



Barrages



Energie



Eau
Environnement



Infrastructures
et aménagements
hydrauliques



Mer et côtes



Calcul
scientifique

Etudes techniques récentes sur les barrages du Chartrain et Rouchain

Journée du CFBR – 28/01/2017

ISL

Ingénierie



Barrages



Energie



Eau
Environnement



Infrastructures
et aménagements
hydrauliques



Mer et côtes



Calcul
scientifique

Sommaire

**Pourquoi des études techniques récentes sur
des ouvrages vieux éprouvés par le temps ?**

Rouchain – Stabilité de la tour de prise

Chartrain – Modélisation du passage des crues

Chartrain – Stabilité du barrage

ISL
Ingénierie

Pourquoi des études sur des ouvrages vieux ?

• Rappel généraux

• Le Chartrain (ou la Tâche)

- Barrage de classe A (47 m ; 3.53 hm³)
- Construction : 1890 (127 ans) ; Révision spéciale avec trx conséquents : 1990 (27 ans)



• Le Rouchain

- Barrage de classe A (55 m ; 3.89 hm³)
- Construction : 1980 (37 ans) ; trx conséquents jusqu'en 2000 pour résorber des problèmes de fuites



Pourquoi des études sur des ouvrages vieux ?

- Un suivi plus ou moins rigoureux en fonction des M.O. notamment avant la rupture de Malpasset (1959). Depuis :

- CTPBOH (1966) : Les experts techniques de l'état qui nous contrôle nous B.E.
- Les services spécialisés dans les DREAL : Les experts réglementaires de l'état
- Les notions de révisions spéciales (100 ans : Chartrain 1990) ; les vidanges décennales,...



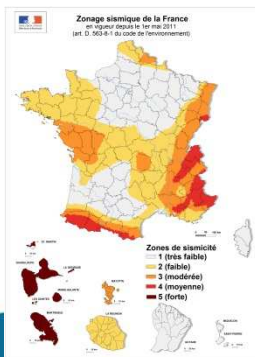
- Un cadre réglementaire spécifique barrage depuis 2007 et encore en évolution (2015) :



• VTA, Auscultation, [E.T.C, E.D.D, R.S.]2015

- Une évolution des connaissances :

- Les séismes, les crues, les règles et méthodes de calculs, la prise en compte du risque



ISL
Ingénierie

Pourquoi des études sur des ouvrages vieux ?

ACTIONS A RÉALISER



Classe A

Actualisation de l'étude de dangers

Au moins 1 fois tous les 10 ans

Mise à jour du rapport de surveillance

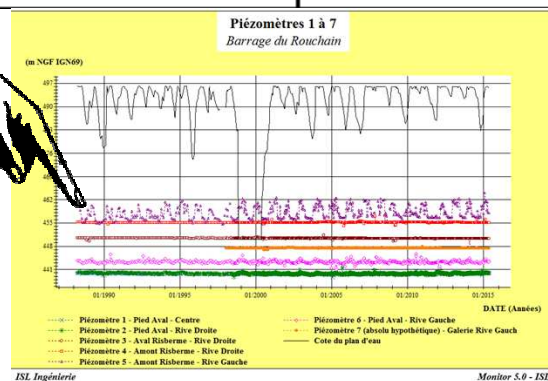
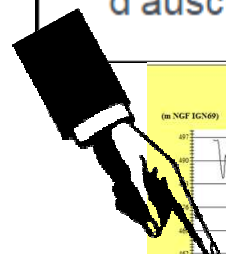
1 fois par an

Réalisation d'une visite technique approfondie - VTA

Au moins 1 fois par an

Rapport d'auscultation

1 fois tous les 2 ans



Pourquoi des études sur des ouvrages vieux ?

ACTIONS A RÉALISER

(2015)

Actualisation de l'étude de dangers



Classe A

Au moins 1 fois tous les 10 ans

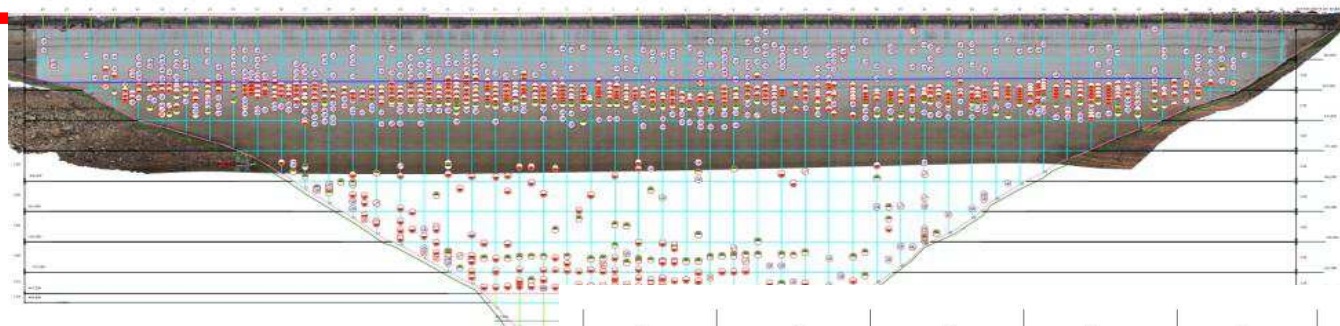


1 Examen technique complet (2015 Chartrain ; 2010 Rouchain)

2 Une analyse des risques (2012)

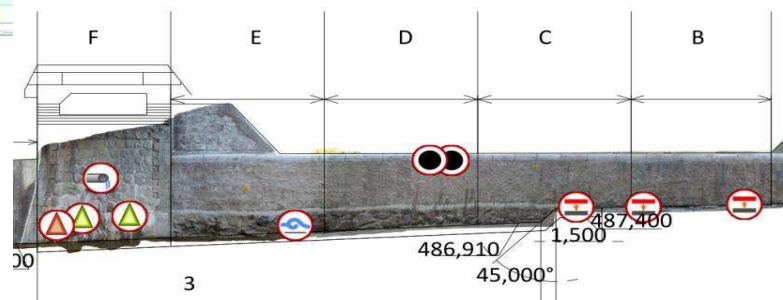
= Une synthèse global de comportement

1



Vidange totale ou partielle

Lourde opération 150 k€ env.



Pourquoi des études sur des ouvrages vieux ?

