



# **Etude expérimentale et numérique de la Sédimentation/Consolidation de sols à très forte teneur en eau**

**Gilbert LE BRAS (IUT de st nazaire, Dépt. Génie Civil)**  
**Alain ALEXIS (GeM)**

# Introduction

## Domaine scientifique :

- comportement des milieux poreux naturels très déformables
- interdisciplinarité: hydraulique-géotechnique
- amélioration des connaissances sur les dépôts de sédiments fins

## Domaines d'application :

- gestion environnementale des zones aménagées : envasements des souilles, chenaux, retenues de barrage , parc régional de Brière
- gestion industrielle : boues de lavage de granulats (carrières)

## Programmes et contrats:

- Pr Eu MAST 1 et 2 , Pr Nat CARR'EAU ( BRGM)
- EDF-LNHE, BRGM, Parc régional de Brière



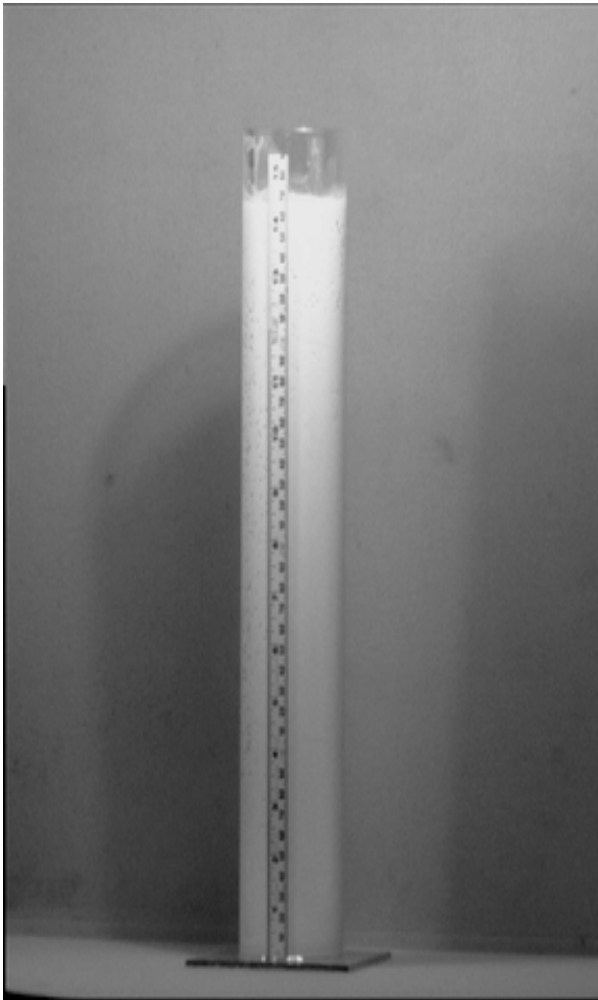
*Port de Trentemout (Nantes)*



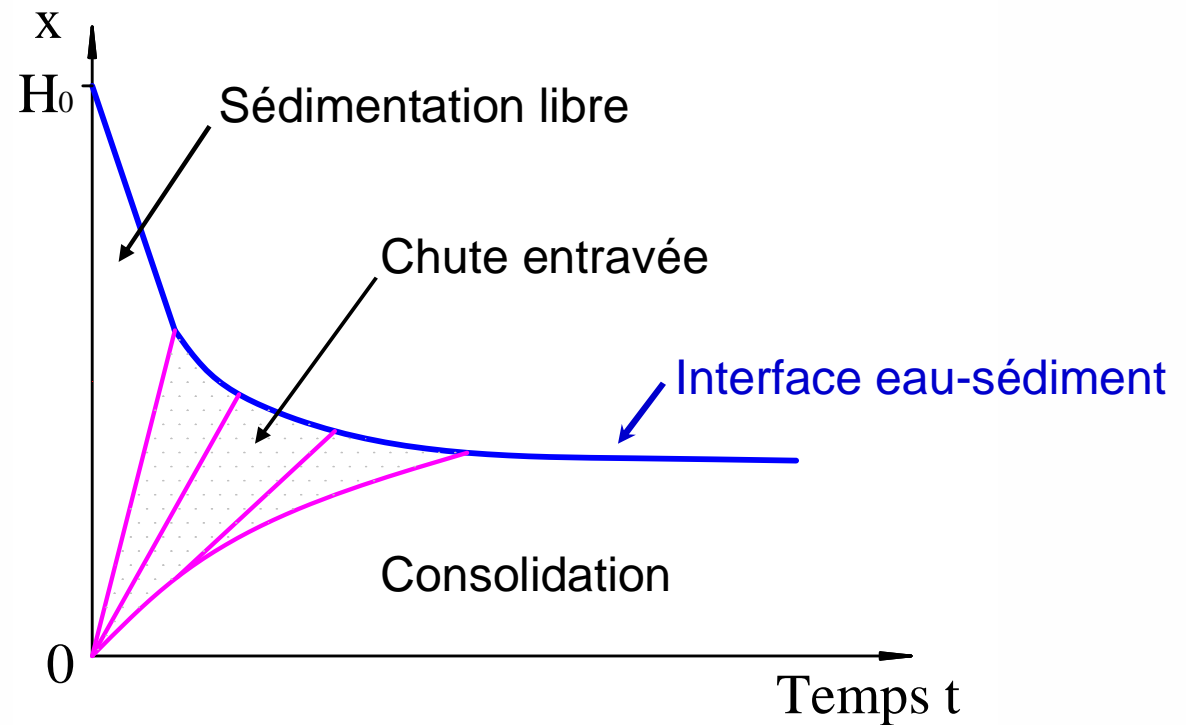
*Réservoir du barrage d'Oytier (Alpes)*

# Introduction

## ➤ Processus de **sédimentation-consolidation**



- Théorie de sédimentation : Kynch (1952)
- Théorie de consolidation : Gibson *et al.*(1967)



