

Une nouvelle méthode d'analyse pour ouvrage en enrochement



L'APPROCHE MICROMECHANIQUE

Paris 2 Février 2006

Projet RGCU MICROBE

1



Les antécédents

1965 : MARSAL R.J. Stochastic processes in the grain skeleton of soil

1973 : MARSAL R.J. Mechanical properties of rockfill

1979 : CUNDALL Discrete Numerical Model for granular assemblies

1989 : GRECO Géomatériaux logiciels de JEAN M. et MOREAU J-J

1993 : ITASCA commercialise en France PFC2D

1996 : MAHBOUBI Simulation numérique discrète du comportement des agglomérats : application au comportement mécanique des enrochements (rapport de contrat EDF – ECL)

2001 : FROSSARD E. The energy approach in granular media mechanics

2002 : Projet RGCU MICROBE

Paris 2 Février 2006

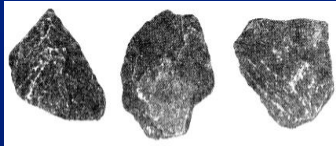
Projet RGCU MICROBE

2

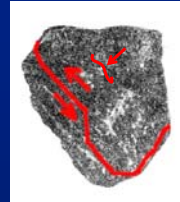


Une idée de base : modéliser le bloc

Matériau réel

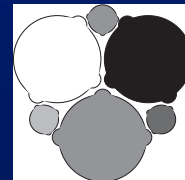
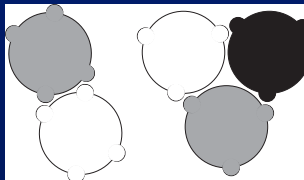
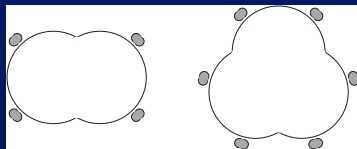