ACTIONS A RÉALISER



Classe A

(2015)

Actualisation de l'étude de dangers

Au moins 1 fois tous les 10 ans

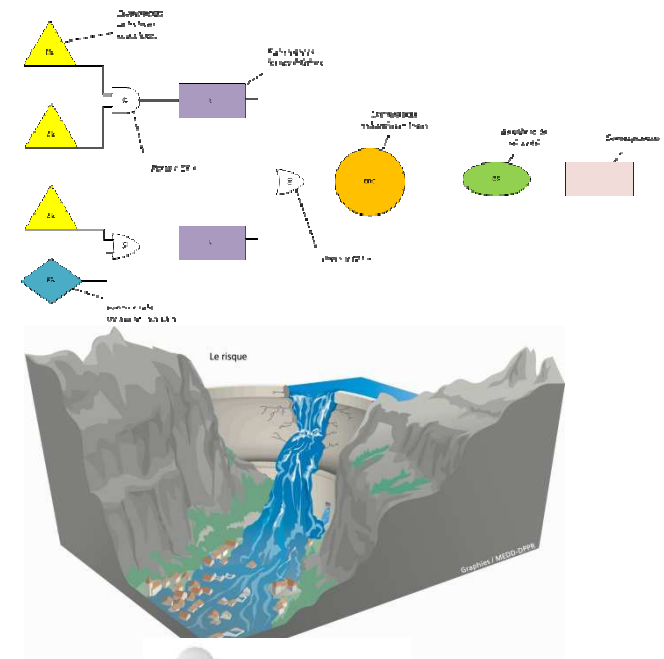
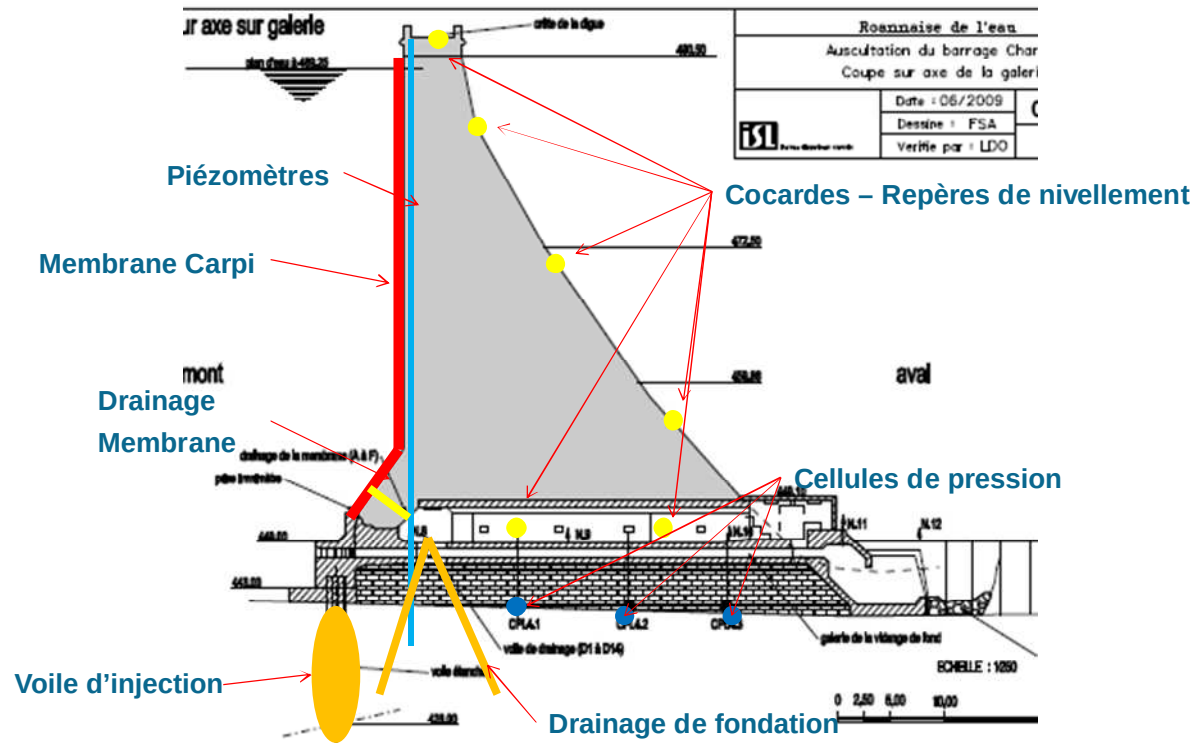


1 Examen technique complet (2015 Chartrain ; 2010 Rouchain)

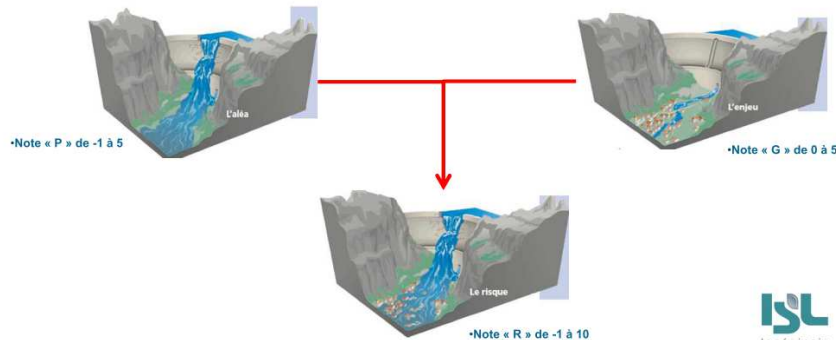
2 Une analyse des risques (2012)

= Une synthèse global de comportement

2



Pourquoi des études sur des ouvrages vieux ?



•Le croisement des investigations ETC, RS, EDD permet de mettre en évidence les points sensibles de l'ouvrage et les points de vérifications nécessaires -> les études techniques.

ISL
Ingénierie



•Rouchain : *Stabilité de la tour de prise aux séismes*



•Chartrain : *Le passage des crues*



Photo 1 : Prise d'eau

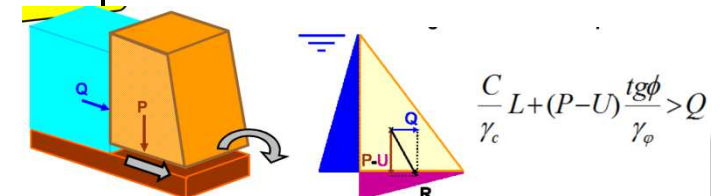


Photo 2 : Passage sous barrage



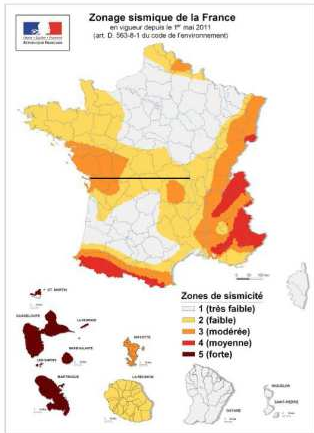
•Chartrain : *La stabilité du barrage* suivant les nouvelles recommandations depuis 1990.

(niveau de crues, séismes, hypothèses de modélisation,...)