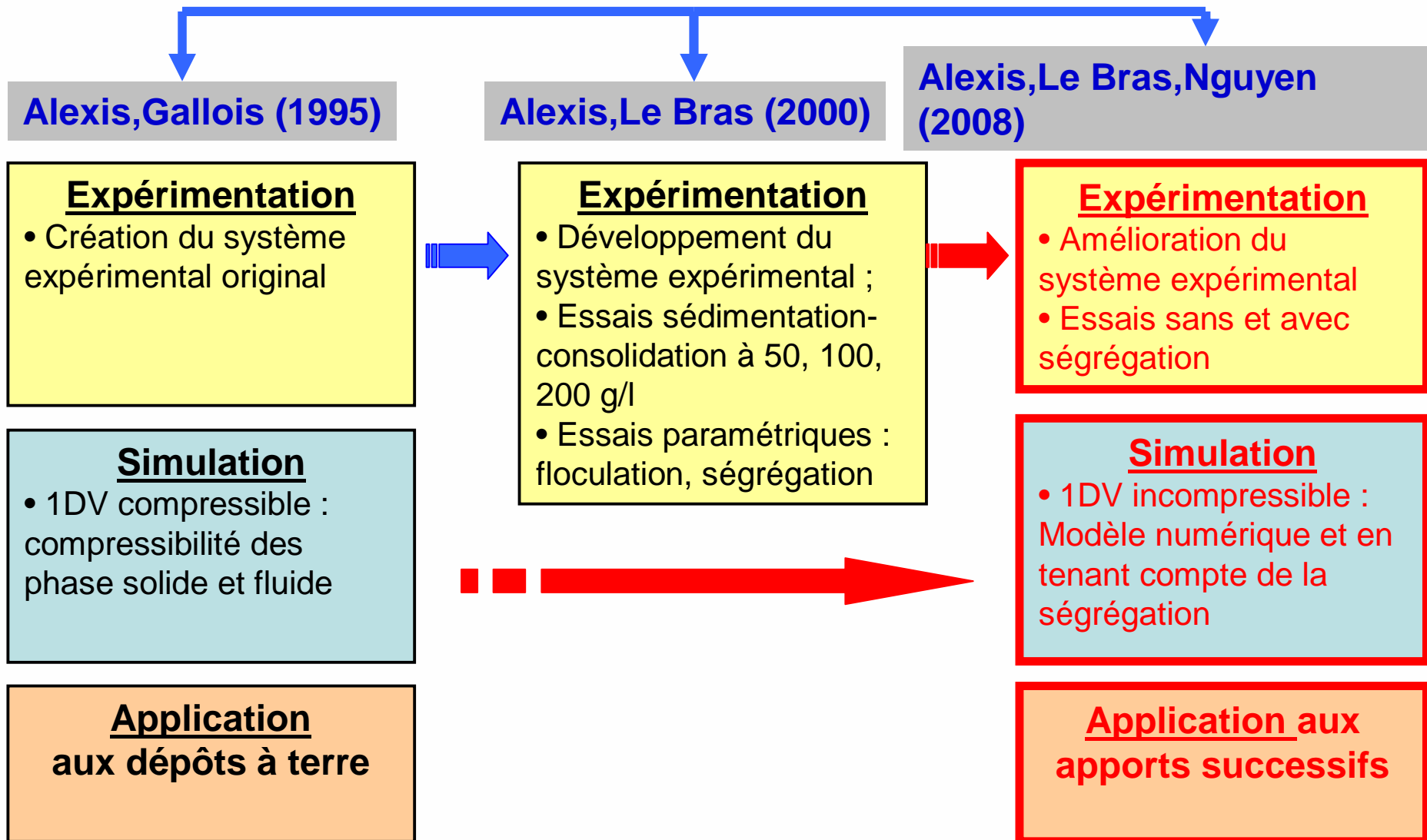
**Courbe de tassement et lignes caractéristiques**

# Objectif

Etude du processus de **sédimentation-consolidation** des **sédiments fins cohésifs**

- par un système de mesure spécifique **non destructive**,
- permettant d'accéder à des **lois de comportement** utilisables en **simulation**

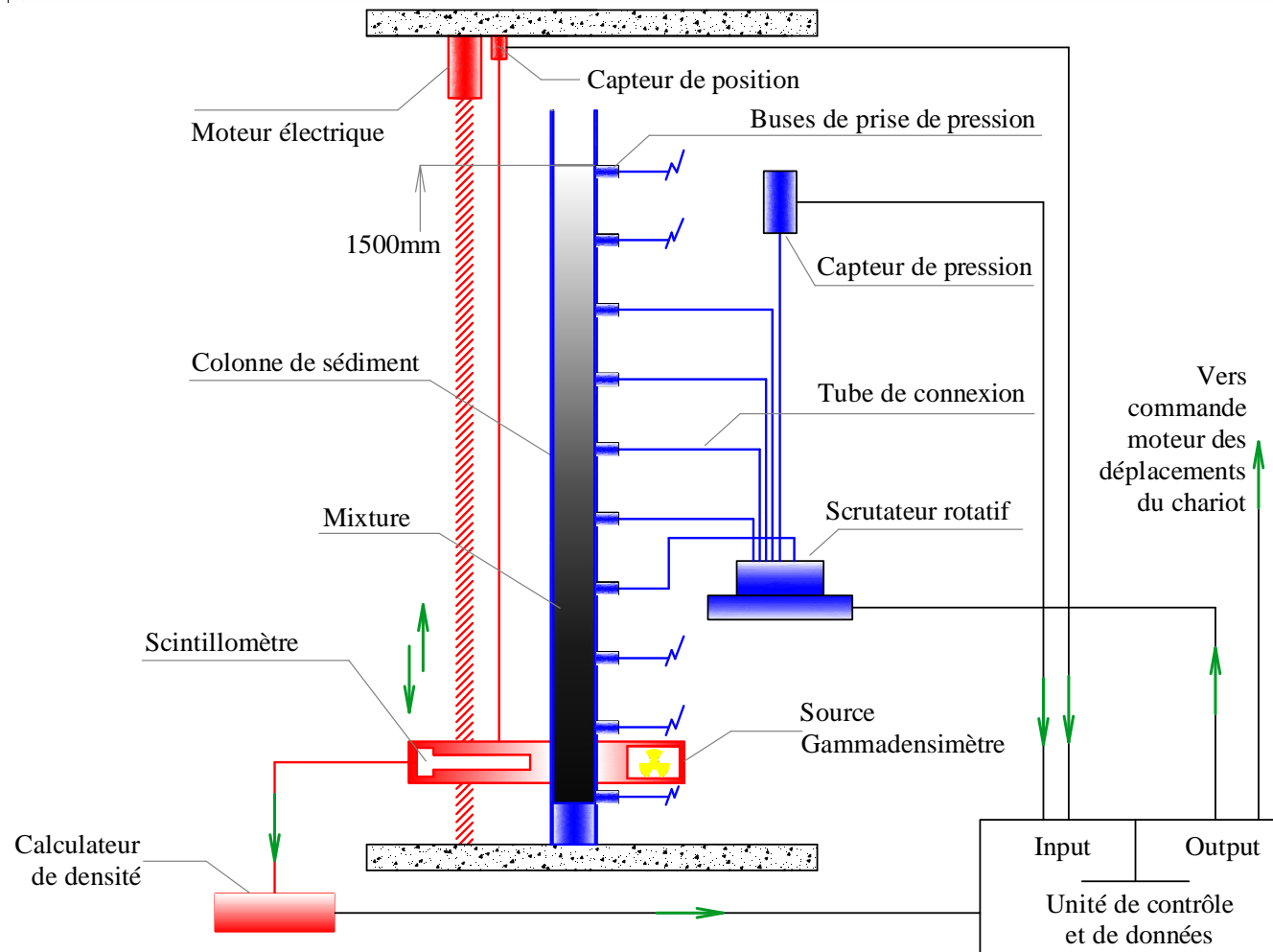
# Situation dans le cadre des travaux de l'équipe



