



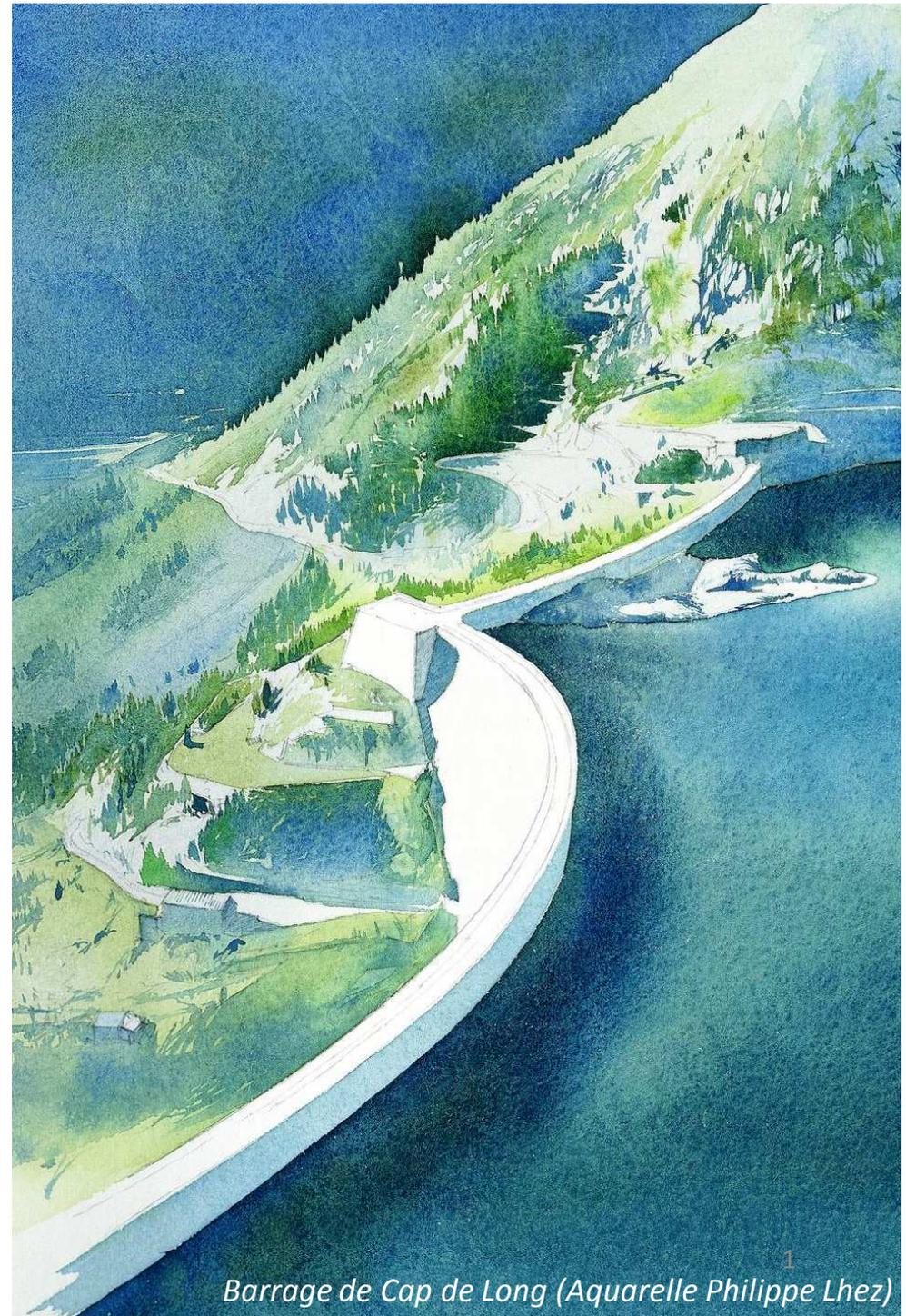
Thème D : Instrumentation et surveillance des fondations : tenue à moyen et long terme

Retour d'expérience sur les sous-pressions de 48 barrages poids à EDF

Jérôme SAUSSE EDF-DTG

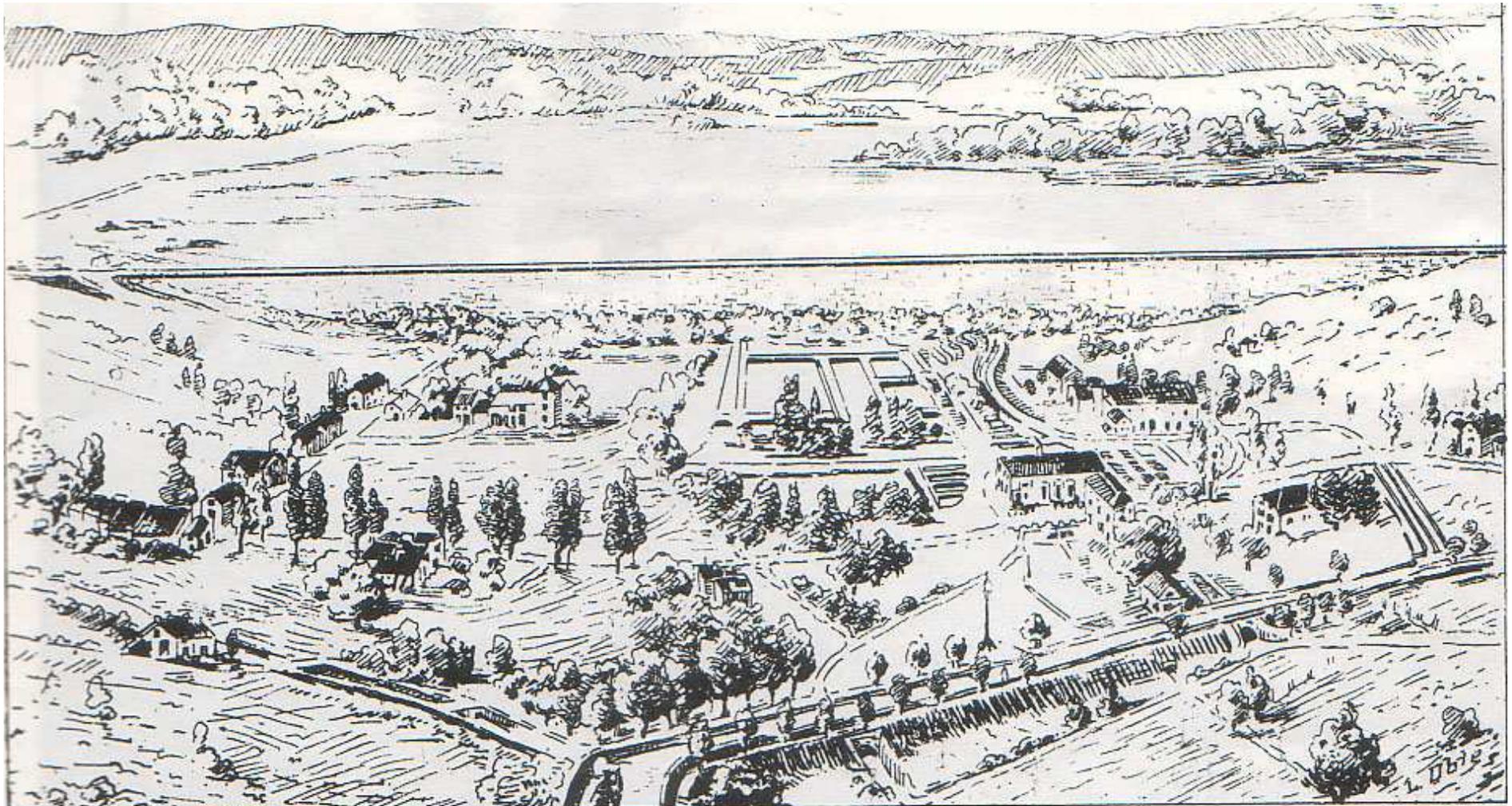
Jean-Paul FABRE EDF-DTG

Colloque CFBR – Fondations des Barrages
8 et 9 avril 2015 – Chambéry



¹
Barrage de Cap de Long (Aquarelle Philippe Lhez)

JS8



Diapositive 2

JS8

déplacement brutal de 135m de barrage vers l'aval, qui se sépare du mur de garde ;
fracture horizontale à la base, sol de fondation broyé sur 2 à 3 m d'épaisseur sous le barrage. Le
déplacement maximal atteint 34 cm en crête

J SAUSSE; 30/03/2015

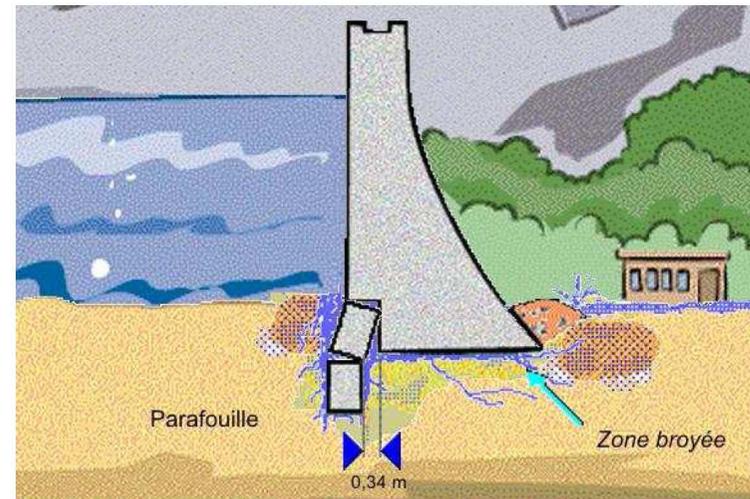
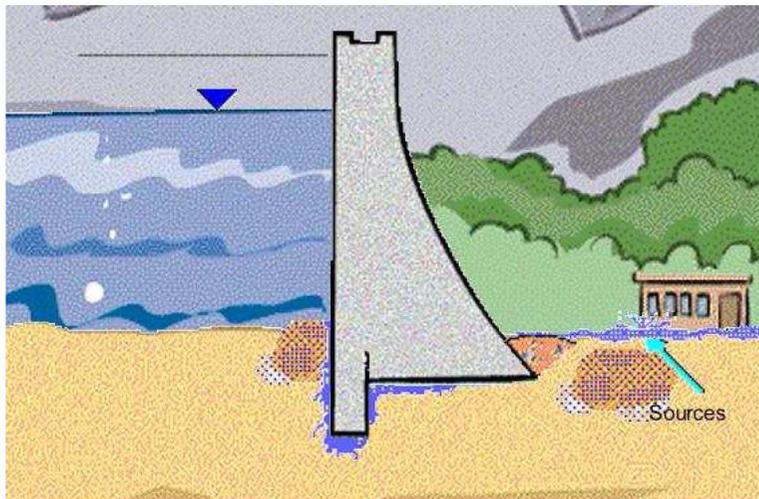


Figure 31a : Première rupture en fondation, en 1884, par glissement sur sa base, sur une longueur de 135 m et avec un maximum de 34 cm, lié aux sous-pression.

Diapositive 3

JS16

déplacement brutal de 135m de barrage vers l'aval, qui se sépare du mur de garde ;
fracture horizontale à la base, sol de fondation broyé sur 2 à 3 m d'épaisseur sous le barrage. Le
déplacement maximal atteint 34 cm en crête

J SAUSSE; 30/03/2015

La **défaillance de la fondation** d'un barrage (sous-pressions excessives, érosions, cisaillements mécaniques,...) engendre généralement des effets sur le régime **hydraulique**.



