydrodynamique: pas de périodes d'érosion et/ou mélange*

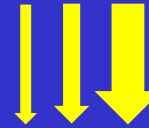


*Variations uniquement liées à des variations de concentration en contaminant.*  
*Interprétation "directe" des variations temporelles*  
*Evaluation bruit de fond "régional"*  
*Datation de bonne qualité*

*Interprétation des variations spatiales*  
*("géométrie" ROCCHSED):*  
*Il suffira de normaliser la concentration mesurée dans les différents sites par un proxy de la "nature" des particules*



## "Ici bas", notamment en zone littorale...

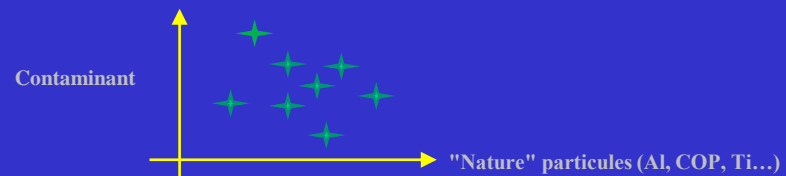


*Tx de sédimentation (flux de particules) variable*  
*"Nature" des particules "constante"*  
*Hydrodynamique: périodes d'érosion et/ou mélange*



*Variations pouvant être liées à différents paramètres ("nature" particules, hydrodynamique, bioturbation,...)*  
*Interprétation "directe" des variations temporelles*  
*Bruit de fond "régional" ?*  
*Datation difficilement interprétable*

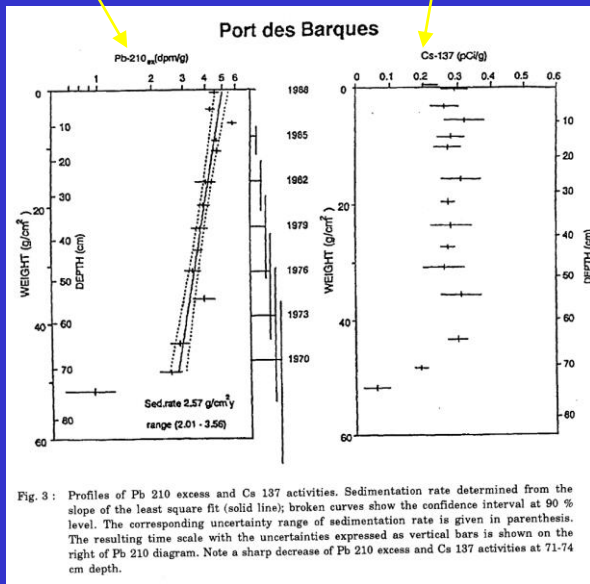
*Interprétation des variations spatiales*  
*("géométrie" ROCCHSED):*  
*Normalisation pas évidente*



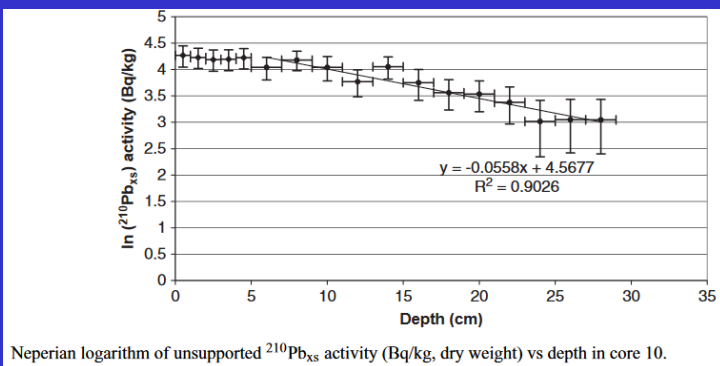
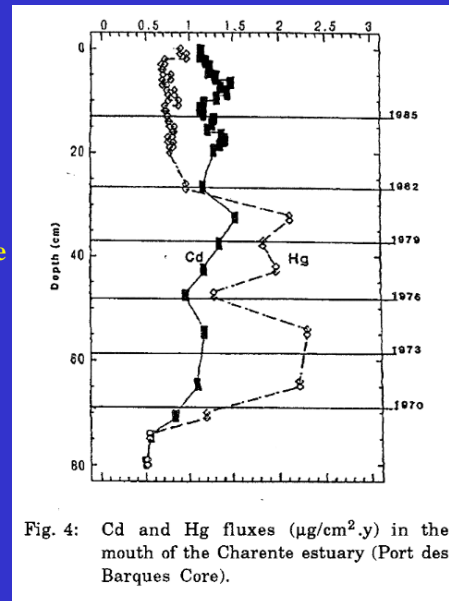
# Exemples carottes zones littorales

