



cetmef



Le Perméafor, Outil de diagnostic des ouvrages hydrauliques en terre

CETE Normandie Centre – LR Blois
PCI Connaissance des ouvrages hydrauliques
et de la morphodynamique fluviale
ERA Dignes et Ouvrages Fluviaux



**Club des Gestionnaires
des levées et du lit du
bassin de la Loire**

Orléans, 22 novembre 2012



Centre d'Études
Techniques de
l'Équipement
Normandie Centre



Plan de la présentation

cetmef



- I. Constat & problématique : mesure de la perméabilité en place
- II. Le Perméafor :
 - a) principe de l'appareillage
 - b) Exemples de mesures
- III. Les développements en cours : Perméamètre VH
- IV. Perspectives





Mesure de la perméabilité - Constat

cetmef



- Le comportement hydraulique conditionne la stabilité de l'ouvrage;
- La perméabilité est une grandeur indispensable pour la compréhension des phénomènes hydrauliques;





Mesure de la perméabilité - Constat

cetmef



- Le comportement hydraulique conditionne la stabilité de l'ouvrage;
- La perméabilité est une grandeur indispensable pour la compréhension des phénomènes hydrauliques;
- La réalisation de la mesure in-situ est complexe ...
 - ✓ nécessite un préforage (problème de tenue de la paroi dans les terrains sablo-graveleux sous nappe);
 - ✓ isolation de la zone d'infiltration (packers, ...);
 - ✓ stabilité de la zone d'infiltration (tubage crépiné, ...);
 - ✓ maîtrise de la géométrie de la zone d'infiltration.





Mesure de la perméabilité - Constat

cetmef



- Le comportement hydraulique conditionne la stabilité de l'ouvrage;
- La perméabilité est une grandeur indispensable pour la compréhension des phénomènes hydrauliques;
- La réalisation de la mesure in-situ est complexe ...
 - ✓ nécessite un préforage (problème de tenue de la paroi dans les terrains sablo-graveleux sous nappe);
 - ✓ isolation de la zone d'infiltration (packers, ...);
 - ✓ stabilité de la zone d'infiltration (tubage crépiné, ...);
 - ✓ maîtrise de la géométrie de la zone d'infiltration.
- ... Autant que son interprétation :
 - ✓ Importance de l'anisotropie de perméabilité;
 - ✓ Différence de volume représentatif entre les essais.





Mesure de la perméabilité - Constat

cetmef



- Le comportement hydraulique conditionne la stabilité de l'ouvrage;
- La perméabilité est une grandeur indispensable pour la compréhension des phénomènes hydrauliques;
- La réalisation de la mesure in-situ est complexe ...
 - ✓ nécessite un préforage (problème de tenue de la paroi dans les terrains sablo-graveleux sous nappe);
 - ✓ isolation de la zone d'infiltration (packers, ...);
 - ✓ stabilité de la zone d'infiltration (tubage crépiné, ...);
 - ✓ maîtrise de la géométrie de la zone d'infiltration.
- ... Autant que son interprétation :
 - ✓ Importance de l'anisotropie de perméabilité;
 - ✓ Différence de volume représentatif entre les essais.
- Le cout et la durée des essais sont élevés.



Centre d'Études
Techniques de
l'Équipement
Normandie Centre



Mesure de la perméabilité - Constat

- Le comportement hydraulique conditionne la stabilité de l'ouvrage;
- La perméabilité est une grandeur indispensable pour la compréhension des phénomènes hydrauliques;
- La réalisation de la mesure in-situ est complexe ...
 - ✓ nécessite un préforage (problème de tenue de la paroi dans les terrains sablo-graveleux sous nappe);
 - ✓ isolation de la zone d'infiltration (packers, ...);
 - ✓ stabilité de la zone d'infiltration (tubage crépiné, ...);
 - ✓ maîtrise de la géométrie de la zone d'infiltration.
- ... Autant que son interprétation :
 - ✓ Importance de l'anisotropie de perméabilité;
 - ✓ Différence de volume représentatif entre les essais.
- Le cout et la durée des essais sont élevés.



Besoin de méthodes de reconnaissance de la perméabilité « en continue » (qualitative ou quantitative) sur toute la hauteur de la digue et son support