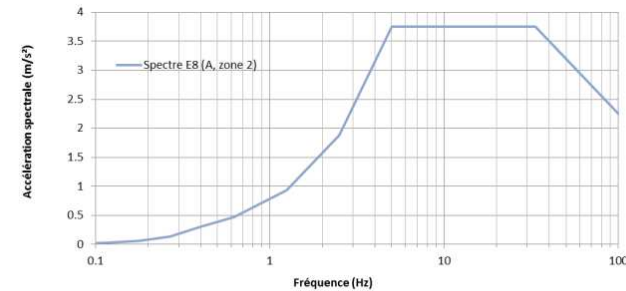
Rouchain : Stabilité de la tour de prise aux séismes

- ouvrage de classe A,
- zone de faible sismicité (zone 2),
- sol de classe A (rocheux – la galerie et la pied de la tour sont fondée au rocher).



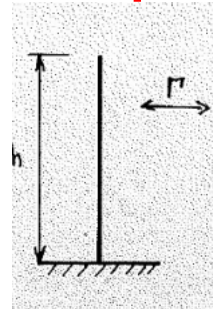
a_g 1,5 m/s²

5000



- **Modèle simplifié poutre encastrée, modèle eurocodes 8* Rayleigh :**

Ça ne passe pas...



oscillateur simple avec des masses distribuées

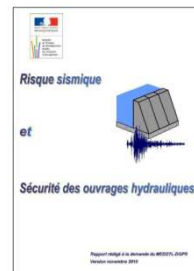
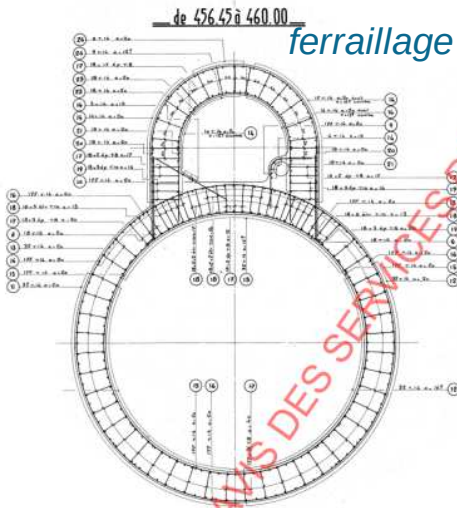
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i Y_i^2}{g \sum_{i=1}^{i=n} P_i Y_i}}$$

$$F_i = F_b \cdot \frac{s_i \cdot m_i}{\sum s_j \cdot m_j}$$



- *** eurocodes non applicables aux barrages**

• **But :** trouver les efforts interne et vérifier le ferrailage





• Rouchain : Stabilité de la tour de prise aux séismes

• Méthodes pseudo-dynamique : Analyse modèle spectrale

• ANSYS - dédié aux calculs aux éléments finis mais possible avec Graitec, Aster, and co.

• lois de **comportement élastiques linéaires**

Cas	Niveau retenue	Remplissage de la tour	Action sismique horizontale	Action sismique verticale
1	Vide	Vide	1	0.4 (vers le bas)
2			1	-0.4 (vers le haut)
3			0.4	1(vers le bas)
4			0.4	-1 (vers le haut)
5	495,96 NGF	Vide	1	0.4 (vers le bas)
6			1	-0.4 (vers le haut)
7			0.4	1(vers le bas)
8			0.4	-1 (vers le haut)
9	495,96 NGF	Pleine	1	0.4 (vers le bas)
10			1	-0.4 (vers le haut)
11			0.4	1(vers le bas)
12			0.4	-1 (vers le haut)

Ajout de la masse d'eau ajoutée : Eurocodes 8.2

$$m_e = \rho_e \times \text{volume extérieur de la tour}$$

$$m_i = \rho_e \times \text{volume intérieur de la tour}$$

Augmentation densité de 100-110 %



Figure 8. Maillage de la tour

Le maillage comporte en tout 35202 éléments et 62872 nœuds.

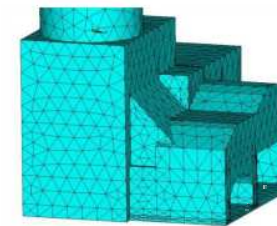


Figure 4. Bloc en base



Figure 5. Corps de la tour



Figure 6. Section courante du corps de la tour

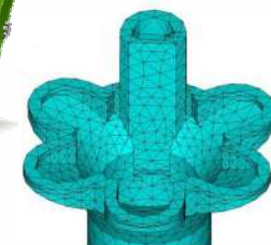


Figure 7. Déversoir

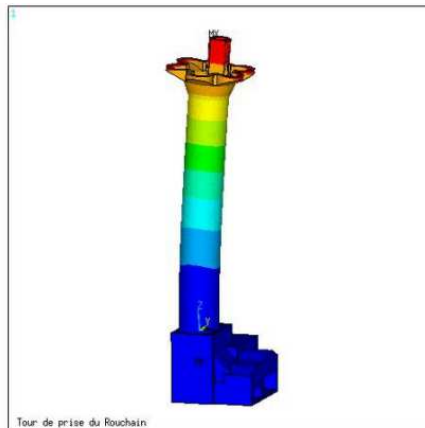


Rouchain : Stabilité de la tour de prise aux séismes

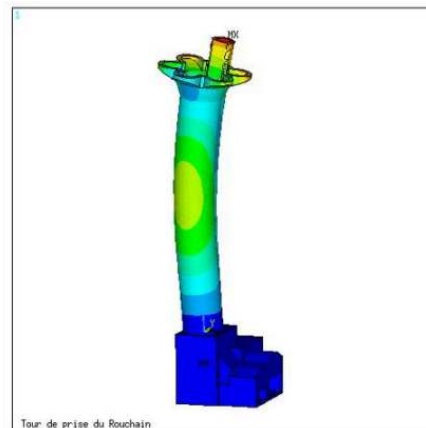
Calcul des 30 premiers modes propres et moments de flexion maximaux calculées par combinaison SRSS

(Square Root of the Sum)= 90% de la masse totale de la tour participante

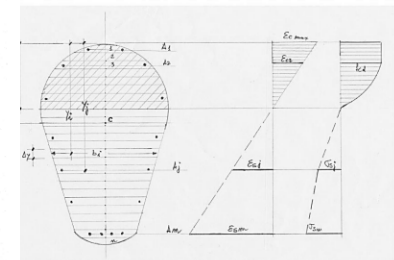
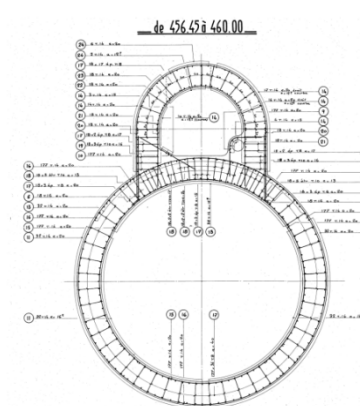
$$M_{\max} = \sqrt{\sum (s_i y_i M_i)^2}$$