$^{210}\text{Pb}$ : Radionucléide naturel .  
Demi-vie d'environ 20 ans

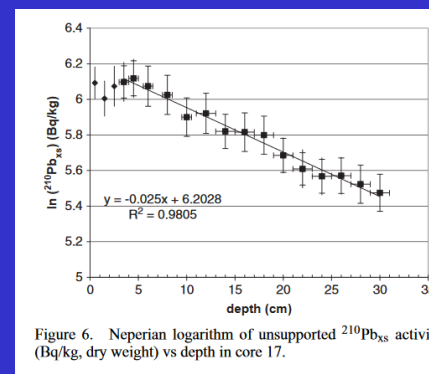
$^{137}\text{Cs}$ : Radionucléide artificiel (centrales) Pics en 1963, 1986 (Tchernobyl), Fukushima (2011)...Demi-vie d'environ 30 ans



**Estuaire de la Charente**  
Gonzalez et al (1991)  
(Tx= 4 cm/an)



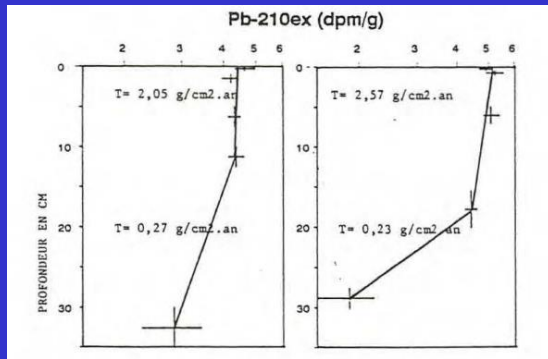
**Large estuaire de la Gironde**  
(Tx= 0,56 cm/an)



**Canyon de Capbreton**  
(Tx= 1,2 cm/an)

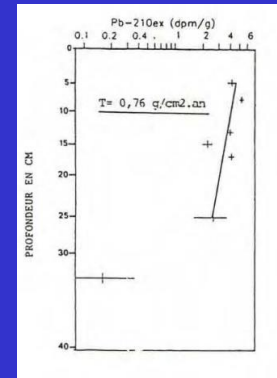


# Exemples carottes zones littorales: résultats des datations beaucoup plus spéculatifs

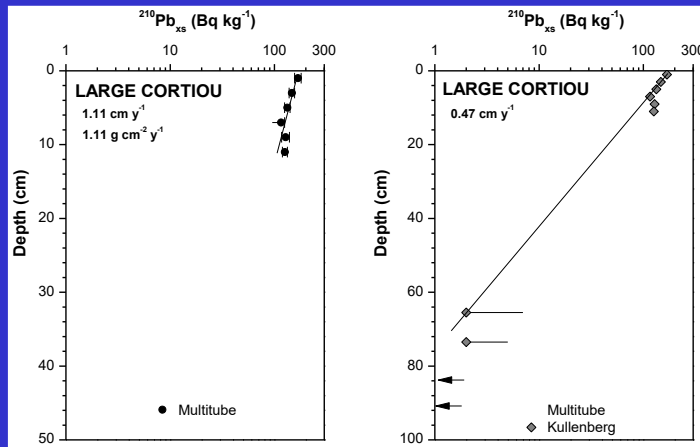


**Baie de Marennes-Oléron**  
Gonzalez (1992)

**Rade des Trousse 1 et 2**



**St Froult**



**Rade de Marseille**  
Gonzalez et al (en cours)

- soit une vitesse calculée avec tous les points de la carotte d'interface,
- soit calculée uniquement avec les 4 premiers points ("bien alignés")

➤ Résultats très différents

## Exemple de campagne carottage

### *Objectifs de ce type de campagne:*

- "historique" de la contamination chimique (contaminants organiques et métalliques) dans une "zone" donnée;
- mise en évidence des conditions de dépôt et d'enfouissement des contaminants (métalliques et organiques) associés aux particules: remises en suspension; bioturbation, régime stationnaire...?
- évaluation (quantification) des flux vers les sédiments des contaminants associés aux particules: évaluer la fonction "puit";
- évaluation du "bruit" de fond (background géochimique): très utile dans le cas des contaminants chimiques.





