

Diagnostic de la digue de la Palière



M. Fahd Cuira



Melle Aurélie Garandet

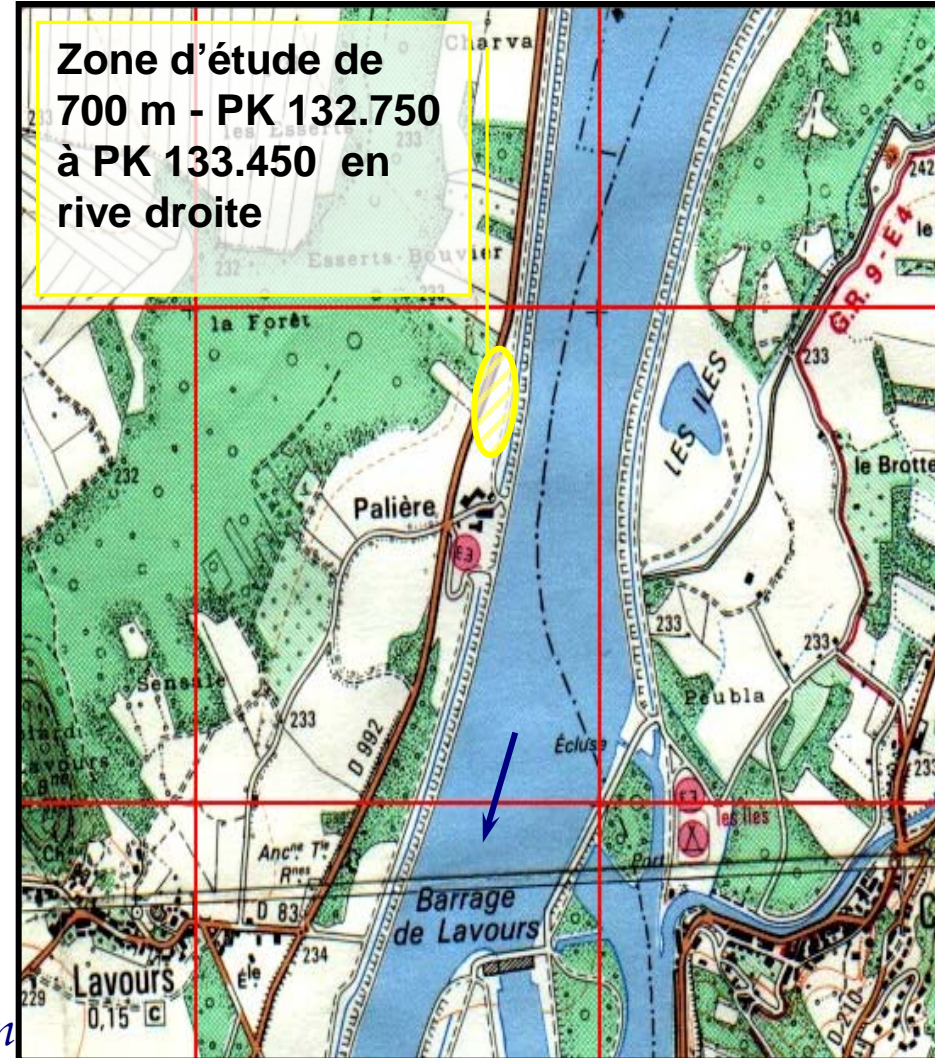
Contexte et problématique de la digue

■ Localisation:

⇒ *Retenue de l'aménagement de Belley*

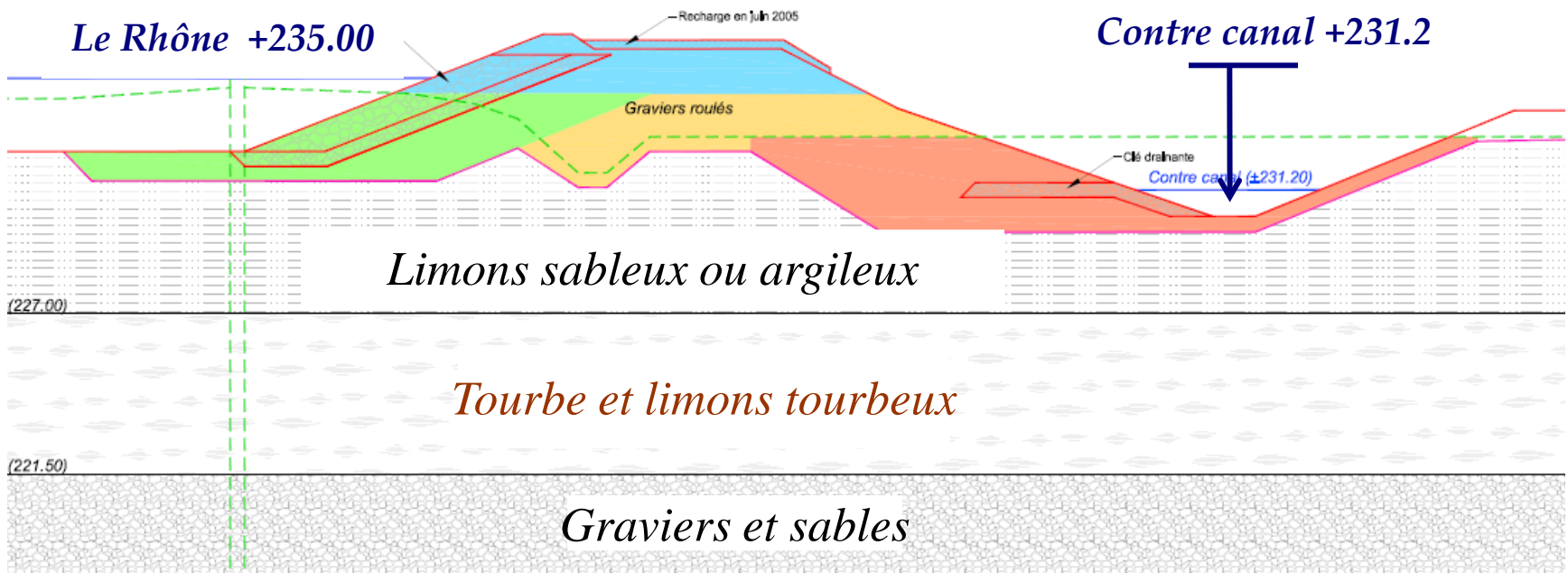
■ Etudes géotechniques avant aménagement:

- Les sondages de 1978 ont montrés la présence d'une **zone tourbeuse** sur 1700 ml sur le linéaire projeté de l'endiguement et sur 5 à 10 m d'épaisseur.
- => études de tassements et de stabilité: tassement estimé = 70 à 85 cm en 1 an. Il en résulte le choix d'une **digue de type gravier** construite en 2 phases de terrassements
- un **suivi spécifique** sera confié au BRGM (cellules de pression interstitielles, tassomètres, inclinomètre...) pour étudier le comportement de la digue lors de sa réalisation



Réalisation de la digue

- *Début des travaux en janvier 1981*
- *Conclusions du BRGM en janvier 1982:*
 - *La dissipation des pressions interstitielles dans la tourbe et limons tourbeux est très lente (à cette date 35 cm de tassement est effectif, soit 50% du tassement théorique)*
 - *La consolidation primaire n'est pas terminée et la consolidation secondaire sera importante.*
 - *Tassements ultérieurs prévisibles dans les niveaux tourbeux et avec risques de déformations latérales.*

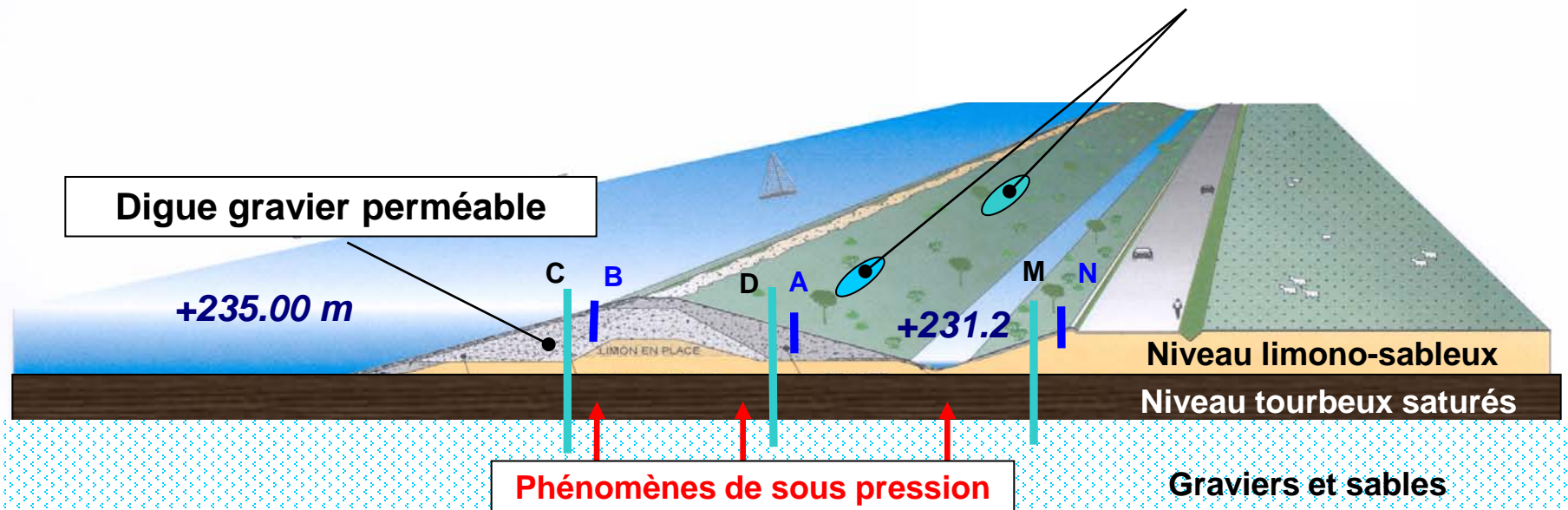


Etats des lieux actuel de la digue

■ Constats visuels et suivis

- Plusieurs **zones de fuites** repérées à mi talus aval, à partir de 1985, entre le PK 132.750 et le PK 133.450
- Pas d'indice de glissement, pas de traces d'érosion (dépôts de fines non observés)..
- Bon drainage du talus aval enregistré par les piézomètres B et A
- la nappe des graviers mesurée par les piézomètres C, D, M donne des valeurs variant entre 230,5 et 233,5 m; c'est donc une **nappe captive**.