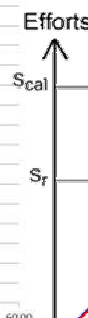
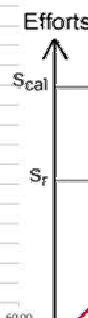
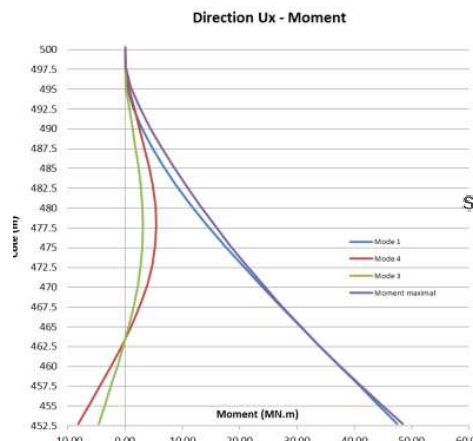
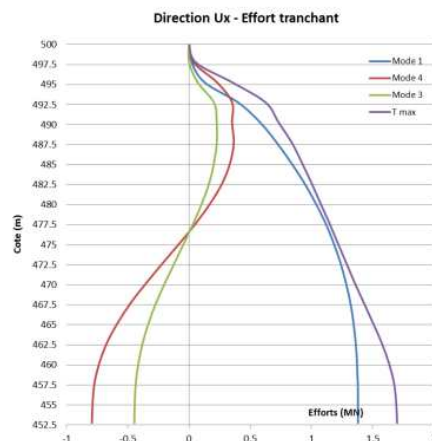
ANSYS 12.1
OCT 23 2015
16:06:18
NOML SOLUTION
STEP=1
SUB =4
FREQ=10.006
USUM (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EPINCE=1
HRES=Mat
IMX =.048226
SHX =.048226



ANSYS 12.1
OCT 23 2015
16:07:54
NOML SOLUTION
STEP=1
SUB =4
FREQ=10.006
USUM (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EPINCE=1
HRES=Mat
IMX =.069047
SHX =.069047



Vérification du moment résistant du ferrillage en place – application Eurocodes 2 à géométrie variables



Le but $M_r > M_s$

Discussion sur le coefficient

comportement lors que $M_r < 1.5 \cdot M_s$

déformations post-endommagement

acceptable

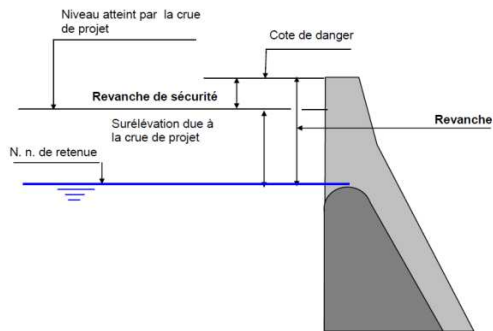
Déformations
linéaires

Déformations
non linéaires



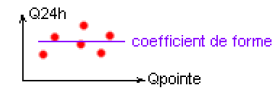
Chartrain – Model

•L'évaluation de l'hydrologie pour définir les cotes de projet

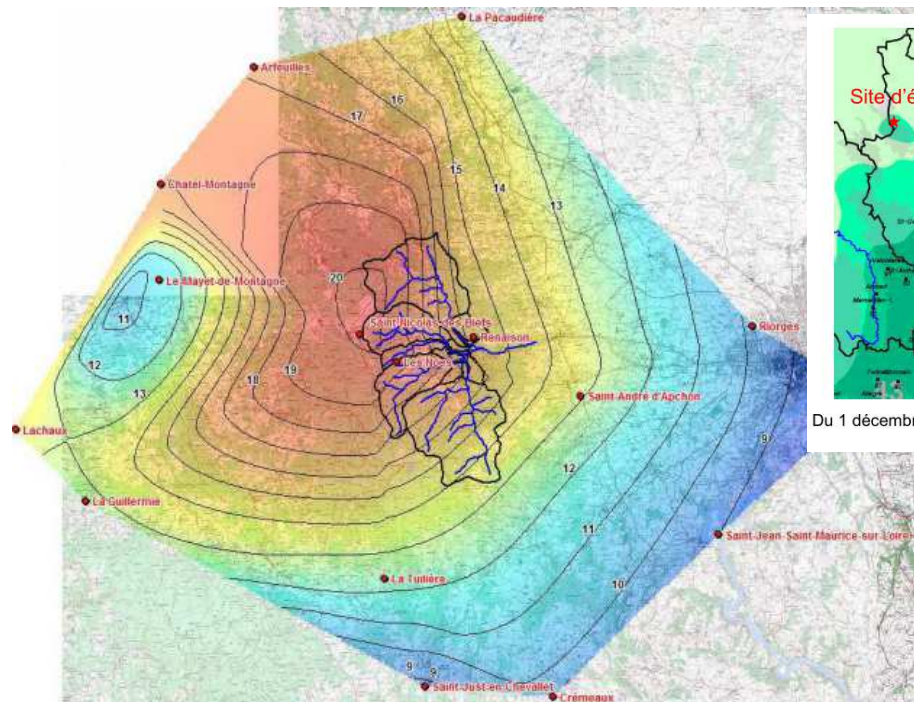
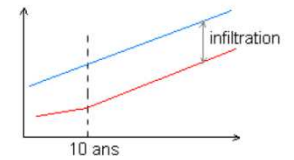
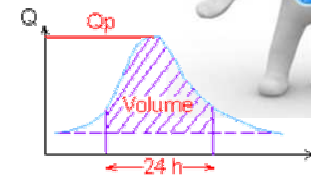


Analyse statistique des pluies journalières maximales annuelles

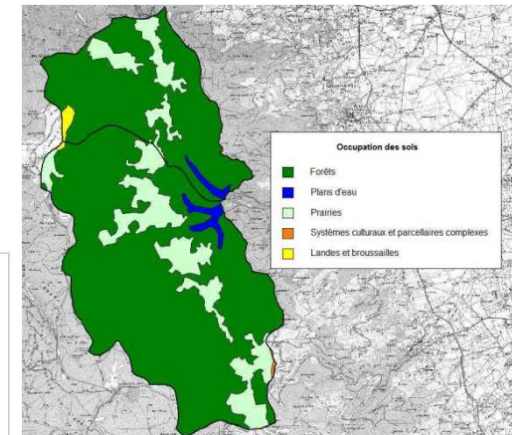
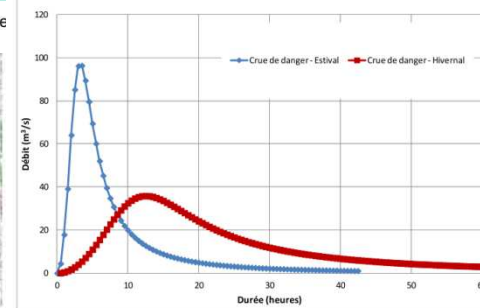
Analyse des débits



