

15 novembre 2022

*Journée Scientifique et Technique du CFMS :  
Gestion des données et nouvel environnement  
numérique en géotechnique*

**Yannick FARGIER (UGE / FI-NDT)**  
**Théo DEZERT (NTNU)**  
**Sérgio PALMA LOPES (UGE)**

**Vincent GUIHARD (EDF LAB)**  
**Christophe VERGNIAULT (EDF TEGG)**  
**Jean-Robert COURIVAUD (EDF-CIH)**

# Fusion d'informations géotechniques & géophysiques pour la reconnaissance des ouvrages hydrauliques en terre



*Vos Infrastructures  
en toute transparence*

*Spin off*  Université  
Gustave Eiffel



## **Contexte & objectifs**

# Contexte & Objectifs

## Objet d'étude : digues de protection fluviales

Fonction de retenue d'eau lors d'épisodes de crues

Besoin d'améliorer leur diagnostic pour prévenir le risque de rupture



*Inondations européennes, France, 2016*



*Yangzi Jiang, China, 1998*

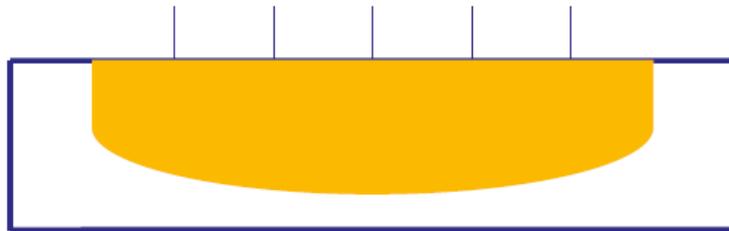


*Hurricane Katrina, USA, 2005*

# Contexte & Objectifs

## Campagnes de reconnaissance

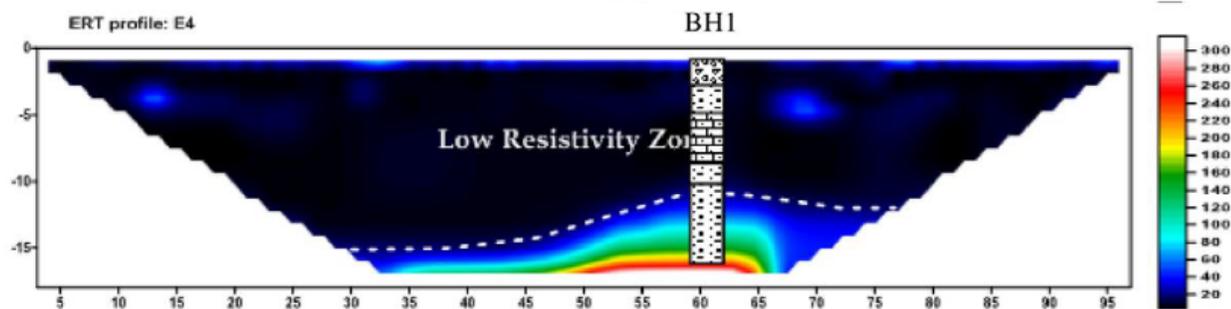
Complémentarité des méthodes **géophysiques** et **géotechniques**



(inversion)



Mais simple superposition des résultats



*Shaaban et al, 2013*

# Contexte & Objectifs

## Objectifs

Proposer une méthodologie de **combinaisons d'informations**, issues de reconnaissances **géophysiques** et **géotechniques**, tenant compte des spécificités de chaque méthode en termes **d'imperfection** associée aux données ainsi que de **répartition spatiale** de l'information.

Cette nouvelle méthodologie doit permettre **d'améliorer la caractérisation** des ensembles lithologiques au sein des ouvrages hydrauliques tout en associant un **indice de confiance** aux résultats proposés.

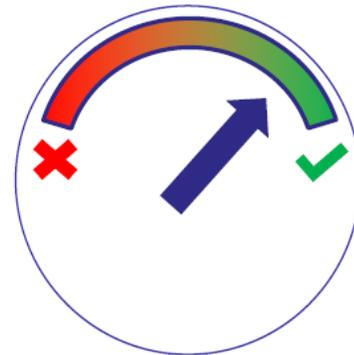
----> **Fusion dans le cadre de la théorie des masses de croyance**

# **Théorie des masses de croyance (Belief)**

# Théorie des masses de croyance

## Intérêts / Cahier des charges

Modélisation de la croyance en une **hypothèse** (matériau géologique) à partir de la **fusion** de masses de croyance représentant au mieux les connaissances disponibles.

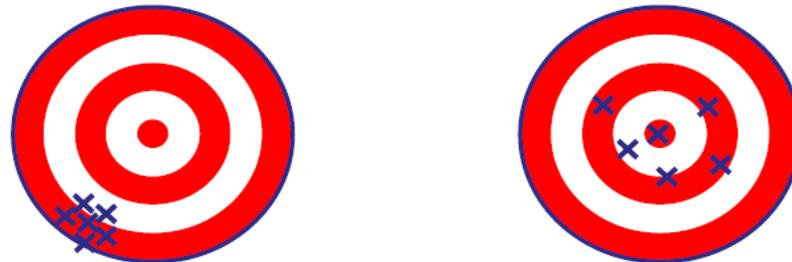
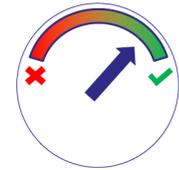


# Théorie des masses de croyance

## Intérêts

Modélisation de la croyance en une **hypothèse** (matériau géologique) à partir de la **fusion** de masses de croyance représentant au mieux les connaissances disponibles.

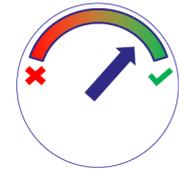
Prise en compte **d'imprécisions** et **d'incertitudes** variables.