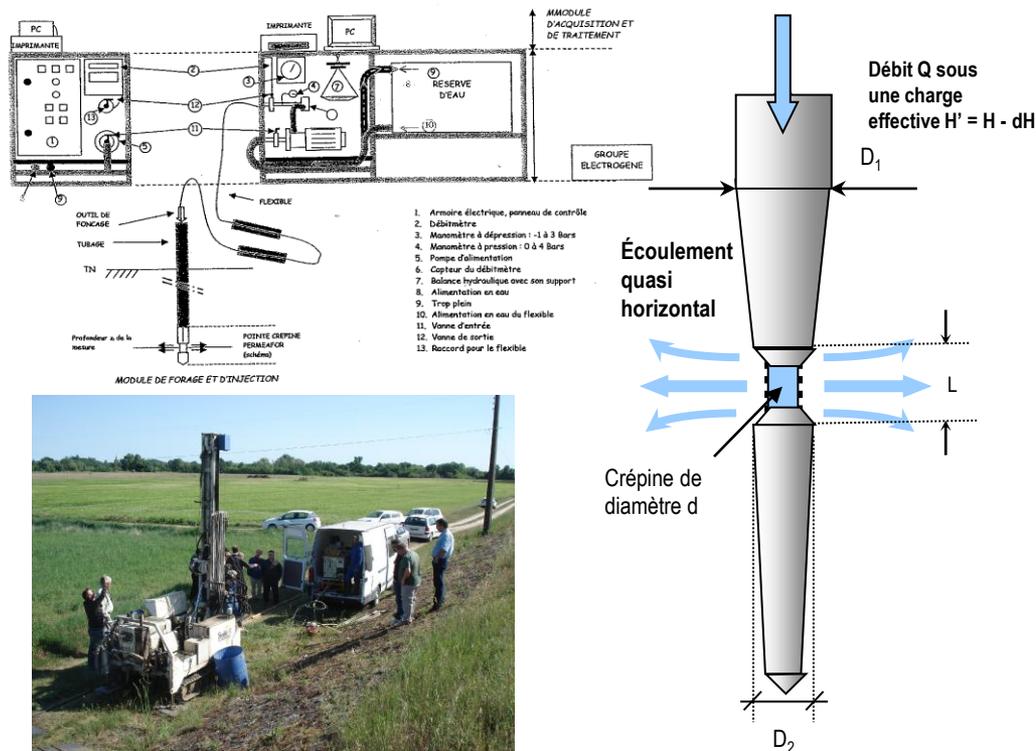
cetmef





Un outil existant et unique en France : le Perméafor

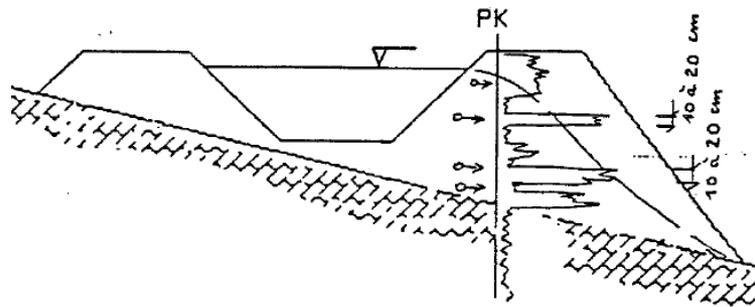
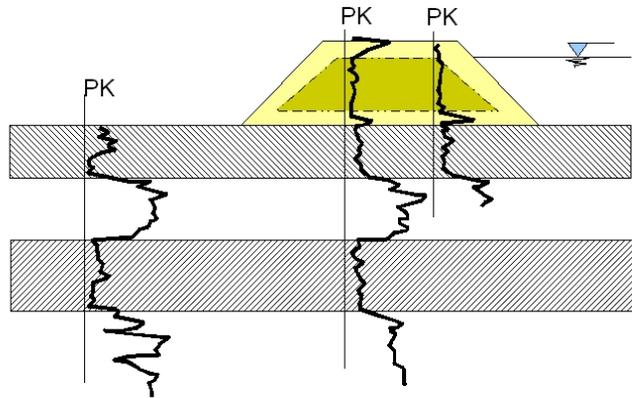
- Mis au point au début des années 80, (LRPC de Strasbourg - M Ursat)
- Appareillage permettant la mesure en continue du débit injecté Q , à charge constante H , au travers d'une crépine foncée dans le sol, sans utilisation d'obturateurs.





Outil de diagnostic des digues, barrages...

cetmef



- Mesure en continue de la « perméabilité » des sols
- Analyse qualitative de la variation de perméabilité ($k = \alpha Q/H'$)
- Analyse qualitative de la résistance à l'enfoncement du sol
- Repérage :
 - de couche + perméables,
 - de fuites
- Rendement : 40 ml/jour





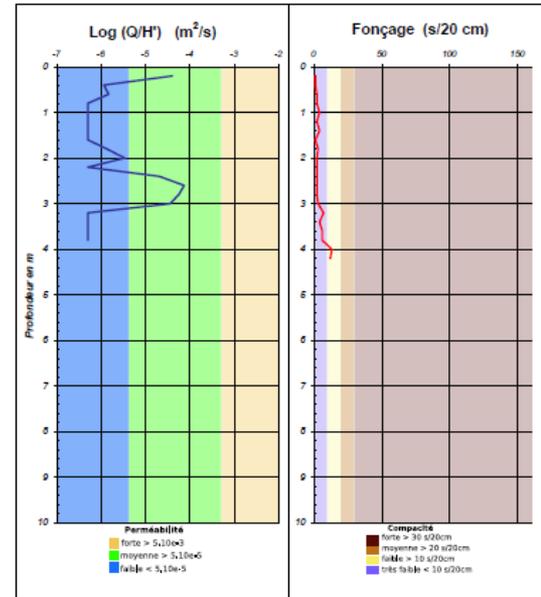
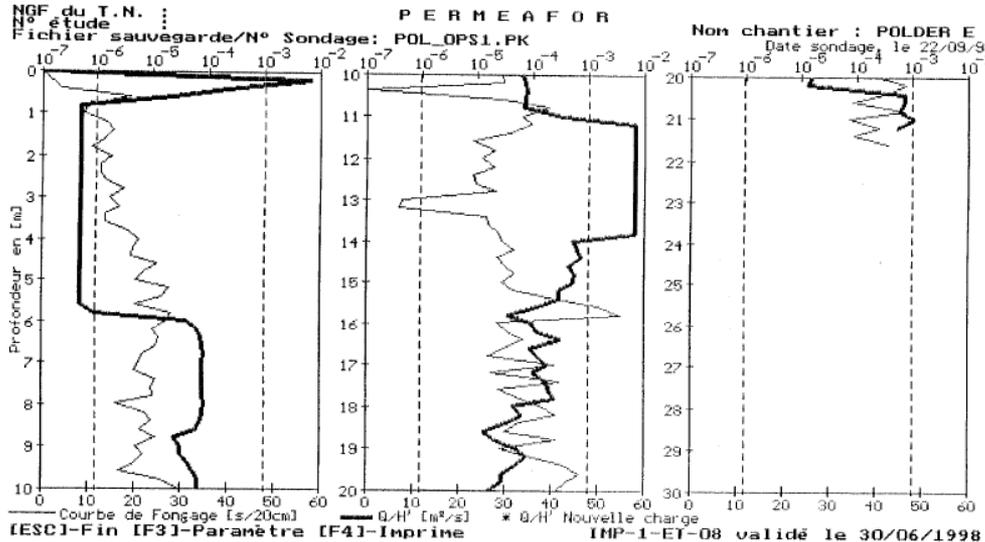
Résultats des mesures Perméafor

cetmef



PROCES VERBAL
SONDAGE PERMEA FOR

AFFAIRE	12845.0 - DOFEAS	SONDAGE	Pk 220	C	
CHANTIER	Bief de Brévaux	SONDEUR	LK - MT - RC - GC	F	
DEMANDEUR		Niveau/nappe		Z	
DATE	13 avril 2011	Profondeur	4,20 m	Ech.	1/100



- Mesure en continue de Q/H' (m^2/s) : essais d'injection tous les 20cm
- Mesure de la courbe de fongage (s/20cm)...résistance du sol





Utilisation et développement dans le cadre de DOFEAS (projet 11R103.11)

cetmef



- Récupération au LR Blois du dispositif (fin 2010)
- Mesures sur les sites pilotes ayant subi des brèches par érosion interne (2010/2011)
 - Dignes de canaux :
 - Canal du Nord à Moeuvres
 - Canal de Briare à Montcresson
 - Canal de Roanne à Digoin : Briennon
 - **Dignes sèches : levées de Loire : Bou (45), sites des chantiers expérimentaux**