3 sites ont été particulièrement étudiés:

- au débouché de l'émissaire de Cortiou Prof: 13m

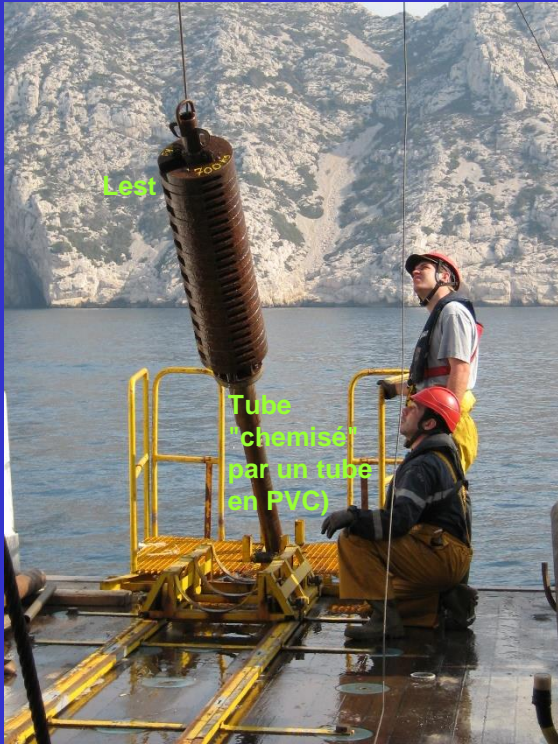
- au droit de l'émissaire Prof: 50m

- à proximité de L'Estaque, sortie Nord du PAM Prof: 55m

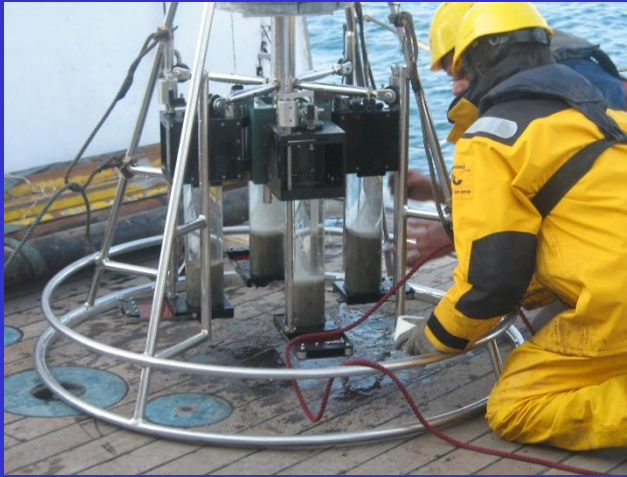


Marseille

# Prélèvement de carottes "longues" 2 à 3 m (carottier Kullenberg) sur différents sites: Cortiou, Estaque (Port autonome de Marseille)



Sur les mêmes sites des carottages "**Interface**" (multitube) ont été réalisés pour avoir une description plus fine des premiers cm (jusqu'à 20cm) de la colonne sédimentaire.



Sur les échantillons: mesures de contaminants métalliques et organiques.

Conjointement, pour pouvoir réaliser la datation des niveaux carottés et étudier la dynamique de la sédimentation, des mesures de  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{234}\text{Th}$  ont été faites sur les mêmes échantillons.