# Théorie des masses de croyance

## Intérêts

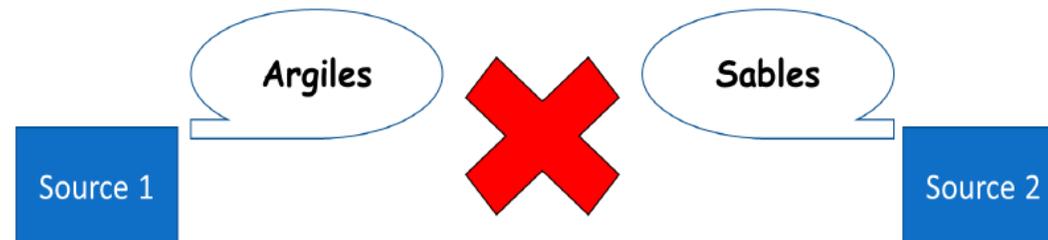
Modélisation de la croyance en une **hypothèse** (matériau géologique) à partir de la **fusion** de masses de croyance représentant au mieux les connaissances disponibles.



Prise en compte **d'imprécisions** et **d'incertitudes** variables.



Capacité d'évaluer le degré de conflit entre les sources d'informations.



# Théorie des masses de croyance

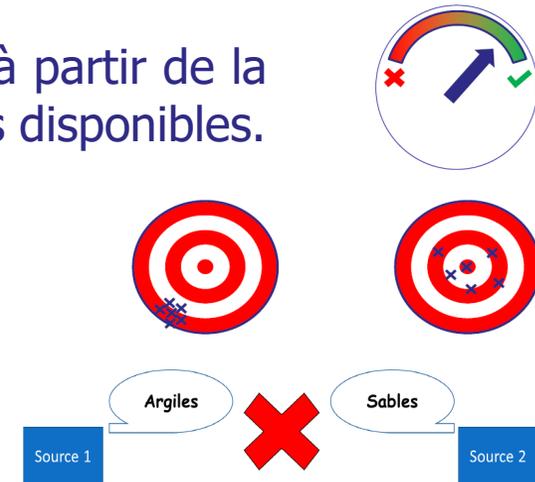
## Intérêts

Modélisation de la croyance en une **hypothèse** (matériau géologique) à partir de la **fusion** de masses de croyance représentant au mieux les connaissances disponibles.

Prise en compte **d'imprécisions** et **d'incertitudes** variables.

Capacité d'évaluer le degré de conflit entre les sources d'informations.

Prise en compte de l'ignorance (incomplétude de l'information)



# Théorie des masses de croyance

## Etapas

1. Sélection d'un cadre de discernement
2. Détermination des masses de croyance (indice de confiance) pour chaque source pour chaque évènement
3. Règles de combinaison et Fusion des sources d'information

# Théorie des masses de croyance

## Sélection d'un cadre de discernement

Cadre de discernement  $\Theta$  :

$$\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$$

L'espace  $2^\Theta$  (**powerset**) des masses de croyance  $m(\cdot)$  est fixé par toutes les disjonctions envisageables :

$$2^\Theta = \{\emptyset, \theta_1, \theta_2, \theta_1 \cup \theta_2, \theta_3, \theta_1 \cup \theta_3, \theta_2 \cup \theta_3, \theta_1 \cup \theta_2 \cup \theta_3, \dots, \theta_1 \cup \theta_2 \cup \theta_3 \cup \theta_n\}$$

Avec  $\emptyset$ , le **conflit** entre les sources

# Théorie des masses de croyance

## Détermination des masses de croyance pour chaque source

La masse de croyance  $m$  (indice de confiance) associée à l'hypothèse  $A$  s'exprime sur  $2^\Theta$  dans  $[0;1]$  par :

$$\sum_{A \in 2^\Theta} m(A) = 1$$

Plus  $m(A)$  tend vers 1, plus la confiance en  $A$  est importante

$A$  peut représenter l'union de plusieurs hypothèses -> capacité à modéliser l'incertitude et le manque de connaissance

# Théorie des masses de croyance

## Règles de combinaison

Hypothèse de **Smets (1990)** -> possibilité d'allouer de la masse au conflit,  $m(\emptyset) > 0$

$$m_{12}(A) = \sum_{X, Y \subseteq \Theta | X \cap Y = A} m_1(X) m_2(Y)$$

Règle PCR6 (Dambreville *et al.*, 2009 ; Dezert *et al.*, 2020) -> redistribution de la masse conflictuelle,  $m(\emptyset) = 0$

$$m_{12}^{PCR6}(A) = m_{12}(A) + \sum_{\substack{Y \in 2^\Theta \\ A \cap Y = \emptyset}} \left[ \frac{m_1(A)^2 m_2(Y)}{m_1(A) + m_2(Y)} + \frac{m_2(A)^2 m_1(Y)}{m_2(A) + m_1(Y)} \right]$$