Axe B-1 de DOFEAS : résultats de mesures sur des sites pilotes : Levée de Loire à Bou (45)

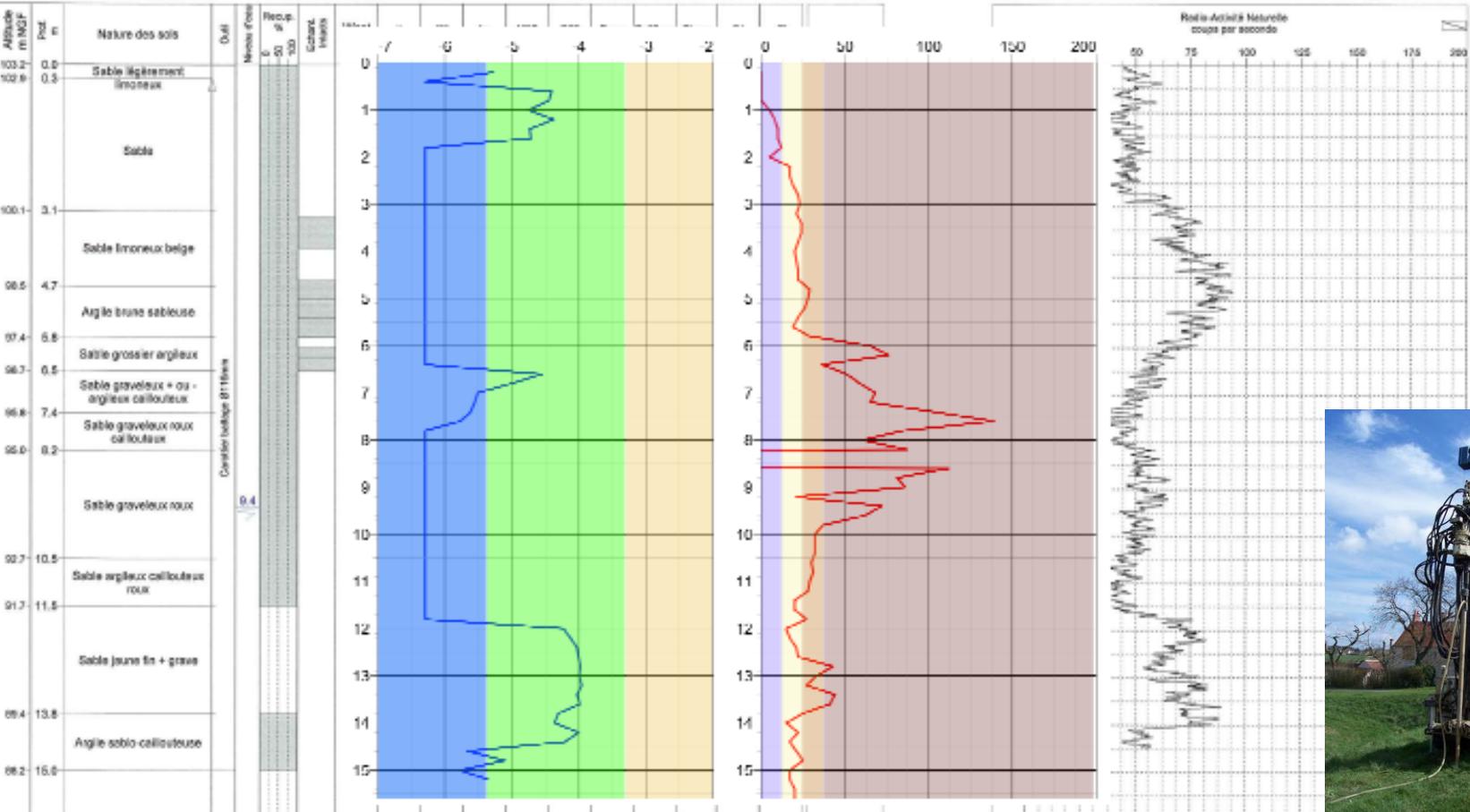


LABORATOIRE REGIONAL
DES PONTS ET CHAUSSEES
DE BLOIS
Groupe
Environnement & Risques

SONDAGE CAROTTE

RADIOACTIVITE NATURELLE

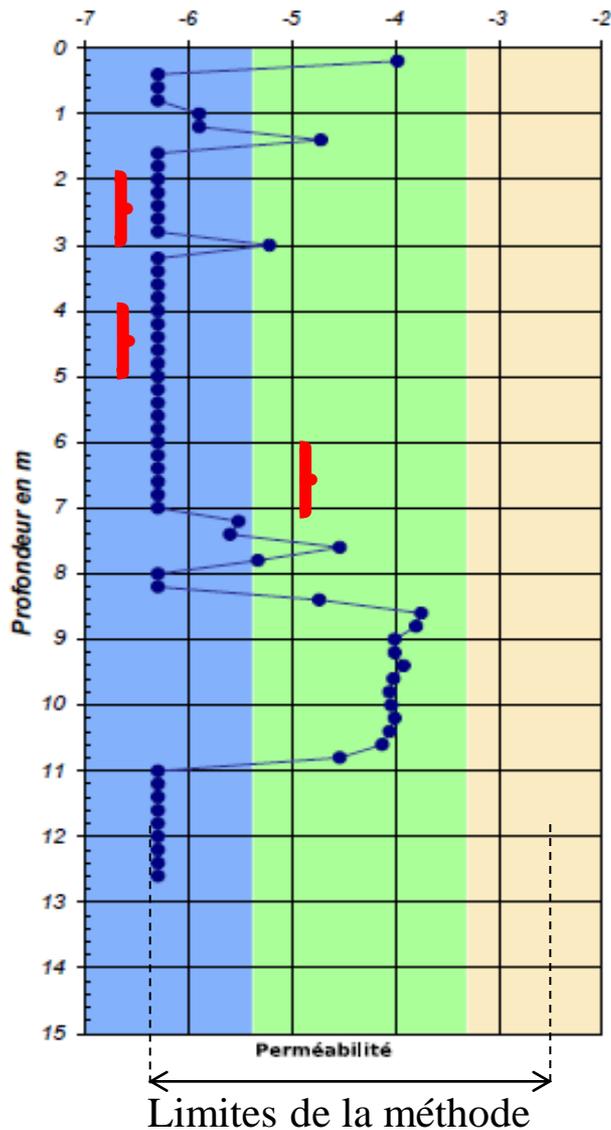
AFFAIRE : 09.12613.0	SONDAGE : SC3 PB	X : 578125,82 m
CHANTIER : Levée aval - 45 - BOU	DATE : 23/02/2010	Y : 318283,49 m
DEMANDEUR : DDE 45 - AITL	SONDEUR : R.C. - M.T.	Z : 103,2 m