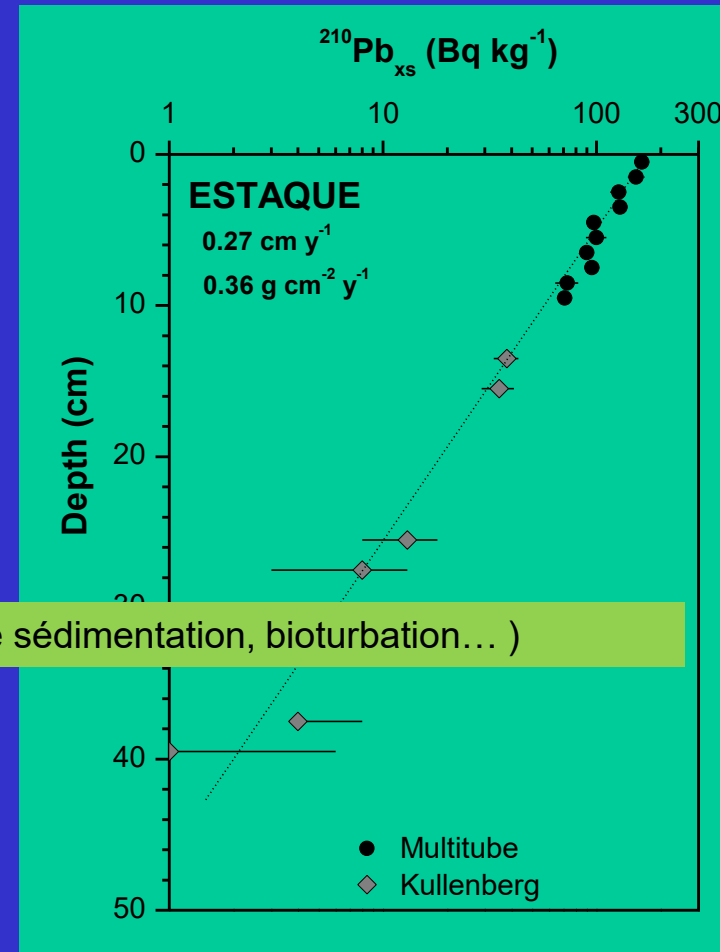
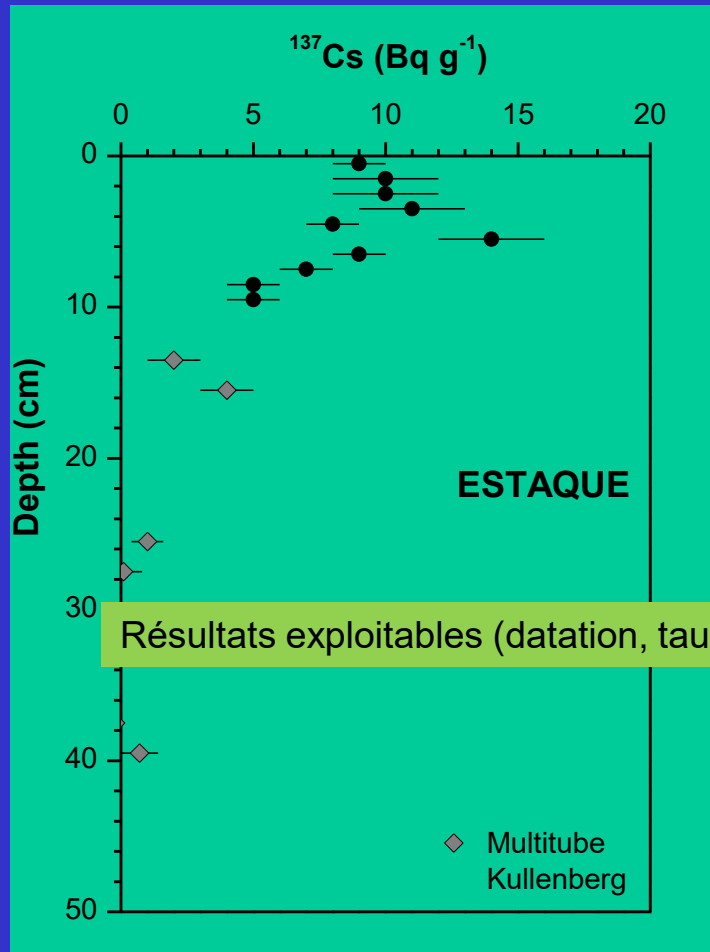
D'autres paramètres (granulométrie, Al, COP,..) serviront à une éventuelle la normalisation des concentrations en contaminants ("compensation" des variations granulométrique des particules)



## Exemple de résultats:

Profil de  $^{210}\text{Pb}$  en excès avec la profondeur au site Estaque: le profil combine les deux carottes (interface et Kullenberg)