# **Méthodologie de fusion d'informations**

# Méthodologie de fusion d'informations

I. Sélection du tronçon d'ouvrage

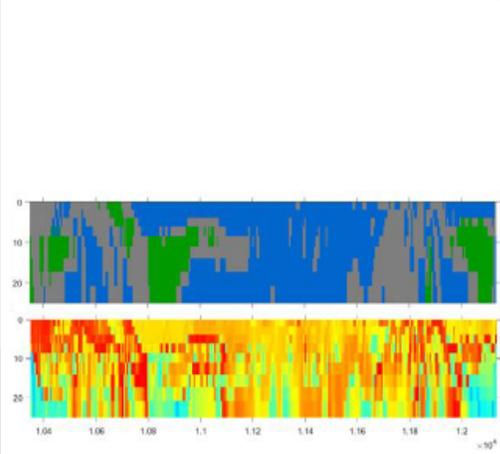
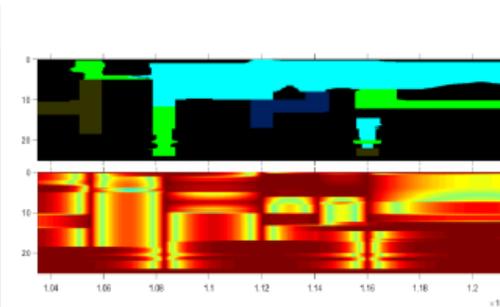
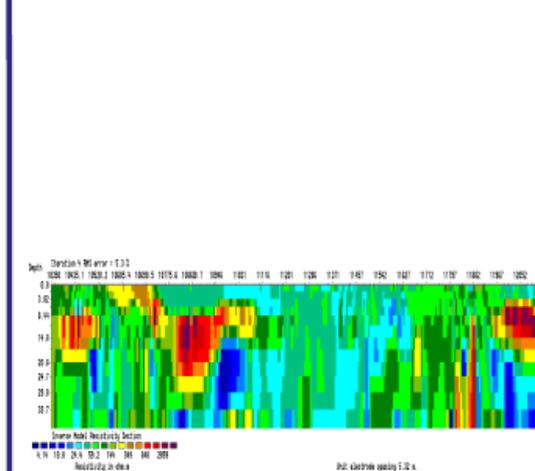
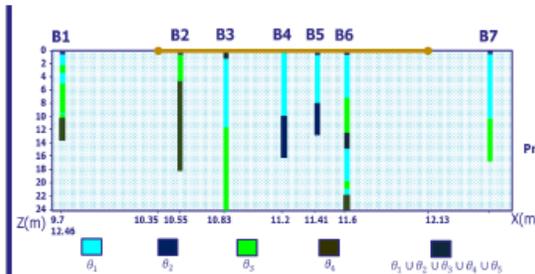
II. Acquisition de données

III. Attribution des masses de croyance

IV. Fusion des données

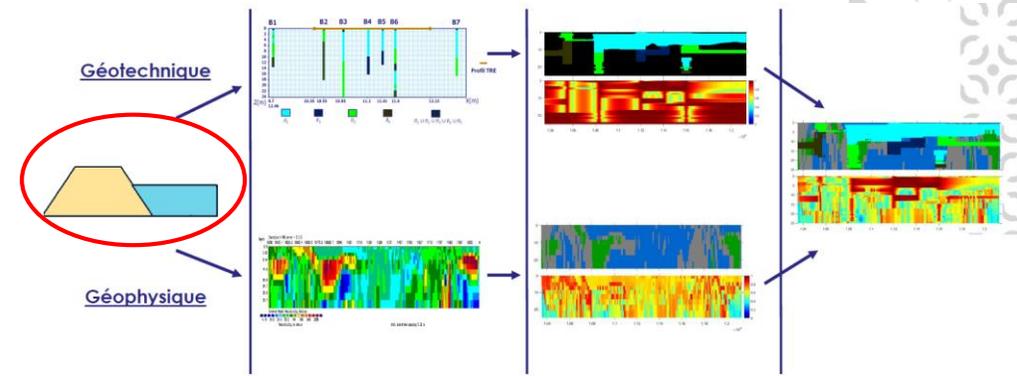
Géotechnique

Géophysique



# Méthodologie de fusion d'informations

## Modèle & cadre de discernement



Digue de canal EDF en charge, dans la Sud de la France.  
Campagnes de reconnaissance en crête.

Présence de fondations **calcaires** ou **marneuses** et de remblais  **fins** (limons argileux) ou **grossiers** (sables avec plus ou moins de brèches calcaires). Présence d'une faille NE-SO abaissant le compartiment occidental.



**Cadre de Discernement**  $\rightarrow \Theta = \{\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5\}$

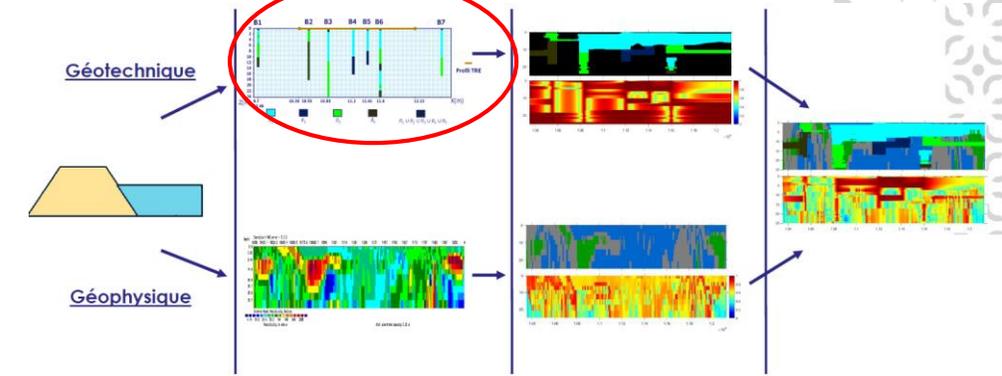
$\theta_1 \rightarrow$  Remblai fin     $\theta_2 \rightarrow$  Marnes