Formes de blocs



Mode de rupture

Matériau modélisé



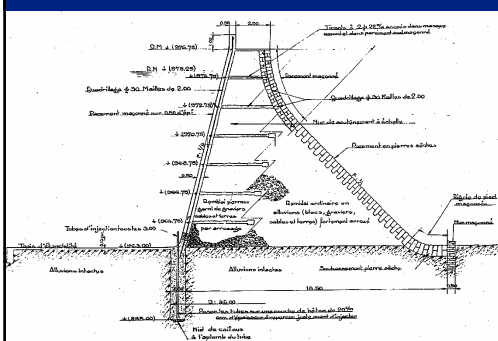
Paris 2 Février 2006

Projet RGPU MICROBE

3

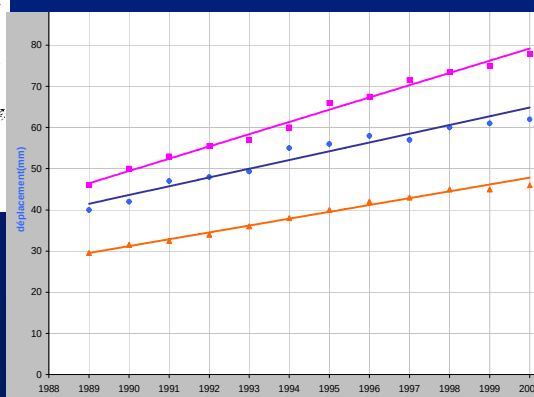


Une problématique



Un parc de barrages anciens

Des déplacements
quasi-linéaires
avec le temps

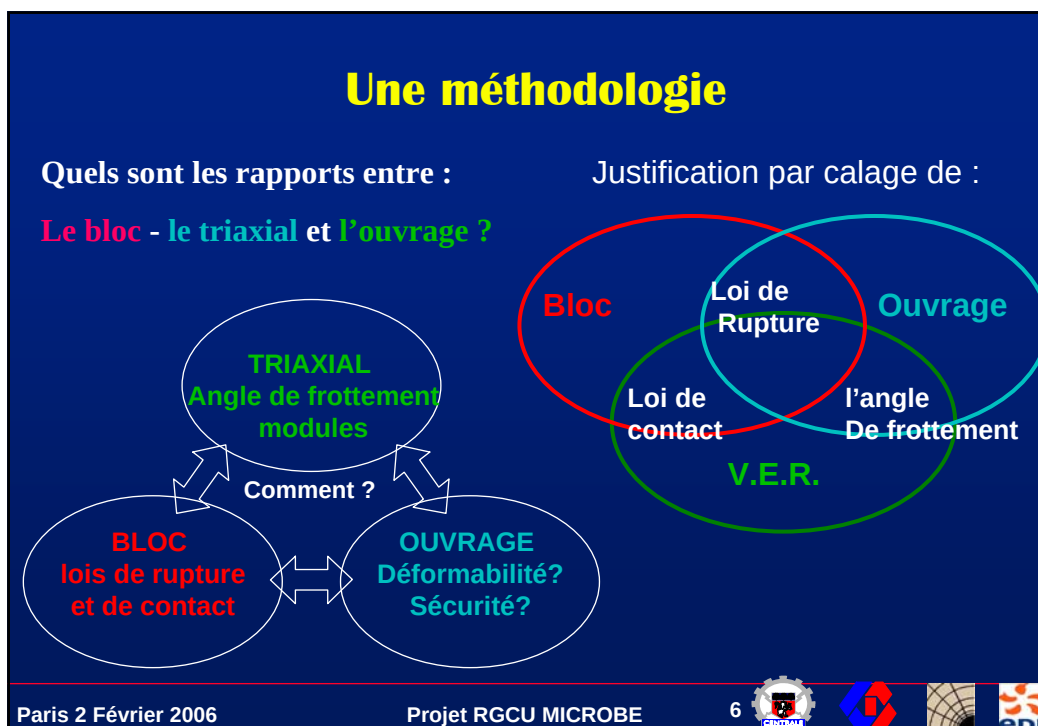
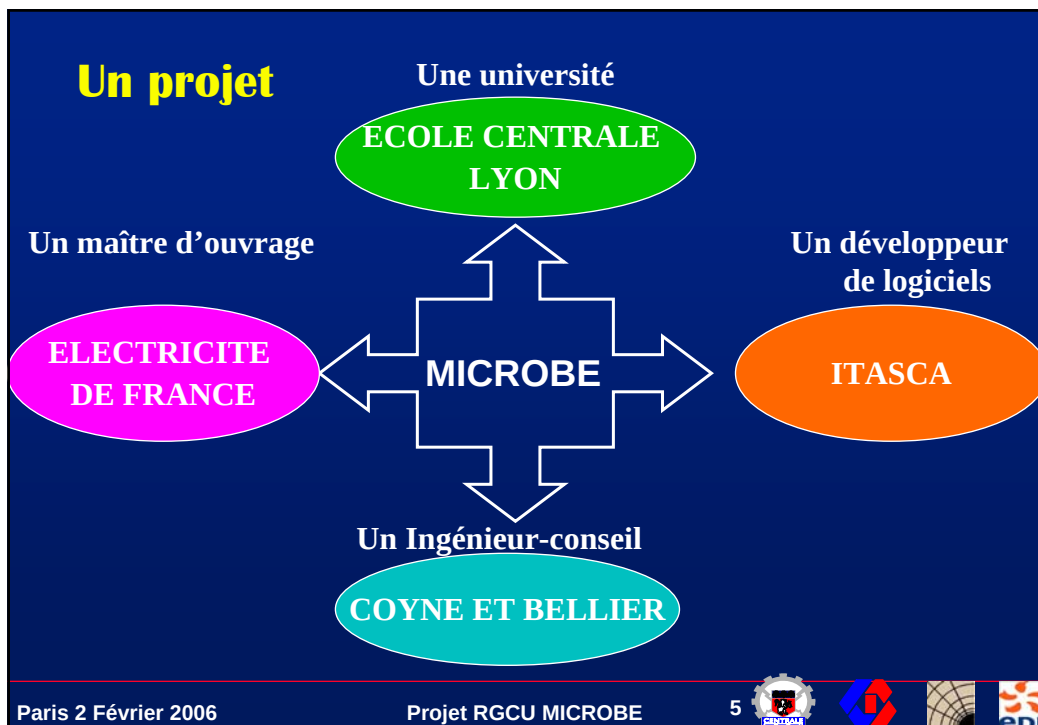


Paris 2 Février 2006

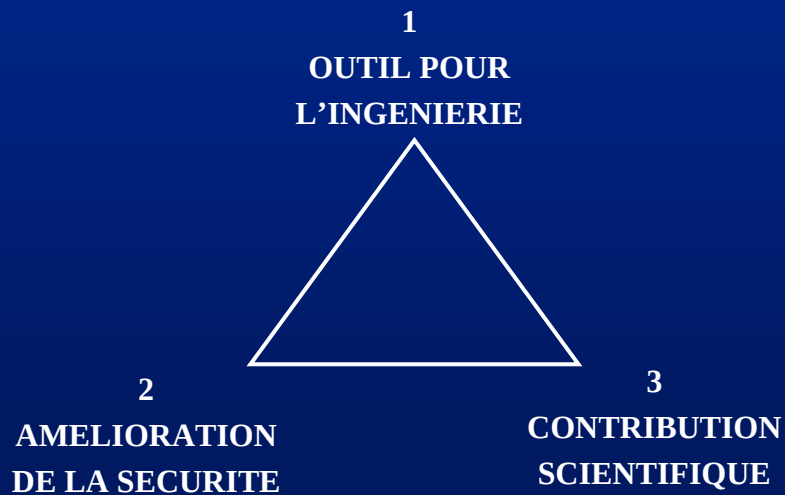
Projet RGPU MICROBE

4





Des objectifs



Paris 2 Février 2006

Projet RGCU MICROBE

7



Des résultats

Analyse du comportement :

- En construction
- À la mise en eau
- Après séisme
- Après 30 ans d' exploitation

Paris 2 Février 2006

Projet RGCU MICROBE

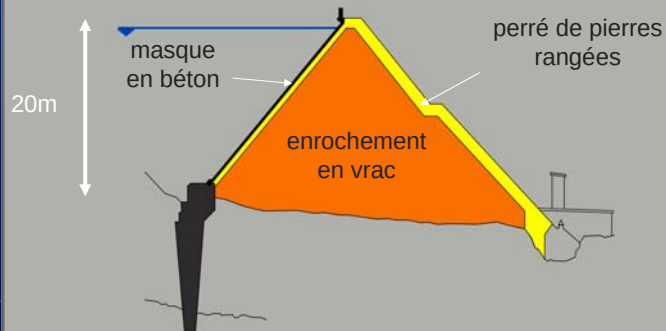
8



un barrage des années 50

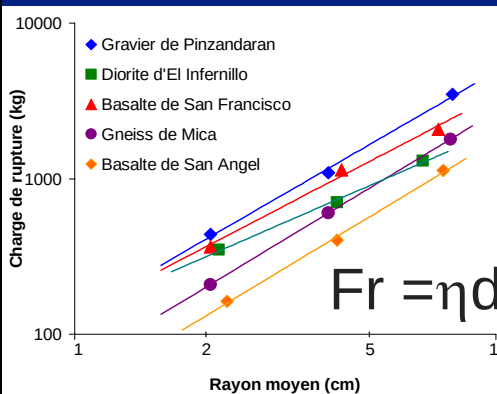


Hauteur 20 m
fruit H/V = 1/1
enrochement déversé
perré rangé à la main
masque en béton