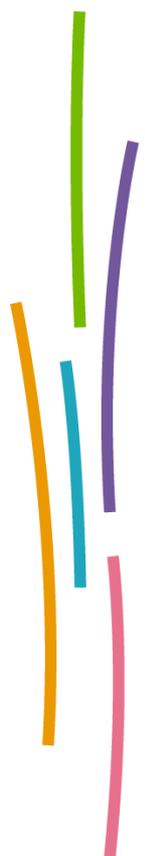


Application aux digues de Loire : Levée de Guilly (Site de la Grange pk1)

cetmef

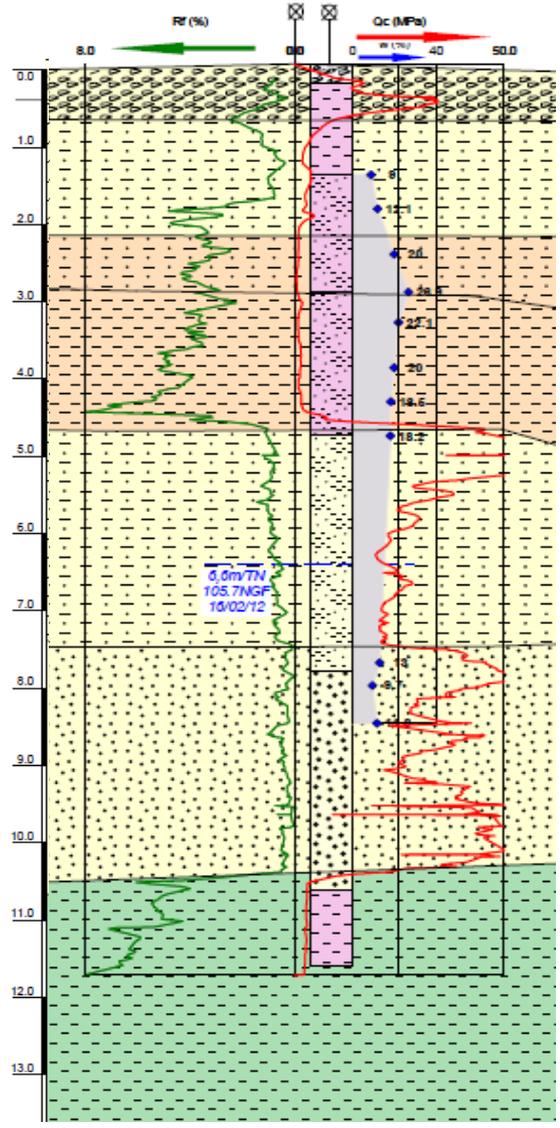
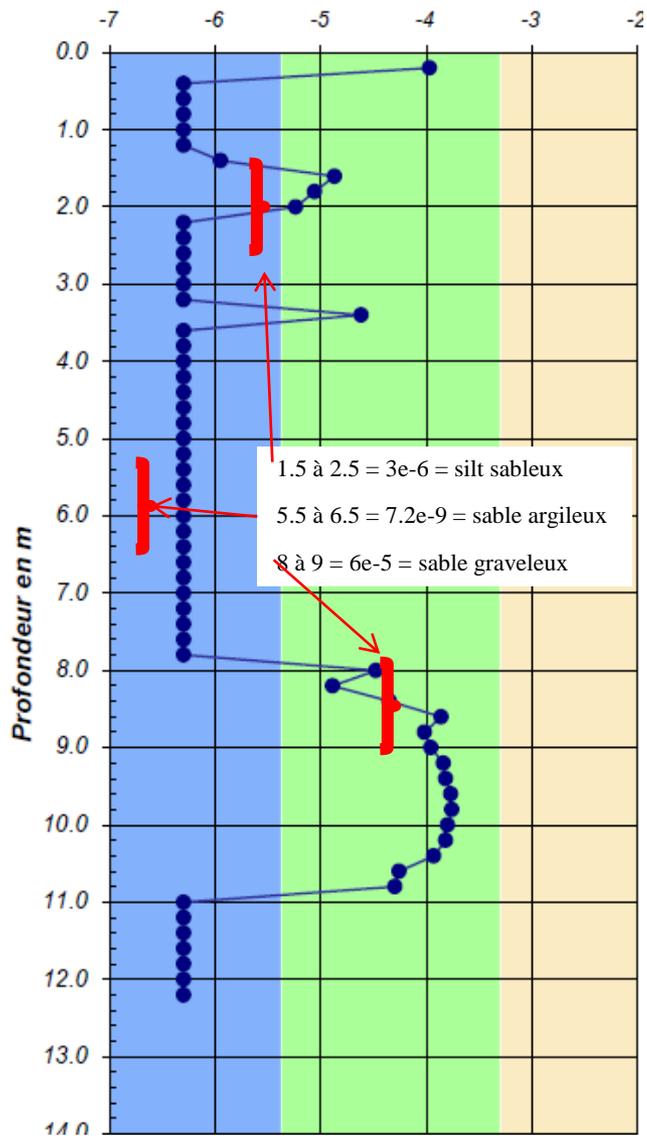