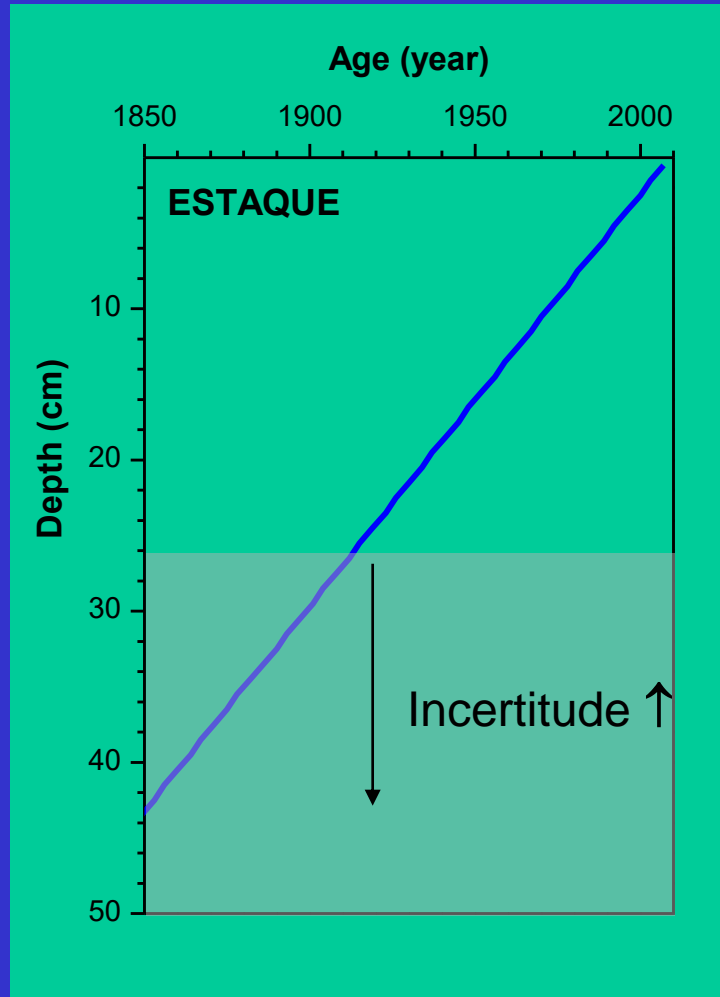
Pour la carotte Kullenberg, les profondeurs ont été recalées par rapport à la carotte d'interface grâce aux profils de  $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  et de porosité.



Résultats exploitables (datation, taux de sédimentation, bioturbation...)

Le taux de sédimentation a été déterminé par deux méthodes (CF:CS / CIS) qui concordent: de l'ordre de  $0.27 \text{ cm an}^{-1}$ .

# Ce qui permet de proposer une "chronologie" pour le site

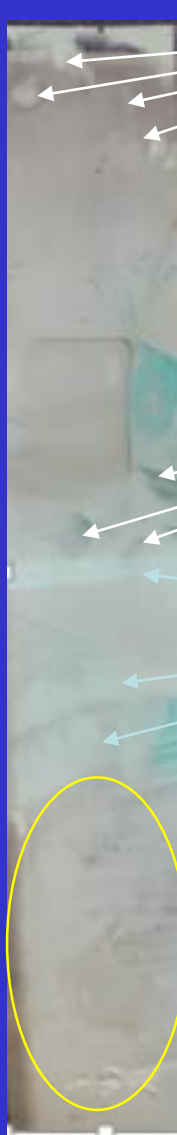


A noter: pour les 2 autres sites les "datations" ne sont pas exploitables

Site Emissaire Cortiou: sédimentation irrégulière, périodes de forte remise en suspension, hétérogénéité des sédiments, peu de matériel fin dans les niveaux d'interface...

Donc dans un premier temps, les mesures de  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{234}\text{Th}$  ne doivent pas être réalisées sur tous les échantillons. Sélectionner quelques échantillons (en fonction granulométrie et profondeur) et d'après les résultats continuer les analyses ou arrêter: ca évite de perdre du temps et de l'argent.

Certains "indices" (variations granulométriques, profils porosité, présence organismes..) permettent de savoir si les "datations" seront possibles ou pas.



Bivalves

Les radiographies X des carottes (pas besoin d'ouvrir les tubes PVC) sont aussi de bons outils pour déterminer les conditions de dépôt et la pertinence d'une éventuelle "datation".