Hydrogramme de crue de projet



Du 1 décembre



Chartrain – Modélisation du passage des crues

- La modélisation sous Ansys CFX (possible sous Flow 3D)

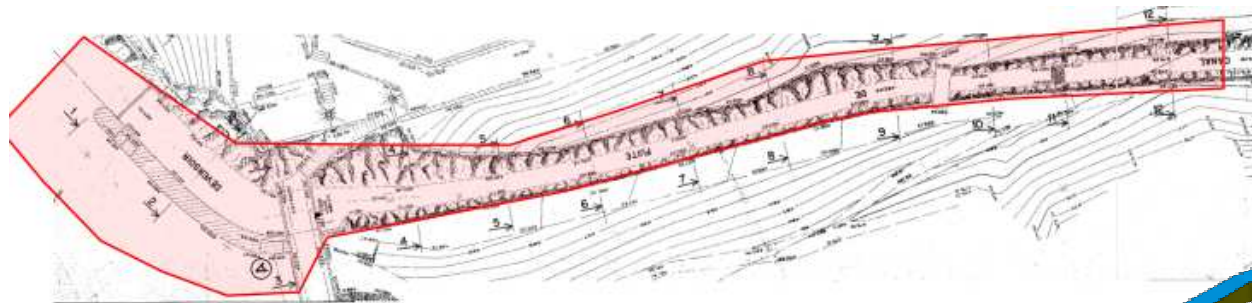
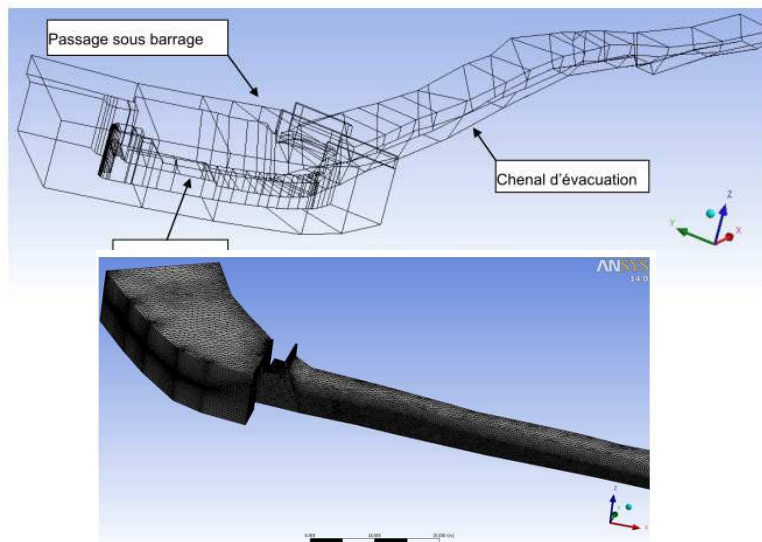
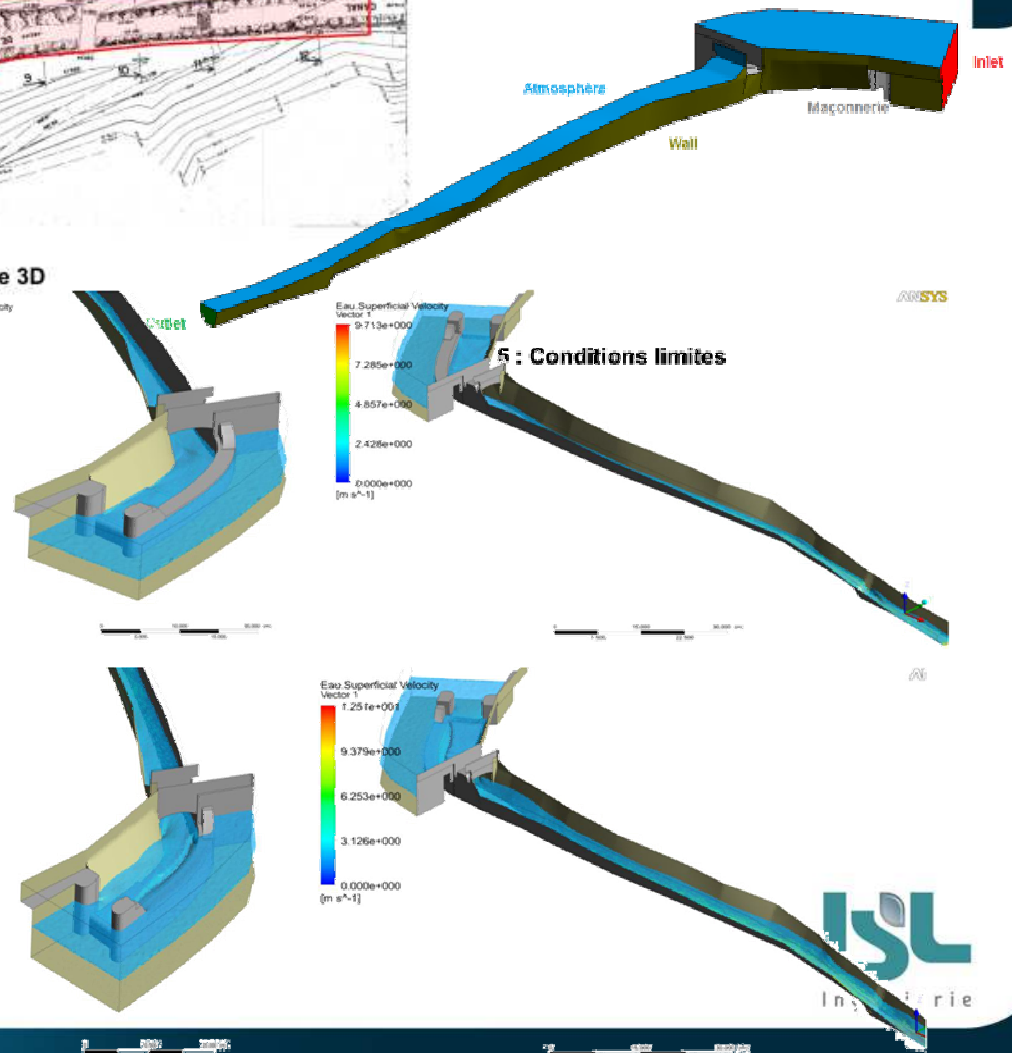