# Plan de la présentation

- 1. Etude expérimentale en laboratoire**
- 2. Modélisation numérique**
- 3. Extension à la ségrégation**
- 4. Application industrielle**

# Systeme experimental : Gamma-densimetre

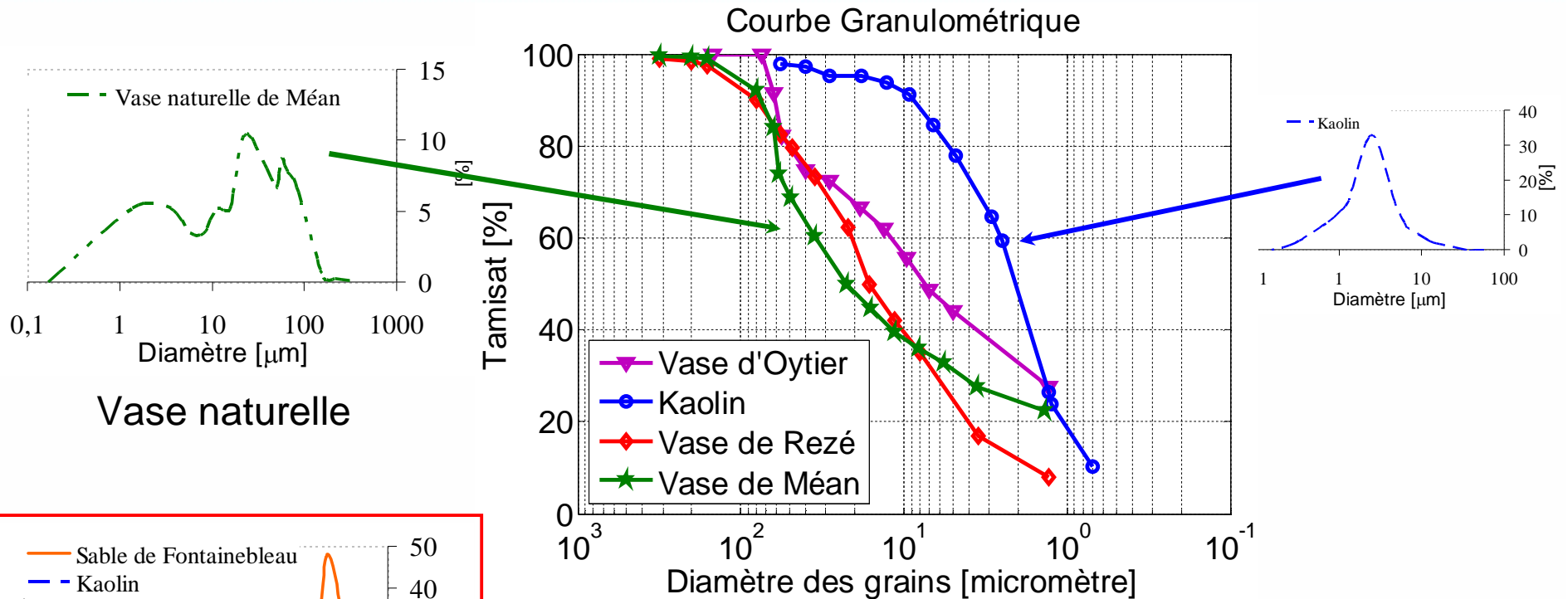


# Concentration initiale

	Concentration volumique	Indice des vides	Porosité	Densité	Concentration massique
<b>Eau</b>	$c=1-n=1/(1+e)$ [-]	$e$ [-]	$n=e/(1+e)$ [-]	$d=1+1,7c$ [-]	$C=2700.c$ [g/l]
	0	$\infty$	1	1	0
Domaine hydraulique	0,019	53,054	0,982	1,031	50
	0,037	26,000	0,096	1,063	100
	0,074	12,500	0,926	1,126	200
Domaine intermédiaire					
Domaine géotechnique	0,250	3,000	0,750	1,425	675
	0,555	0,800	0,445	1,944	1500
<b>Solid</b>	1,000	0,000	0,000	2,700	2700