Retour d'expérience à EDF
Piézométrie & sous-pressions des barrages poids

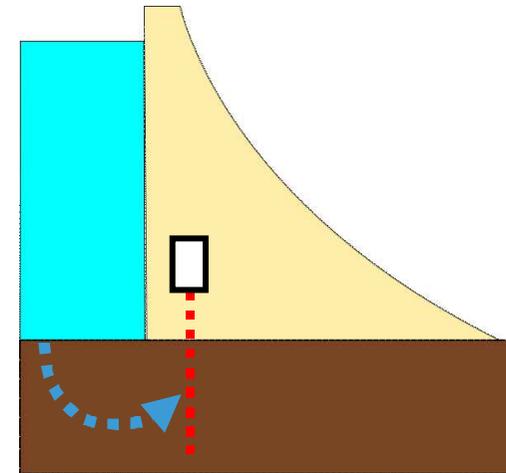
SOUS-PRESSIONS DES BARRAGES POIDS

■ Étude du parc ausculté

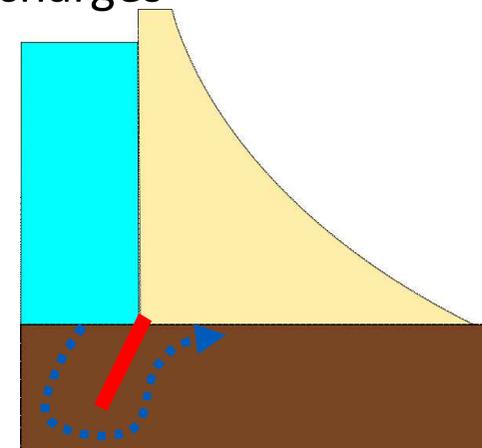
- 48 barrages et 273 piézomètres
- Dont 5 barrages poids-voûtes (très arqués) et 10 poids arqués

■ 2 Fonctions essentielles

- Le **drainage** « casse » les pressions



- **L'étanchéité** de la fondation provoque des pertes de charges

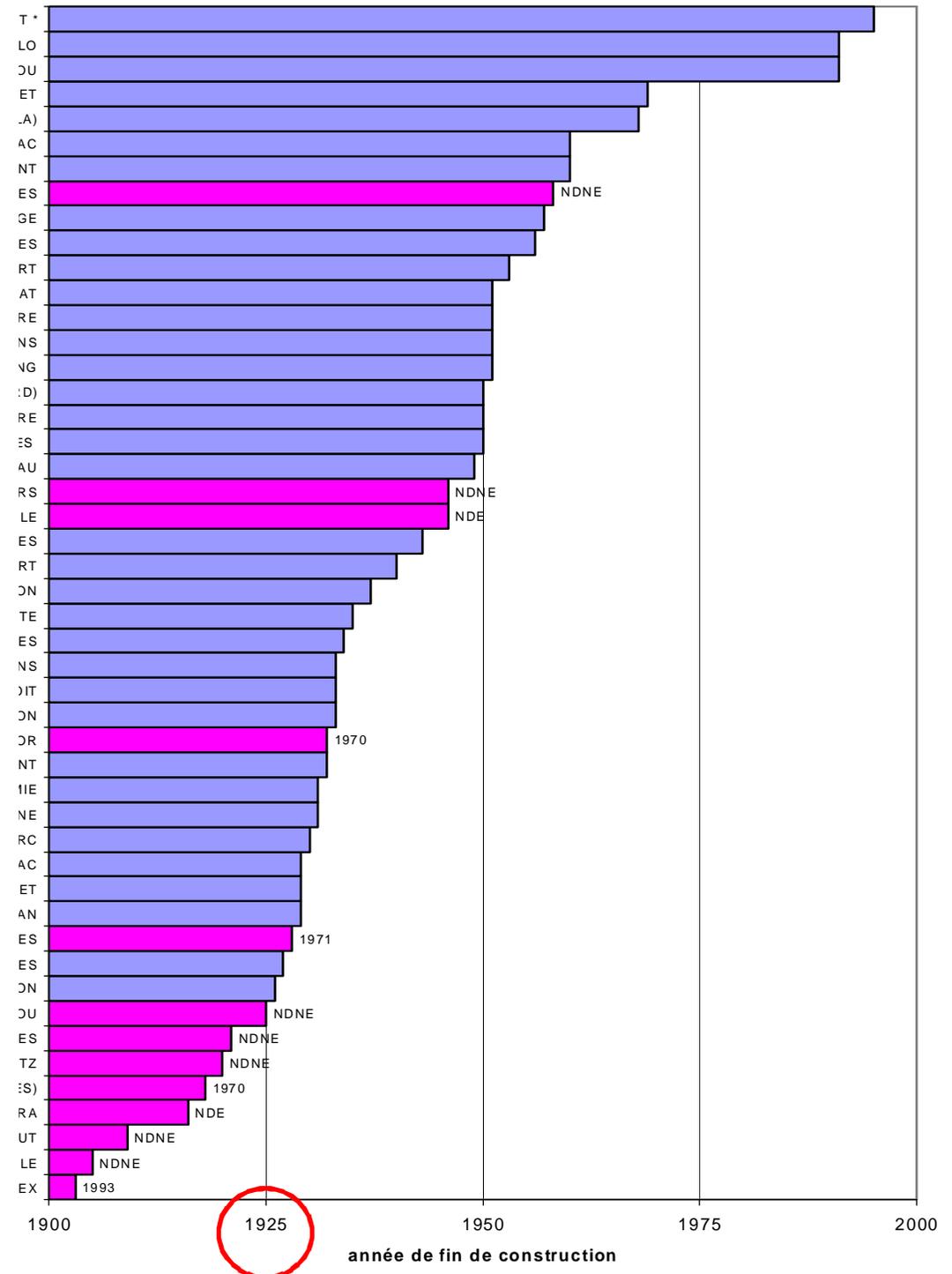


AGES DES BARRAGES ET CONCEPTION

80% sont drainés

70% avec un rideau d'étanchéité

Non-drainé de conception



Diapositive 6

JS1

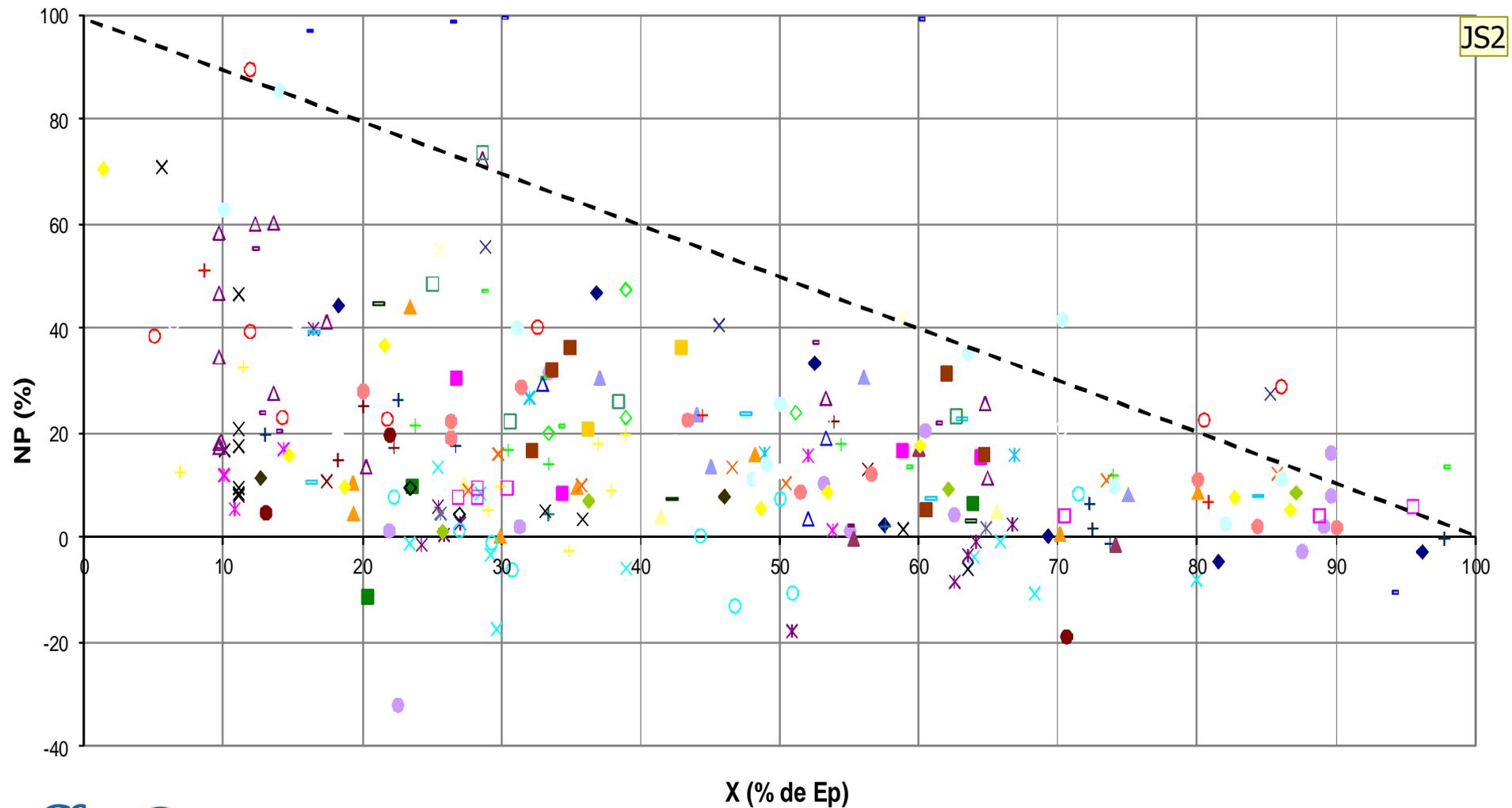
avant 1930 généralement pas drainés (Eguzon 1926 = le1er)
risques sous-pressions réellement pris en compte dans les années 1930
J SAUSSE; 30/03/2015

NIVEAUX PIEZOMETRIQUES MESURES

Après adimensionnement

NP = % (charge amont – charge aval)

X piézo = % de l'épaisseur



Diapositive 7

JS2

grande majorité sous le profil théorique triangulaire

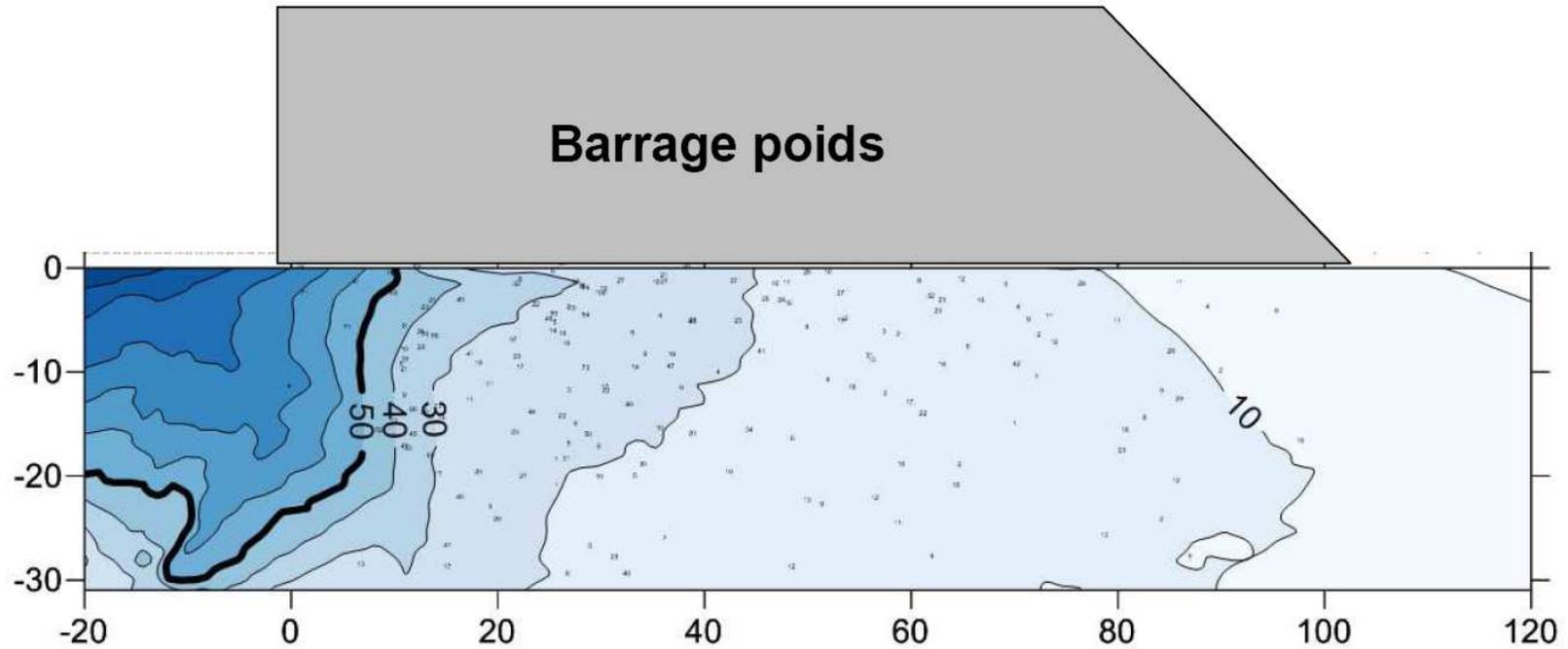
cas d'un grand barrage poids-voûte du MC : 100% charge=> 2/3 ep et rabattement total 1/3 aval

dépassements légers plutôt dans le 1/3 aval

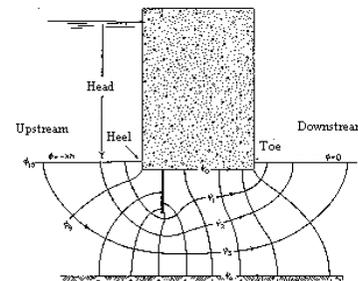
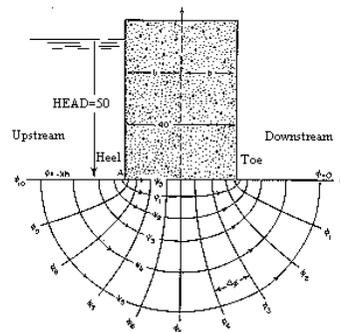
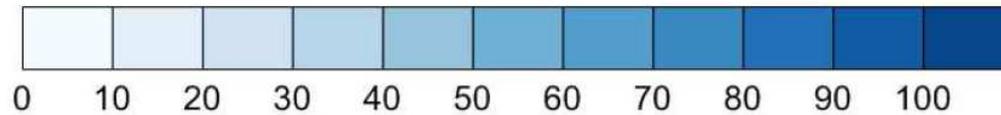
NP<0 =>PZ inférieurs pied amont ou du
niveau aval (profils en rives, galeries profondes ou puisards,...).