Fuites,
cotes 233 – 234 m

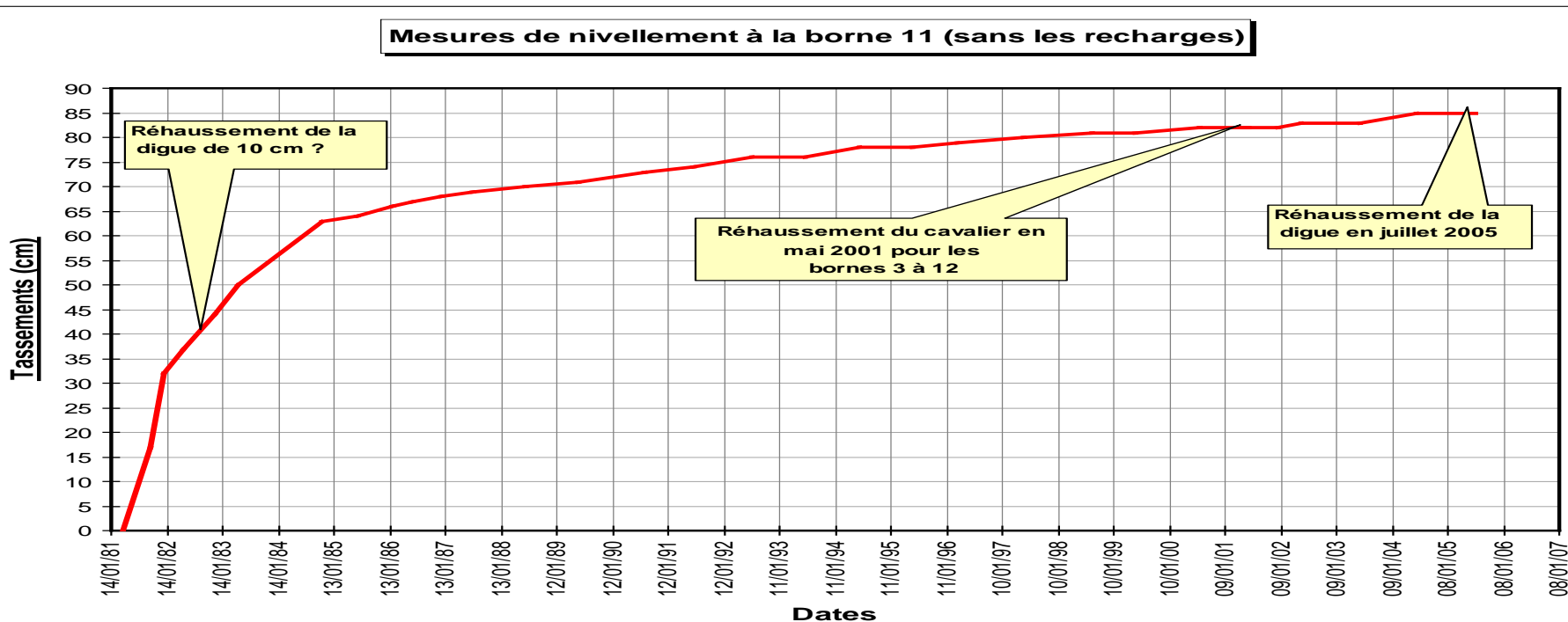


Données et instrumentation disponibles

- Étude du BRGM, reconnaissances géotechniques
- Piézométrie : 7 piézomètres de crête + 2 profils complets
- Altimétrie : 30 bornes installées sur le cavalier, en crête

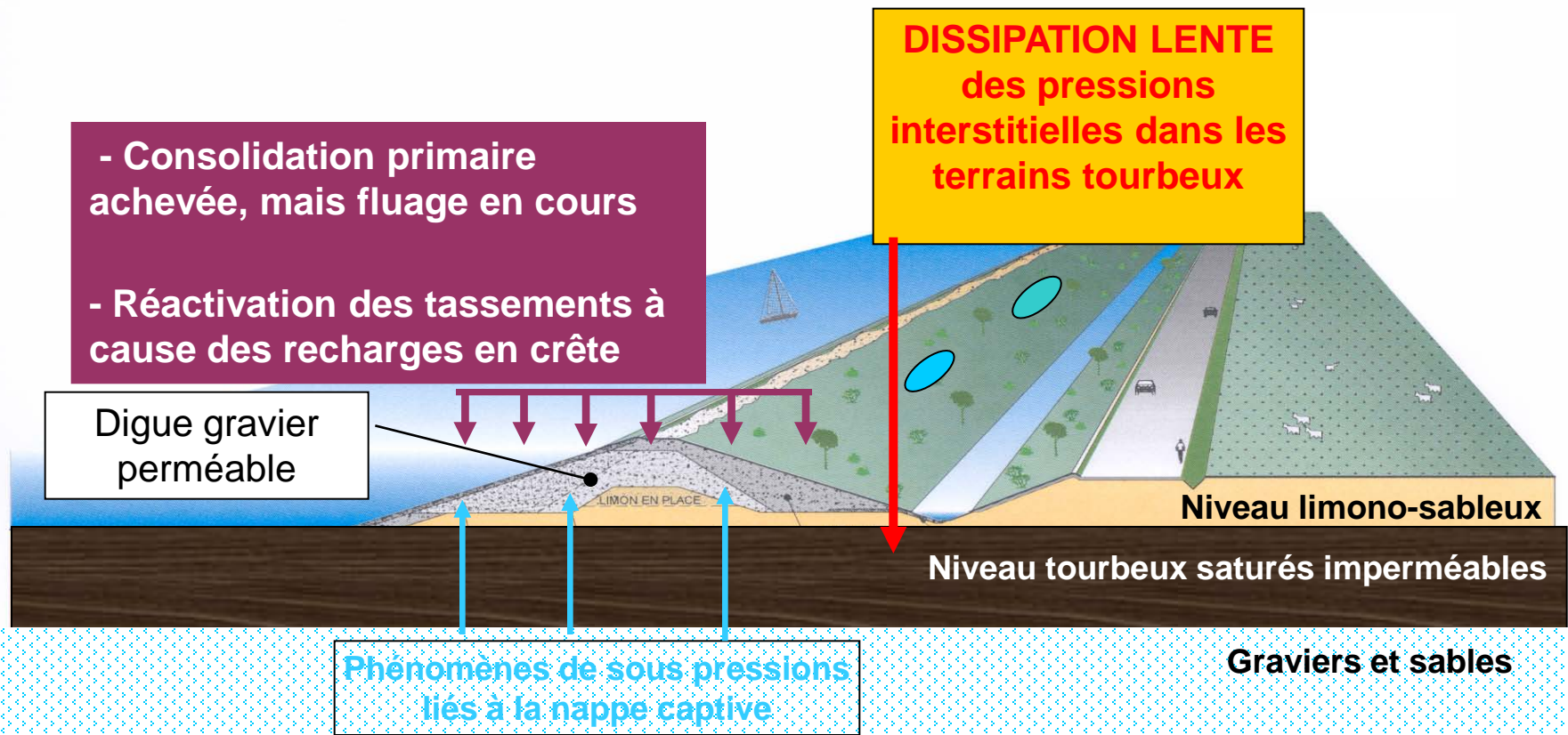
-L'exploitant a rehaussé par 2 fois la crête de digue pour garantir la cote du cahier des charges qui est de 236,5 m au niveau du cavalier (cote crue millénale + 0,5 m) engendrant alors la réactivation des pressions interstitielles, des tassements...

- Cumul des tassements à ce jour: ≈ 85 cm



1^{er} diagnostic de la digue (CNR 2006)

- *L'origine des fuites correspondrait à une remontée ponctuelle des eaux de nappe aux travers les horizons les plus perméables des niveaux tourbeux et limoneux*
- *Les sous pressions liées à la nappe captive, en présence des divers processus de tassements, mettent t'ils en jeu la stabilité de la digue?*



Etude confiée à Terrasol

- Analyse des données disponibles :
 - ⇒ *Dossier géotechnique initial*
 - ⇒ *Résultats du programme d'auscultation*
- Modélisation numérique :
 - ⇒ *Retranscrire l'évolution de l'état de la digue depuis sa construction*
 - ⇒ *Prédire l'évolution future des tassements*
 - ⇒ *Examiner la stabilité actuelle*
 - ⇒ *Orienter le diagnostic des désordres*

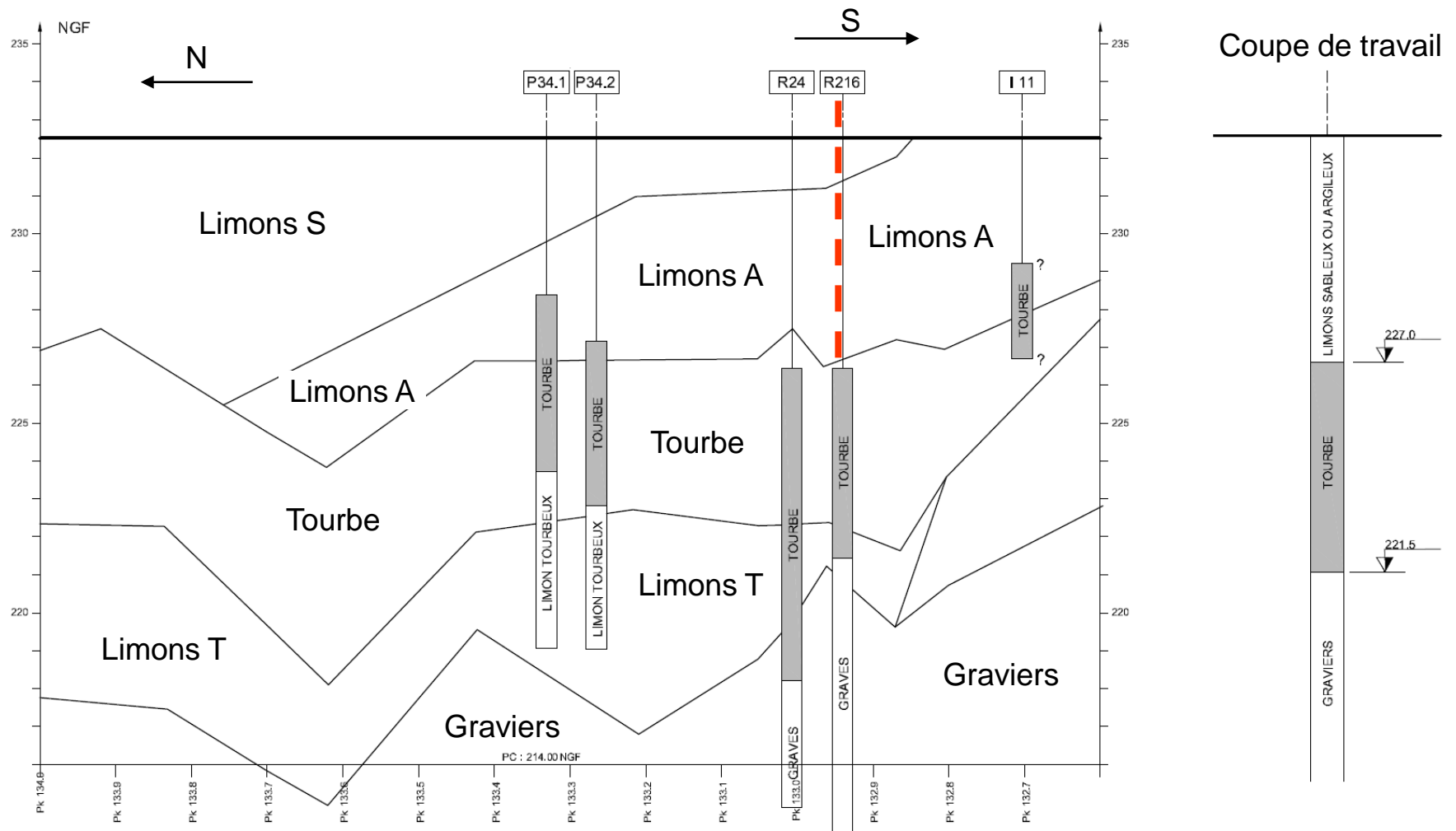
Phase 1
(2007)