$$K = \alpha_i Q/H' \approx 2.3 Q/H'$$



Centre d'Études
Techniques de
l'Équipement
Normandie Centre

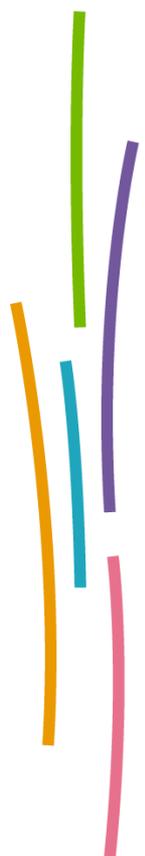
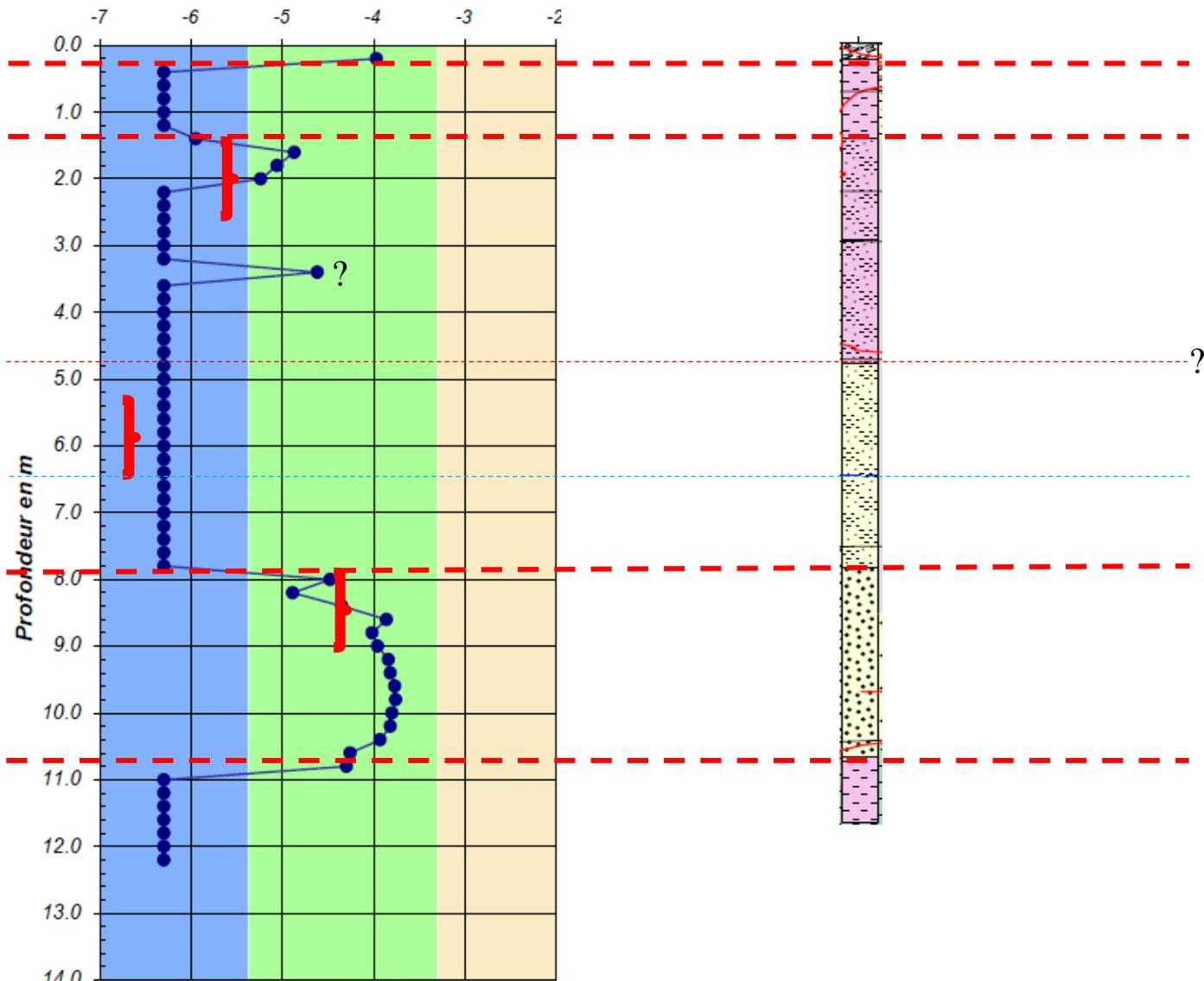
Application aux digues de Loire : Levée de Guilly (Site de la Grange pk2)





Application aux digues de Loire : Levée de Guilly (Site de la Grange pk2)

cetmef



Centre d'Études
Techniques de
l'Équipement
Normandie Centre



Conclusion sur les essais

Conclusion

1) Corrélation entre les essais d'eau :

- Le perméafor est limité à $10^{-6.3} < Q/H' < 10^{-3}$

Les pertes de charge (dH) liées à de grand débits (et au système d'injection) engendrent une erreur quant au calcul de $H' = H - dH$;

- Les essais Lefranc-Nasberg ne sont pas représentatif du même volume d'infiltration (effet intégrant de la mesure);
- Le perméafor donne une mesure qualitative de la perméabilité ($k = \alpha Q/H'$).

2) Autre type de corrélation :

- Bonne corrélation entre les carottage et le log de Q/H' ;
- Mauvaise corrélation entre les résultats de résistance de pointe et le log de Q/H' .





Amélioration du dispositif Perméafor (2007)

cetmef



α

Adjonction d'une pointe CPTu permettant la qualification du matériaux en place (via classification de Robertson)

dH

Mise en place d'une capteur de pression au plus près de la crépine

Amélioration du dispositif de pilotage, d'acquisition et de traitement des mesures

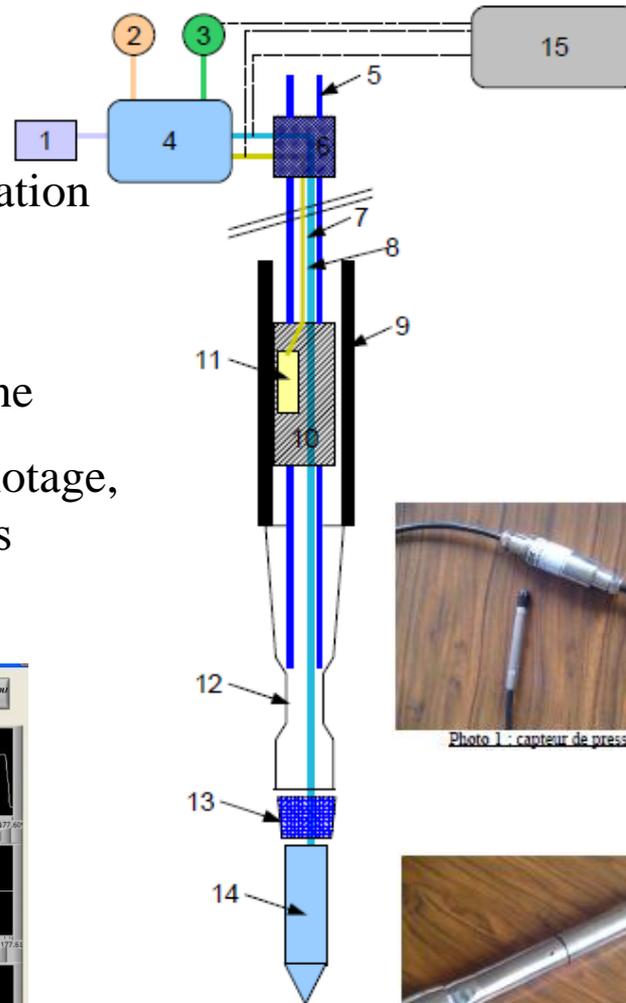
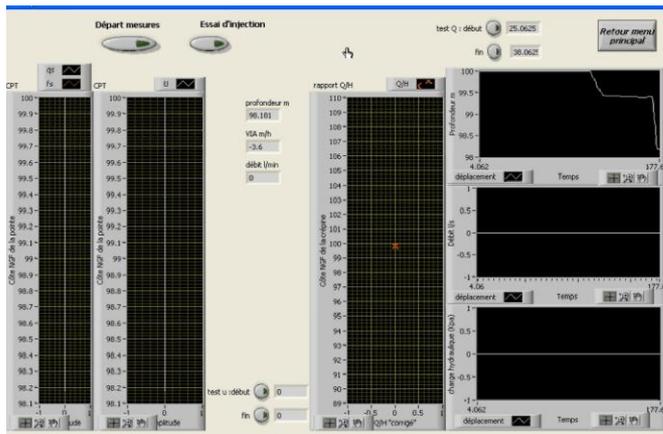