# Caractéristiques des matériaux

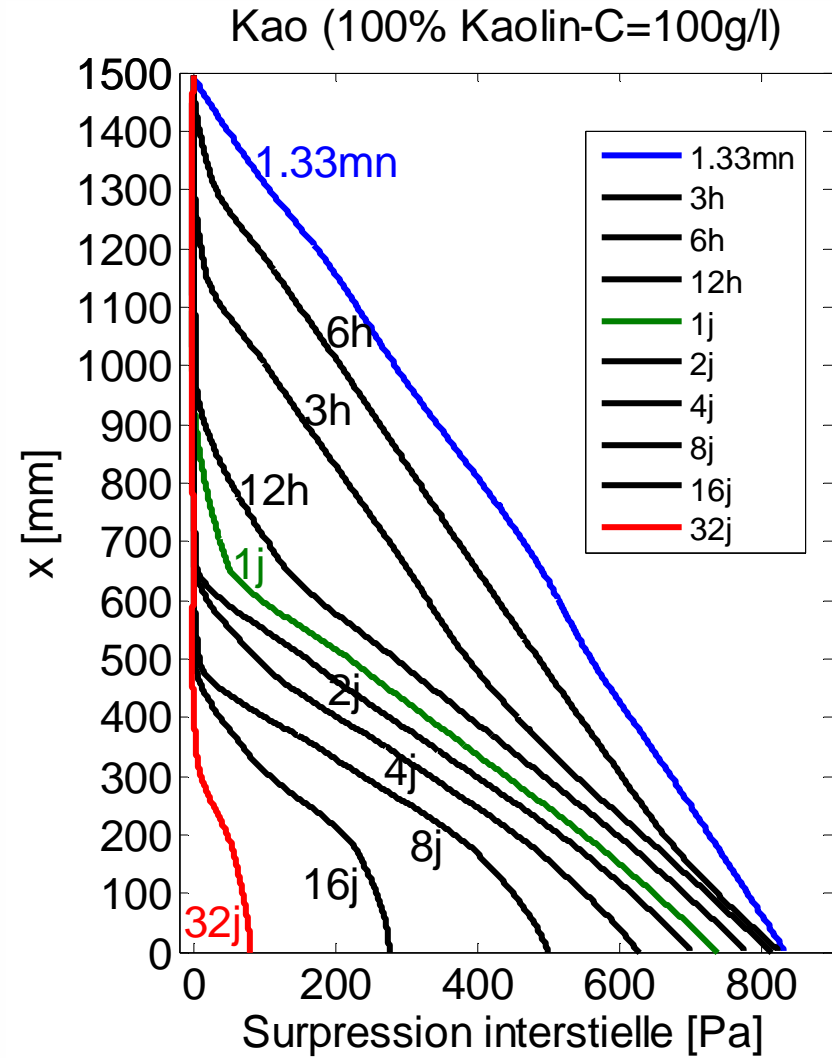
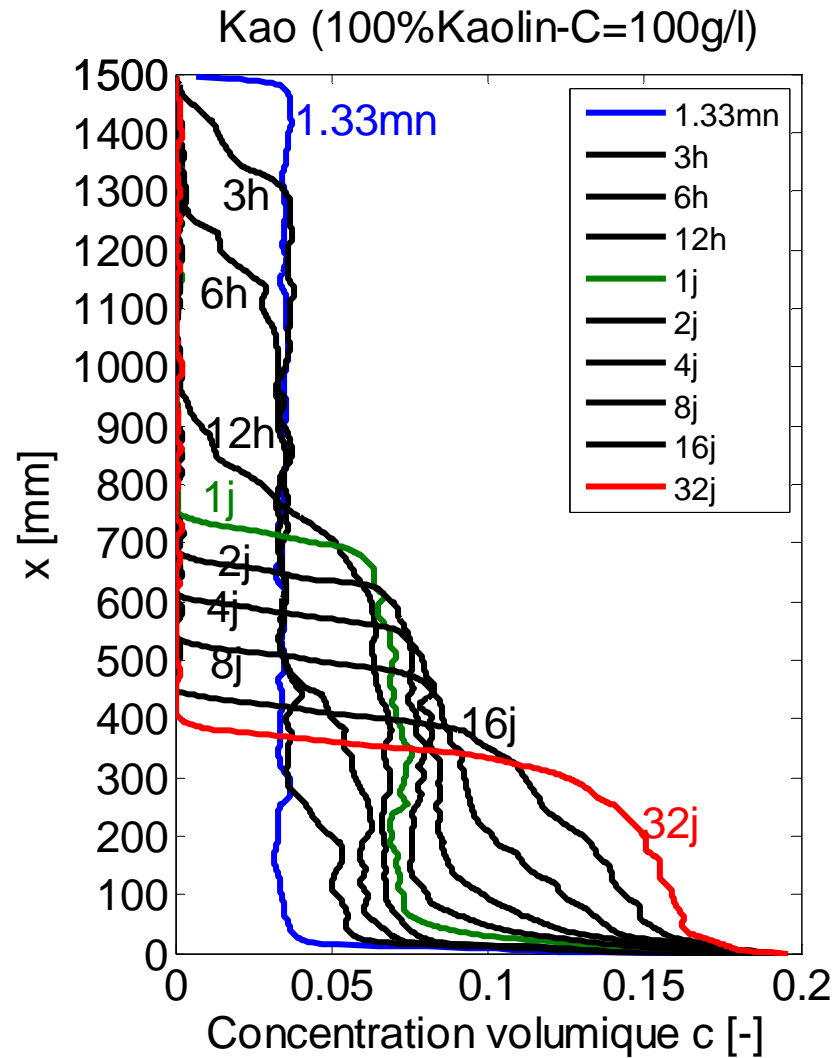


Vase naturelle

Matériau reconstitué

Matériaux	$d_{50}$ [ $\mu\text{m}$ ]	Refus à 63 $\mu\text{m}$
<b>Kaolin</b>	<b>2</b>	<b>4 %</b>
<b>Sable Fontainebleau</b>	<b>200</b>	<b>98 %</b>
<b>Vase de Rezé</b>	<b>17</b>	<b>12 %</b>
<b>Vase de Méan</b>	<b>22</b>	<b>33 %</b>
<b>Vase d'Oytier</b>	<b>8</b>	<b>9 %</b>