- Validation des éléments de diagnostic :
 - ⇒ *Résultats des reconnaissances complémentaires*
 - ⇒ *Statuer sur la stabilité de la digue*
- Enseignements :
 - ⇒ *Paramètres et seuils d'alertes*
 - ⇒ *Solutions de confortement*

Phase 2
(en cours)

Analyse des données disponibles

- Dossier géotechnique initial (étude BRGM 1982)



Analyse des données disponibles

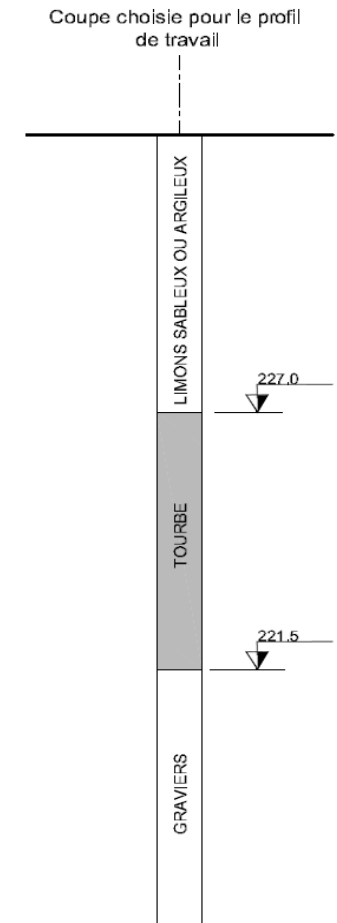
■ Dossier géotechnique initial (étude BRGM 1982)

| | γ (kN/m ³) | γ_d (kN/m ³) | e_0 | IP (%) | LL (%) | w (%) |
|--------|----------------------------------|------------------------------------|-------|-----------|-----------|-----------|
| Limons | 19 | 15 | 1,0 | 31 | 78 | 30 |
| Tourbe | 12 | 5 | 3,6 | 17 | 47 | 140 à 210 |

| | c' (kPa) | Φ' () | q_c (kPa) | c_v (m ² /s) | $c_c/(1+e_0)$ | $c_\alpha/(1+e_0)$ |
|--------|---------------|----------------|----------------|------------------------------|---------------|--------------------|
| Limons | 5 | 25 | 800 | $3,5 \cdot 10^{-7}$ | 0,09 | -- |
| Tourbe | 10 | 18 | -- | $2,0 \cdot 10^{-8}$ | 0,43 à 0,51 | 0,024 à 0,04 |

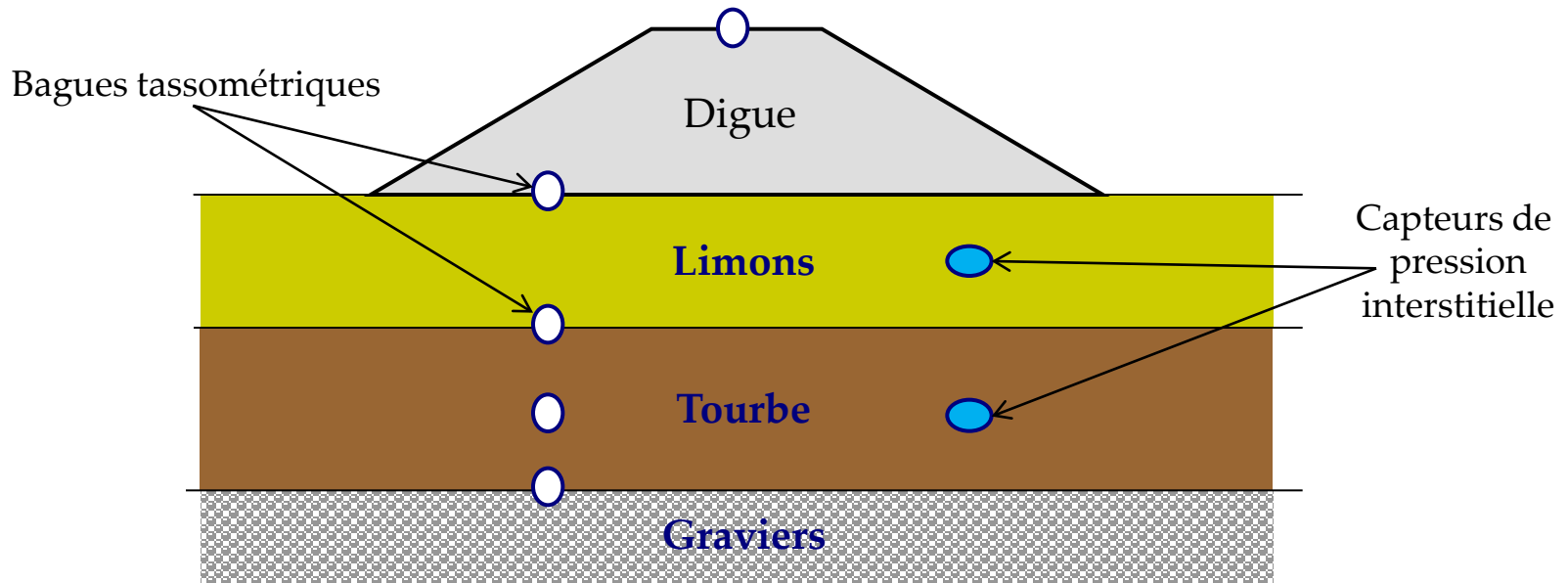
Valeurs à compléter par les investigations futures

Valeurs à compléter par les résultats des suivis sur site



Analyse des données disponibles

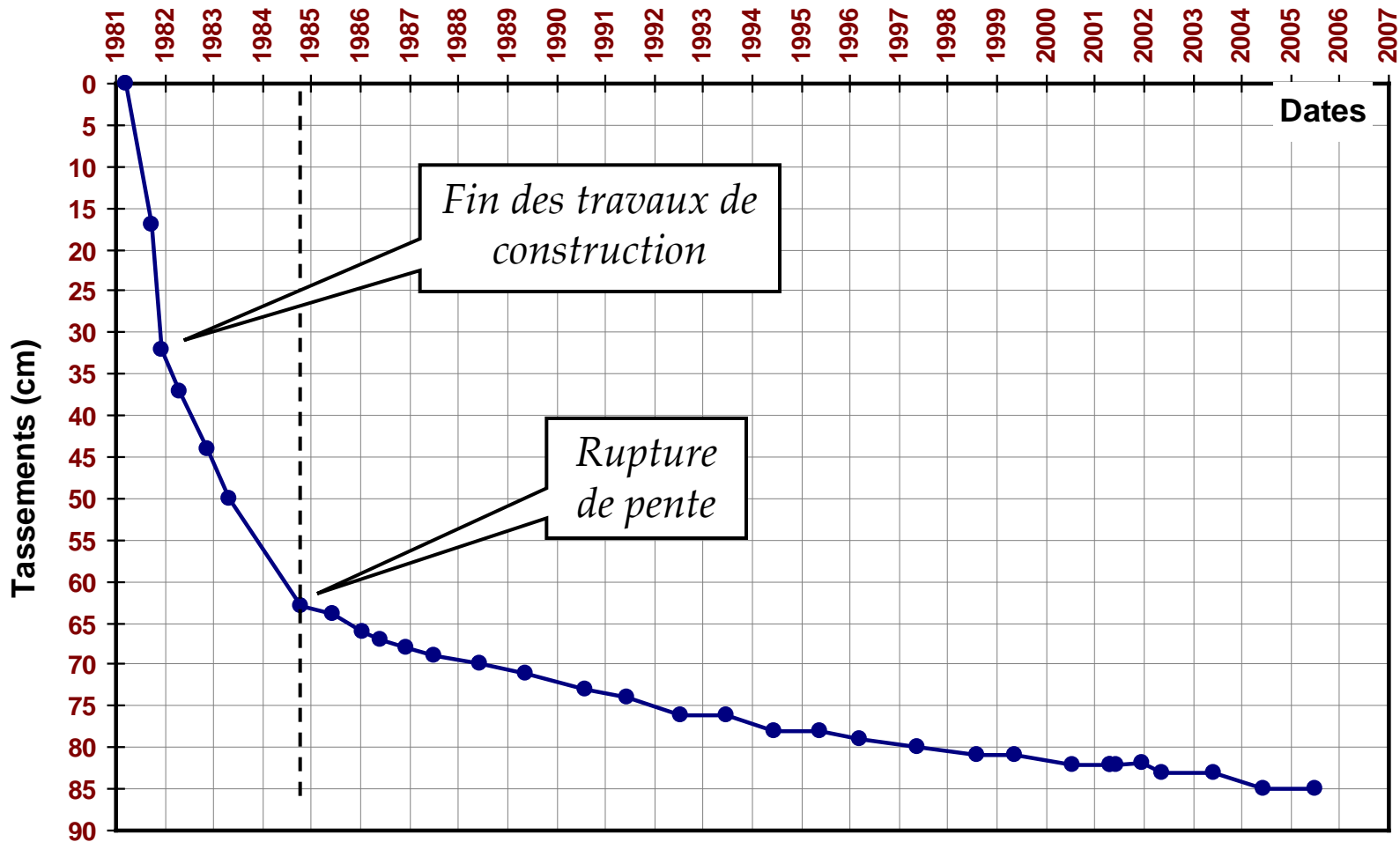
- Observations faites pendant et juste après édification de la digue
 - ⇒ Niveaux limoneux
 - ⇒ *Dissipation très rapide des surpressions interstitielles*
 - ⇒ *Stabilisation des tassements en deux mois (=> estimation de C_v)*
 - ⇒ Niveaux tourbeux
 - ⇒ *Consolidation très lente*
 - ⇒ *Tassements en fin de construction < 50 % du tassement total théorique attendu*