Photo 1 : capteur de pression



Photo 2 : pointe de penetrometre statique



Centre d'Études Techniques de l'Équipement Normandie Centre



Projet de développement en cours : Perméamètre VH (11R10311)

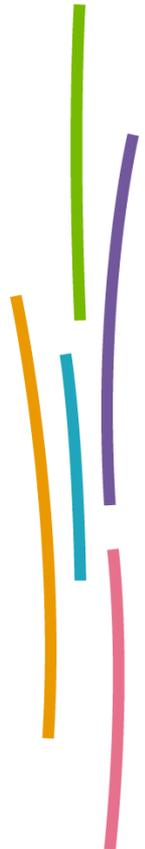
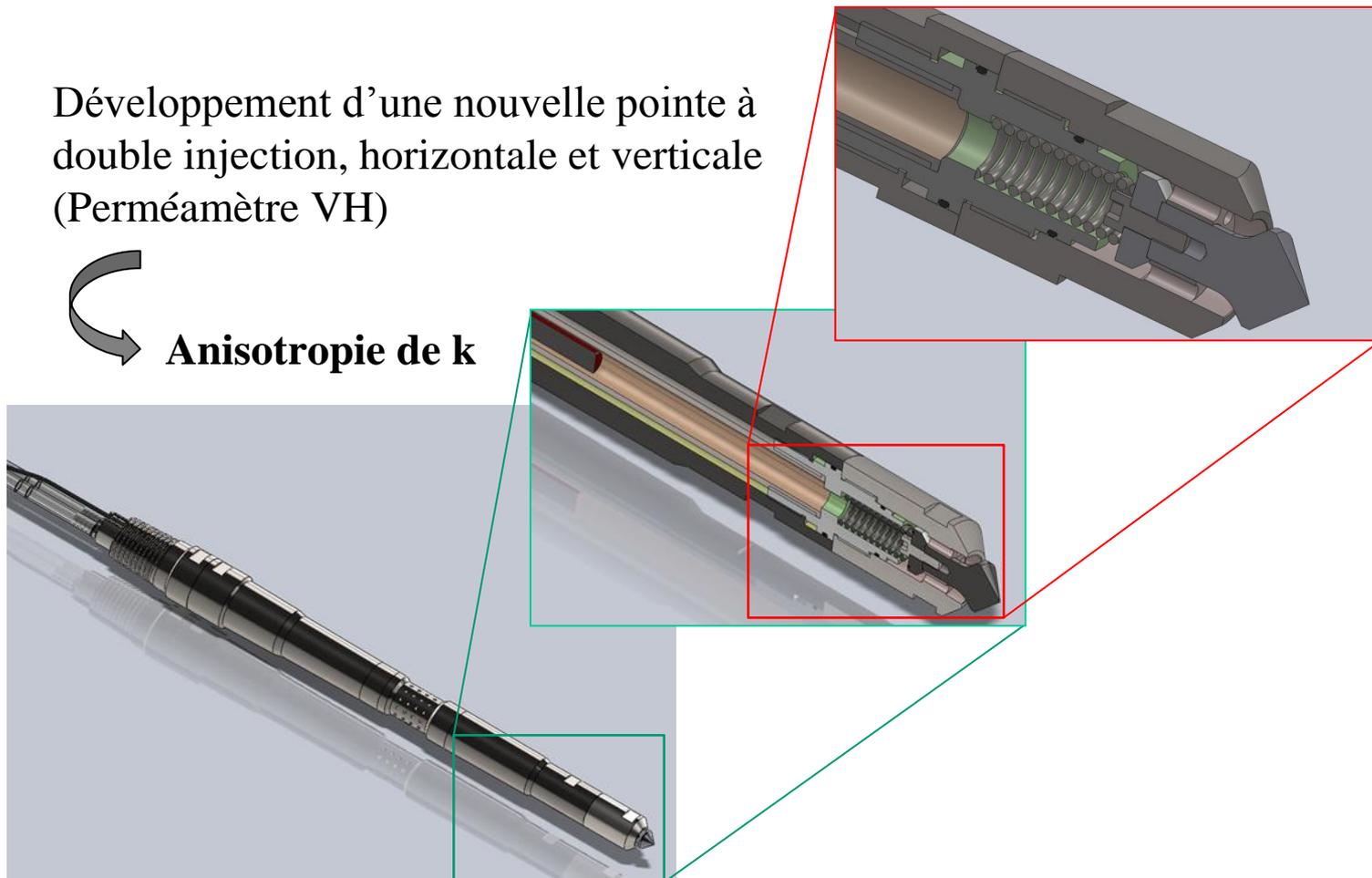


collaboration CECP d'Angers et IFSTTAR

Développement d'une nouvelle pointe à double injection, horizontale et verticale (Perméamètre VH)