Figure 2 : Emprise du modèle hydraulique 3D



Le nombre total de mailles s'élève à environ 1 340 000



Chartrain – Modélisation du passage des crues

• Les résultats

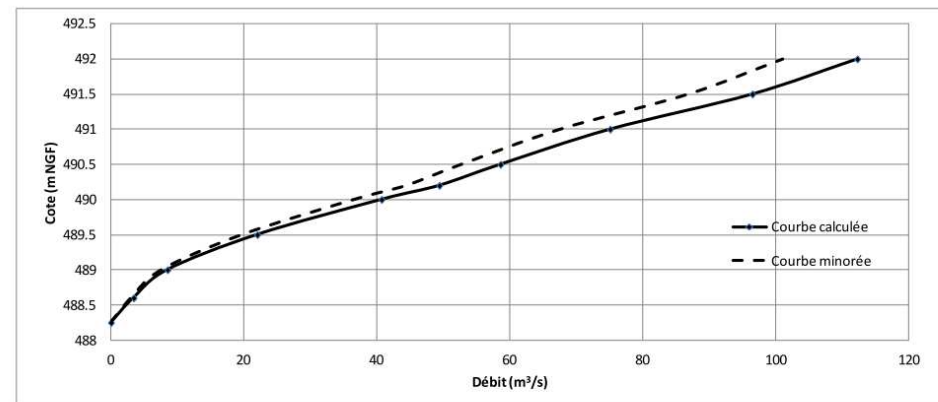


Figure 6 : Courbes de débitance calculée et minorée de l'évacuateur de crues

• Les vérifications

• Le laminage des crues :

$$\frac{dV}{dT} = Q_{in}(t) - Q_{out}(t)$$

• La sensibilité aux embâcles (réduction de 30%)

• La revanche pour les vagues possible au barrage (vagues de 1 m)

• Et....la stabilité du barrage

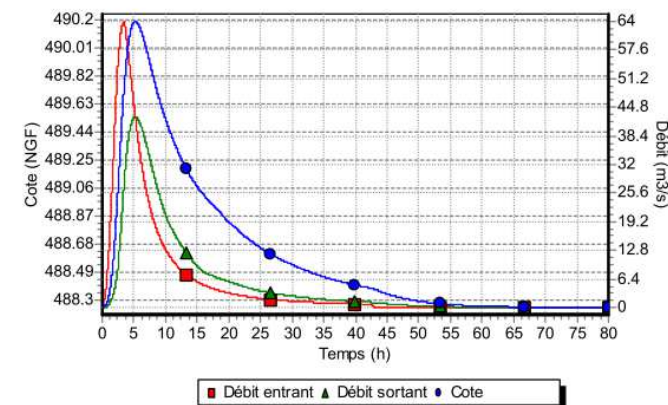
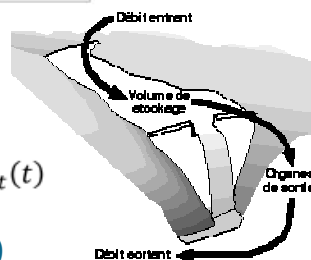


Tableau 15 : Données caractéristique laminage de la crue de Danger - Estival

Crue de danger - Estival		
Débit entrant maximal m³/s	Débit sortant maximal m³/s	Cote maximale atteinte m NGF
98	66.6	491



Chartrain – Etude de stabilité

• Les vérifications au glissement et/ou renversement

• Mais avant tout cela :