Schématisation

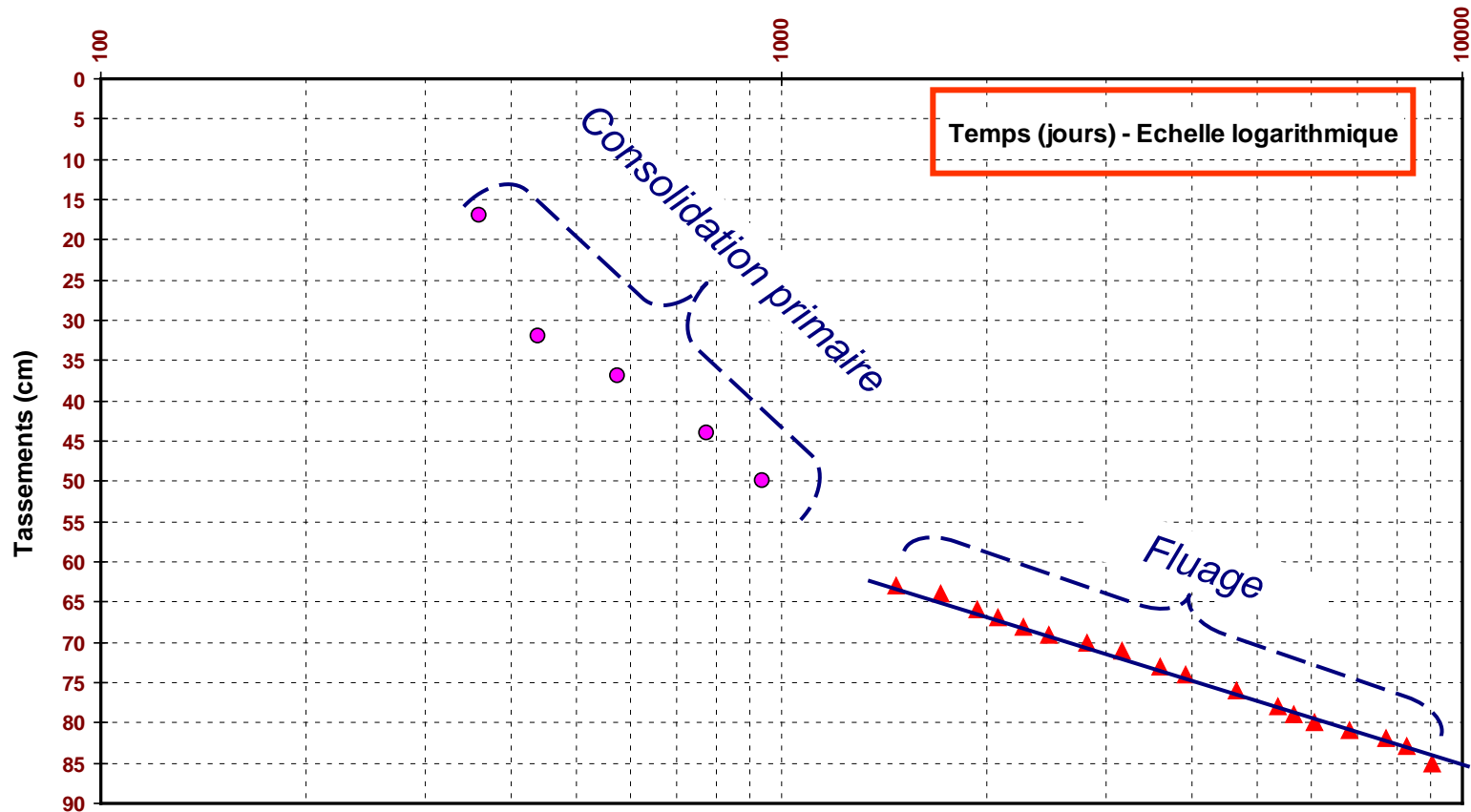
Analyse des données disponibles

■ Suivi des tassements depuis construction



Analyse des données disponibles

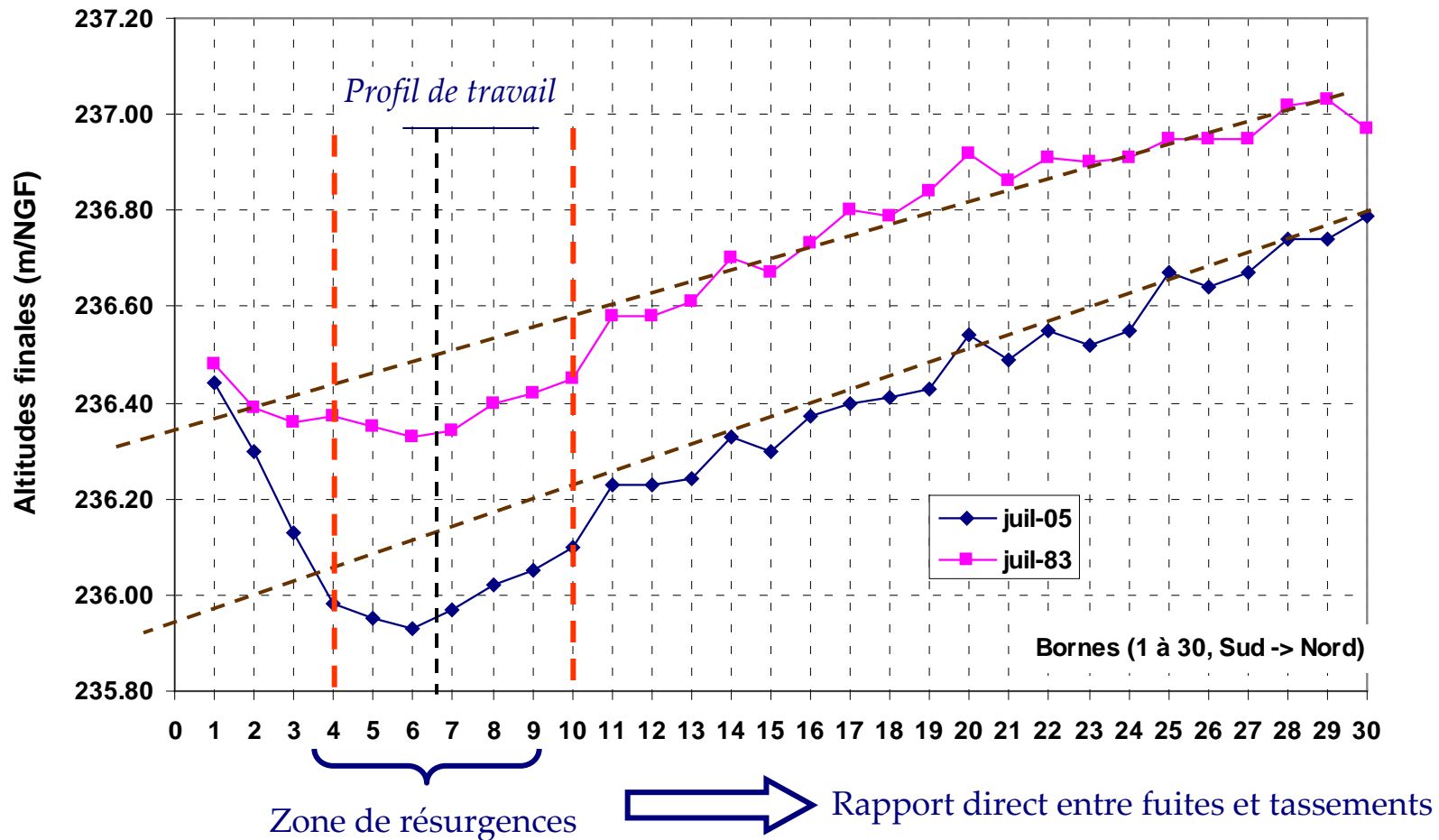
■ Suivi des tassements depuis construction



- Palier de consolidation primaire \Rightarrow coefficient de consolidation et perméabilité
- Palier de fluage \Rightarrow coefficient de fluage apparent

Analyse des données disponibles

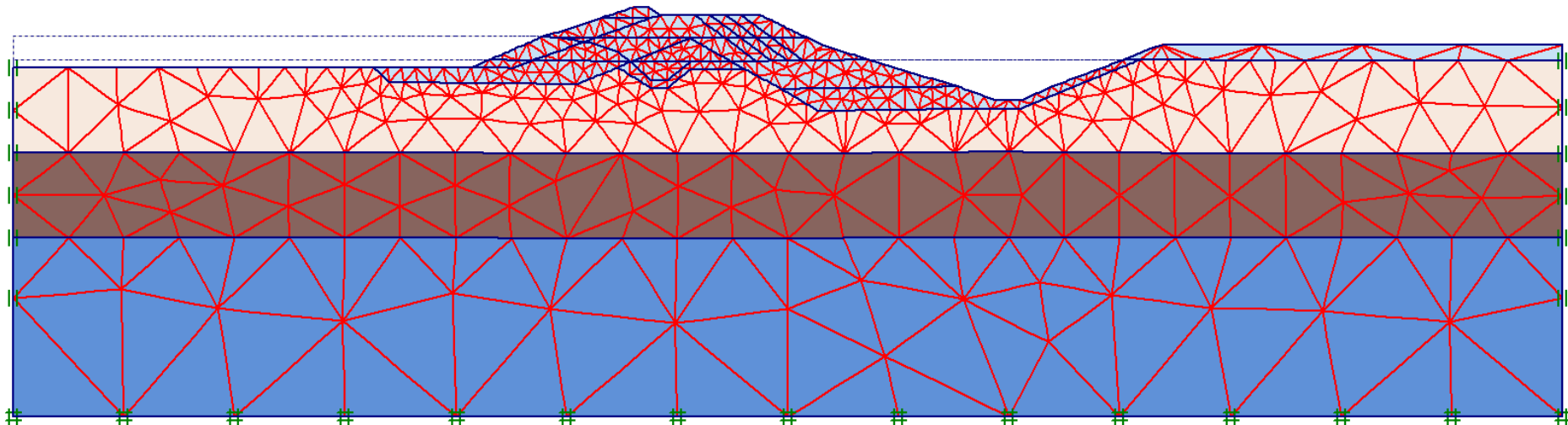
■ Profil en long des tassements à une date donnée