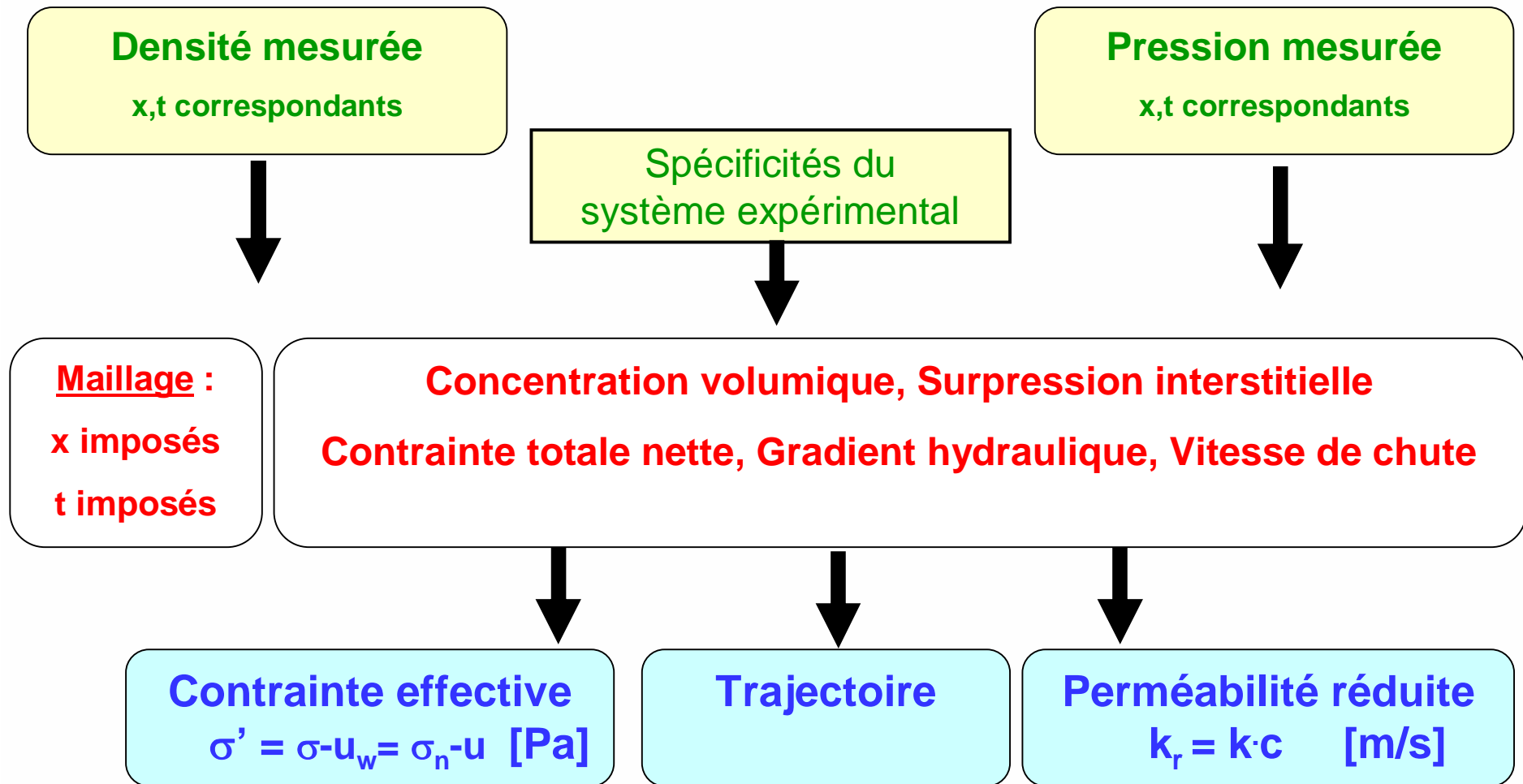
# Résultats expérimentaux



10/42 Profils de la concentration volumique

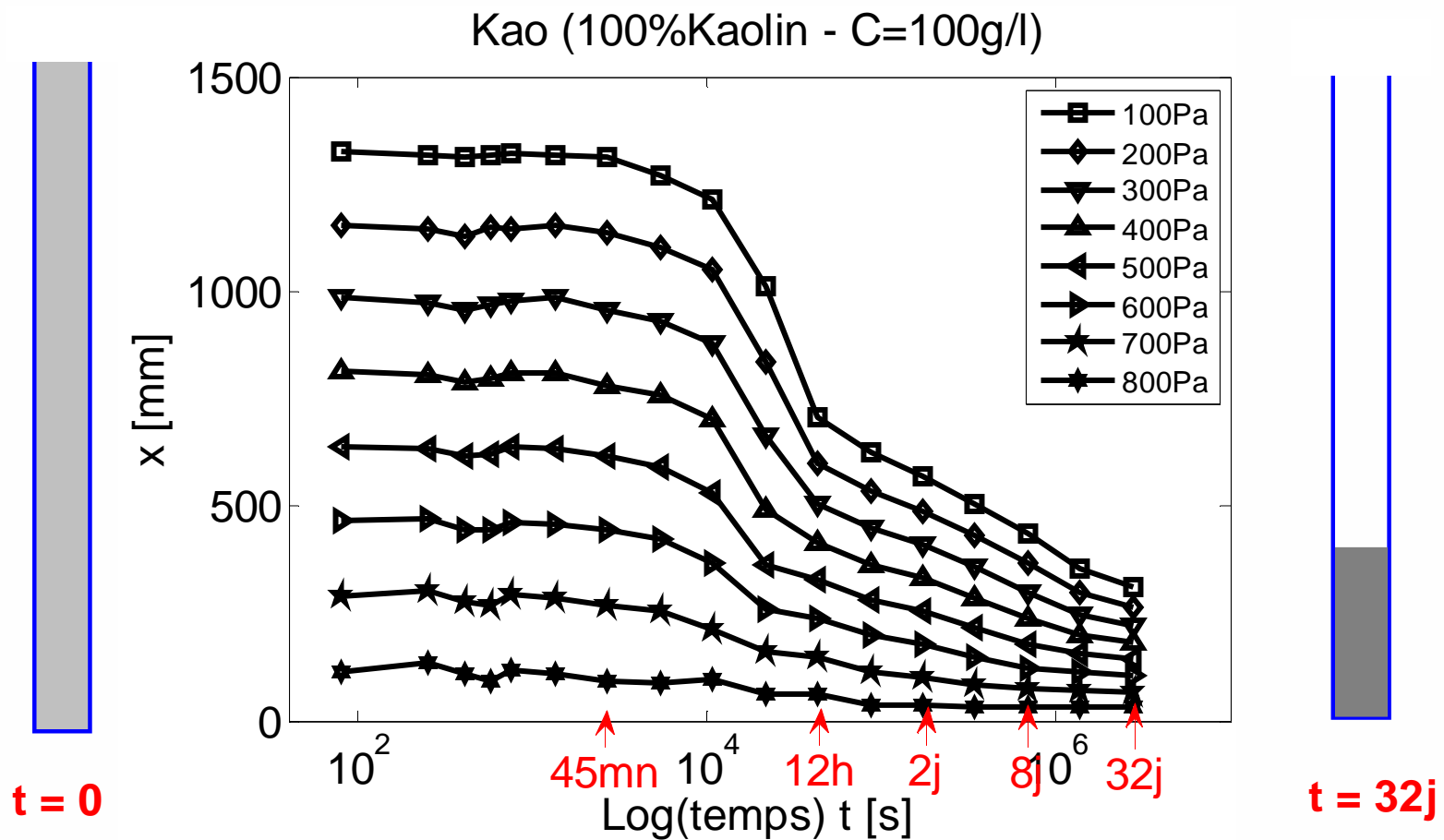
Profils de la surpression interstitielle