$\theta_3 \rightarrow$  Remblai grossier     $\theta_4 \rightarrow$  Calcaire

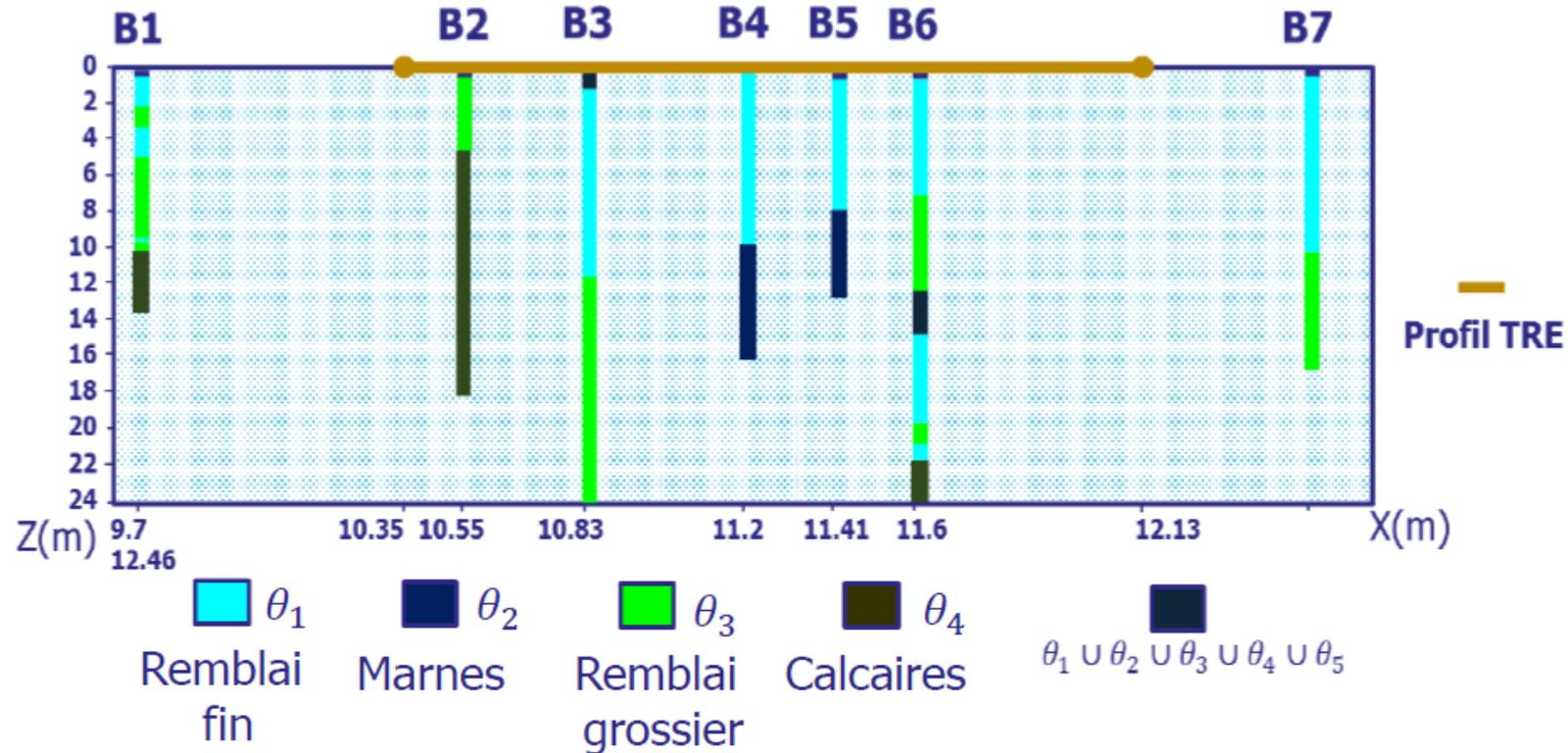
$\theta_5 \rightarrow$  Matériaux autres ?

# Méthodologie de fusion d'informations

## Données géotechniques

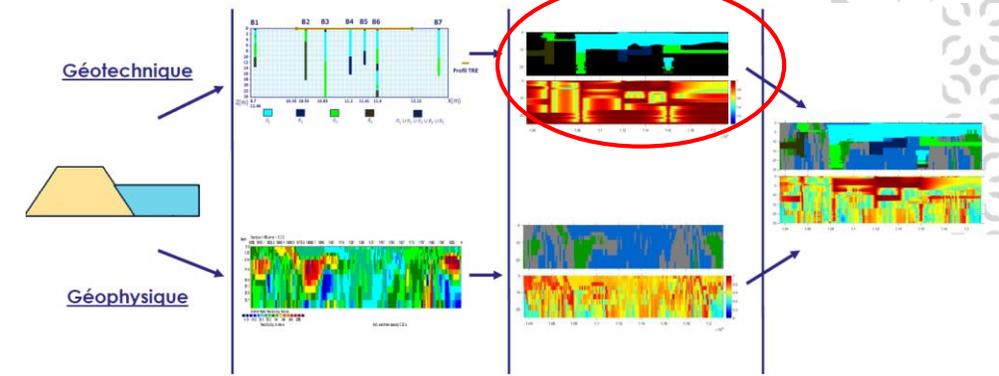


Source1: 7 Sondages carottés et essais de granulométrie NFP11-300 (GTR,1992)

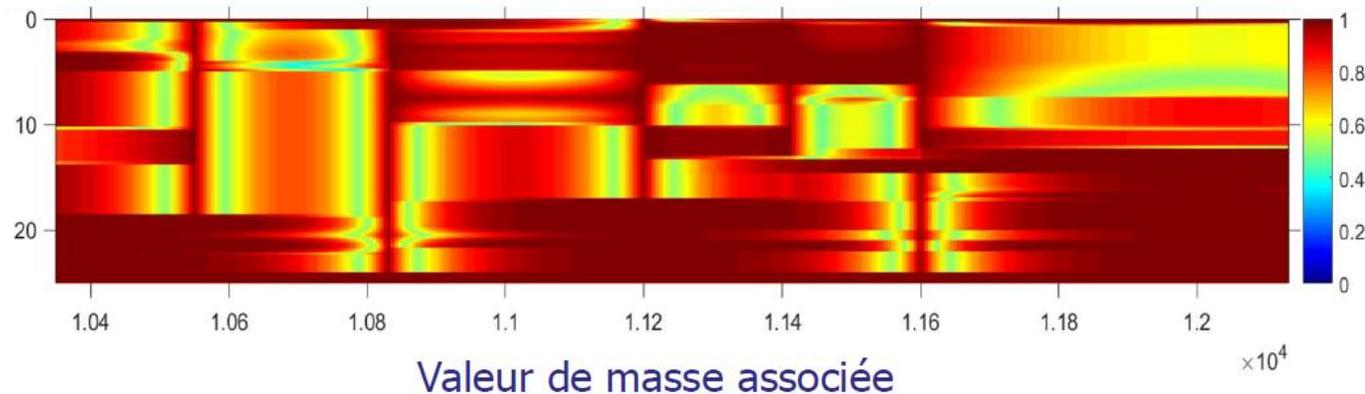
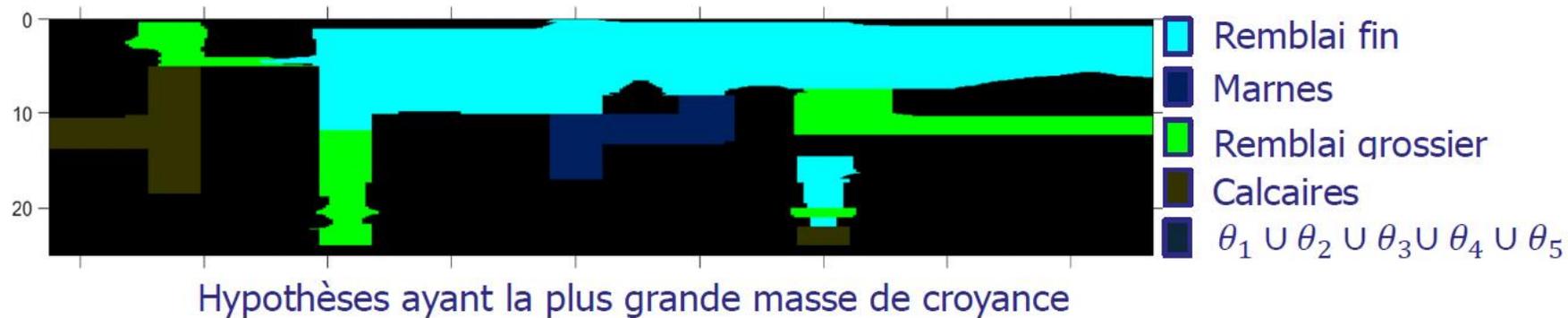