Modélisation de l'ouvrage

■ Principes de modélisation

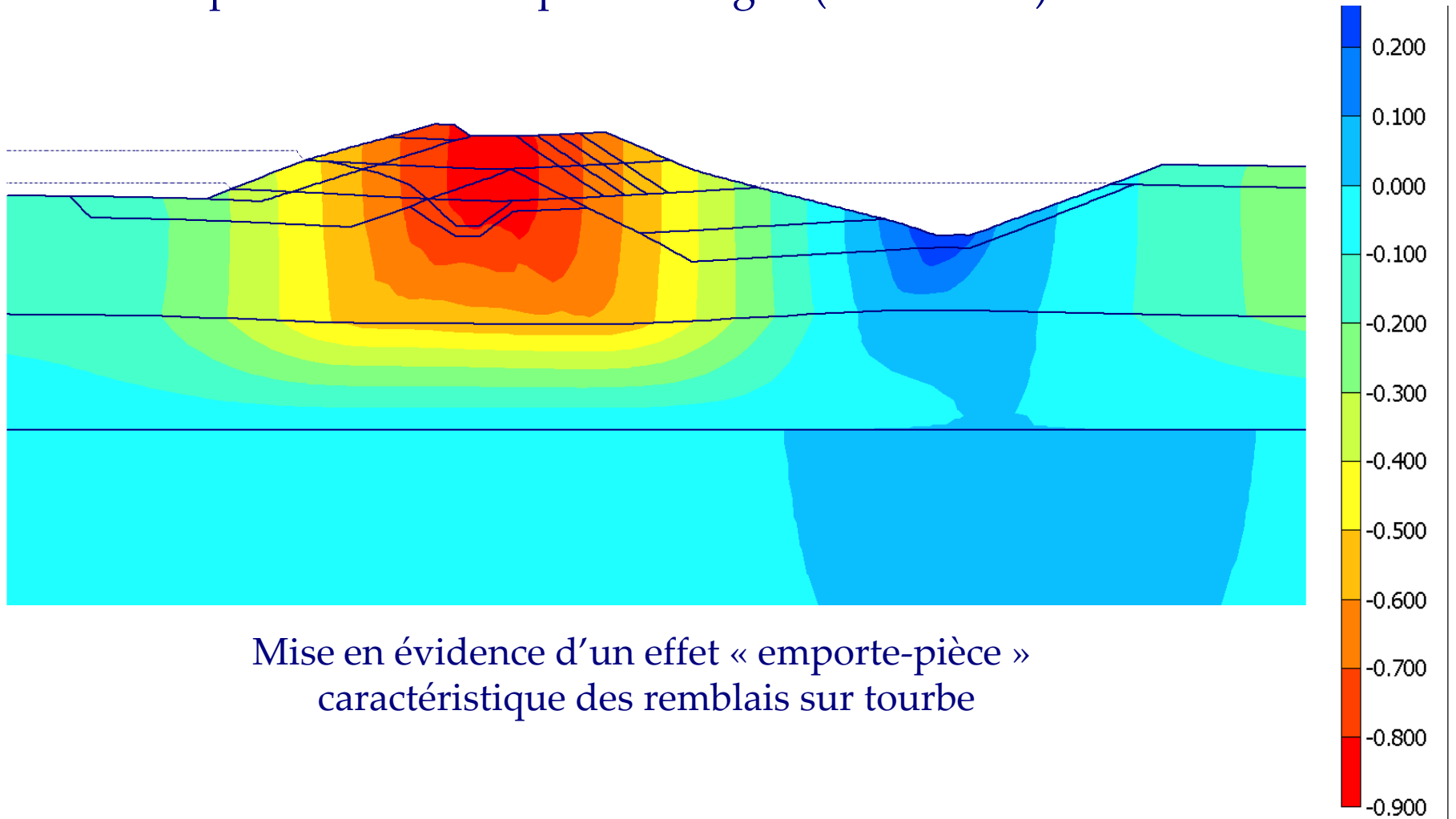
- ⇒ *Discretisation en éléments finis 2D (logiciel Plaxis)*
- ⇒ *Prise en compte de l'historique de l'ouvrage y compris les phases de construction*
- ⇒ *Couplage entre comportements mécanique et hydraulique*
- ⇒ *Lois de comportement affinées pour la tourbe et le corps de la digue*
- ⇒ *Paramètres de calcul calés par l'analyse des données géotechniques*
- ⇒ *Travail en grandes déformations*



Maillage éléments finis 2D (éléments à 15 nœuds)

Modélisation de l'ouvrage

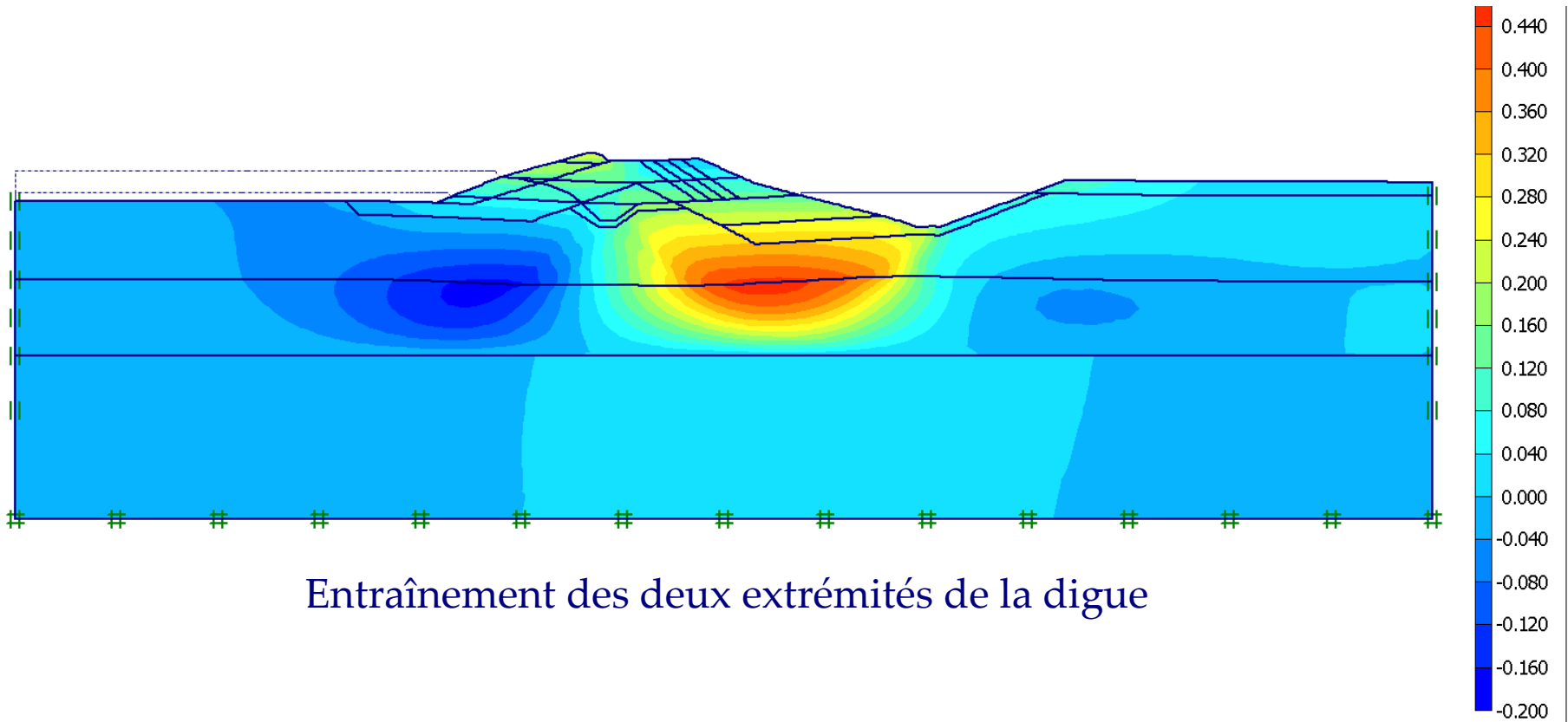
- Comportement du corps de la digue (tassements)



Mise en évidence d'un effet « emporte-pièce »
caractéristique des remblais sur tourbe

Modélisation de l'ouvrage

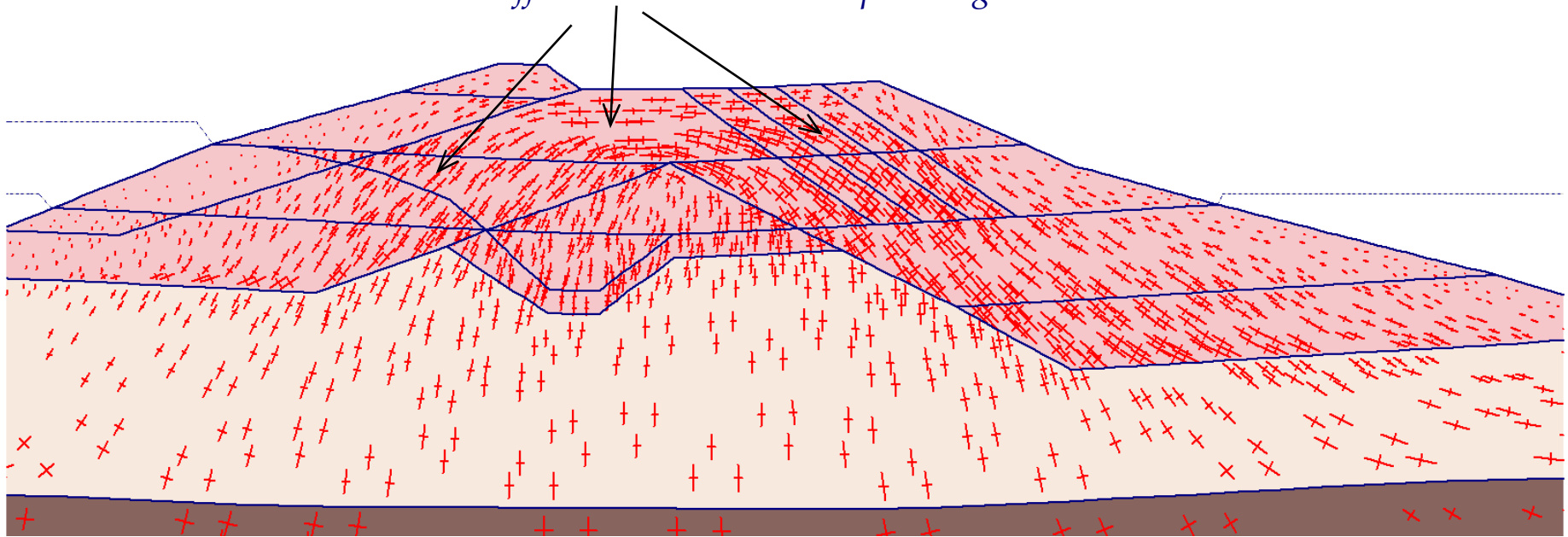
- Comportement du corps de la digue (déformations latérales)