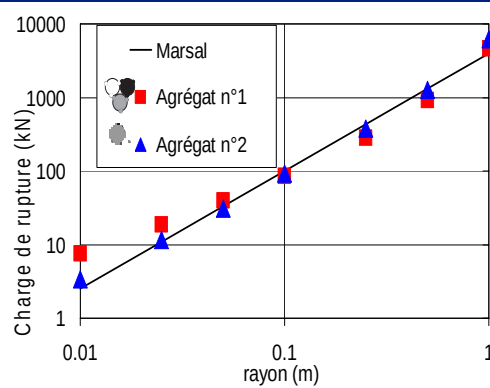


Paris 2 Février 2006

Le modèle du grain



Essais d'écrasement



Calage sur les essais

Paris 2 Février 2006

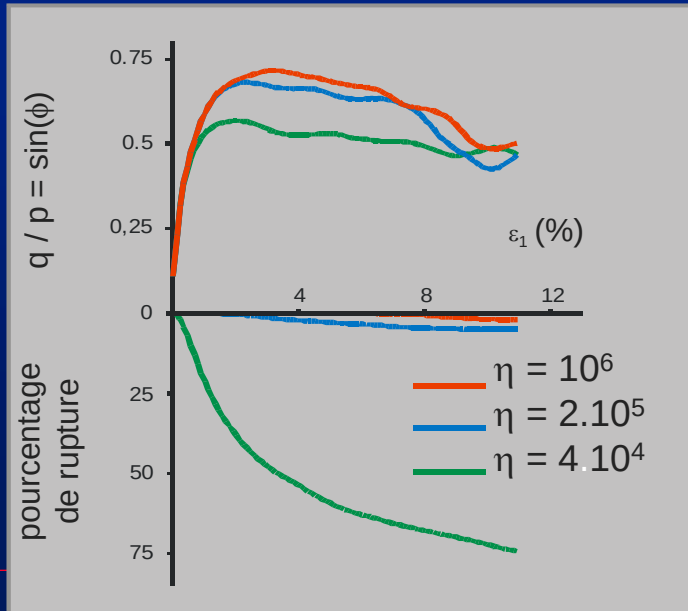
Projet RGPU MICROBE

10



Le V.E.R. Volume Élémentaire Représentatif

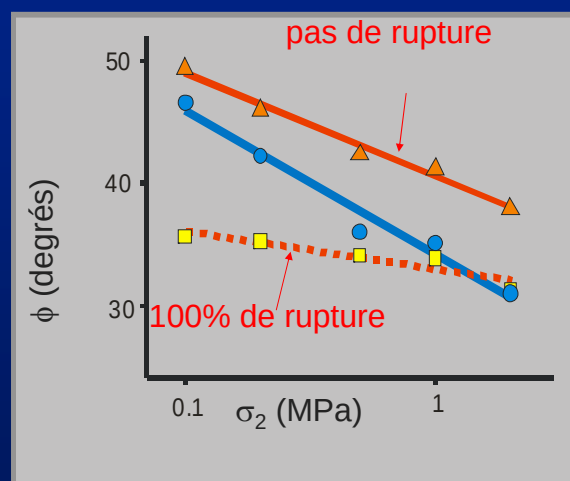
La résistance à
L'essai triaxial
dépend de la
Résistance
des blocs



Paris 2 Février 2006

Le V.E.R. Volume Élémentaire Représentatif

La décroissance
de l'angle de
frottement par
confinement est
principalement
liée à la rupture
des grains



Paris 2 Février 2006

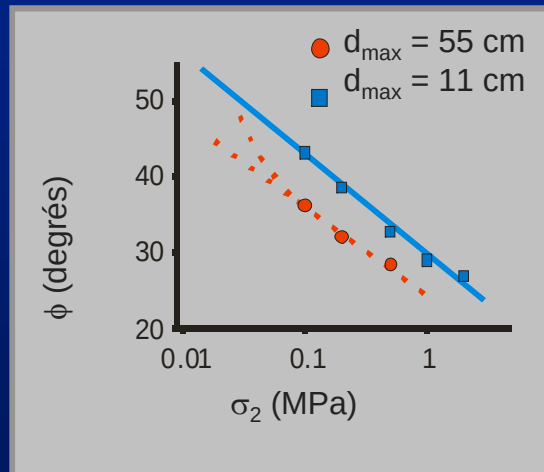
Projet RGCU MICROBE

12



Le modèle extrapolé à l'ouvrage

L'angle de frottement du matériau réel est obtenu par intégration du modèle calé sur le V.E.R.



Paris 2 Février 2006

Projet RGPU MICROBE

13



Le modèle du grain après calage

Forme agrégat
granulométrie :

$D_{\max} = 22$ cm

CU = 2

Résistance : moyenne $\eta = 3.5 \cdot 10^5$

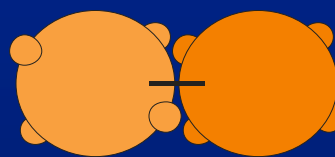
Coefficient de friction : moyen $\psi = 35^\circ$

Densité : moyenne ($e_{2D} = 0,30$)