J SAUSSE; 31/03/2015

NIVEAUX PIEZOMETRIQUES MESURES



Equipotentielles (%)



Diapositive 8

JS3

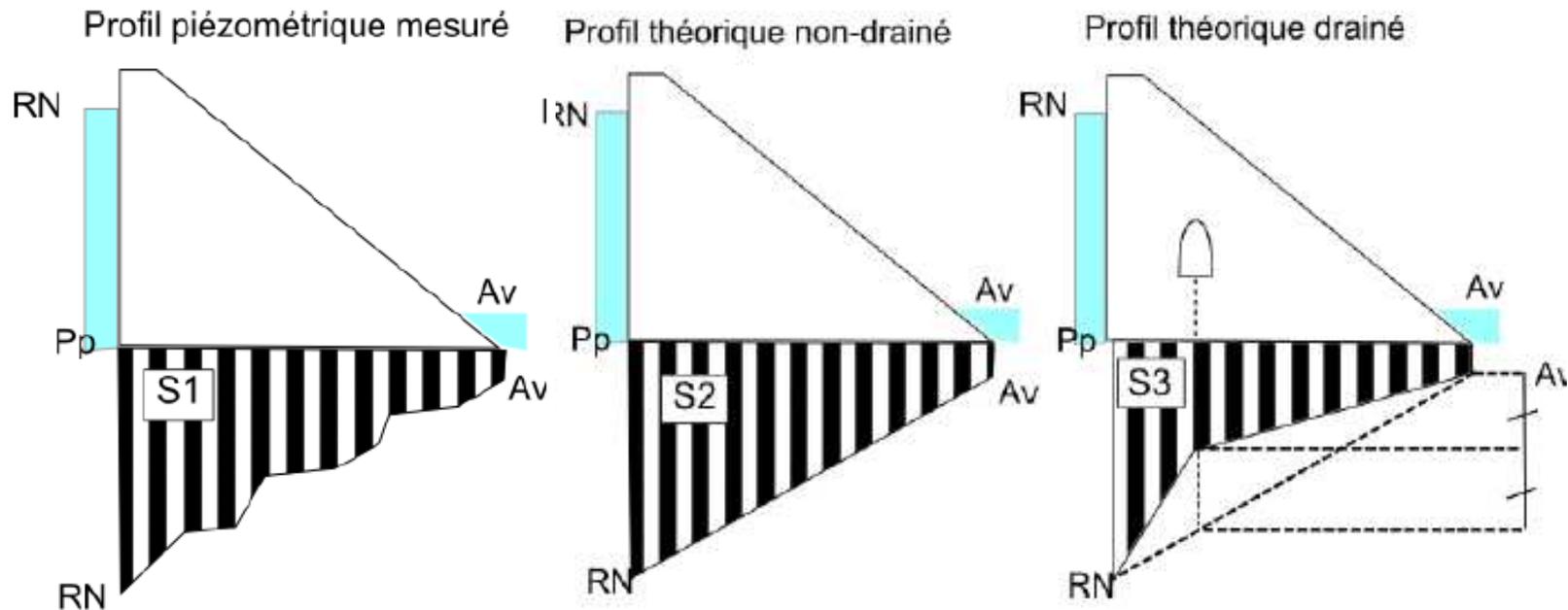
piezomètres souvent proches du contact mais certains + profonds (géologie...),
rarement implantés trop à l'amont (peu d'intérêt)

rabattement surtout dans le premier quart de l'épaisseur (en moyenne - 80% de rabattement assurés par les drains ou l'étanchéité amont)

80% d'ouvrages drainés, équipotentiels verticales resserrées à l'amont=> courants horizontaux captés par les drains à différents horizons
J SAUSSE; 31/03/2015

PROFILS PIEZOMETRIQUES

- S1 = Profil mesuré (NP à conditions id., données de 2012)
- S2 = Profil théorique trapézoïdal (non drainé)
- S3 = Profil théorique drainé (rabattement de 50%)



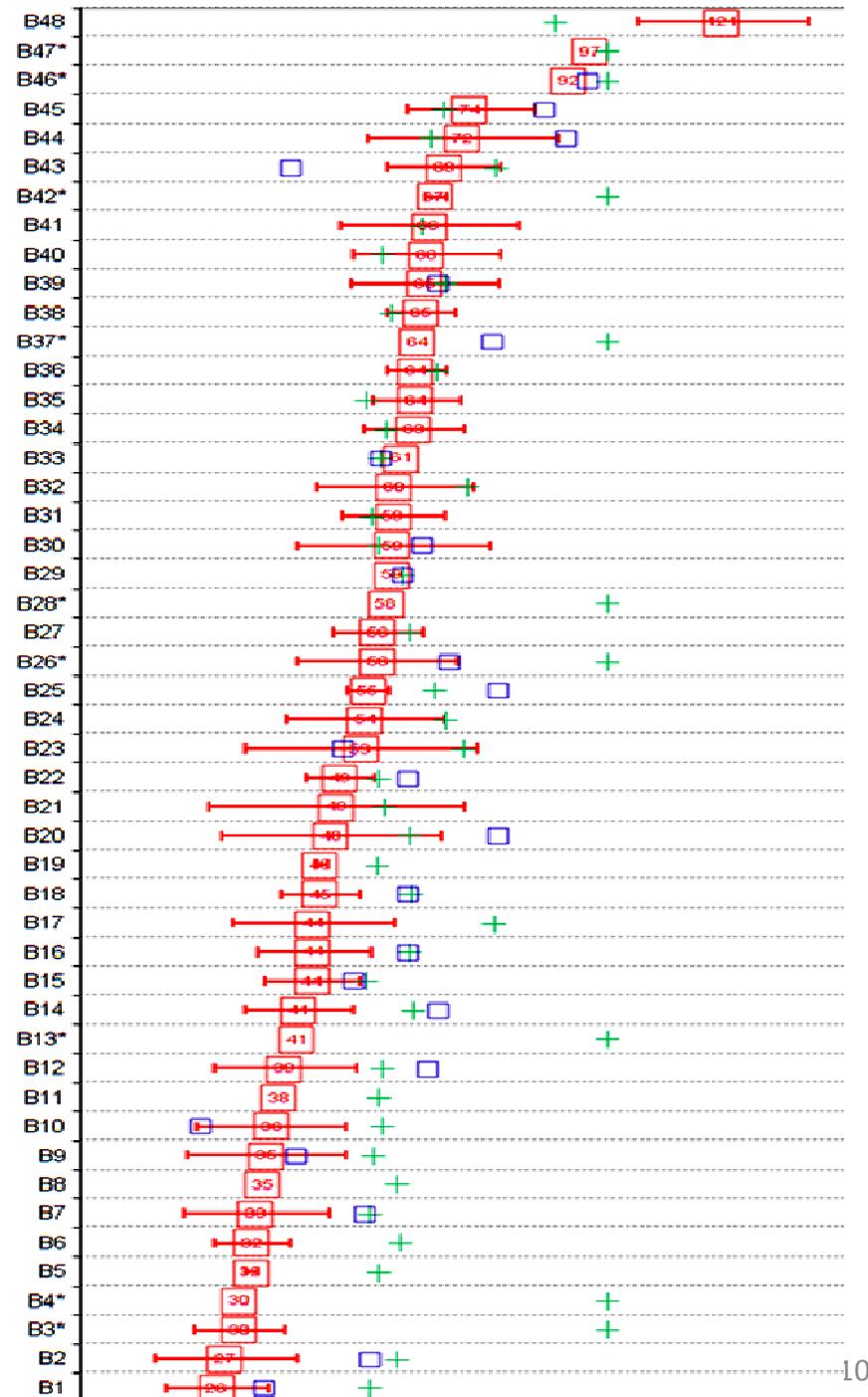
- Calcul d'un indicateur pour chaque profil : $COP = \frac{S1}{S2}$

INTERCOMPARAISONS DES SOUS-PRESSIONS

COP moyen pour
chacun des 48 barrages

JS4

□ COP moyen (%)
 + COP théo (%)
 □ COP calculé en 1994 (%)



Diapositive 10

JS4

1 dépasse 100 % (gbp du MC)

COP théoriques dépassé pour une dizaine d'ouvrages mais concernent souvent quelques profils particuliers

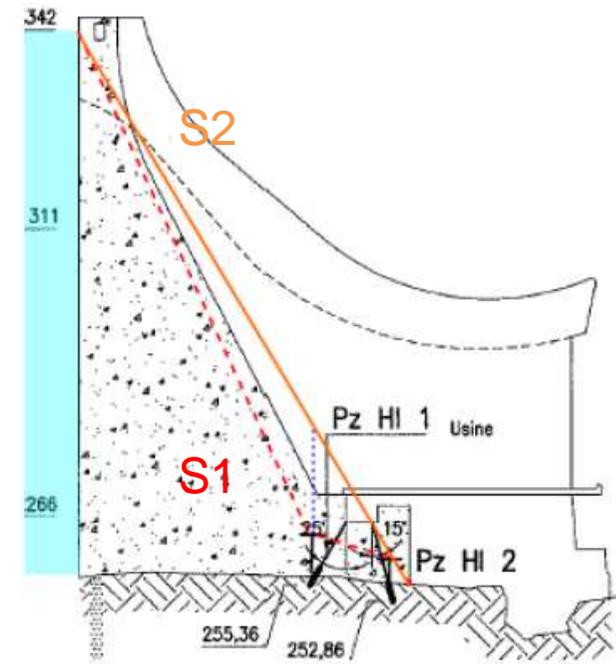
qq écart-type importants =>hétérogénéités au niveau des piézomètres (forés à l'amont du drainage, chambres +/- profondes,...), géologie ou des traitements de la fondation

* : ND => COP<100% et certains COP très faibles (géol ++)