Modélisation de l'ouvrage

- Comportement du corps de la digue

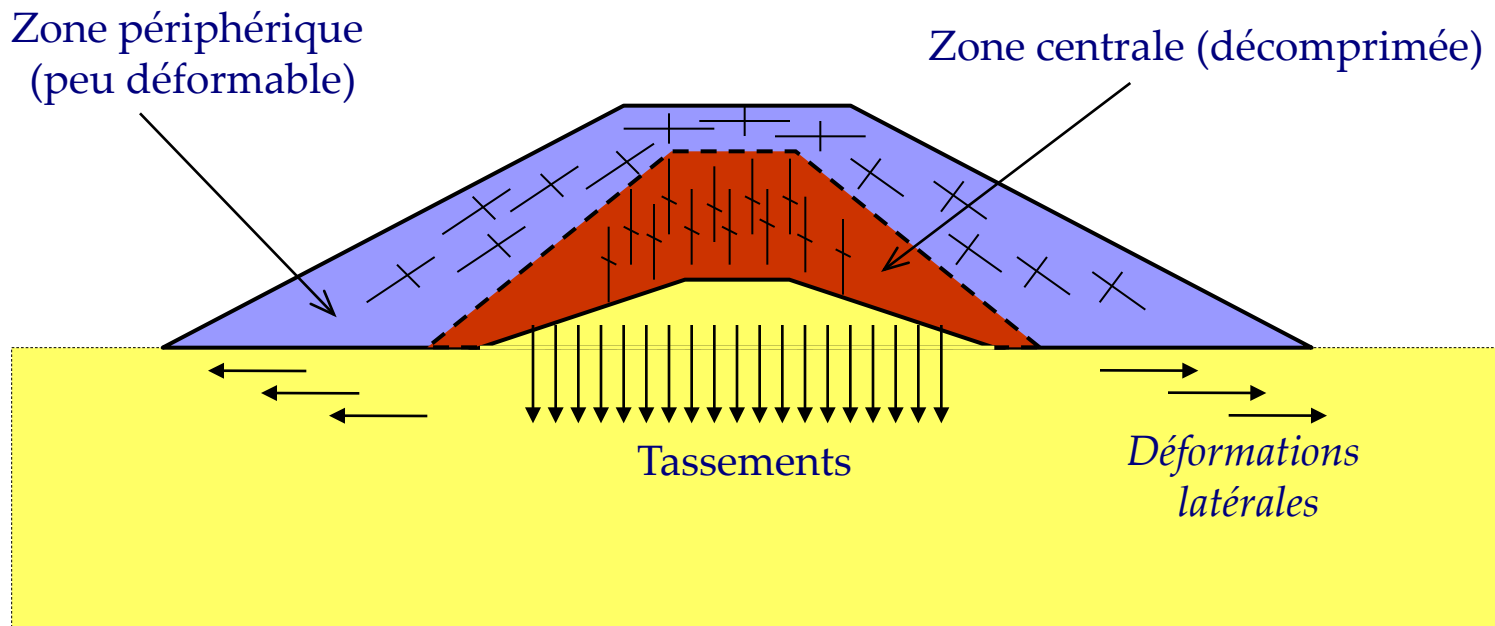
Formation d'effet de voûte dans le corps de digue



Contraintes principales effectives dans la digue

Modélisation de l'ouvrage

- Comportement du corps de la digue

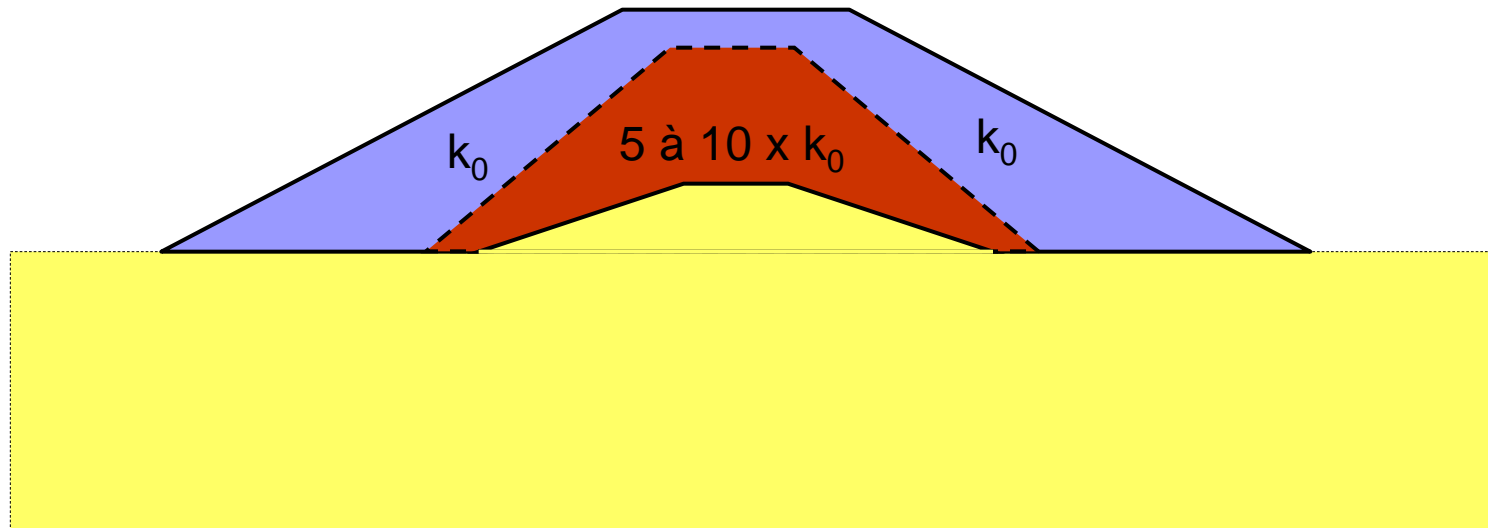


Formation d'une zone décompressée au cœur de la digue

Modélisation de l'ouvrage

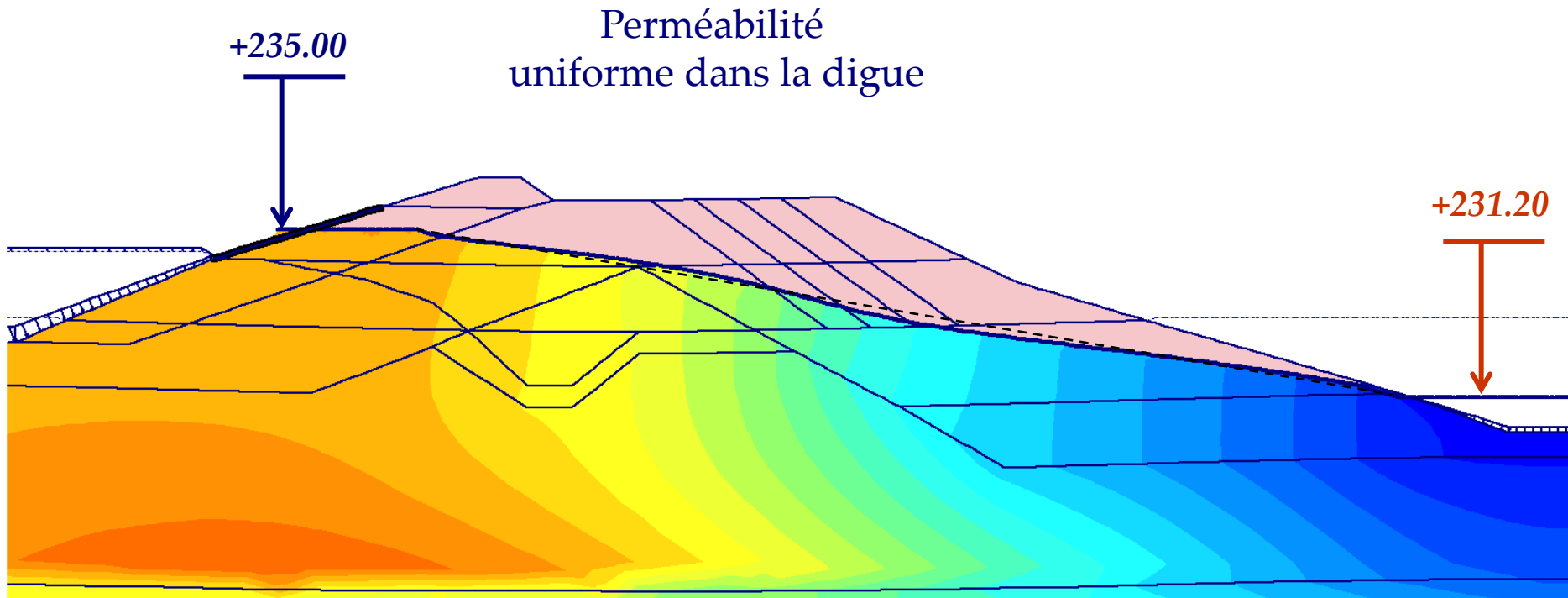
■ Comportement du corps de la digue : hypothèses

- ⇒ *Formation d'une zone décomprimée au cœur de la digue*
- ⇒ *Augmentation locale de l'indice des vides et par conséquent de la perméabilité*
- ⇒ *Actualisation des conditions hydrauliques en introduisant une zone centrale plus perméable au cœur de la digue (5 à 10 fois)*



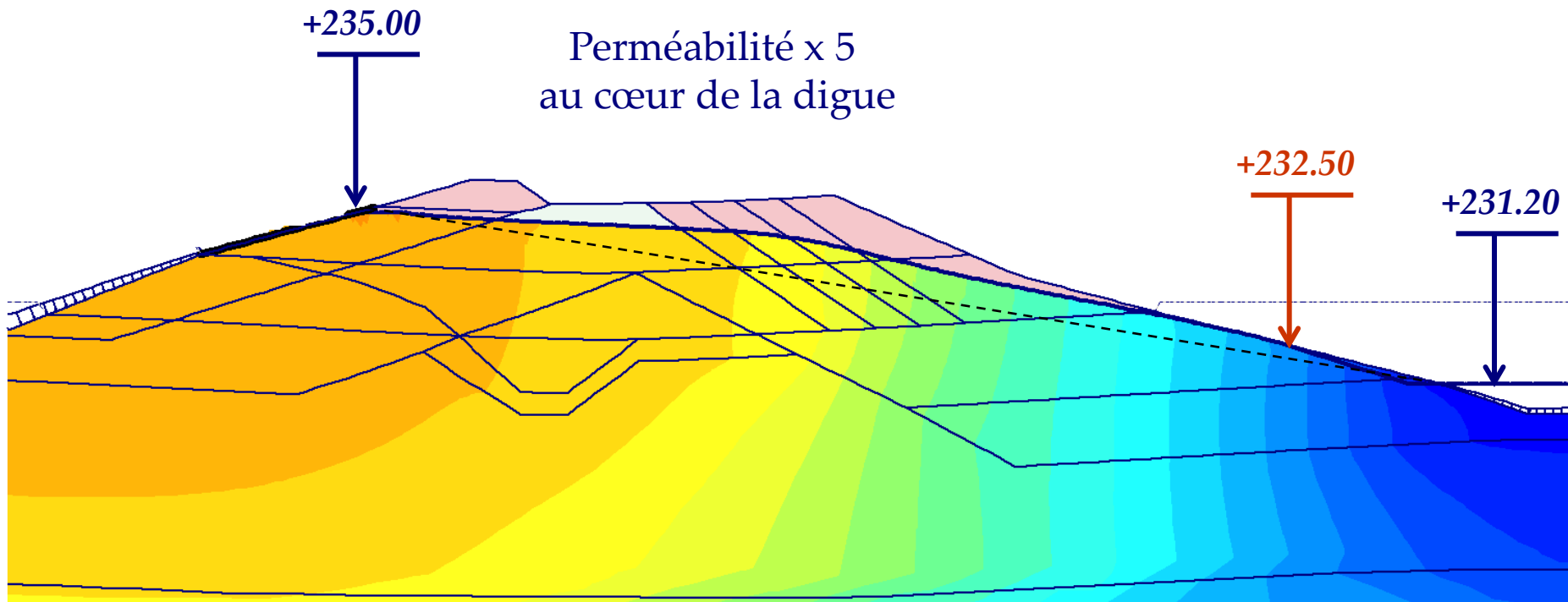
Modélisation de l'ouvrage

- Simulation du fonctionnement hydraulique : situation initiale (1982)