• La définition des paramètres structuraux

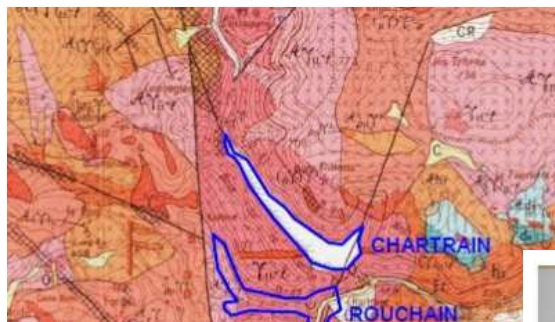


Figure 5 : Echantillons entre les cotes 43 et 44 m

il est proposé de retenir la valeur arrondie $d = 2,25$

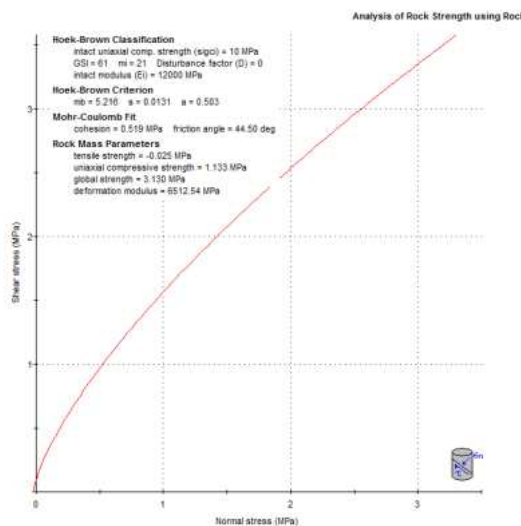


Figure 31 : Analyse Hoek and Brown dans la maçonnerie pour $R_c = 10$ MPa

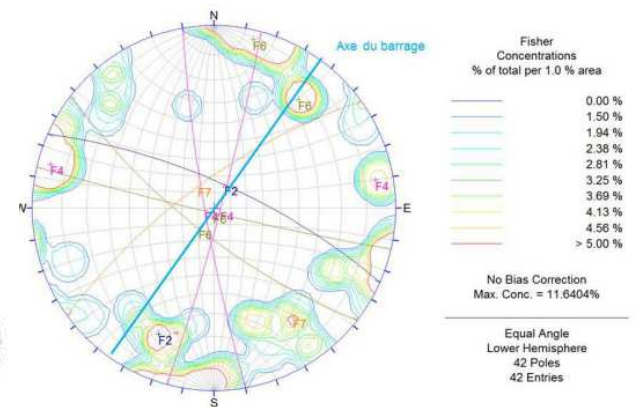
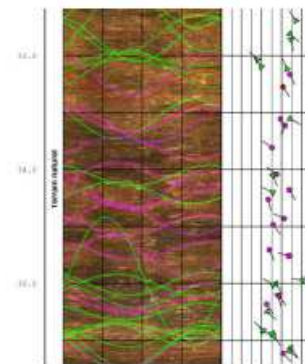
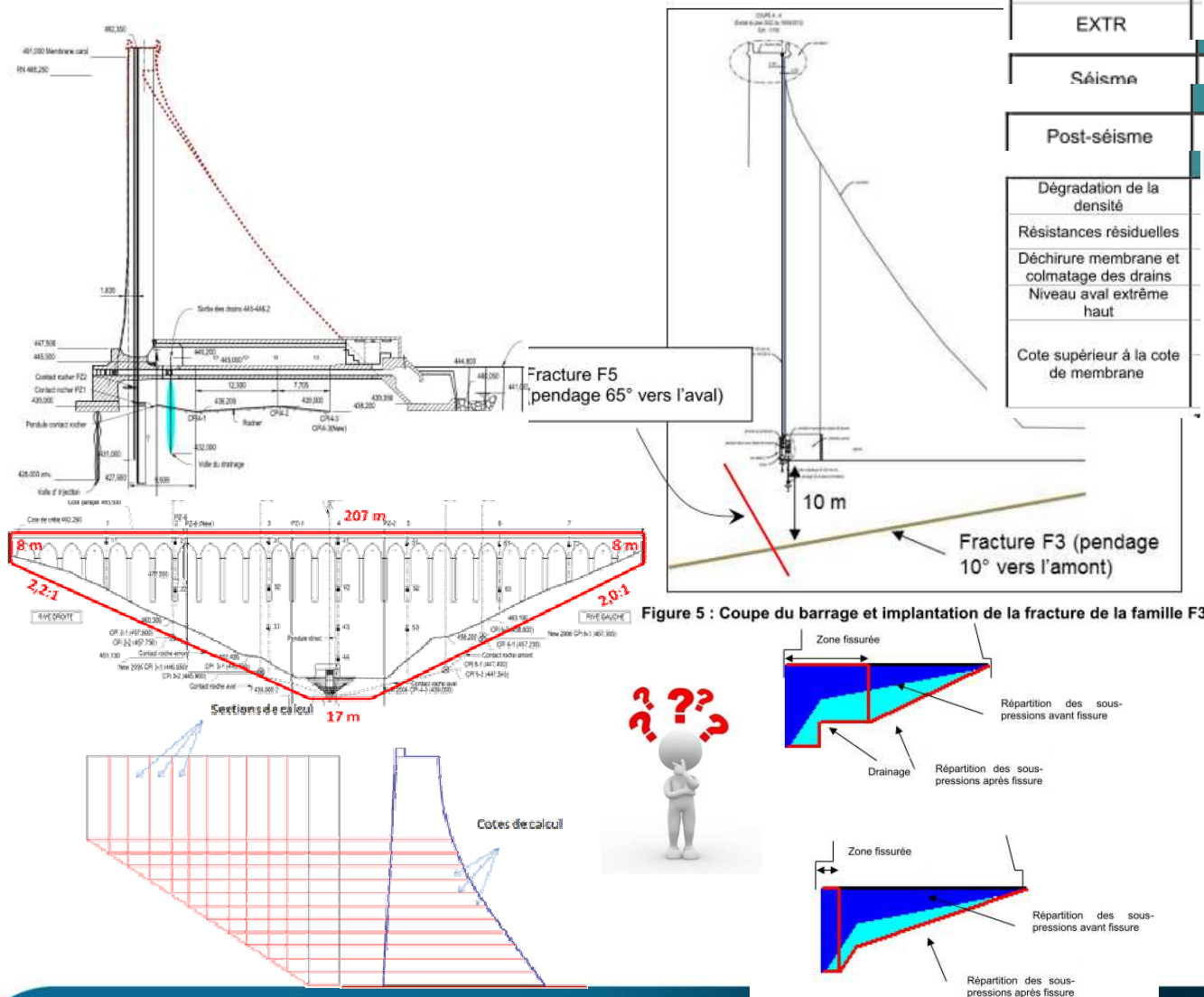


Figure 2 : Canevas de Wulf avec les discontinuités de la rive droite



Chartrain – Etude de stabilité

• La modélisation et les hypothèses de modélisation



RN
PHE
EXTR
Séisme
Post-séisme
Dégradation de la densité
Résistances résiduelles
Déchirure membrane et colmatage des drains
Niveau aval extrême haut
Cote supérieur à la cote de membrane

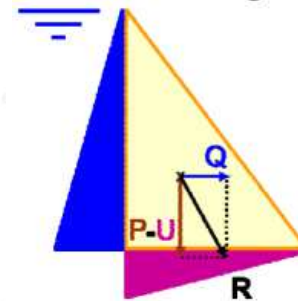
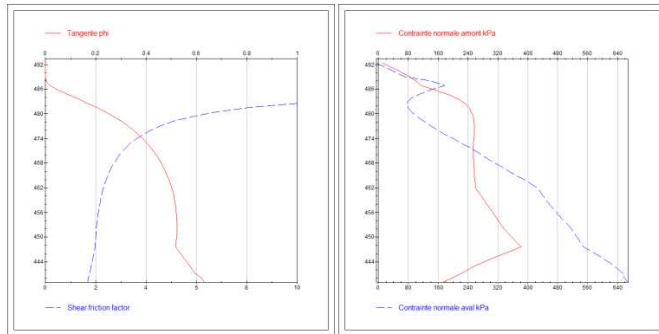
• Modélisation 2D