# Méthodologie de fusion d'informations

## Masse de croyance géotechniques

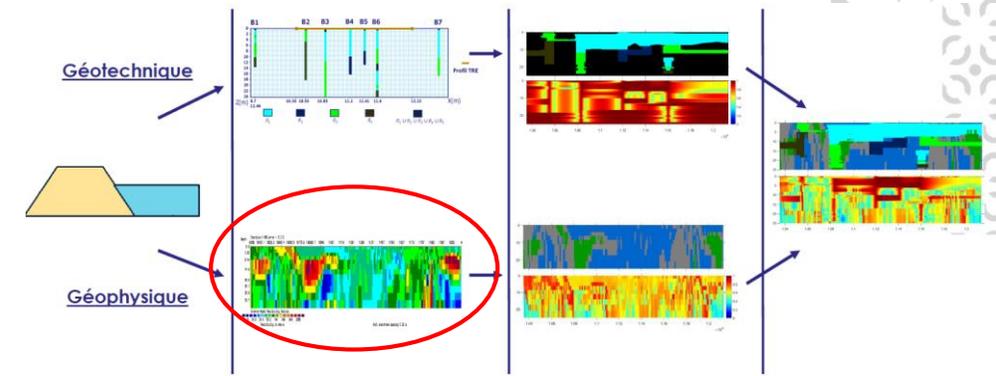


Source1: 7 Sondages carottés et essais de granulométrie NFP11-300 (GTR,1992)