# Procédure de traitement des données



# Résultats expérimentaux : matériaux fins cohésifs

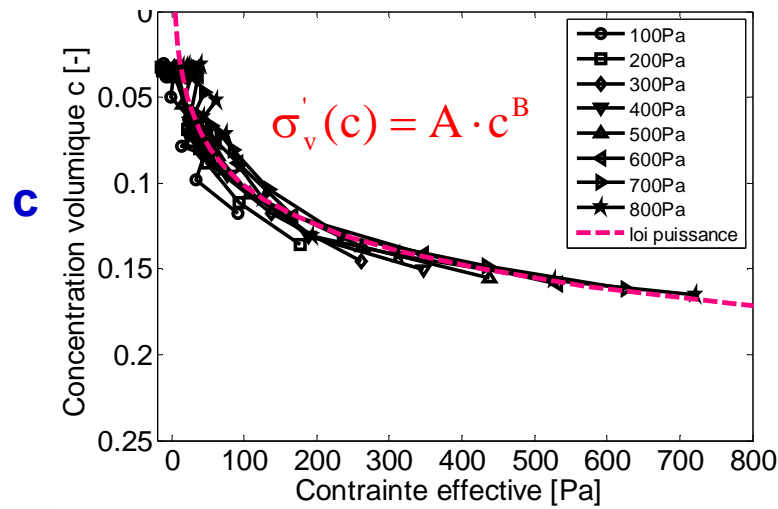
## ➤ Trajectoire des particules



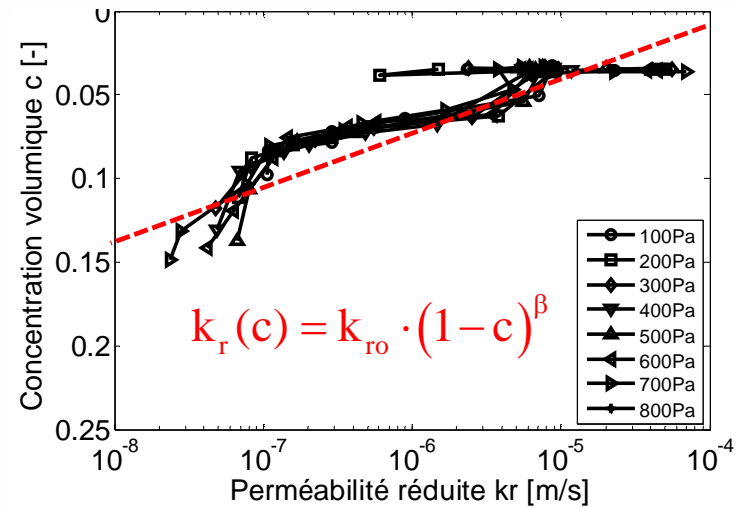
# Résultats expérimentaux : Lois de comportement

**Sédiment  
ARTIFICIEL**

**Kaolin 100g/l**



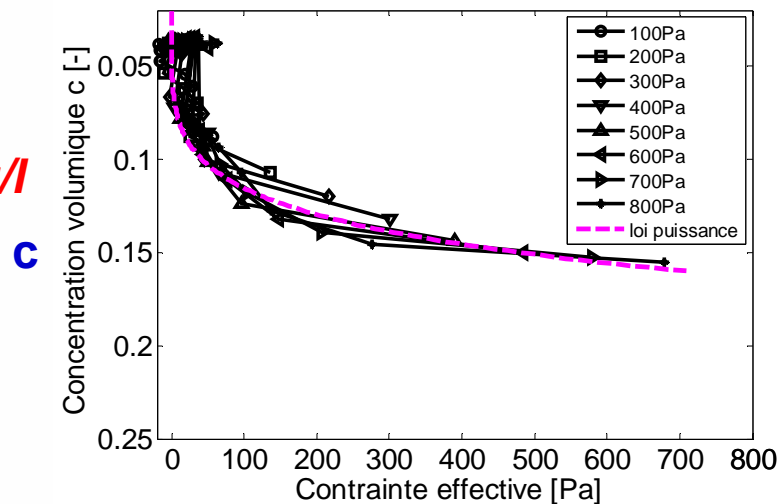
$\sigma'$



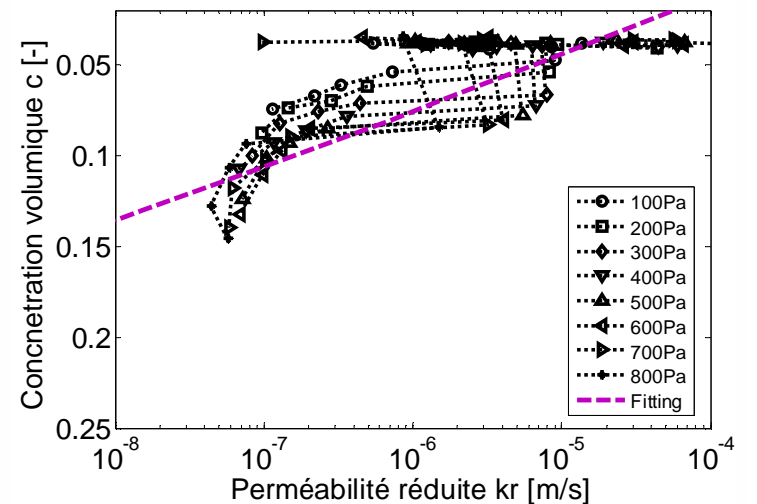
$k_r$

**Sédiment  
NATUREL**

**Vase Rezé 100g/l**



$c$



# Modèle théorique

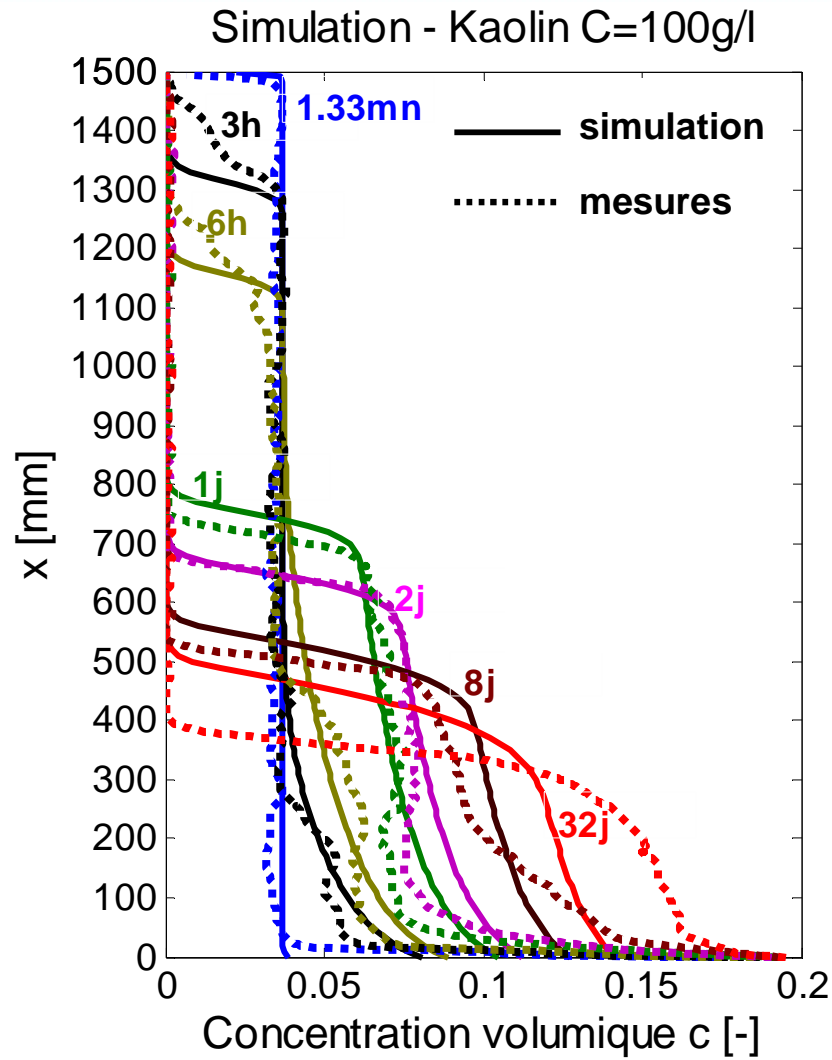
## ➤ Principales équations

- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| 1. Equation de conservation | $\frac{\partial c}{\partial t} = - \overbrace{\frac{\partial (c \cdot v_s)}{\partial x}}^{\text{Solide}} \quad \overbrace{\frac{\partial (1-c)}{\partial t} = - \frac{\partial [(1-c) \cdot v_w]}{\partial x}}^{\text{fluide}}$ |
| 2. Equation d'équilibre     | $\frac{\partial \sigma_v}{\partial x} = -\gamma = -[c\gamma_s + (1-c)\gamma_w]$   |
| 3. Postulat de Terzaghi     | $\sigma'_v = \sigma_v - u_w = \sigma_v - (u_h + u)$   |
| 4a. Loi de Darcy            | $v_m = -k(c) \cdot i = -\frac{k(c)}{\gamma_w} \cdot \frac{\partial u}{\partial x}$  |
| 4b. Contrainte effective    | $\sigma'_v(c)$  |