Angle de frottement à 100 kPa : faible

sans rupture $\phi = 40.5^\circ$

avec ruptures $\phi = 38.7^\circ$



Paris 2 Février 2006

Projet RGPU MICROBE

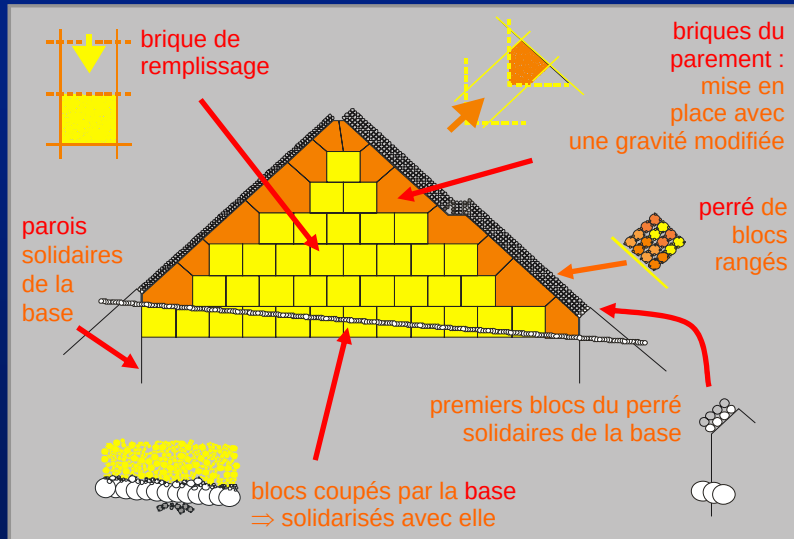
14



Le modèle de l'ouvrage

220 000
particules

22 000
blocs



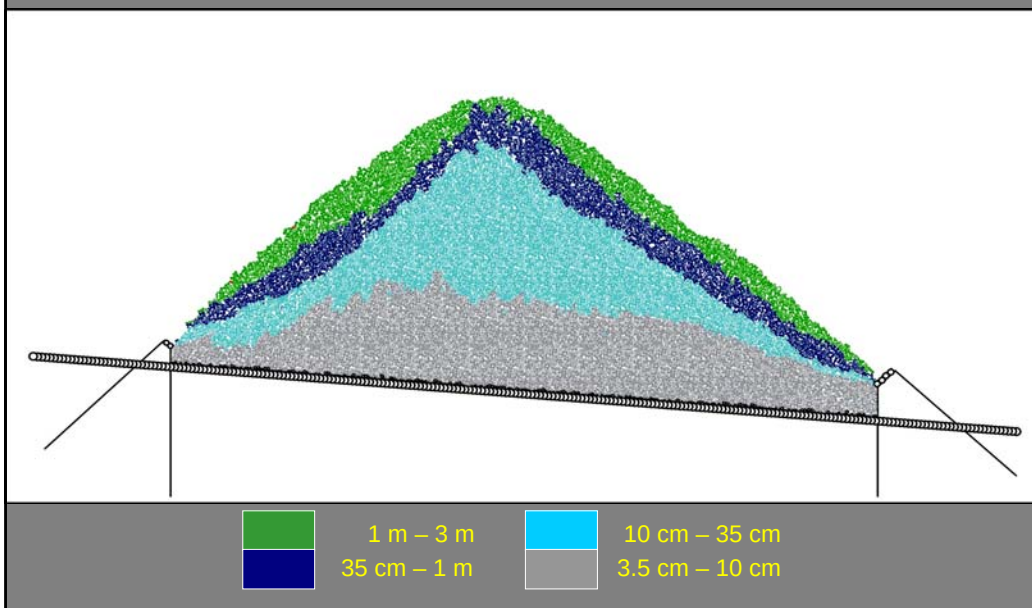
Paris 2 Février 2006

Projet RGPU MICROBE

15



Construction : Instabilité sans perré



Construction stable avec perré (sans rupture de blocs)

Coefficient de sécurité

$$1.3 < F < 2.0$$

$$\tan \psi^* = \frac{\tan \psi}{F} \quad \tan \phi^* = \frac{\tan \phi}{F}$$

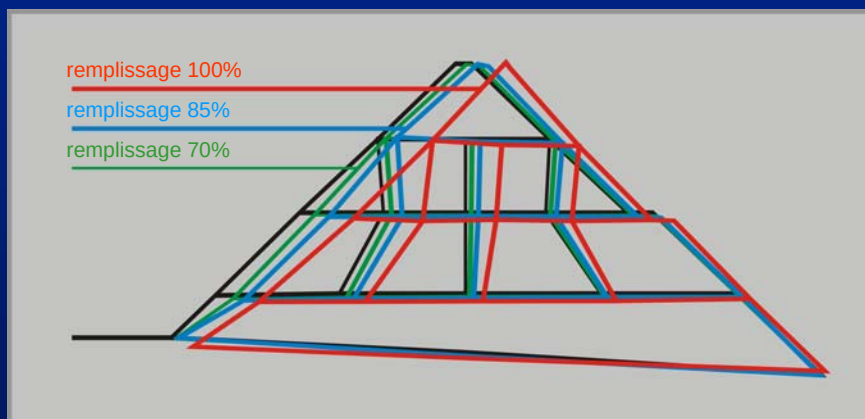
Coefficient pseudo-statique critique

$$0,09 < K_c < 0,16$$



Mise en eau (sans rupture de bloc)