J SAUSSE; 01/04/2015

INTERCOMPARAISONS DES SOUS-PRESSIONS

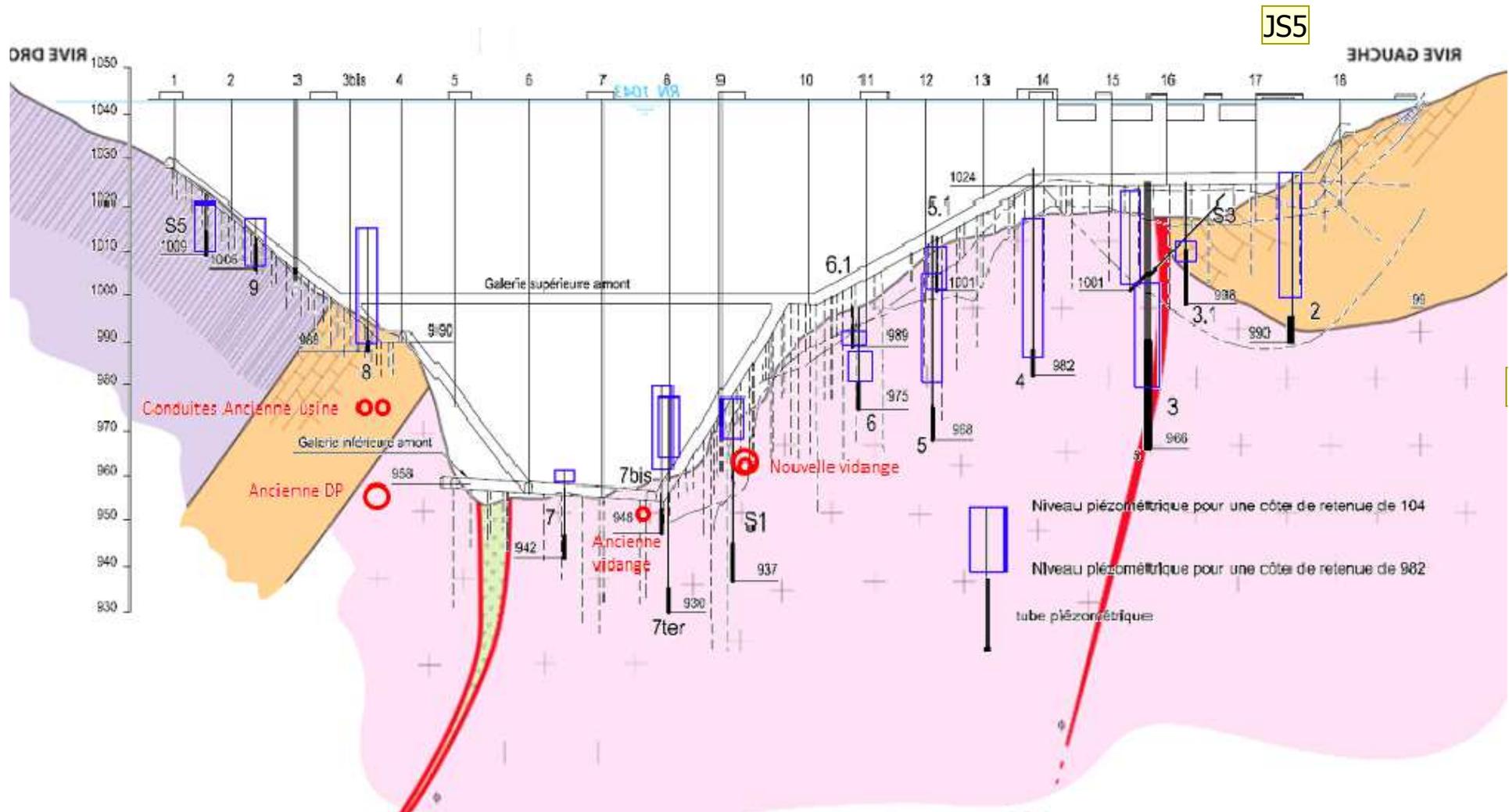
- **Tous** ont fait l'objet de **calculs de stabilité** mais qui ne tiennent pas toujours en compte des derniers NP mesurés => approche visant à identifier/prioriser leurs MAJ et des opérations de maintenance
- 15 barrages poids/voûtes ou arqués (effet voûte stabilisant)
- **Représentativité du COP discutable** lorsque le profil est déterminé à partir de peu de piézomètres ou mal situés (trop à l'aval)
- **Comparaison avec 1994** : plutôt à la baisse trx (nettoyages/ création drains) ou colmatages amont...



FACTEURS D'INFLUENCE

Efficacité de l'étanchéité

- Géologie et particularités de fondation...c'est VASTE !



Diapositive 12

JS5 caractéristiques de la géologie et à sa foliation/fracturation

profil piézométrique dépend de l'orientation et des dimensions des discontinuités => rapports de K

J SAUSSE; 30/03/2015

JS7 tapis amont créé en 1973, massif de micaschistes et gneiss fissurés, prolongé à l'amont par rideau d'injection vertical

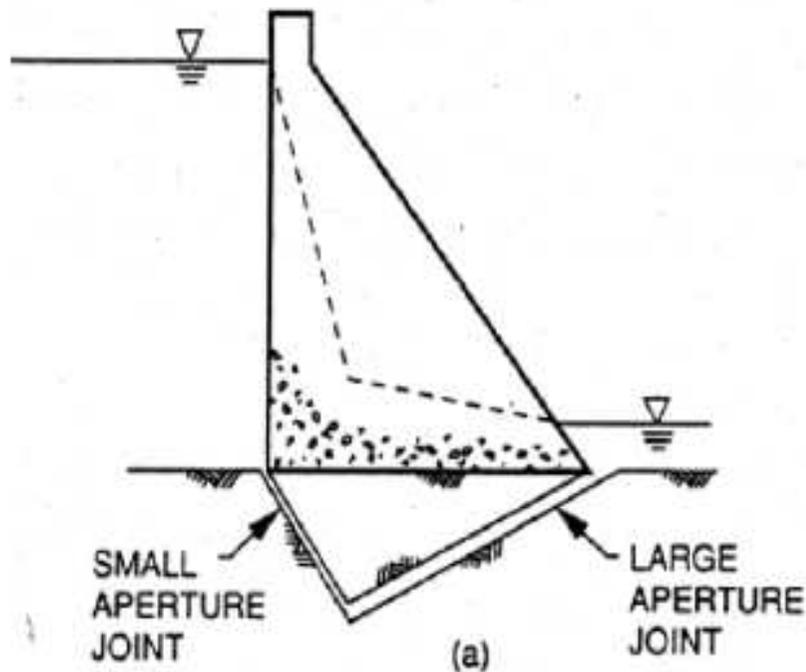
J SAUSSE; 30/03/2015

FACTEURS D'INFLUENCE

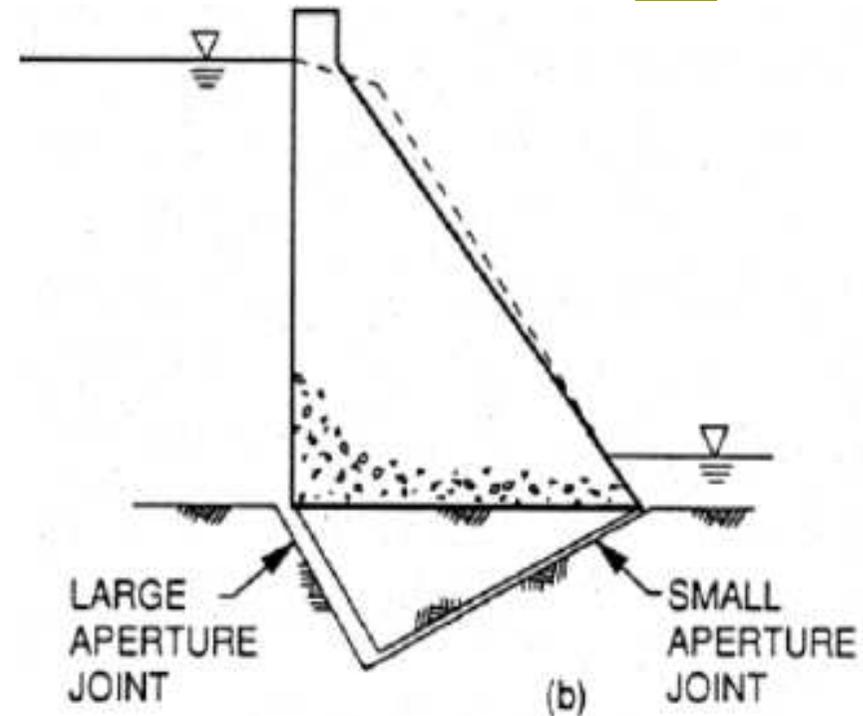
Efficacité de l'étanchéité

- **Étanchéité du rocher** de fondation (géologie/discontinuités rocheuses)
 - Profil de sous-pression dépend des rapports de K

JS17



(a) $K_{\text{amont}} < K_{\text{aval}} \rightarrow$ **FAVORABLE**



(b) $K_{\text{amont}} > K_{\text{aval}} \rightarrow$ **DEFAVORABLE**

Diapositive 13

JS17 caractéristiques de la géologie et à sa foliation/fracturation

profil piézométrique dépend de l'orientation et des dimensions des discontinuités => rapports de K

J SAUSSE; 30/03/2015

JS18 tapis amont créé en 1973, massif de micaschistes et gneiss fissurés, prolongé à l'amont par rideau d'injection vertical

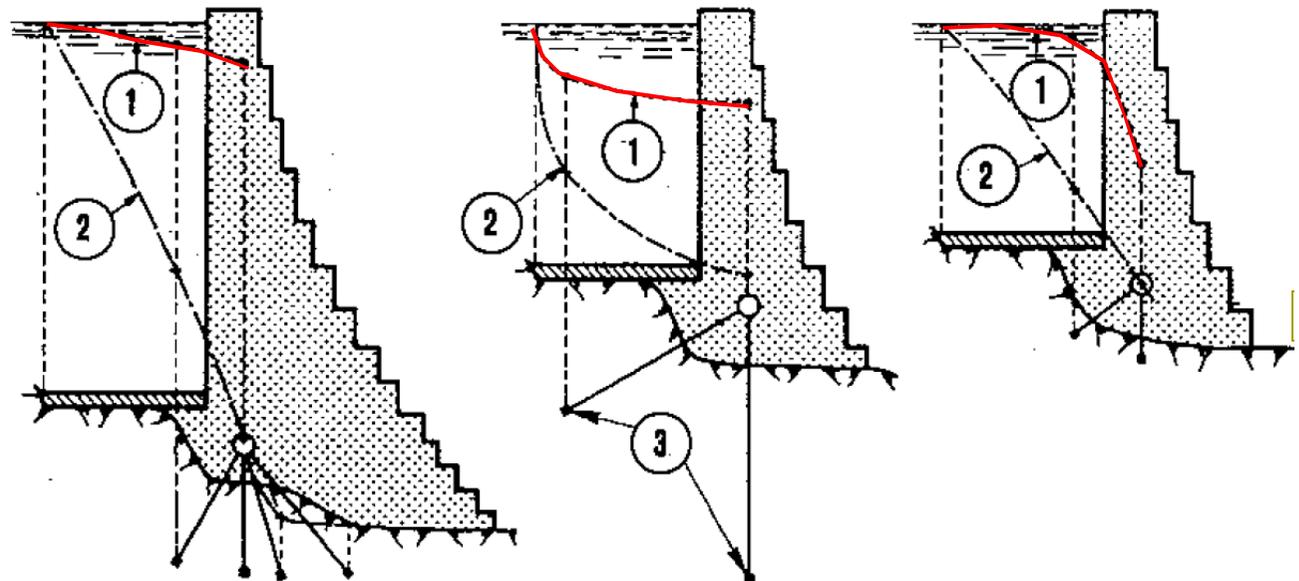
J SAUSSE; 30/03/2015

FACTEURS D'INFLUENCE

Efficacité de l'étanchéité

- **Organes d'étanchéité amont :**

- Voile d'injections,
- Rideau de palplanches,
- Parois moulées,
- Tapis amont,
- Parafouilles,
- ...



① profil piézométrique avant traitement

② profil piézométrique après traitement

Diapositive 14

JS10 caractéristiques de la géologie et à sa foliation/fracturation

profil piézométrique dépend de l'orientation et des dimensions des discontinuités => rapports de K

J SAUSSE; 30/03/2015

JS11 tapis amont créé en 1973, massif de micaschistes et gneiss fissurés, prolongé à l'amont par rideau d'injection vertical