Anisotropie de k



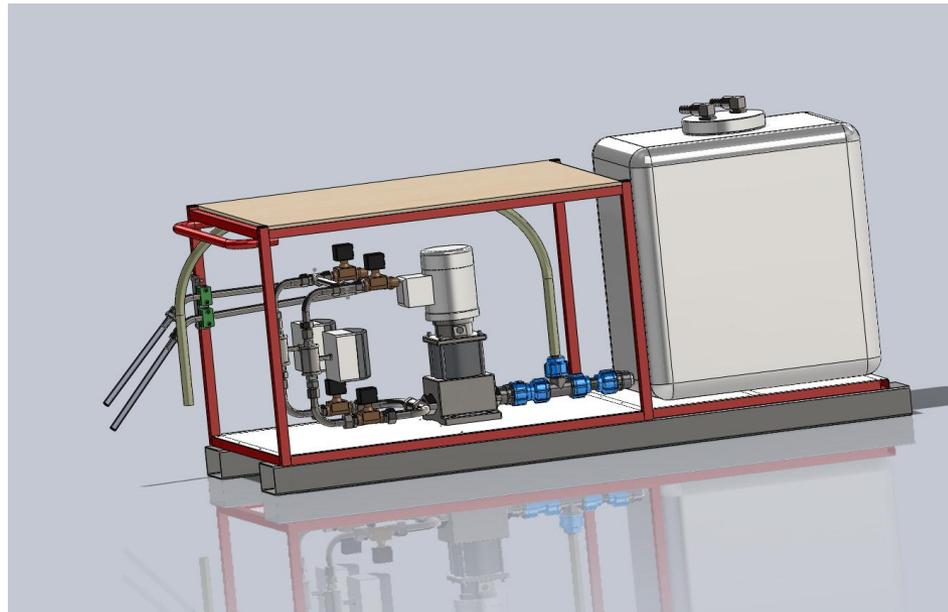


cetmef



Développement en cours : Perméamètre VH

- Modernisation du matériel Perméafor
- Développement d'une chaîne de mesure complète permettant l'utilisation du Perméafor classique, de la pointe piézocône et de la nouvelle pointe.



Centre d'Études
Techniques de
l'Équipement
Normandie Centre



Développement en cours : Perméamètre VH

cetmef



Echéances :

- 2011 : conception, lancement des acquisitions des matériels
- 2012 : Montage de l'appareillage, usinage de la pointe VH
Premier tests. Développement de l'interface homme-machine
- 2013 : Tests et établissement du mode opératoire du nouveau dispositif

Perspectives :

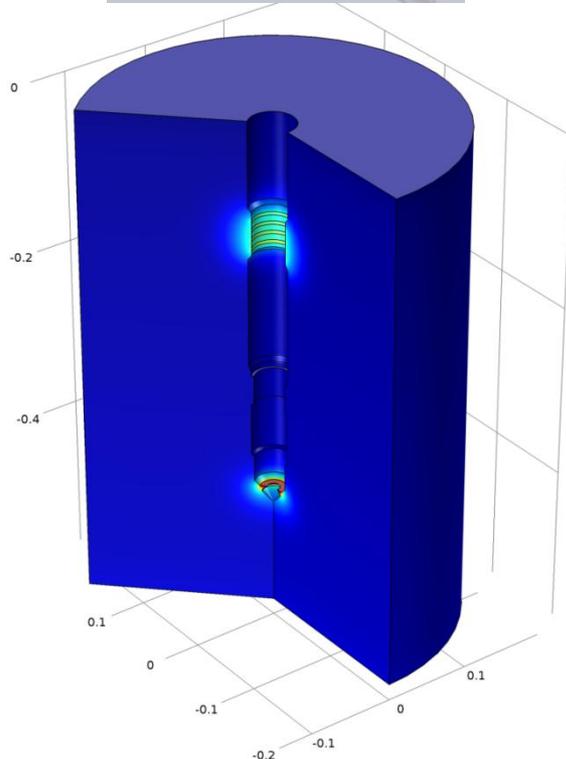
- Corrélations directes entre Q/H' et k
- Interprétation en milieu non saturé (digues sèches)
- Caractérisation de l'anisotropie
- Caractérisation de la sensibilité des matériaux à l'érosion interne (Protocole d'essai avec différents paliers de charges)





Objectif de Recherche 1

Corrélation directe, interprétation en milieu non saturé,
caractérisation de l'anisotropie



Etape 1 - Résoudre le
« problème direct » :
simuler l'essai numériquement
(Eq. Richards)

Etape 2 - Résoudre le
« problème inverse » :

- Trouver les paramètres du modèle
 - α, n, L
 - $\begin{pmatrix} K_h & 0 \\ 0 & K_v \end{pmatrix}$
- qui ajustent les données mesurées
 - Q, H