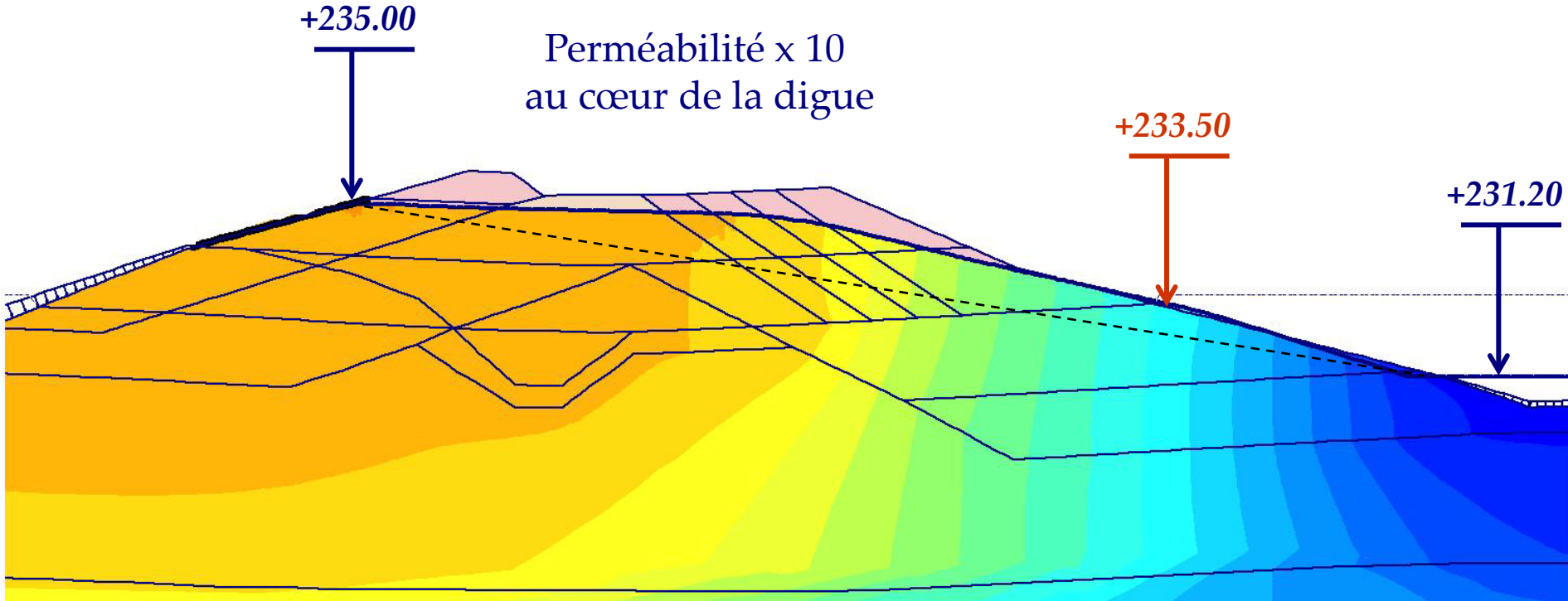
Modélisation de l'ouvrage

- Simulation du fonctionnement hydraulique : situation actuelle supposée



Modélisation de l'ouvrage

- Simulation du fonctionnement hydraulique : situation actuelle supposée



Reconnaitances complémentaires

■ Objectifs

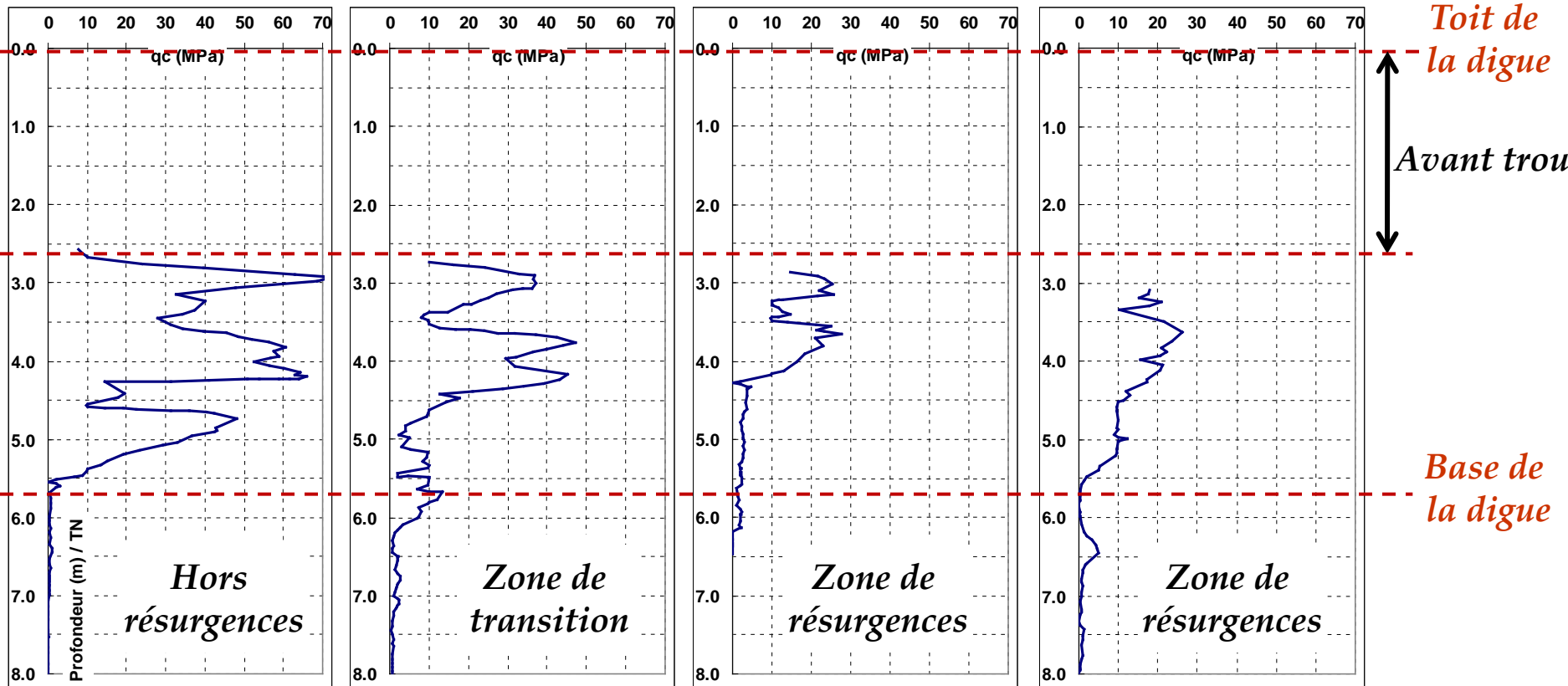
- *Valider l'hypothèse d'une décompression localisée au centre la digue*
- *Vérifier l'hypothèse d'une différenciation de perméabilités selon les zones*
- *Valider les paramètres de cisaillement des limons*

■ Contenu :

- *Essais au pénétromètre statique :*
 - *Qualifier la densité du corps de digue : profil longitudinal et transversal*
 - *Utilisation d'une pointe piézocone => mesure continue des pressions interstitielles (contrôle du régime d'écoulement permanent)*
- *Essais au micro-moulinet :*
 - *Essais de pompage avec mesure du profil de vitesses verticales*
 - *Estimation de la perméabilité globale + contribution des niveaux traversés*
- *Essais complémentaires sur les limons :*
 - *Identification complète (w , granulométrie, teneur en CaCO_3 ...)*
 - *Essais triaxiaux CU + u.*