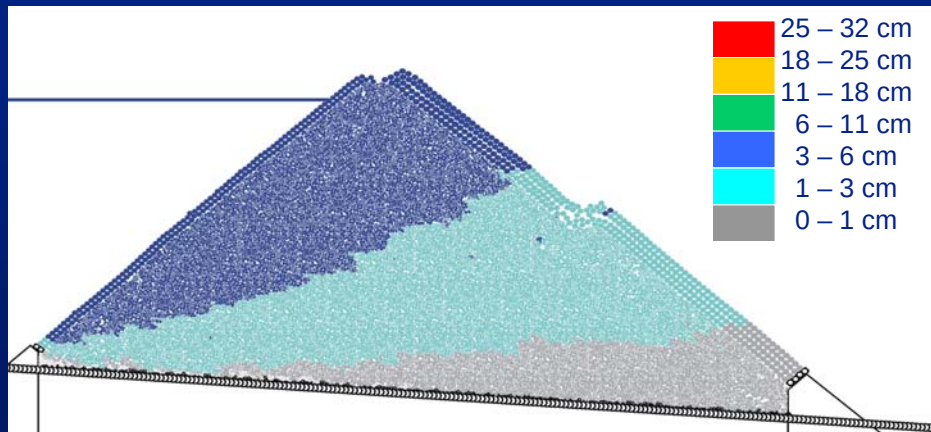
Construction : tassement 20 cm



Mise en eau : déplacements horizontaux 10cm



Mise en eau sans rupture de bloc



Mise en eau : déplacements horizontaux 10cm

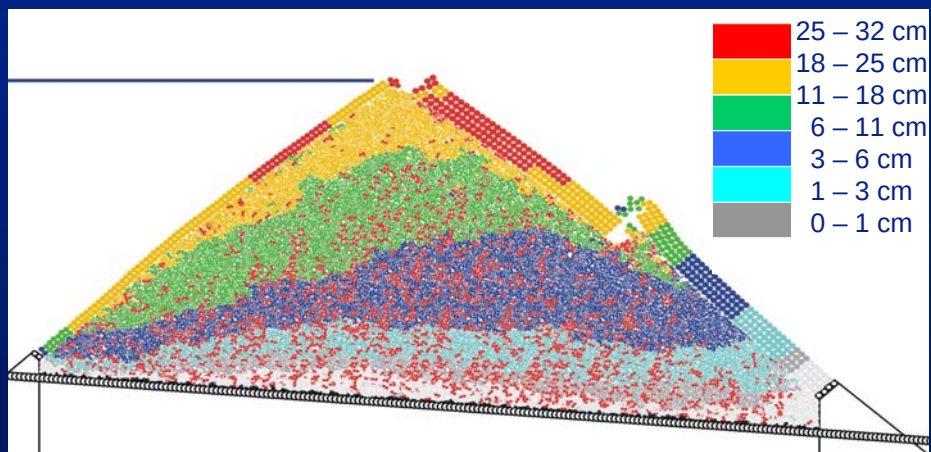
Paris 2 Février 2006

Projet RGPU MICROBE

19



Mise en eau avec rupture de blocs



Point rouge : rupture de bloc

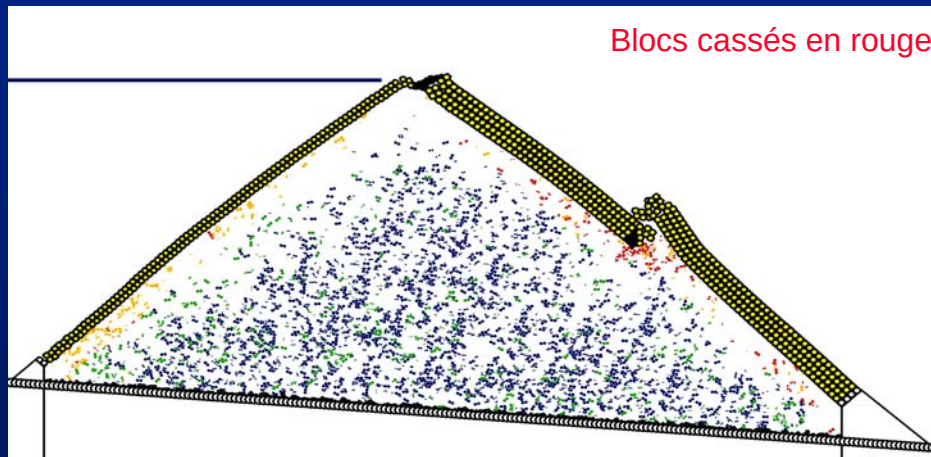
Paris 2 Février 2006

Projet RGPU MICROBE

20



Ruptures dues au remplissage



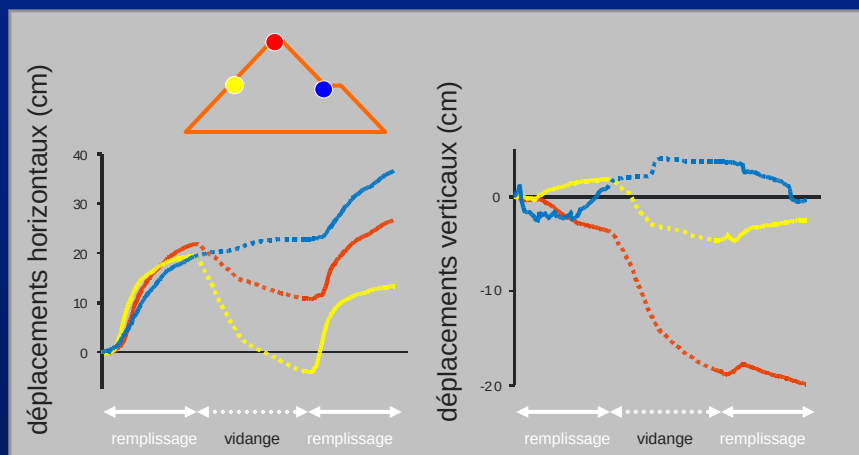
Paris 2 Février 2006

Projet RGCU MICROBE

21