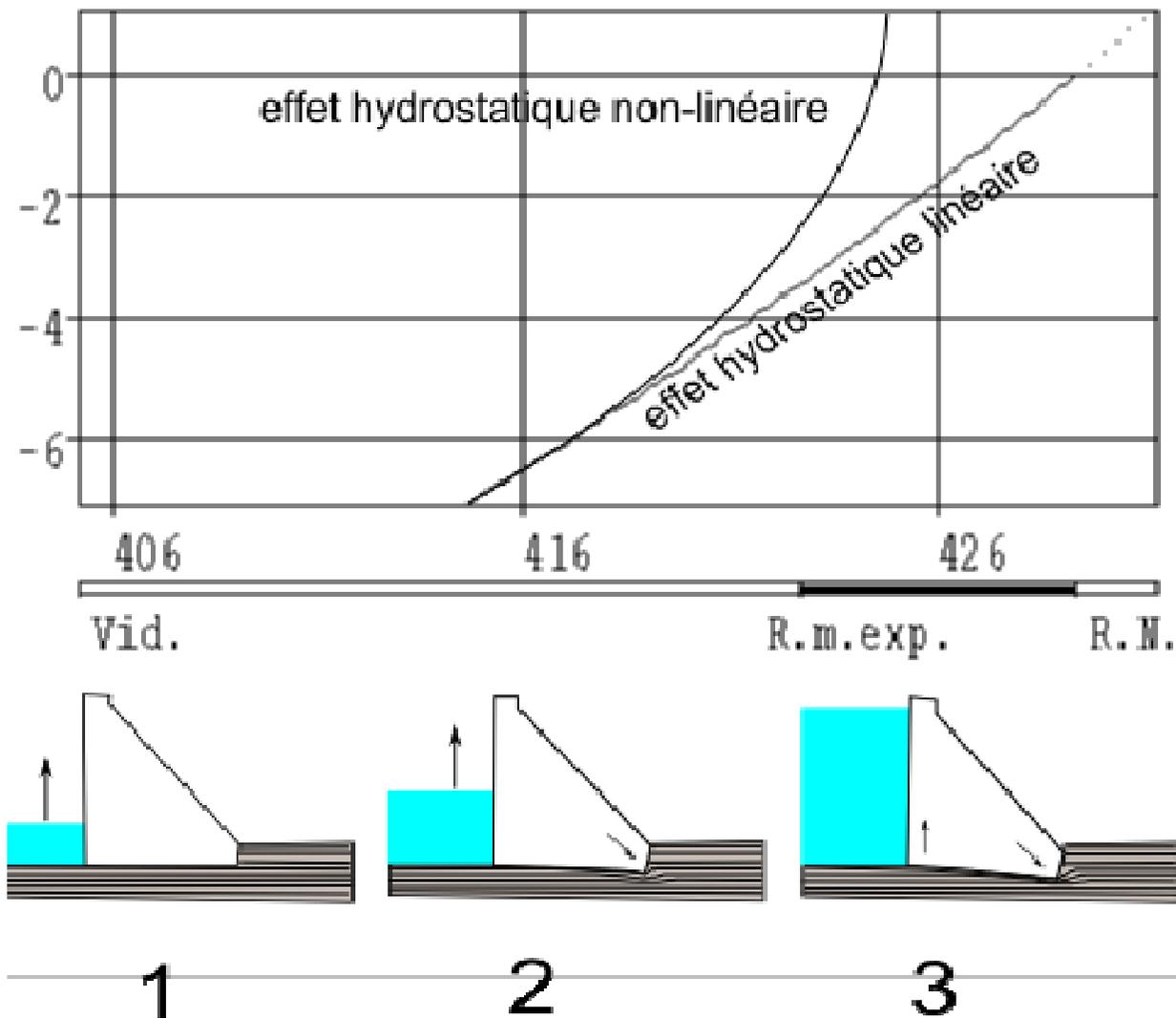
J SAUSSE; 30/03/2015

FACTEURS D'INFLUENCE

Efficacité de l'étanchéité

Effets hydro-mécaniques

JS6



Diapositive 15

JS6

remplissage de la retenue =>augmentation charge

+ action mécanique réversible de décompression du pied amont et d'une compression du pied aval

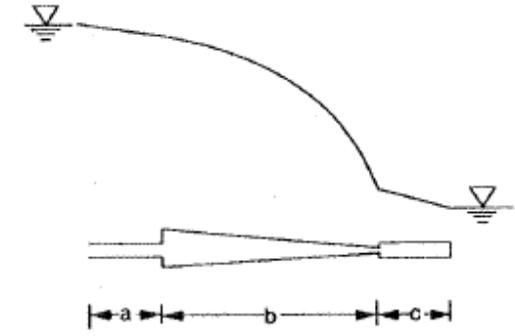
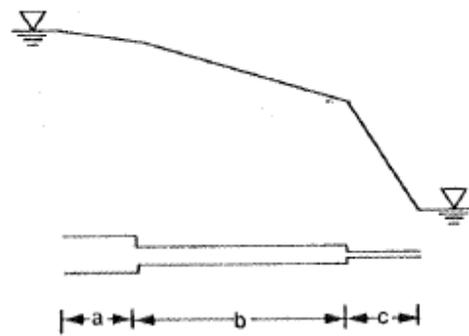
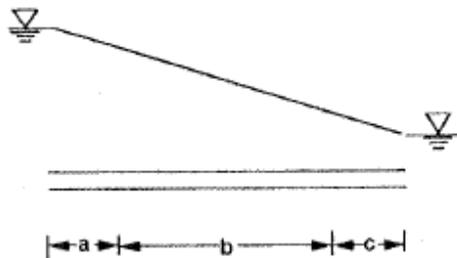
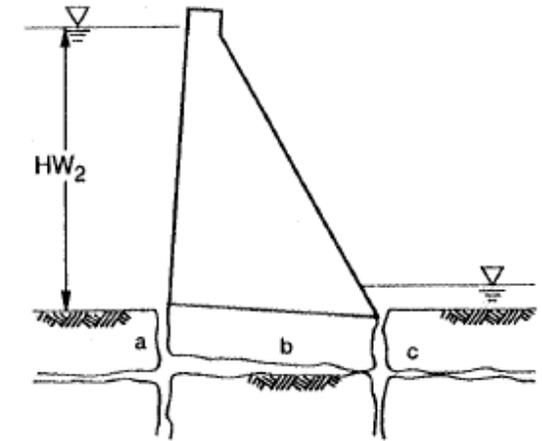
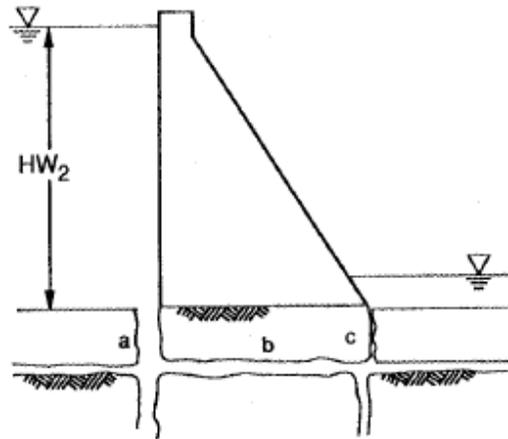
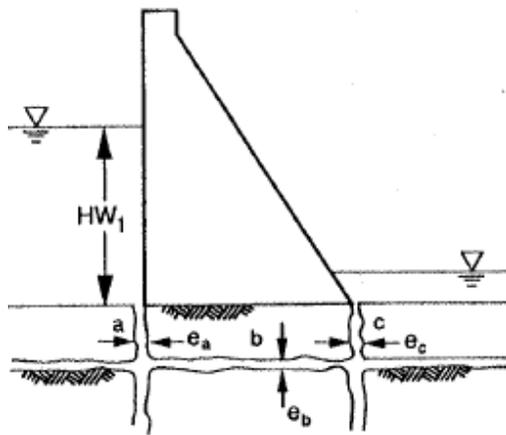
J SAUSSE; 30/03/2015

FACTEURS D'INFLUENCE

Effacité de l'étanchéité

Effets hydro-mécaniques

JS12



(a) Initial Condition

(b) Block Sliding

(c) Block Rotation

Diapositive 16

JS12

remplissage de la retenue =>augmentation charge

+ action mécanique réversible de décompression du pied amont et d'une compression du pied aval

J SAUSSE; 30/03/2015

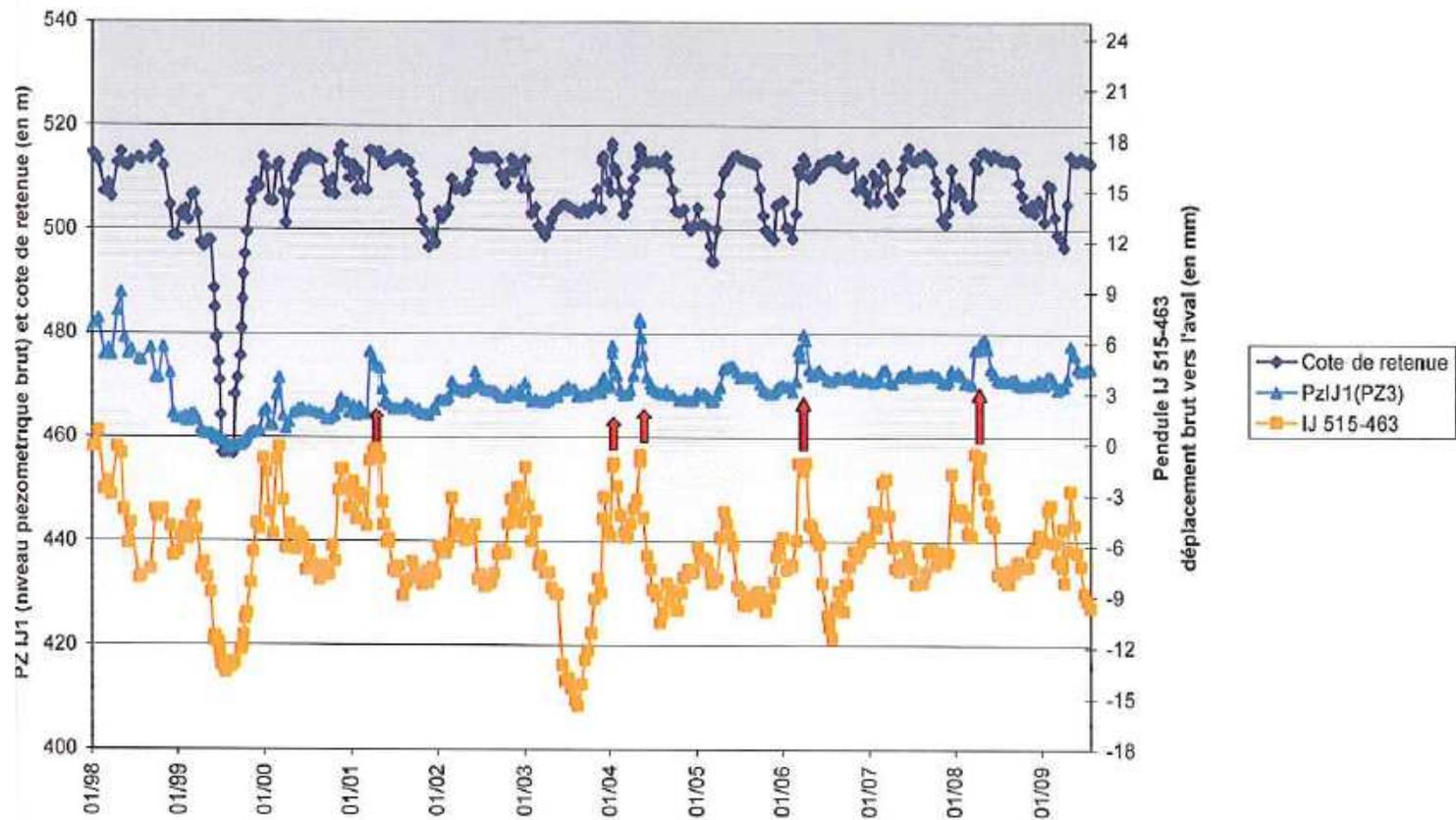
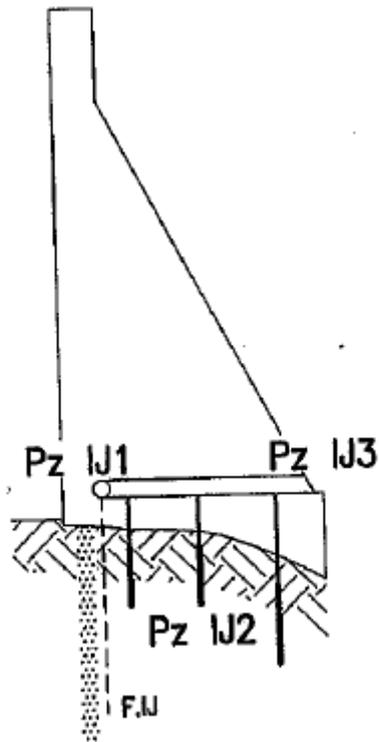
FACTEURS D'INFLUENCE

Efficacité de l'étanchéité

Effets hydro-mécaniques

JS13

Influence du positionnement de l'ouvrage sur la piézométrie sous la partie amont des plots