Débris coquilliers

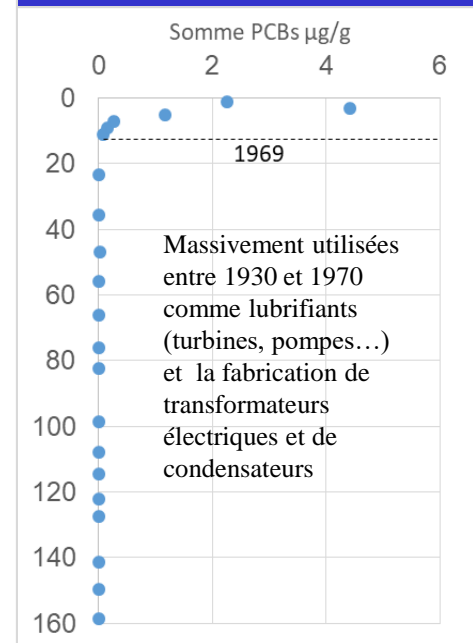
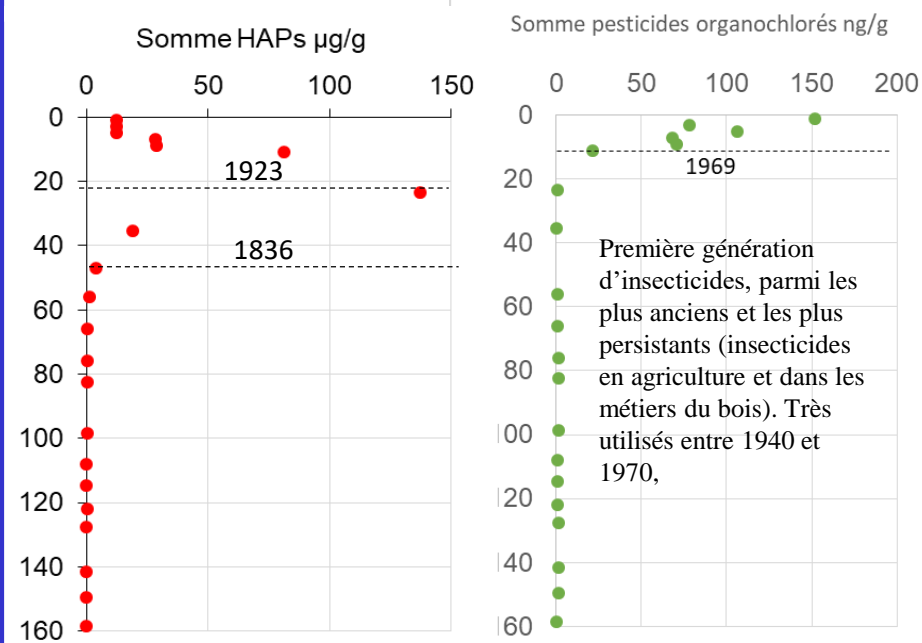
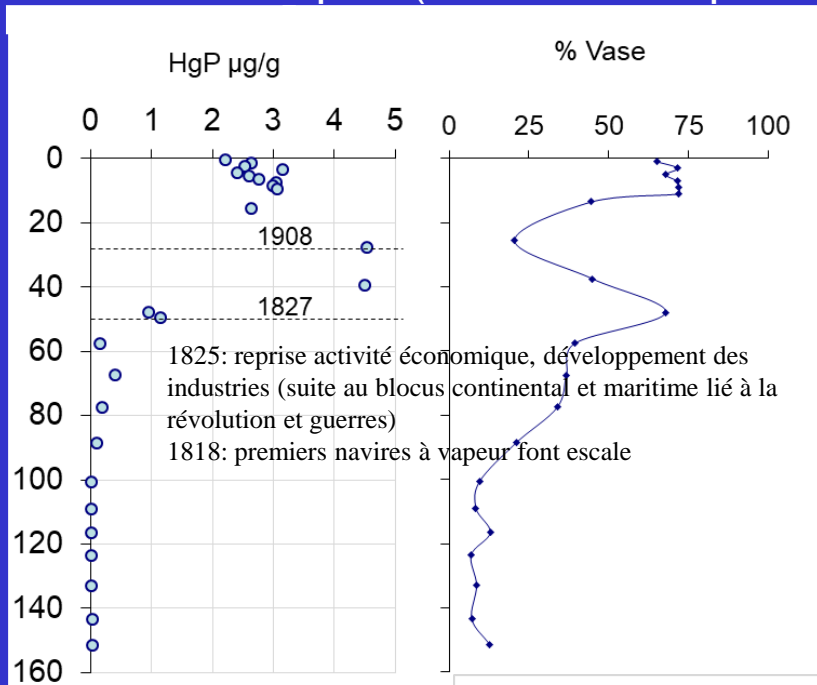
Episodes de sédimentation  
"plus grossière"

Pas la peine de "dater" cette carotte....