Vidange et deuxième remplissage



remplissage : déplacements horizontaux

vidange : tassements du parement amont

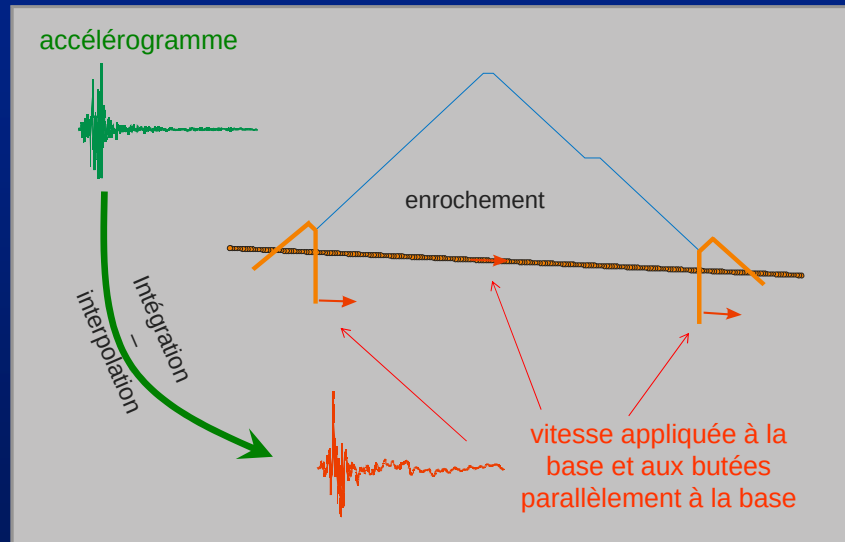
Paris 2 Février 2006

Projet RGCU MICROBE

22



Séisme retenue vide



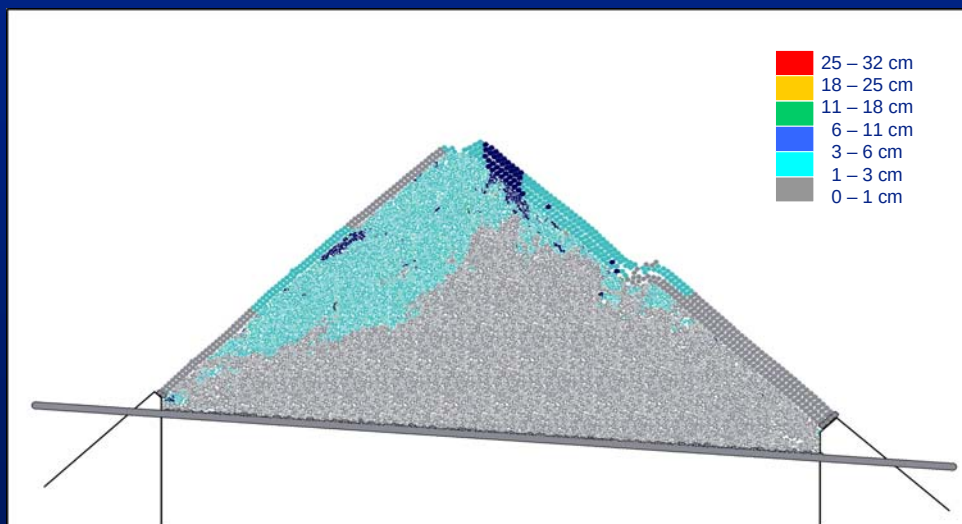
Paris 2 Février 2006

Projet RGPU MICROBE

23



Séisme 0,1g retenue vide

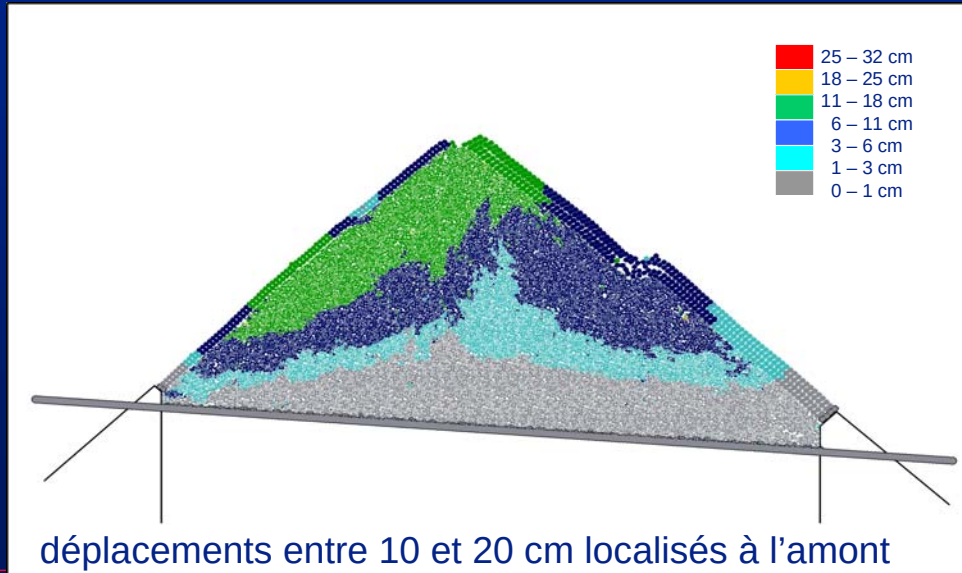


déplacements modérés (< 10 cm) localisés en crête

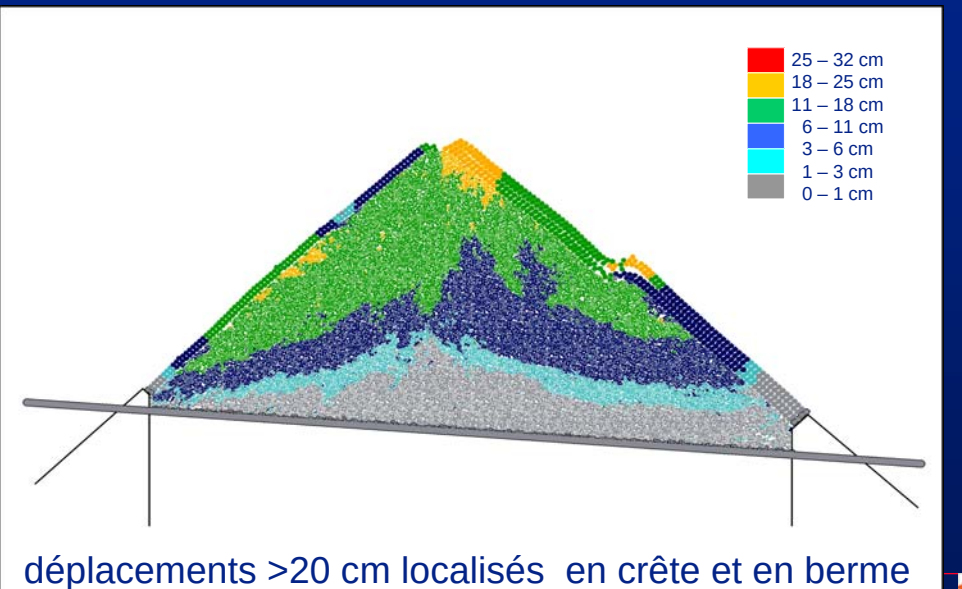
Pal



Séisme à 0,3 g retenue vide



Séisme à 0.5 g retenue vide



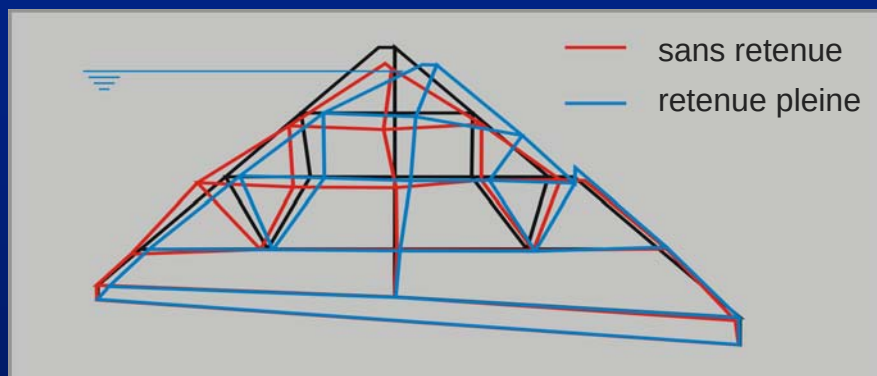