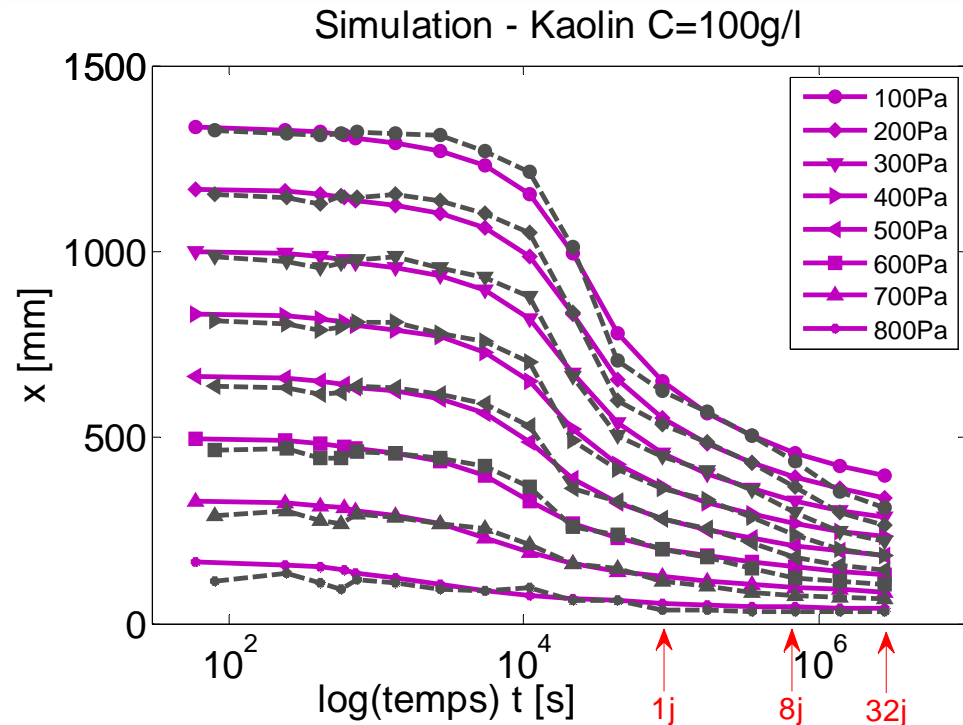
## ➤ Equation de sédimentation - consolidation

$$\frac{\partial c}{\partial t} - \underbrace{\frac{\gamma'_s}{\gamma_w} \frac{\partial}{\partial x} (c \cdot k_r)}_{\text{Advection}} - \underbrace{\frac{1}{\gamma_w} \frac{\partial}{\partial x} \left( k_r \cdot \frac{\partial \sigma'_v}{\partial x} \right)}_{\text{Diffusion}} = 0$$

# Résultats de simulation : Kaolin 100g/l



**Profils de concentration**



**Trajectoires des particules**

➤ **Temps de calcul :**

20 min pour une durée physique de 32 j  
 (avec  $\Delta t=20s$  et  $\Delta x=10mm$ )

# Synthèse de la partie simulation

- Equations de sédimentation-consolidation 1 DV en grandes déformations qui utilisent une loi de contrainte effective et de perméabilité,
- Simulation d'un essai sur le kaolin : comparaison satisfaisante
- Calcul fiable et rapide d'un cas de sédimentation-consolidation par une approche continue

**Dans le cas d'un matériau naturel,  
quel est le rôle de la fraction grossière ?**

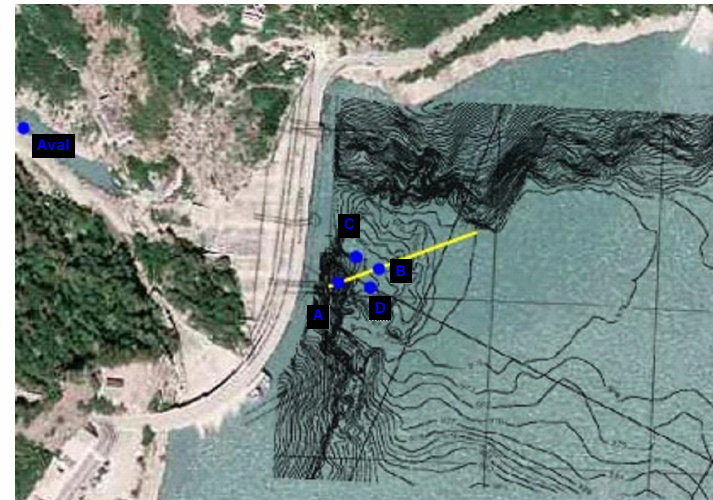


# Application industrielle

## ➤ Problématique :

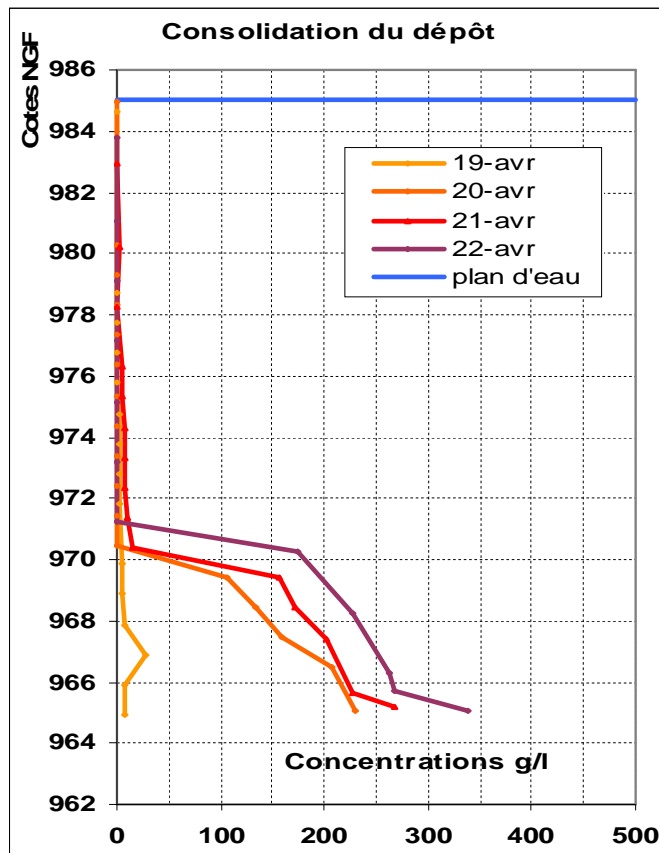
- L'accumulation des sédiments au pied d'un barrage peut colmater la vanne de vidange de fond.
- Les dépôts formés diminuent la capacité du réservoir.
- L'envasement des retenues de barrage est lié au processus de sédimentation-consolidation.