Zone "perturbée": remises en suspension, mélange, bioturbation...



# Carotte "l'Estaque" (en cours d'exploitation)



## Un ROCCHSED basé sur l'utilisation de carottes sédimentaires

### Pour pouvoir:

- Évaluer pour une zone donnée **l'évolution et les tendances** de la contamination chimique
- Détermination de **bruits de fond géochimiques** "régionaux" et extrapoler, par façade, des "seuils nationaux de fond géochimique"
- Quantifier la fonction "puits" du compartiment sédimentaire (**flux à l'IES**)
- **Carothèque**: analyses rétrospectives



*Point dur: choix des sites et extrapolation bruits de fond  
Représentatifs de l'ensemble d'une façade ?*

## Prérequis:

- Carottes suffisamment longues, notamment dans les zones où les taux de sédimentation sont élevés (pour pouvoir remonter au bruit de fond)
- Prospection sites pour déterminer si les conditions de dépôt sont favorables:
  - ✓ grâce à des connaissances déjà acquises;
  - ✓ campagnes de carottage "prospection" qui permettront, avant datations (couteux) d'acquérir des indices (profils: de granulométrie, porosité...RadioX des carottes...)

## Applications intéressantes pour évaluer influence des différents paramètres de sédimentation et aider à l'interprétation des données

Si l'on se place en régime stationnaire:  $\frac{\partial C}{\partial t} = 0$  et pas de gradient de porosité

Dans la **zone mélangée**:  $w$  est négligeable par rapport  $D_m$

(à vérifier avec le nombre de Peclet=  $wL/D_m$ , plus il est  $< 1$  plus  $w$  est négligeable/ $D_m$ ),

on peut poser:  $D_m \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \kappa C = 0$  (2)

En prenant comme conditions aux limites:  $x = 0$ ;  $C = C_0$  et quand  $x$  tend vers l'infini  $C$  tend vers l'infini. On considère aussi que  $D_m$  reste constant en fonction de  $x$ .

On résout l'équation (2):  $C = C_0 \exp\left(-x \sqrt{\frac{\kappa}{D_m}}\right)$  (3)

Dans la **zone non mélangée**: c'est  $w$  qui domine (on néglige  $D_m$ )

$$\frac{\partial C}{\partial t} = w \frac{\partial C}{\partial x} - \kappa C = 0$$
 (4)

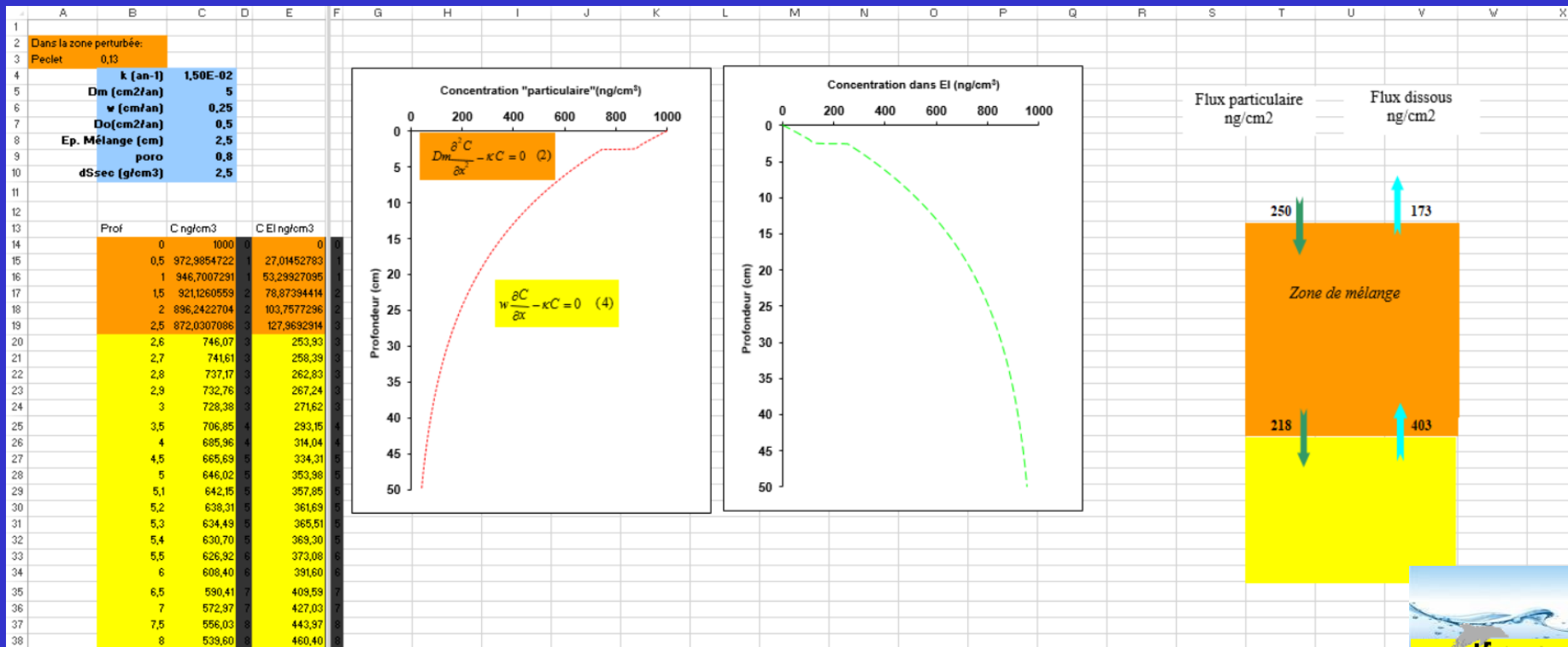
En posant comme condition limite pour  $x = L$  (profondeur à partir de laquelle la bioturbation est négligeable) on a  $C = C_L$ ,