Diapositive 17

JS13

remplissage de la retenue =>augmentation charge

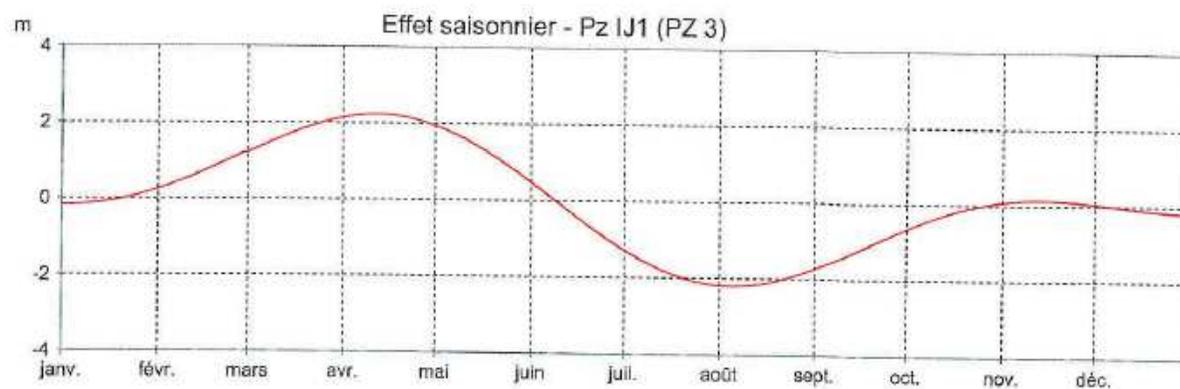
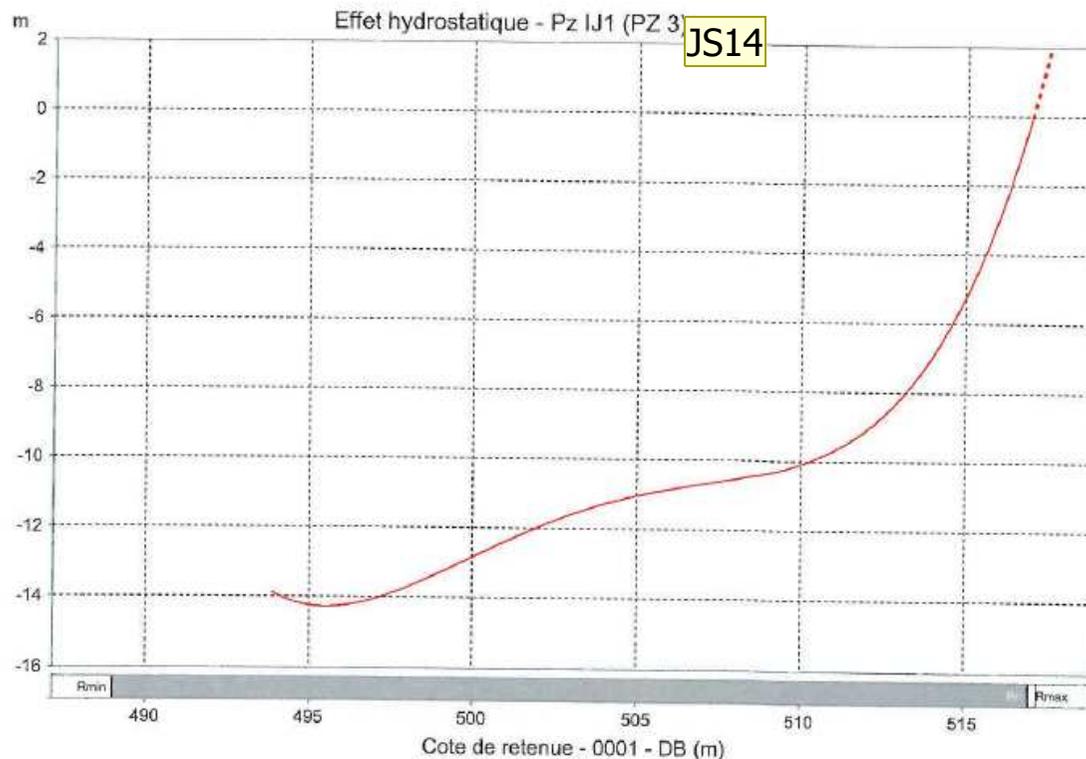
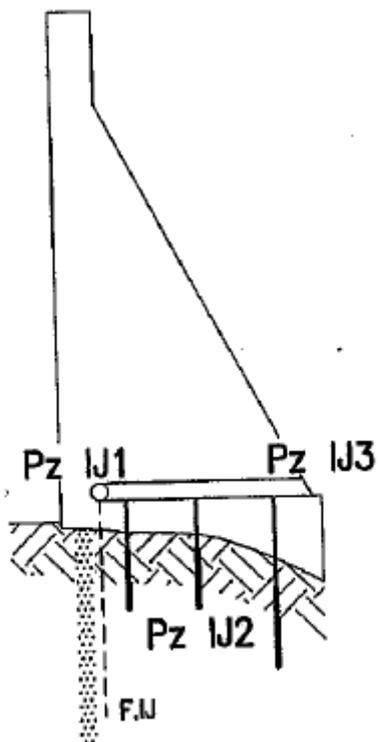
+ action mécanique réversible de décompression du pied amont et d'une compression du pied aval

J SAUSSE; 30/03/2015

FACTEURS D'INFLUENCE

Efficacité de l'étanchéité

Effets hydro-mécaniques



Diapositive 18

JS14

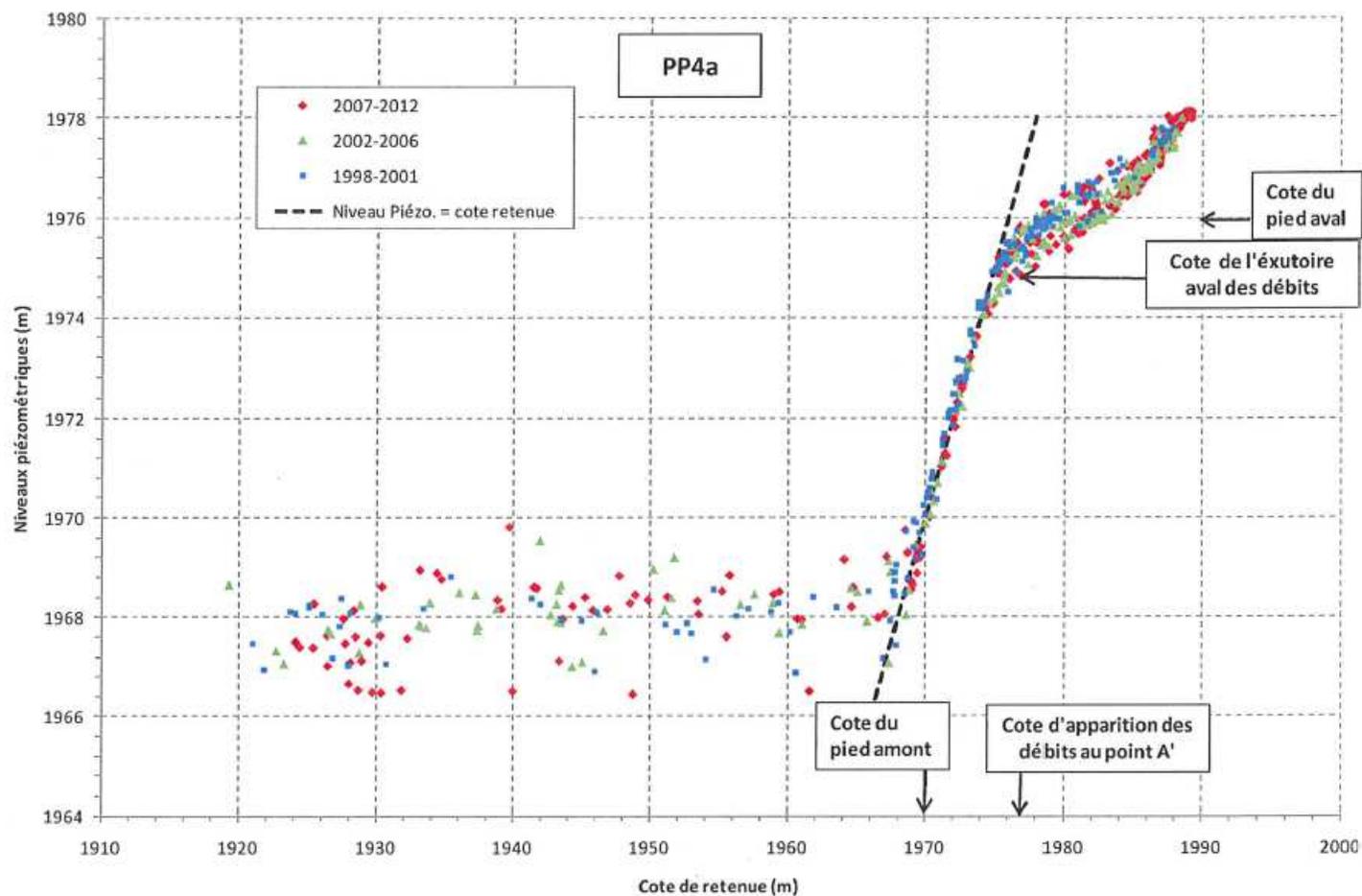
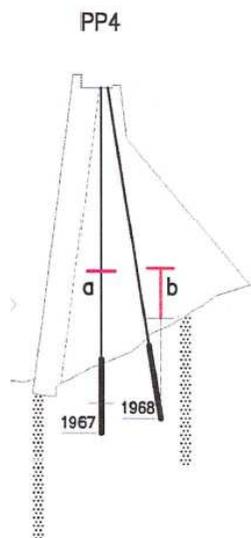
remplissage de la retenue =>augmentation charge

+ action mécanique réversible de décompression du pied amont et d'une compression du pied aval

J SAUSSE; 30/03/2015

FACTEURS D'INFLUENCE

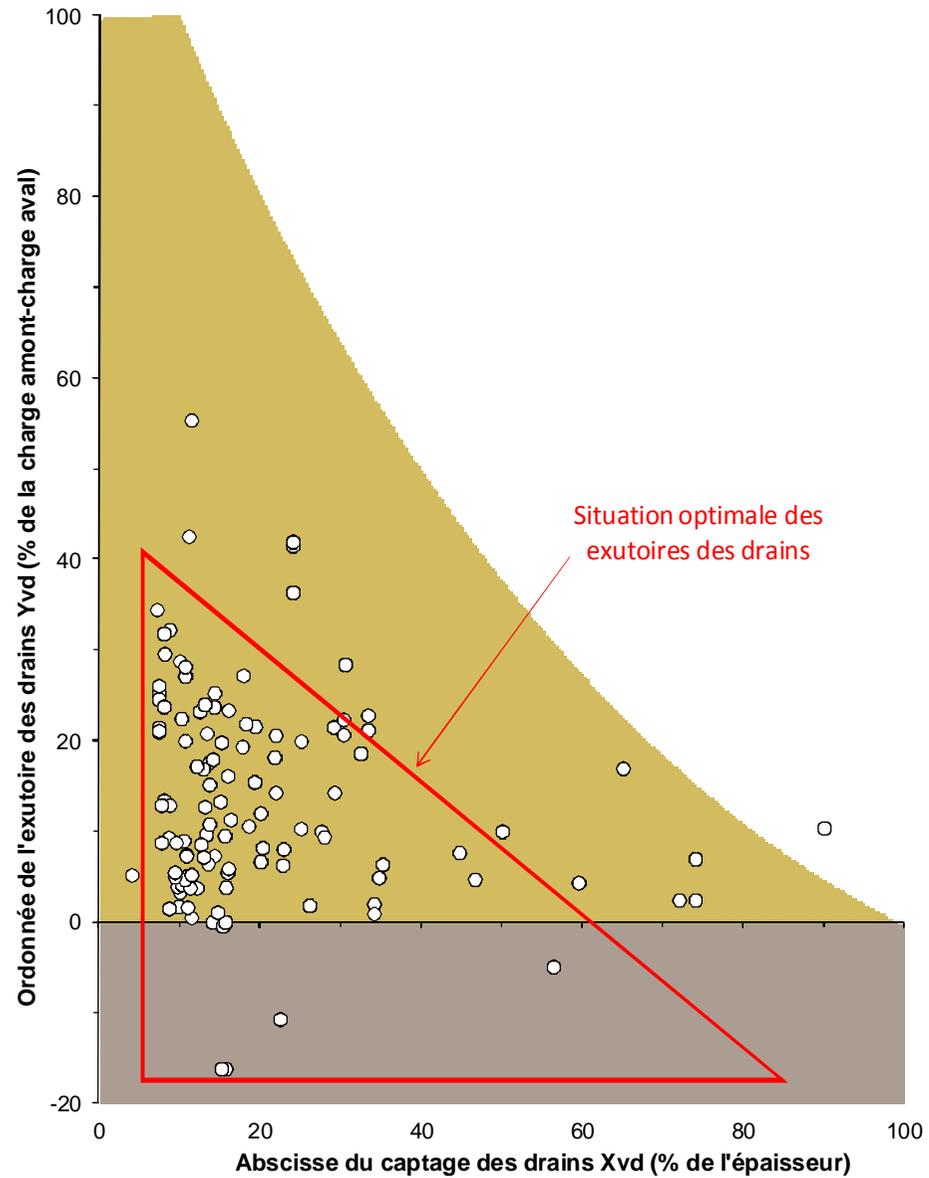
Effet du drainage naturel et des versants