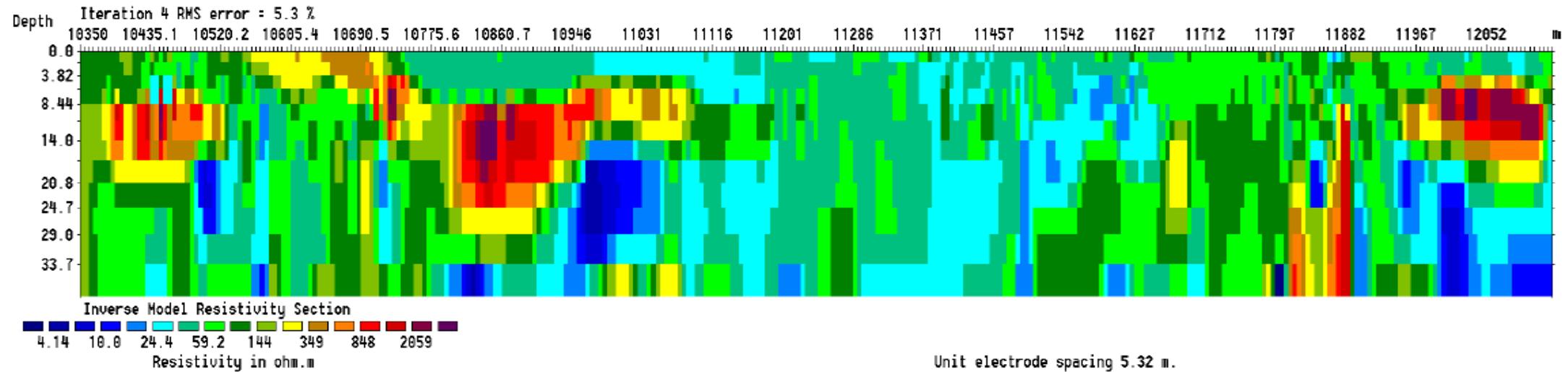


# Méthodologie de fusion d'informations

## Données géophysiques

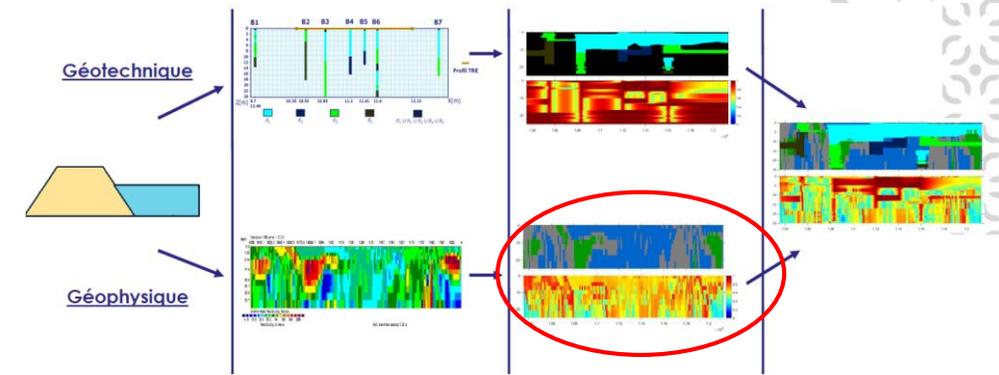


Source2: Tomographie de Résistivité Electrique

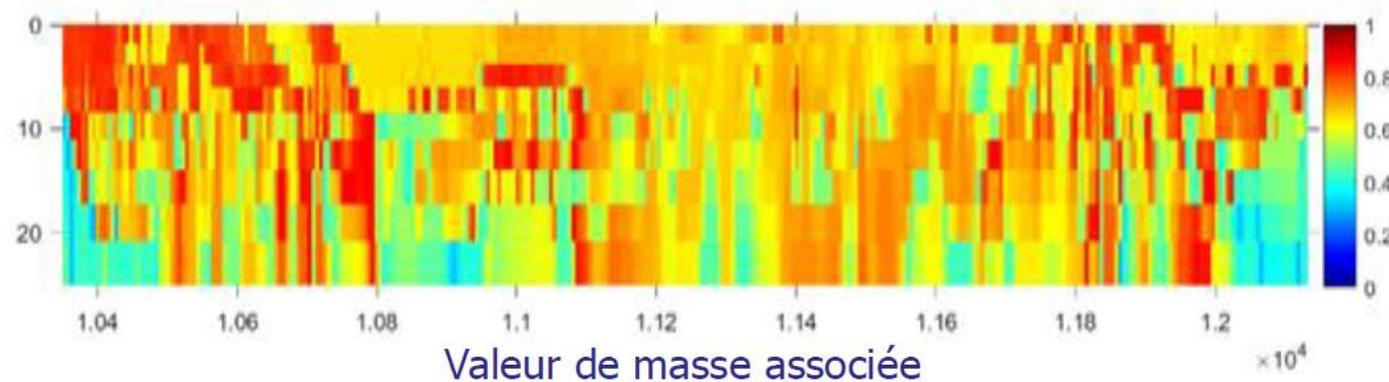
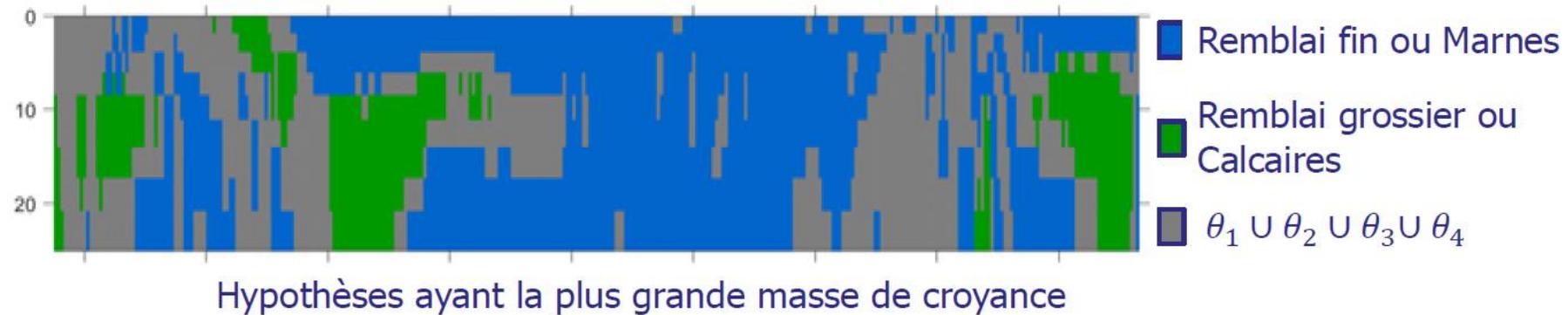