- ## ➤ Objectif :
- Donner des éléments d'appréciation (évolution des concentrations et des résistances) de la faisabilité des méthodes de soutirage de sédiment frais derrière les barrages hydroélectriques.



# Application industrielle

## ➤ Mesures in-situ



## Apports successifs

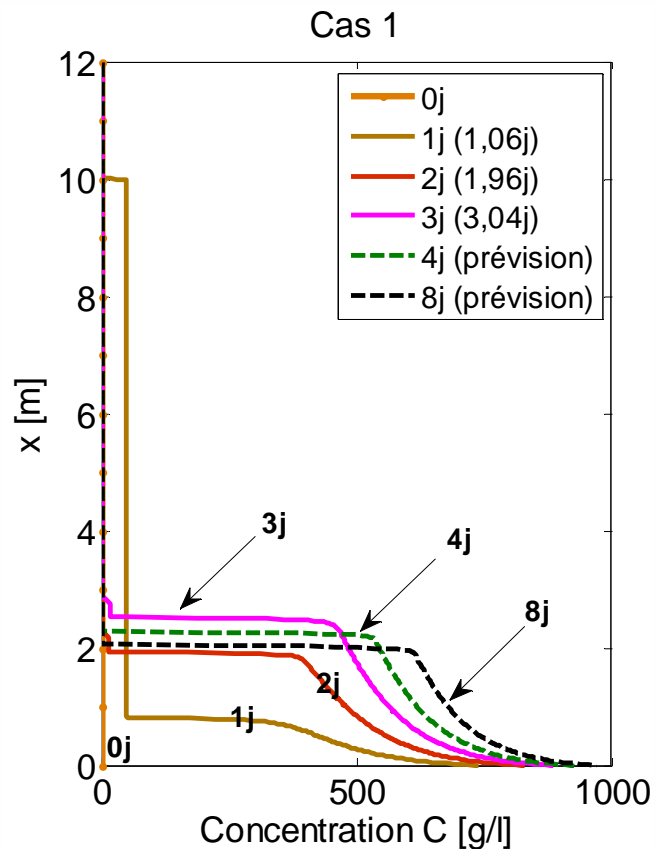
Phase	Ca [g/l]	fin [jours]
1	50	1
2	15	2
3	17	3
4	0	4
5	0	8

Apports des sédiments dans le dépôt

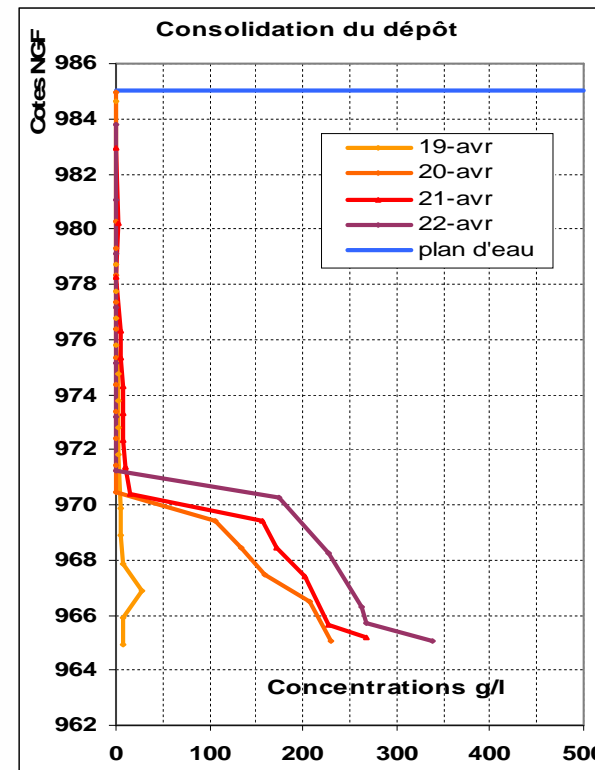
# Application industrielle

## ➤ Modélisation numérique des apports

Modification au code de sédimentation-consolidation pour tenir compte des apports successifs



Profils de concentration



Profils de concentration mesurée (par EDF)

# Synthèse de la partie applications

- Expérimentation sur le matériau prélevé :
  - Evolution de la concentration
  - Evolution de la résistance avec la concentration et le temps
- Modélisation des apports successifs
- Comparaison seulement qualitative car problème de représentativité du matériau prélevé
- Evolution de la résistance intéressante pour l'étude de faisabilité du soutirage

# Conclusions

## ➤ Rappel des objectifs :

- Regard plus général sur le processus de sédimentation-consolidation
- Etude du phénomène de sédimentation-consolidation : connaissances sur le comportement des sols de très forte teneur en eau
- Rôle de la fraction grossière

## ➤ Partie expérimentale :

- Amélioration du système expérimental
- Réalisation d'une colonne de prélèvement
- Développement d'un nouveau pénétromètre

# Conclusions

## ➤ Partie numérique :

- Réalisation d'un code de dépouillement
- Réalisation d'un code de sédimentation-consolidation
- Réalisation de l'extension à la ségrégation

## ➤ Application industrielle :

- Simulation des apports successifs
- Evolution de la cohésion
- Application à la faisabilité du soutirage

# Perspectives

## ➤ Perspectives expérimentales

- Réalisation d'essais sur des colonnes de plusieurs mètres de hauteur
- Essais paramétriques en fonction de la composition du matériau
- Adaptation du pénétromètre à des campagnes de mesures in-situ
- Amélioration de la représentativité des méthodes de prélèvement
- Prolongement des essais de ségrégation avec prélèvement

## ➤ Perspectives numériques

Extension de la modélisation à la prise en compte d'une granulométrie continue

Rendre plus opérationnel le code de simulation

Intégration du modèle de ségrégation-sédimentation-consolidation dans des codes plus généraux (Télémac )