Séisme à 0,5 g retenue vide

CONSTATATIONS

nombreuses ruptures (12% $\Rightarrow$ 19%)
coïncident avec la phase forte du séisme
tassements amplifiés de 12 cm (0,1g) à 34 cm en crête
Perré supérieur poinçonne la berme
Glissement contenu par le perré



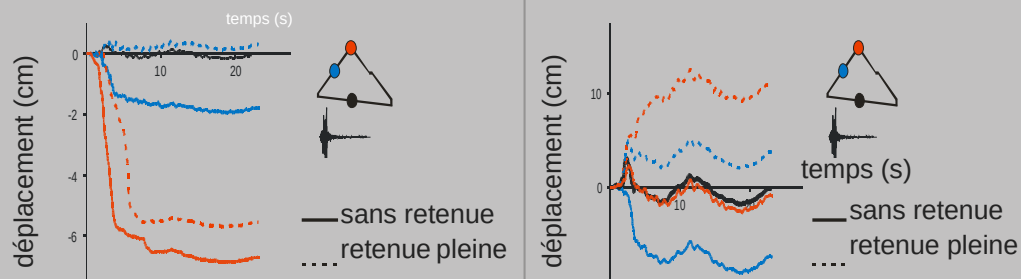
Séisme à RN



Déplacements horizontaux vers l'aval
blocage du parement amont
diminution des tassements



Séisme avec retenue à RN



déplacements verticaux

déplacements horizontaux

Influence de la retenue :
Diminution des tassements augmentation des déplacements vers l'aval