# Méthodologie de fusion d'informations

## Masses de croyance géophysique

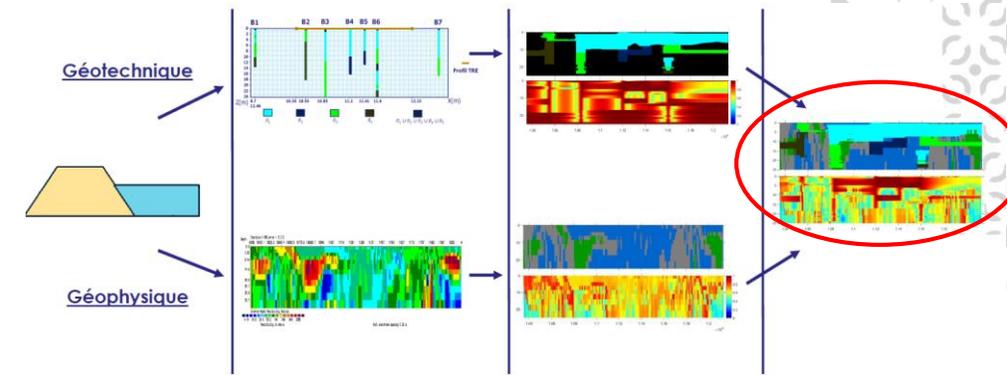


Source2: Tomographie de Résistivité Electrique

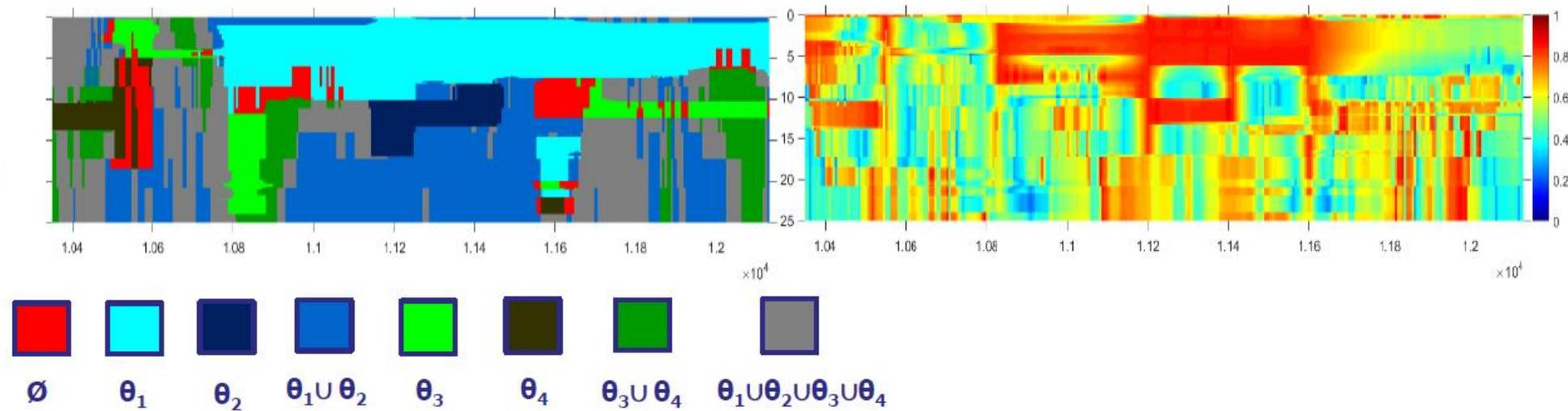


# Méthodologie de fusion d'informations

## Règles de Fusion d'informations

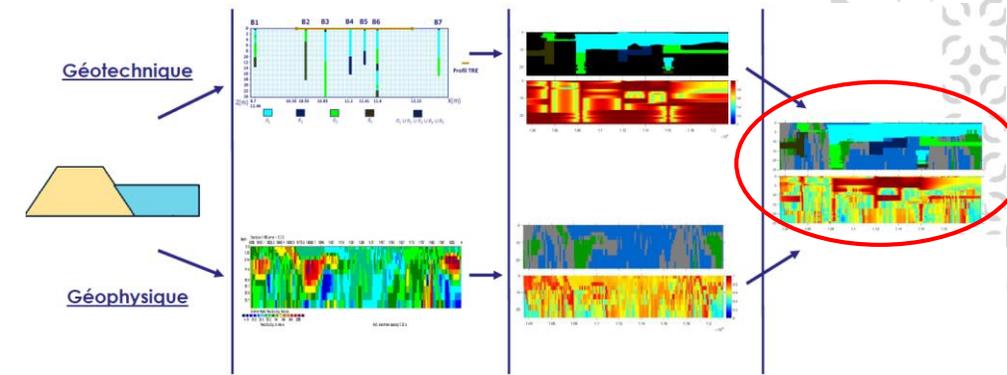


Règle de Smets

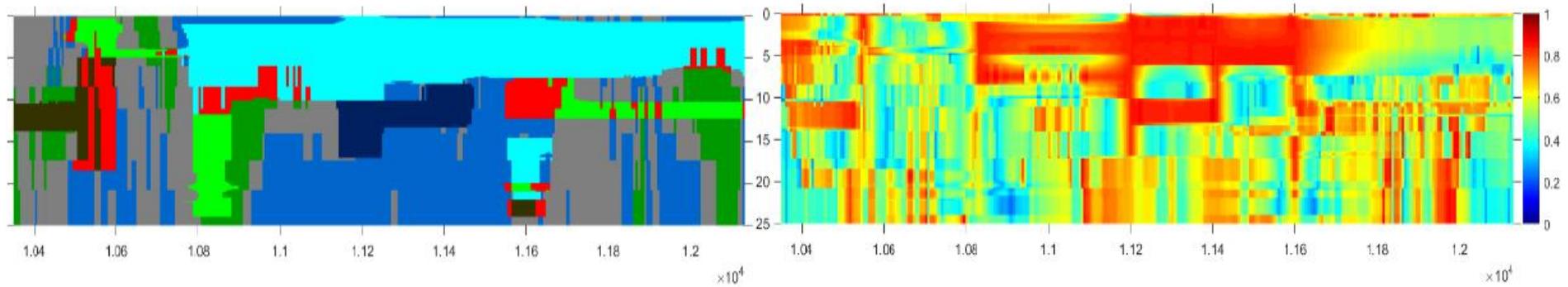


# Méthodologie de fusion d'informations

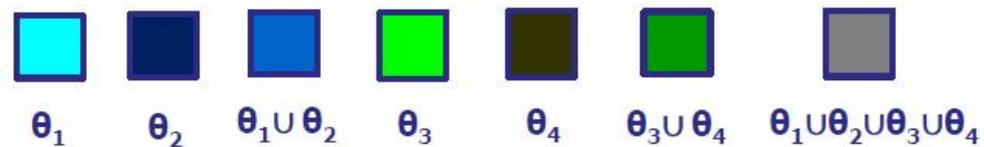
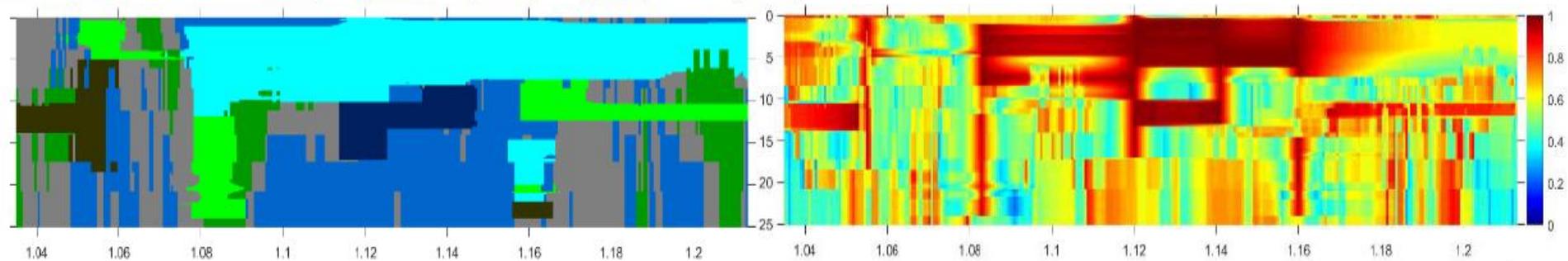
## Règles de Fusion d'informations