Reconnaisances complémentaires

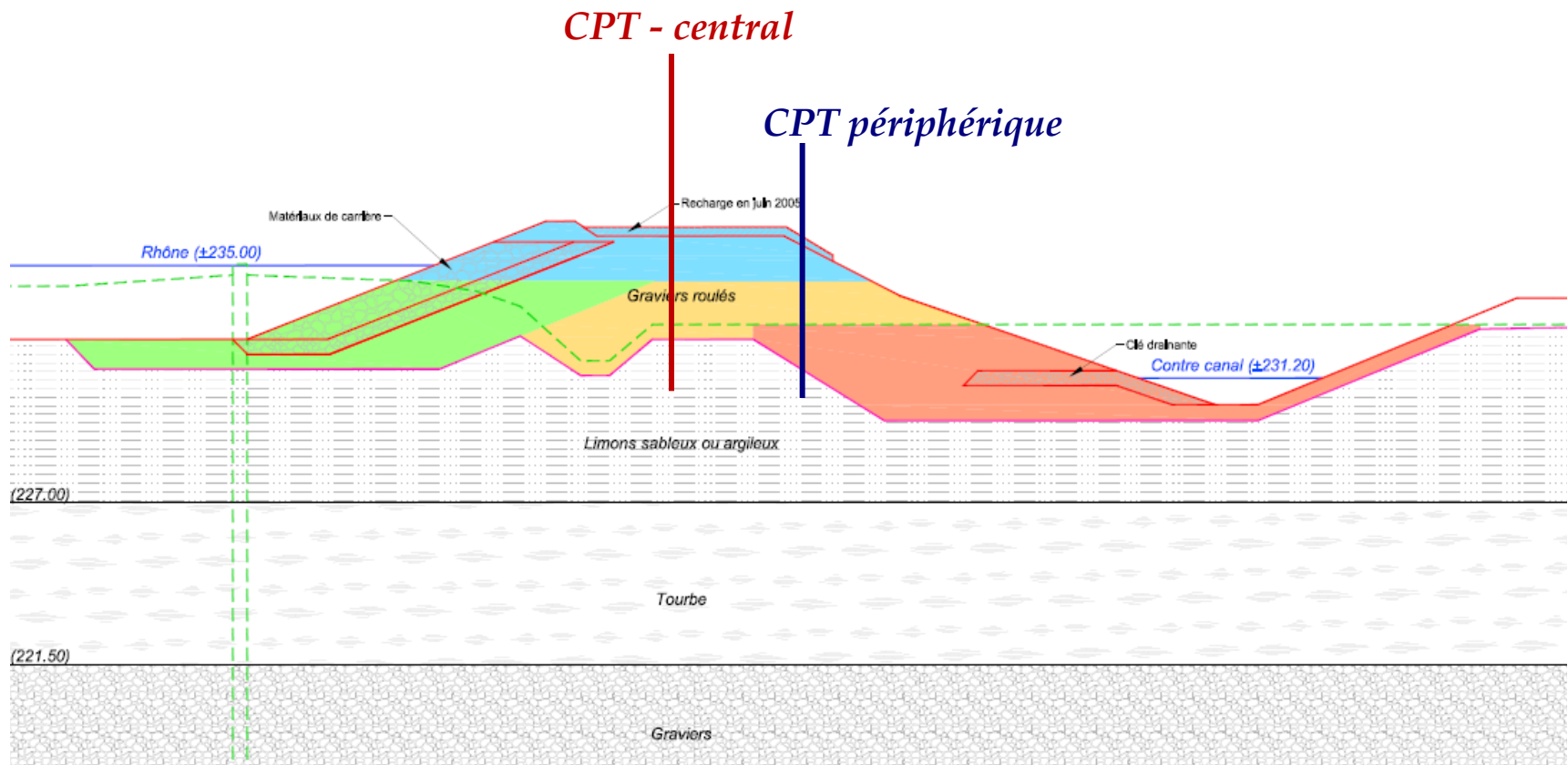
- Premiers retours des investigations : sondages CPT



Sondages CPT exécutés dans l'axe de la digue

Reconnaisances complémentaires

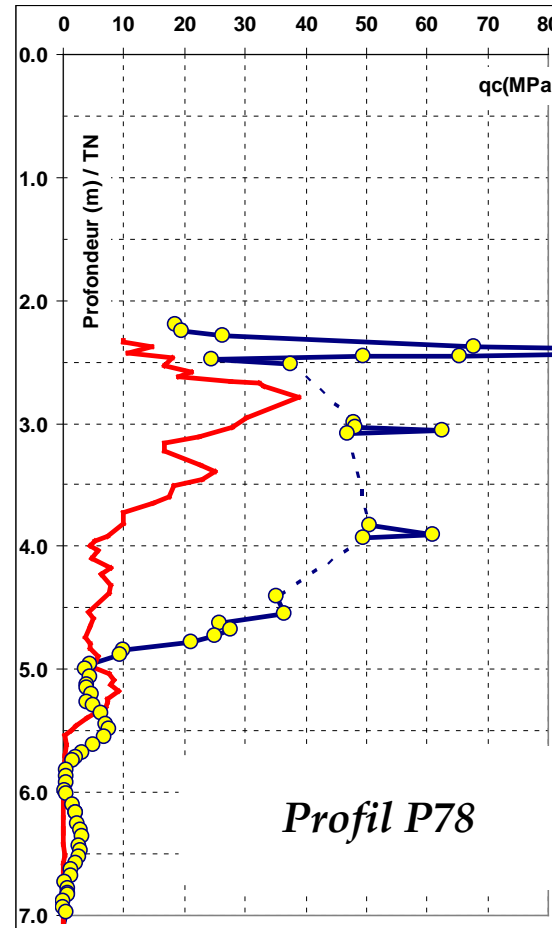
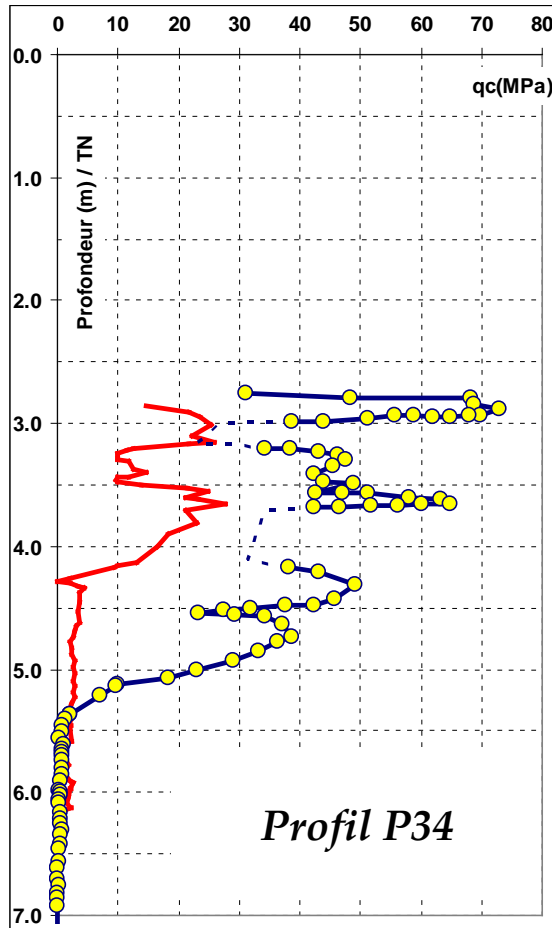
- Premiers retours des investigations : sondages CPT



Profils en travers

Reconnaitances complémentaires

- Premiers retours des investigations : sondages CPT



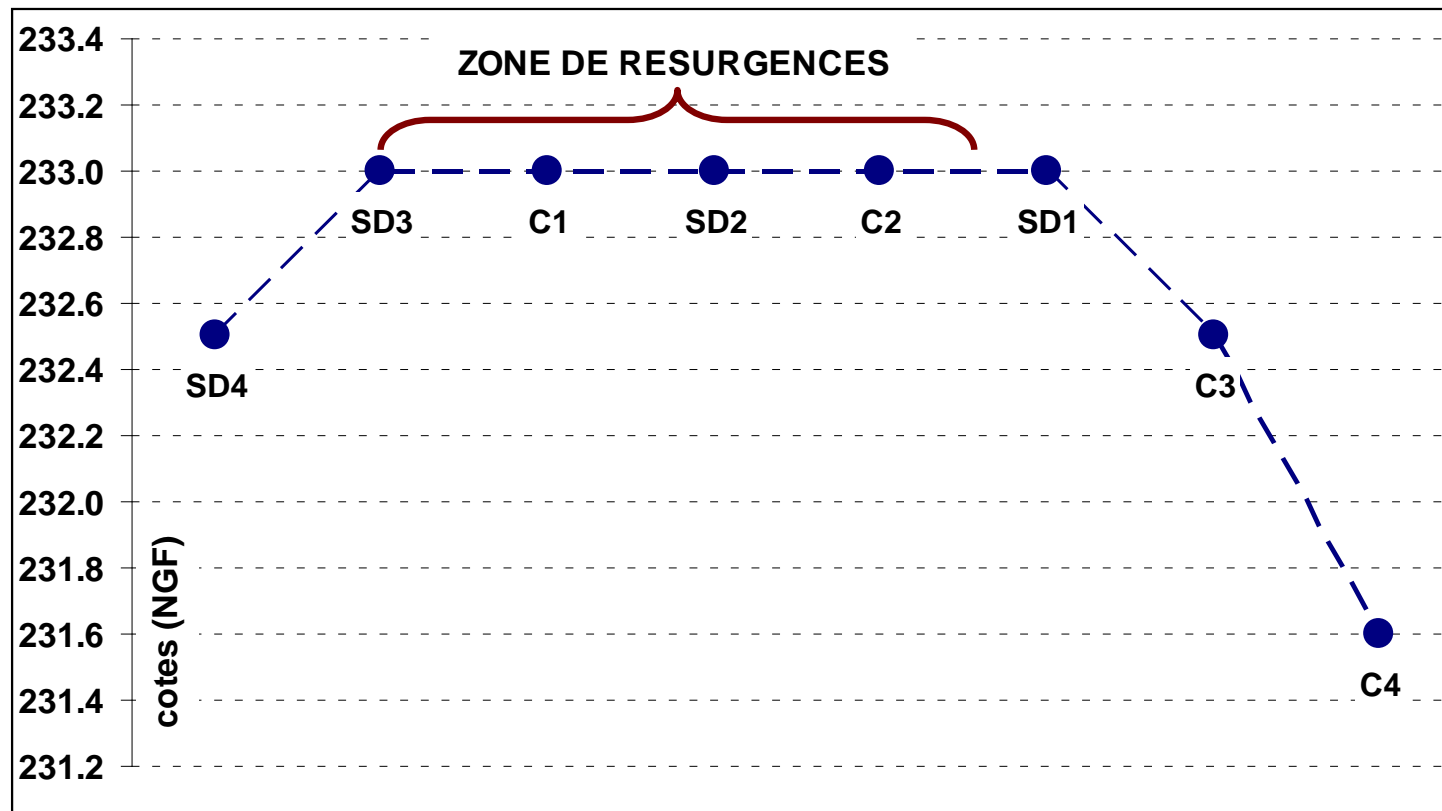
— Sondage périphérique
 — Sondage central

Profils en travers en zone de résurgences

Merci !

Reconnaissances complémentaires

- Premiers retours des investigations : relevés piézométriques



Profil en long : relevés piézométriques dans l'axe de la digue

Modélisation de l'ouvrage

■ Prédiction de l'évolution des tassements

| | <i>Tassement total en 2015</i> | <i>Supplément de tassement / 2005</i> |
|-----------------------------------|------------------------------------|---|
| <i>Sans nouvel rechargement</i> | <i>95 cm</i> | <i>10 cm</i> |
| <i>Nouvel rechargement 50 cm</i> | <i>101 cm</i> | <i>16 cm</i> |
| <i>Nouvel rechargement 100 cm</i> | <i>107 cm</i> | <i>21 cm</i> |

■ Conditions de stabilité actuelle

| | <i>Sécurité vis-à-vis de la stabilité d'ensemble</i> |
|---|--|
| <i>($\varphi' = 25^\circ$ $c' = 5kPa$) dans les limons</i> | <i>$F = 1,30 - 1,20$</i> |
| <i>($\varphi' = 30^\circ$ $c' = 5kPa$) dans les limons</i> | <i>$F = 1,40 - 1,30$</i> |
| <i>($\varphi' = 30^\circ$ $c' = 10kPa$) dans les limons</i> | <i>$F = 1,50 - 1,40$</i> |

Modélisation de l'ouvrage

- Tassements calculés en crête de digue