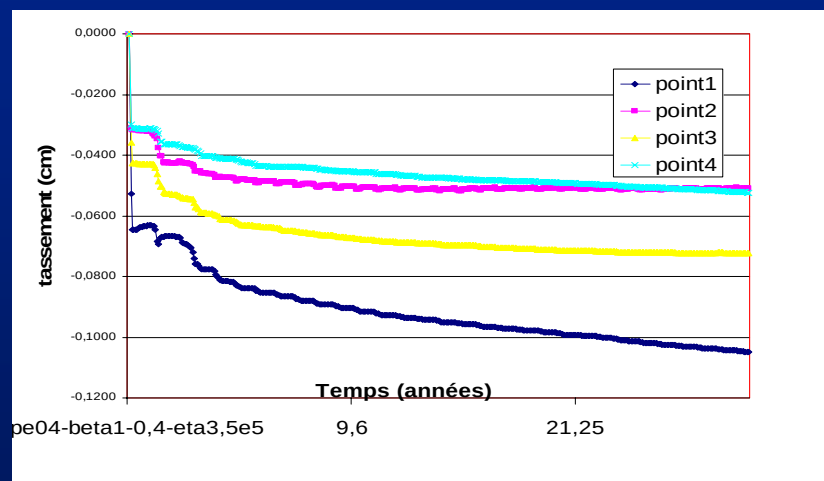
Paris 2 Février 2006

Projet RGPU MICROBE

29



Exploitation : tassement pendant 30 ans



Au bout de 30 ans, le tassement annuel atteint 0,7 mm

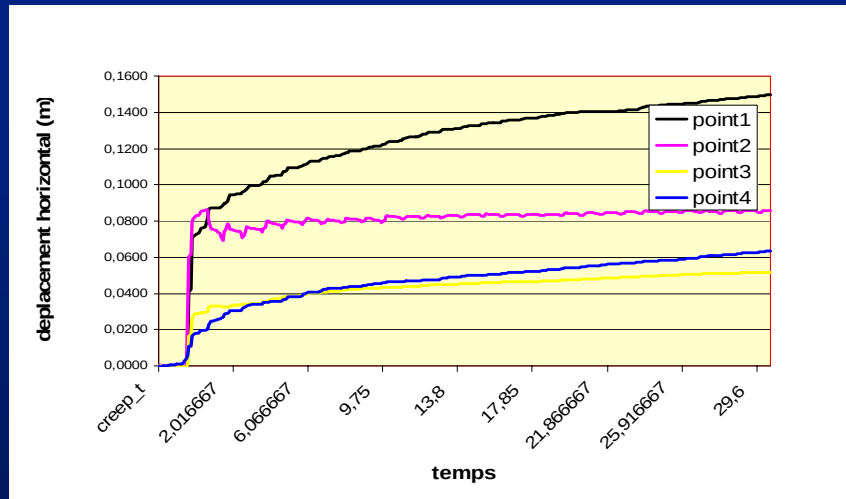
Paris 2 Février 2006

Projet RGPU MICROBE

30



Exploitation : Déplacements Horizontaux



L'ordre de grandeur du déplacement annuel est 1 mm

Paris 2 Février 2006

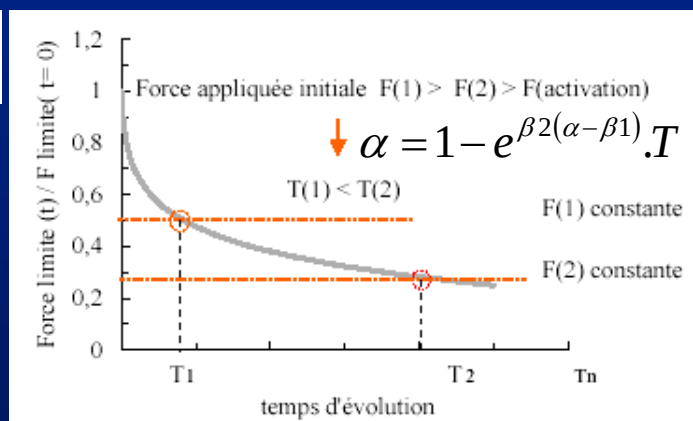
Projet RGPU MICROBE

31



Exploitation : mouvement avec vieillissement des blocs

$$\alpha = \frac{F(T)}{F(T=0)}$$



Loi de rupture du bloc en fonction du temps

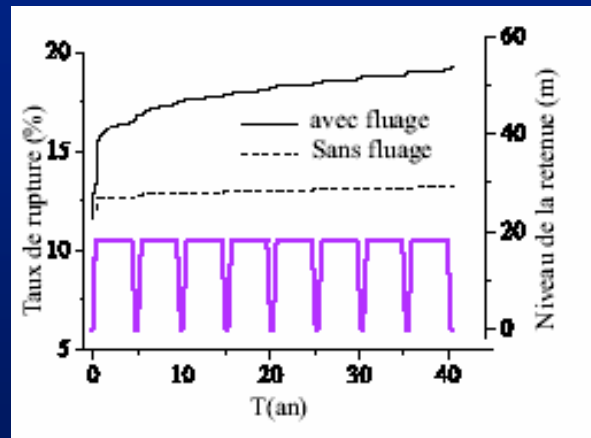
Paris 2 Février 2006

Projet RGPU MICROBE

32



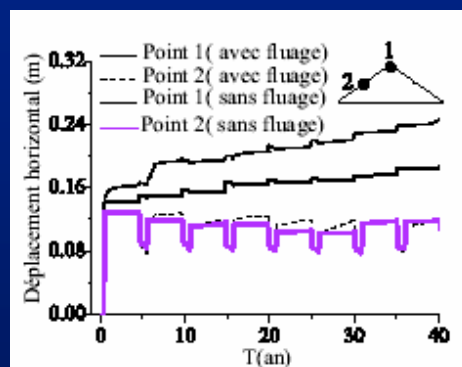
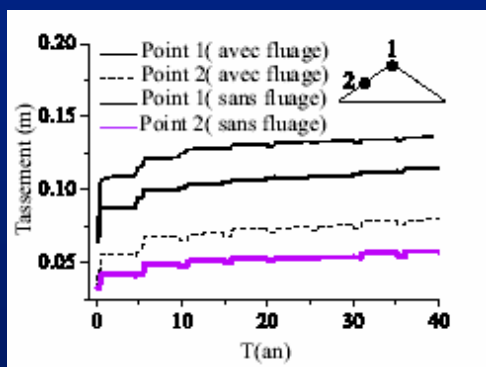
Exploitation : mouvement avec vieillissement des blocs



Intégration de la loi de vieillissement du bloc sur 40 ans



Exploitation : mouvement avec vieillissement des blocs



Augmentation du fluage avec le taux de rupture de blocs :
 $DZ/DT = 0.7 \text{ mm/an}$ et $DX/DT = 1.3 \text{ mm/an}$



Un premier bilan

- Un logiciel est disponible : PFC2D
- Une thèse décrit l'approche : 2004 Rémi DELUZARCHE École Centrale Lyon
- Une seconde thèse est en cours : 2006 Thi Huong TRAN École Centrale Lyon
- Des procédures sont utilisables : ITASCA
- La justification de la méthodologie par comparaison sur un ouvrage n'est pas terminée : EDF
- L'outil est à votre disposition