Règle de Smets



PCR6



# Structuration des données

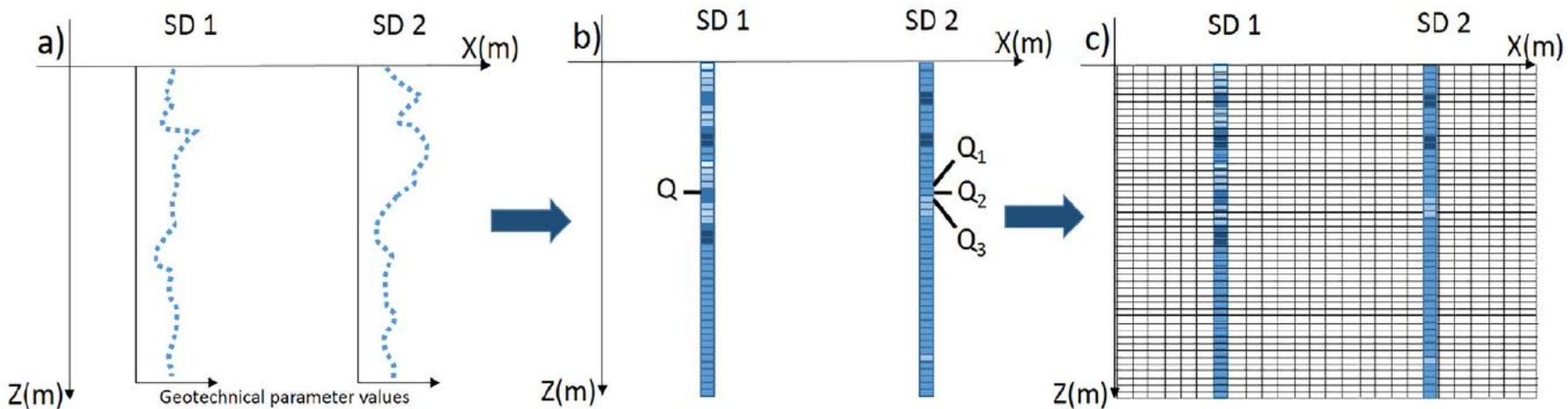
# Structuration des données

## Sources d'information

Aspect discriminant des méthodes (physique / mécanique ...)

Données agrégées (ex: paramètres de forage) ? Indépendance des sources d'information

Résolution des méthodes + notion de rayon d'influence (essais pressio, pompage...)



# Structuration des données

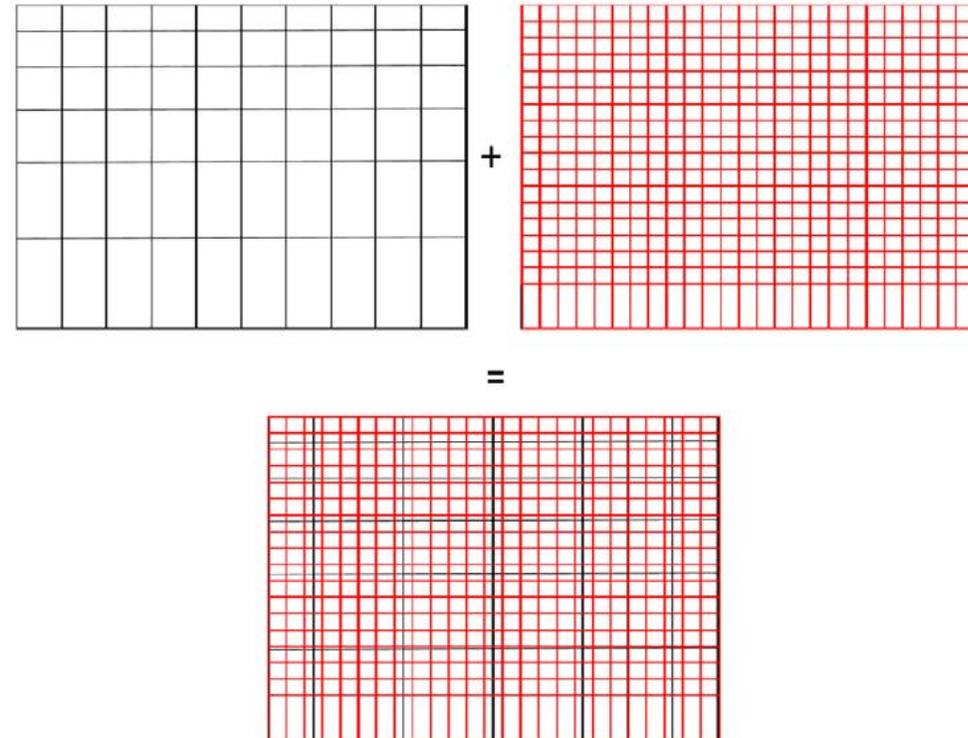
## Sources d'information

Aspect discriminant des méthodes (physique / mécanique ...)

Données agrégées (ex: paramètres de forage) ?

Résolution des méthodes

Incertitude et imprécision des méthodes



# Conclusion

## Conclusions

- Méthode prometteuse pour l'amélioration de la caractérisation des digues et pour d'autres applications (évènement = niveau de suffusion, perméabilité... ; ferroviaire...)
- Permet de mettre en avant la présence d'interfaces lithologiques plus précisément que la méthodes géophysique seule
- Capacité à renseigner les grandeurs qui intéressent directement les modèles du gestionnaire d'ouvrage (par opposition aux grandeurs géophysiques)
- La localisation de zones conflictuelles et de moindre confiance pourrait être utile pour l'interprétation des résultats et pour le repositionnement d'investigations complémentaires
- Doit permettre de caractériser l'aspect discriminant des méthodes

**Yannick FARGIER**

[Yannick.Fargier@univ-eiffel.fr](mailto:Yannick.Fargier@univ-eiffel.fr)

06 49 32 86 74