FACTEURS D'INFLUENCE

Efficacité du drainage

Efficacité intrinsèque



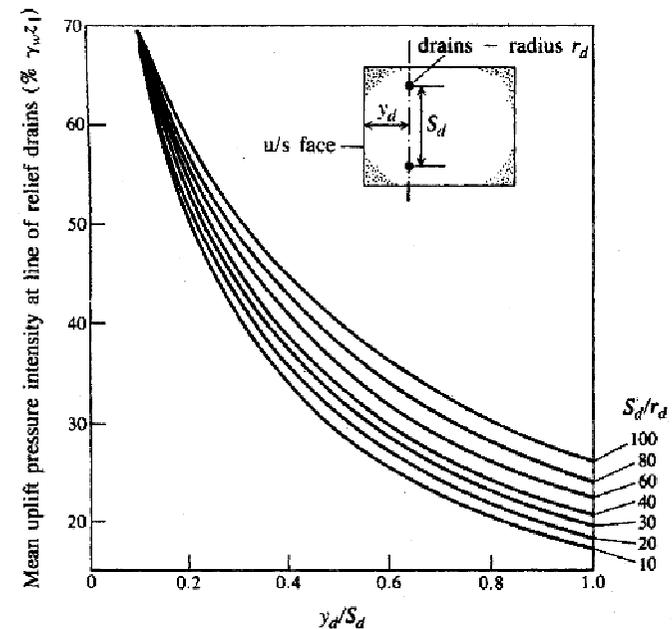
Positionnement de l'exutoire des drains

FACTEURS D'INFLUENCE

Efficacité du drainage

Efficacité intrinsèque

- Orientation et profondeur des forages vs pendage/géologie et rideau d'étanchéité amont
- Nombre, diamètre et espacement des drains

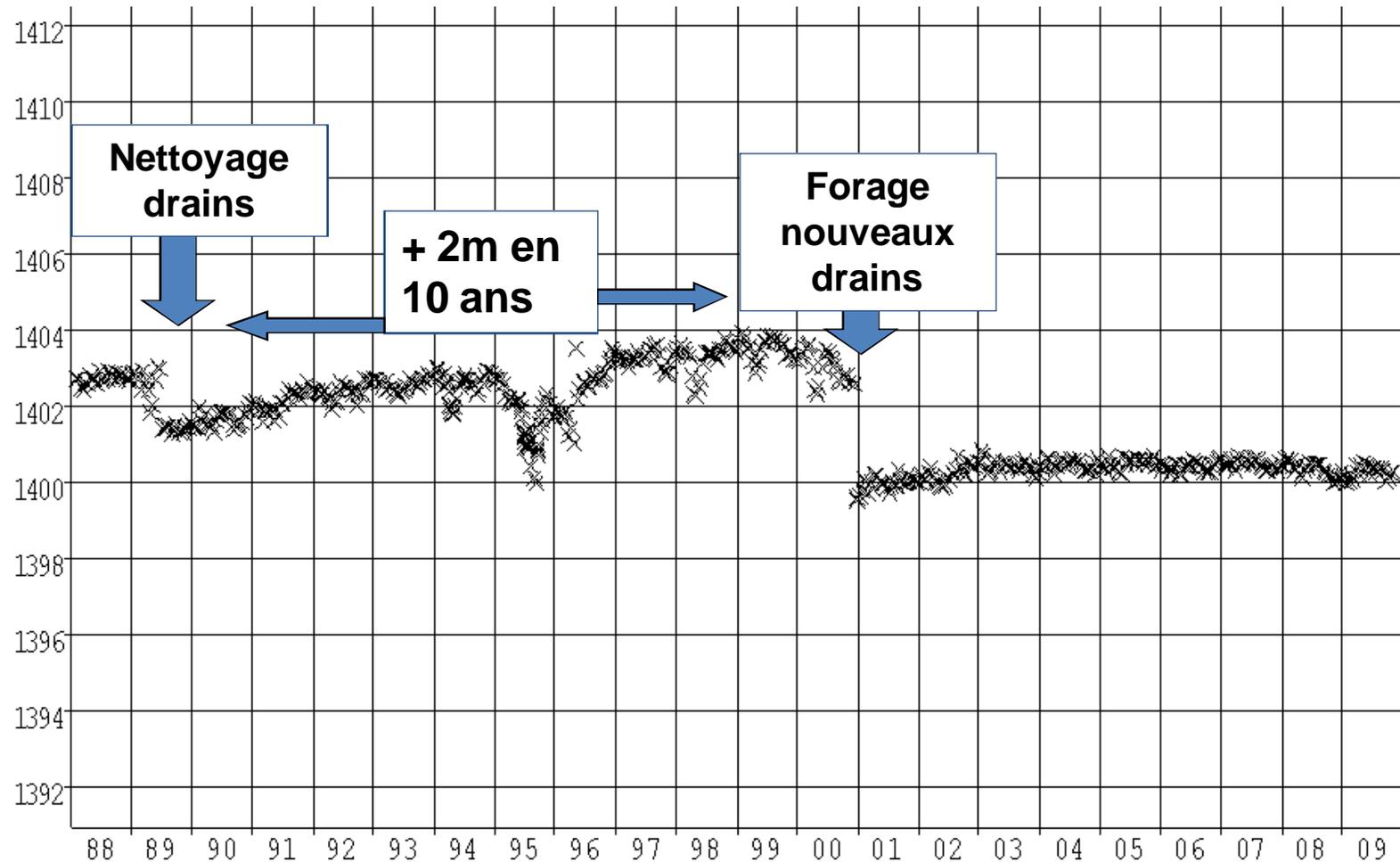


EVOLUTIONS IRREVERSIBLES

	Piézométrie ↘ ou =	Piézométrie ↗
Débit Drainage ↘	Amélioration de l'étanchéité (colmatage amont) FAVORABLE	Colmatage des drains DEFAVORABLE
Débit Drainage ↗	Perte d'étanchéité contrôlée par les drains ACCEPTABLE	Perte d'étanchéité non- contrôlée par les drains DEFAVORABLE

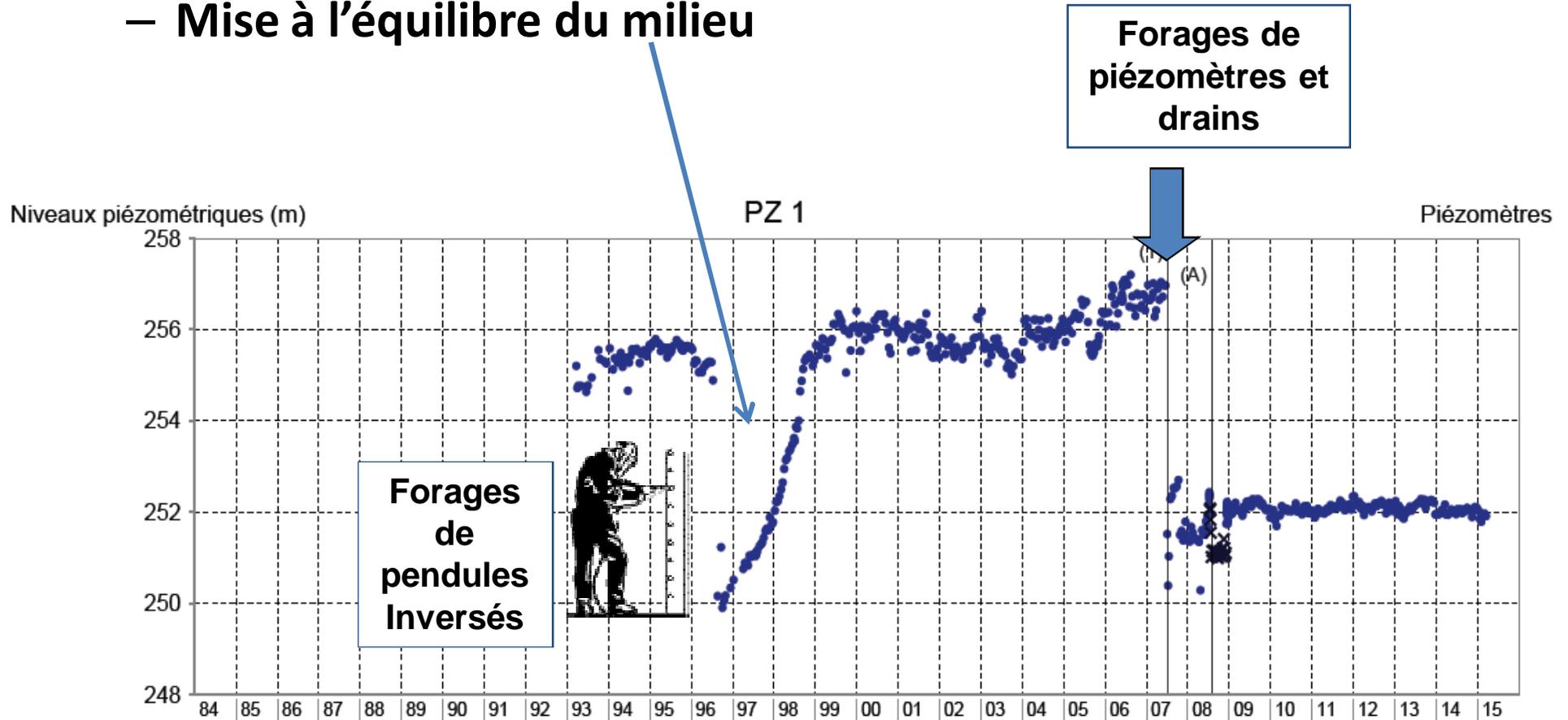
EVOLUTIONS IRREVERSIBLES

- Evolutions Piézométriques irréversibles à la HAUSSE :
 - Colmatage des drains, CAS LE + COURANT



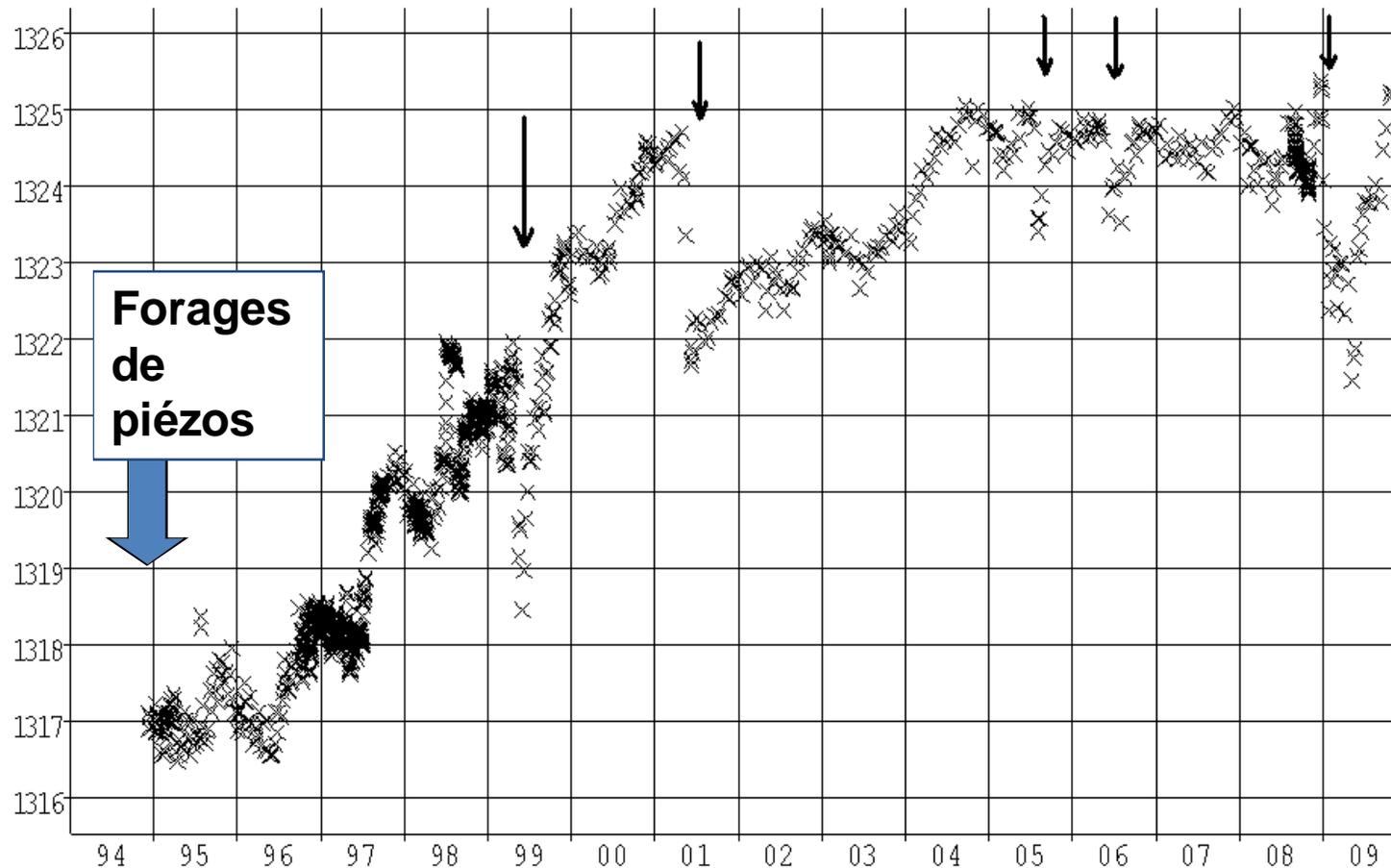
EVOLUTIONS IRREVERSIBLES

- Evolutions Piézométriques irréversibles à la HAUSSE :
 - Mise à l'équilibre du milieu