Chartrain – Etude de stabilité

• L'analyse de la stabilité



$$\frac{C}{\gamma_c} L + (P - U) \frac{\tan \phi}{\gamma_\phi} > Q$$

• Des analyses paramétriques

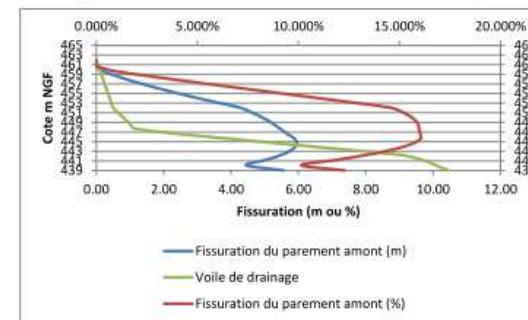
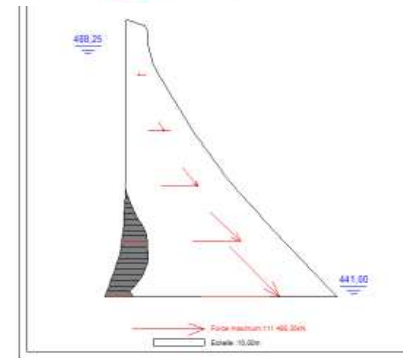
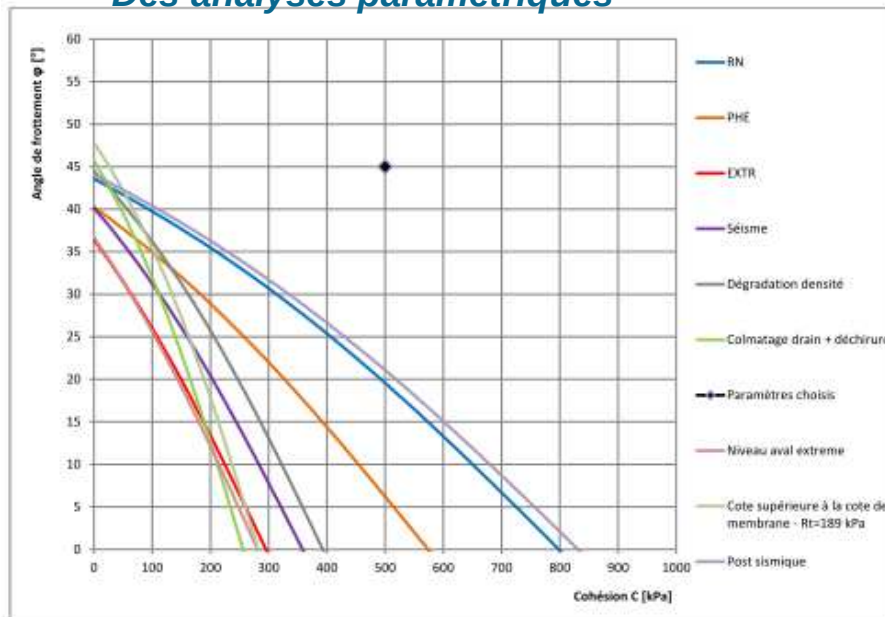
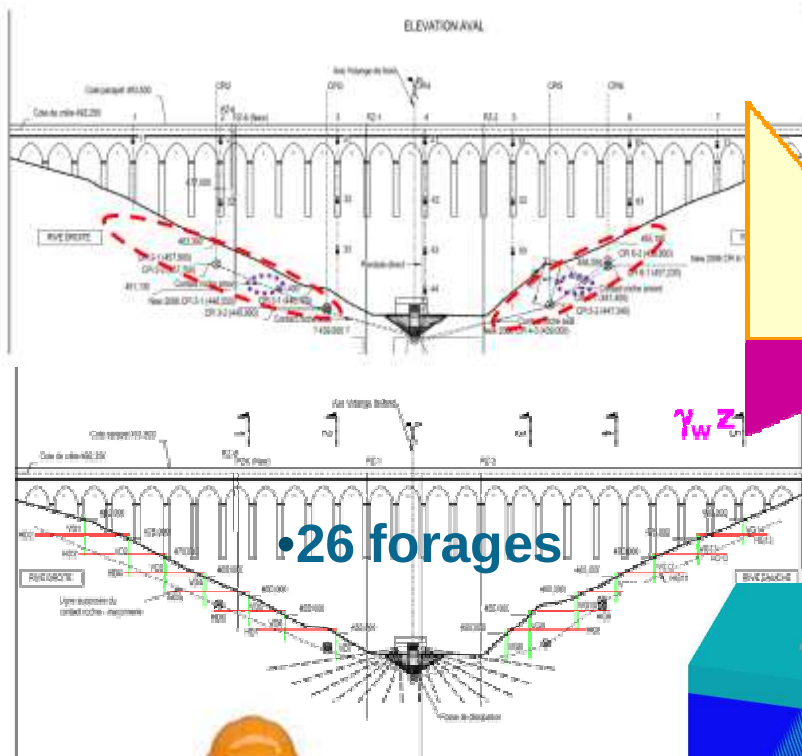


Figure 43 : Profondeur de la fissure forfaitaire –Déchirure de la membrane et colmatage du drainage

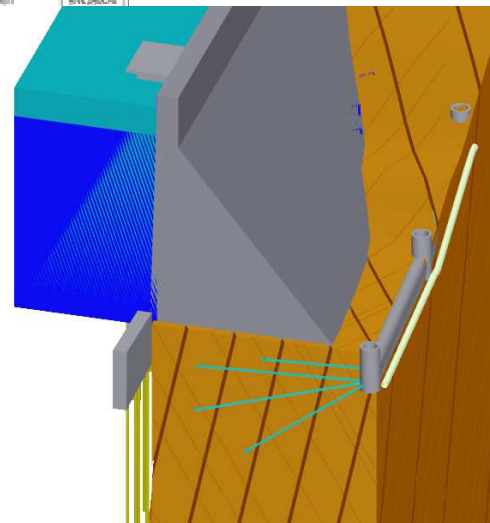


Chartrain – Etude de stabilité

- Des propositions de travaux de confortement (DCE,...)



•26 forages



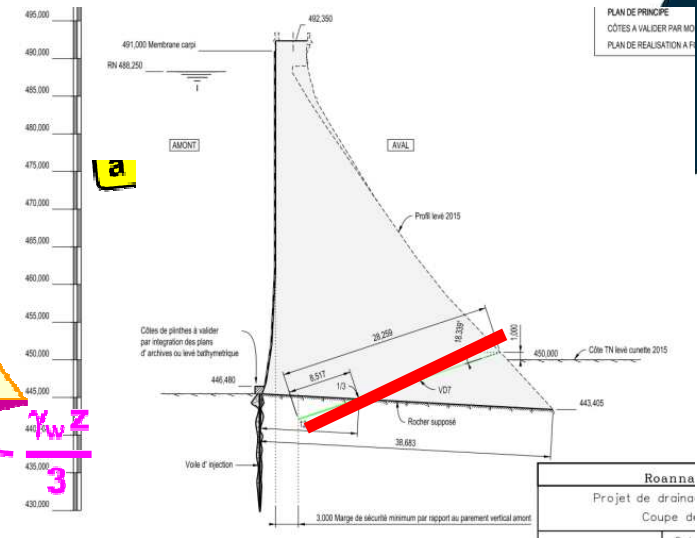
(glissement)

$\gamma_w Z$

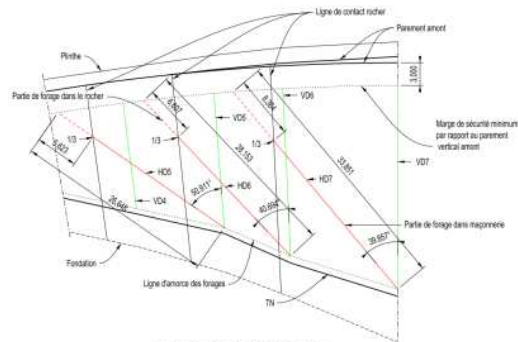
$\gamma_w Z$

$\gamma_w Z$

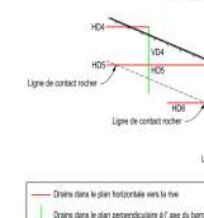
3



VUE EN PLAN DE PRINCIPE DRAINAGE HORIZONTAL



ELEVATION DE PRINCIPE DRAINAGE





Merci



Arnaud Chapuis, INSA GCU2009