$$C = C_L \exp\left(-x \frac{\kappa}{w}\right)$$
 (5)



# Cas d'un élément intégrant la colonne sédimentaire sous forme particulaire.

- ➔ Profils de concentration connaissant les différents paramètres physiques
- ➔ Calcul flux
- ➔ "Solubilisation" du composé lors de la diagenèse précoce





Profondeur de pénétration d'un "pic de contamination",  
connaissant la date de la contamination



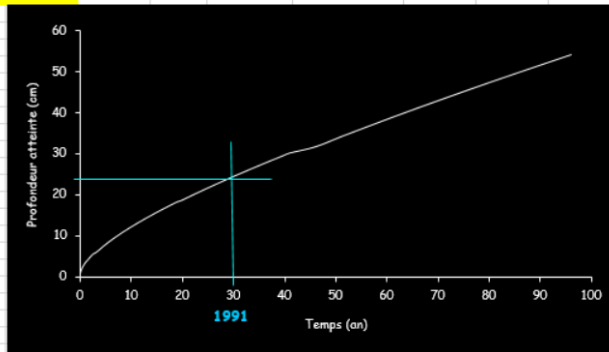
Temps nécessaire pour qu'un composé associé  
aux particules traverse la couche "mélangée"

Calcul de la profondeur de pénétration d'un "pic de contamination"

Calcul du temps nécessaire pour traverser la couche mélangée

| Dm en cm <sup>2</sup> /an | Ep. mélange cm | Peclet |
|---------------------------|----------------|--------|
| 5                         | 4              | 0,20   |
| w en cm/an                |                |        |
| 0,25                      |                |        |

TEMPS (an) 1,58



Calcul de la profondeur de pénétration d'un pic de contamination :

$$P(\text{cm}) = (2DmT)^{0.5} + wT$$

T (an): temps écoulé depuis l'événement

Calcul du temps nécessaire pour traverser la couche mélangée:

$$\text{d'après } P(\text{cm}) = (2DmT)^{0.5} + wT$$

On pose:  $P^2 = 2DmT + w^2T^2$  ou  $w^2T^2 + 2DmT - P^2 = 0$      $\Delta = (2Dm)^2 - 4w^2P^2$  si  $\Delta > 0$  on a 2 solutions (doit être physique)

$$T1 = -2Dm - \Delta^{0.5} / 2w^2 \text{ et } T2 = -2Dm + \Delta^{0.5} / 2w^2$$

|       |             |
|-------|-------------|
| Delta | 104         |
| T1    | -161,584312 |
| T2    | 1,58431217  |



**Merci pour votre attention**