EVOLUTIONS IRREVERSIBLES

- Evolutions Piézométriques irréversibles à la HAUSSE :
 - Colmatage/dé-colmatages des drains
 - Mise à l'équilibre du milieu



EVOLUTIONS IRREVERSIBLES

- Colmatages partiels/réversibles par boues rouges



EVOLUTIONS IRREVERSIBLES

- Colmatages par formation de calcite



EVOLUTIONS IRREVERSIBLES

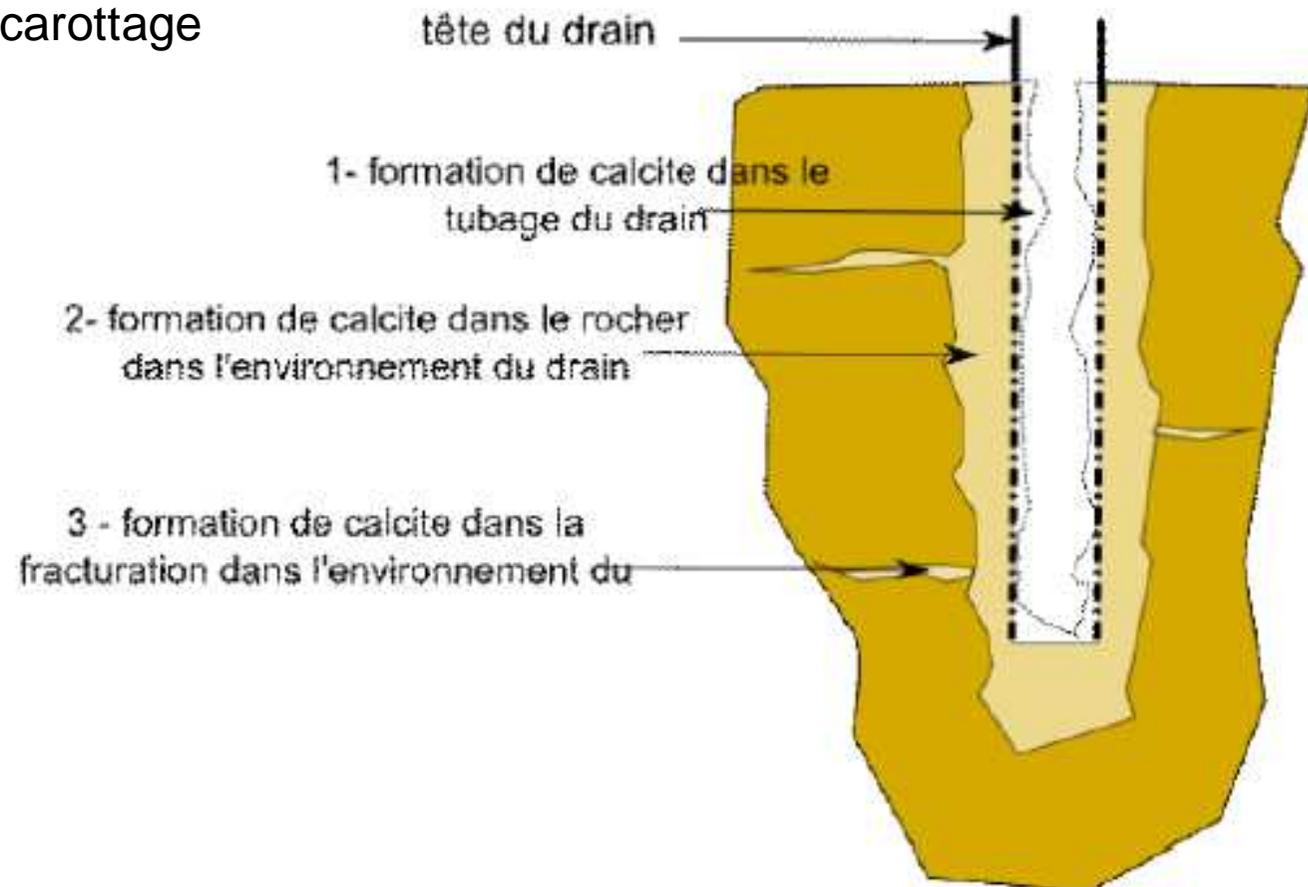
- Etat des drains vérifiée par endoscopie



EVOLUTIONS IRREVERSIBLES

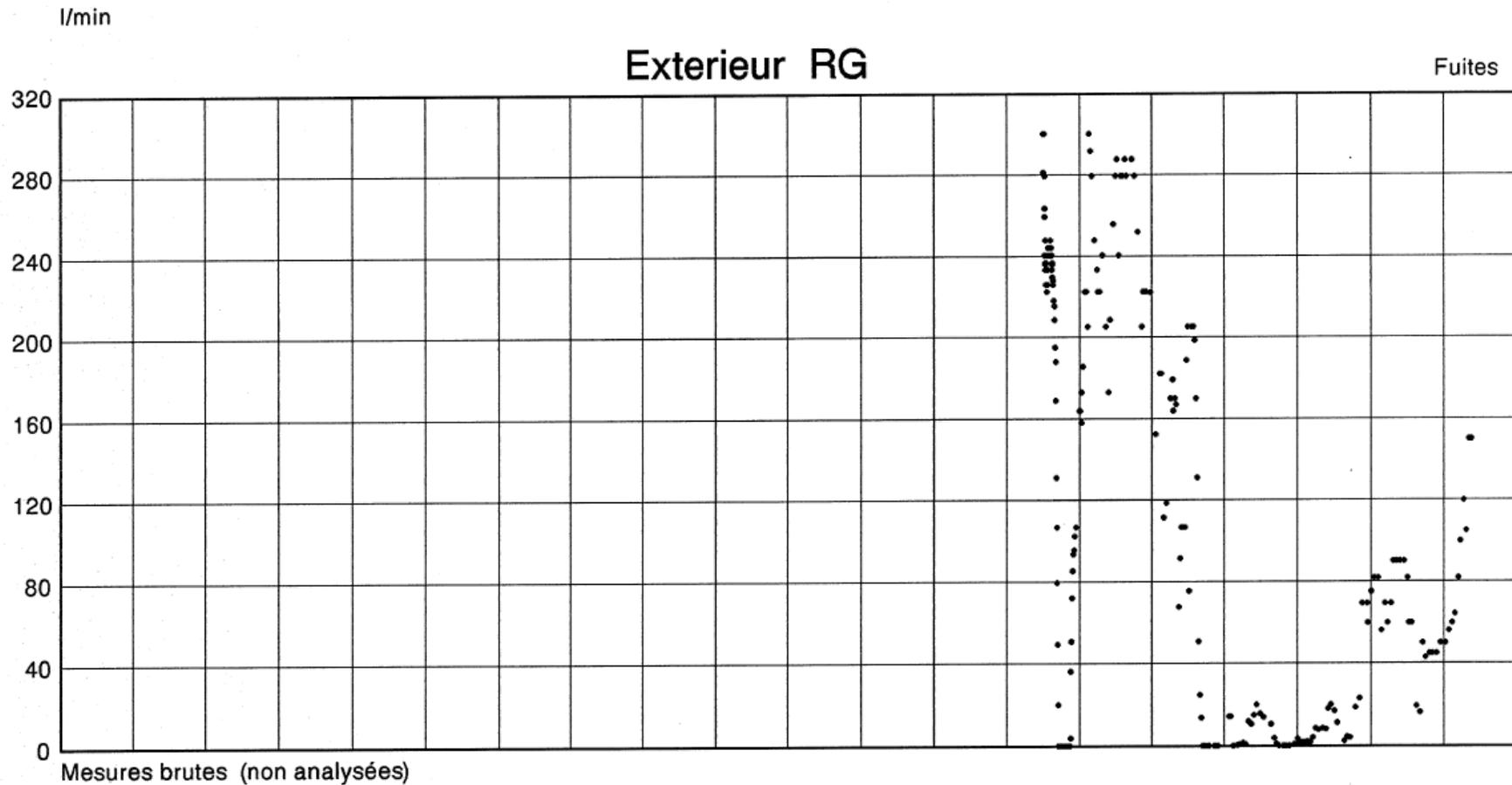
Travaux de nettoyage : efficacité mitigée : baisse moins spectaculaire et moins durable que le forage de nouveaux drains ou sur-carottage

Schéma de principe d'un drainage de fondation avec formation de calcite





Nettoyages à très haute pression ou essais Lugeon => claquages possibles

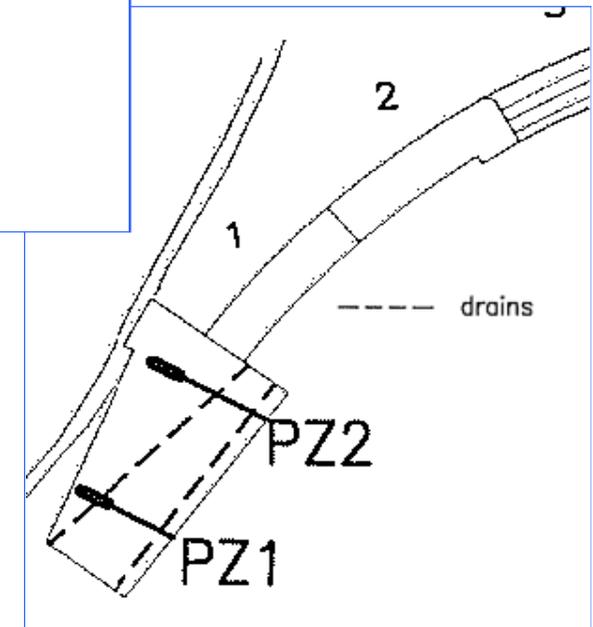
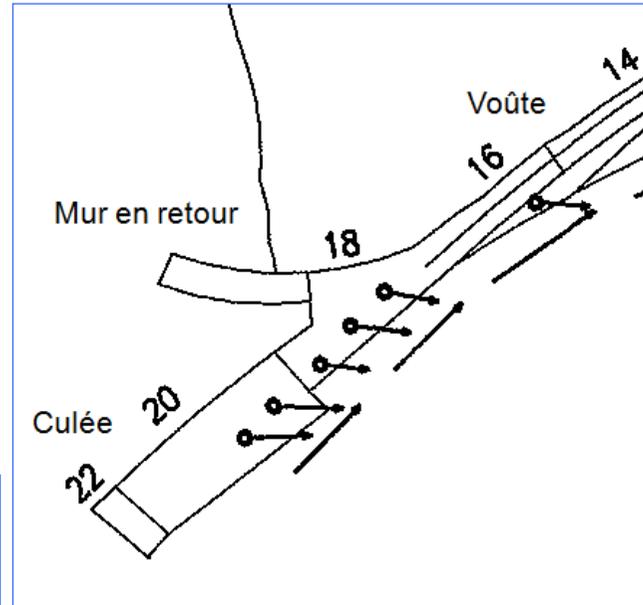


LES CULEES POIDS...

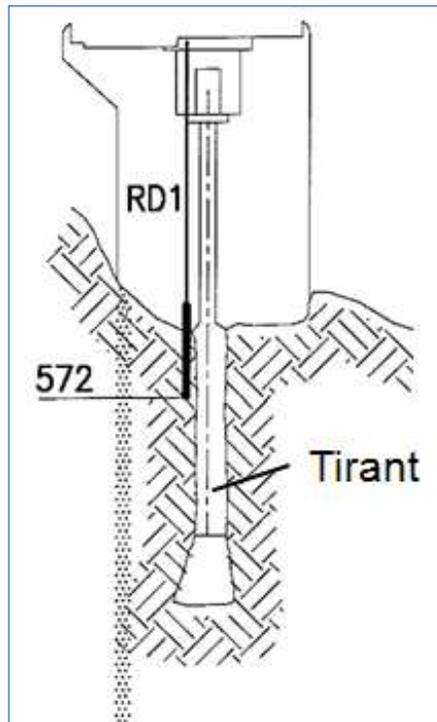
Piézométrie sous les culées

- 11 culées drainées sur 37
- 6 instrumentées (niveaux satisfaisants)

- Murs en retour



- Tirant



MERCI