cetmef



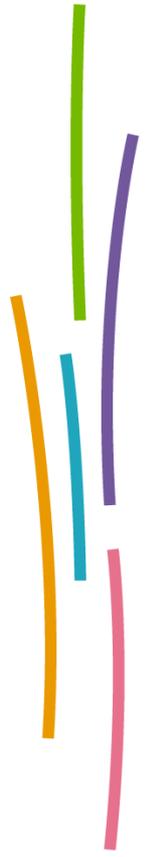
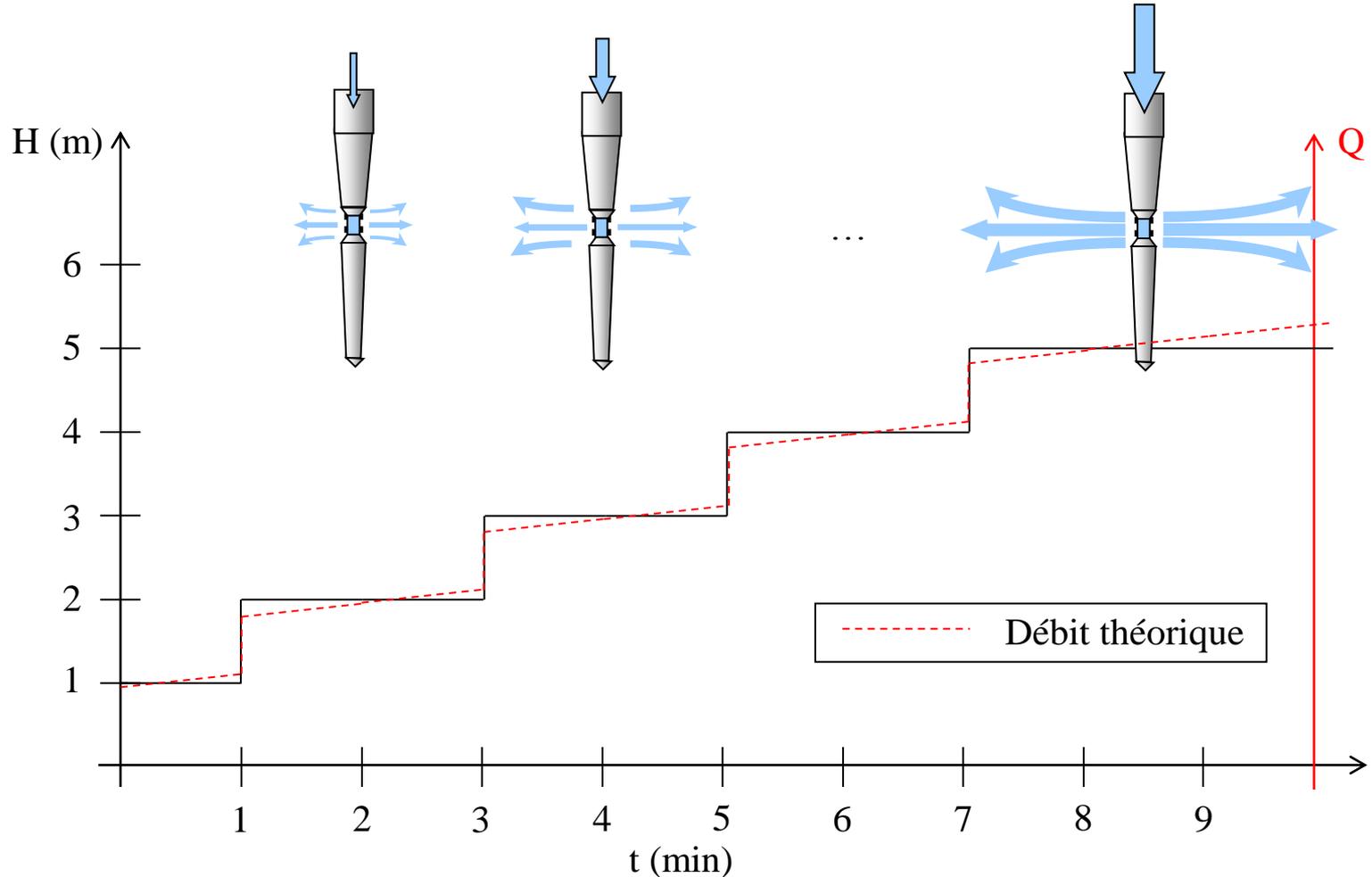
Centre d'Études
Techniques de
l'Équipement
Normandie Centre



Objectif de Recherche 2

Caractérisation in-situ de la sensibilité des horizons du sol à l'érosion interne

cetmef



Définition de nouveaux protocoles de mesures



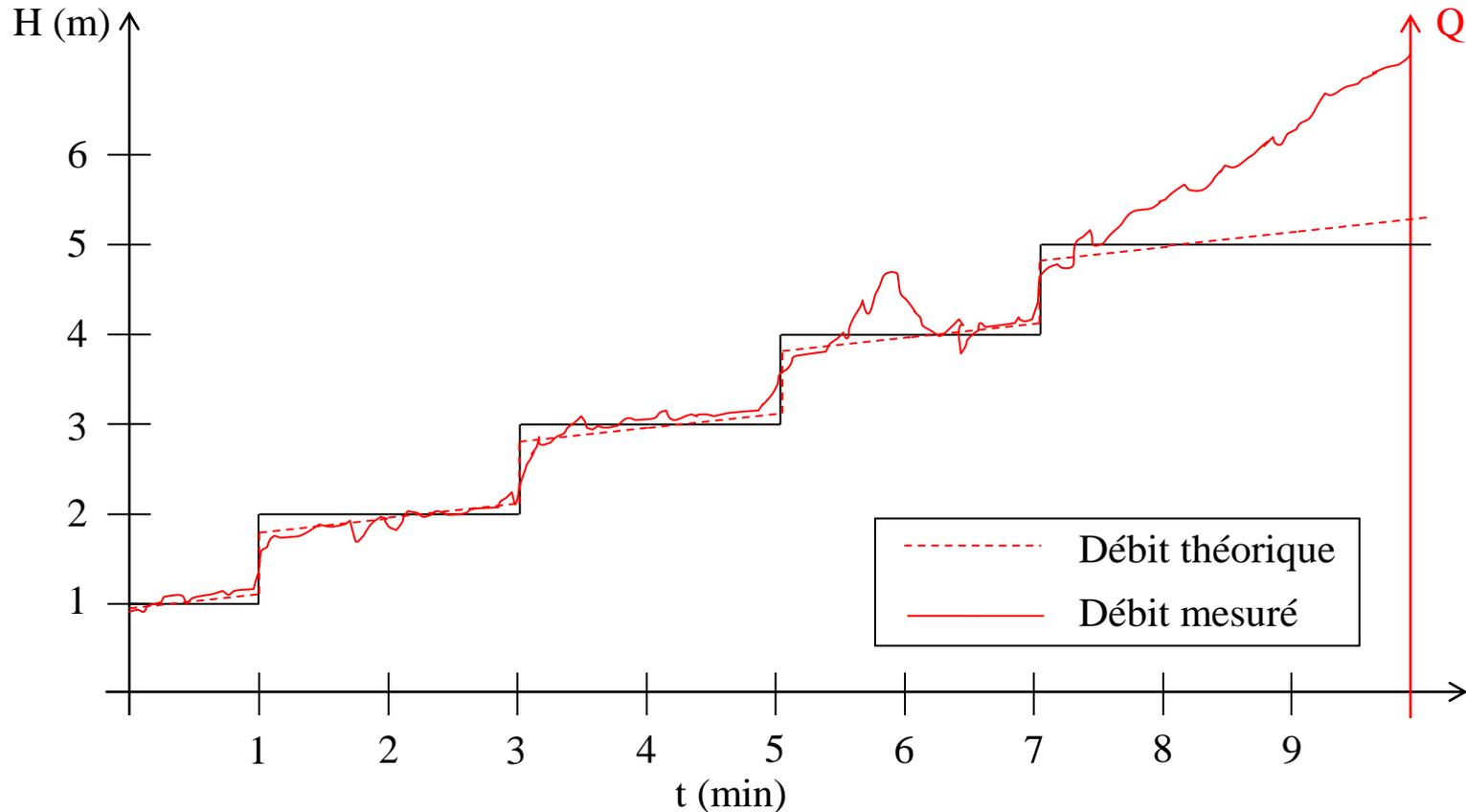
Centre d'Études Techniques de l'Équipement Normandie Centre



Objectif de Recherche 2

Caractérisation in-situ de la sensibilité des horizons du sol à l'érosion interne

cetmef

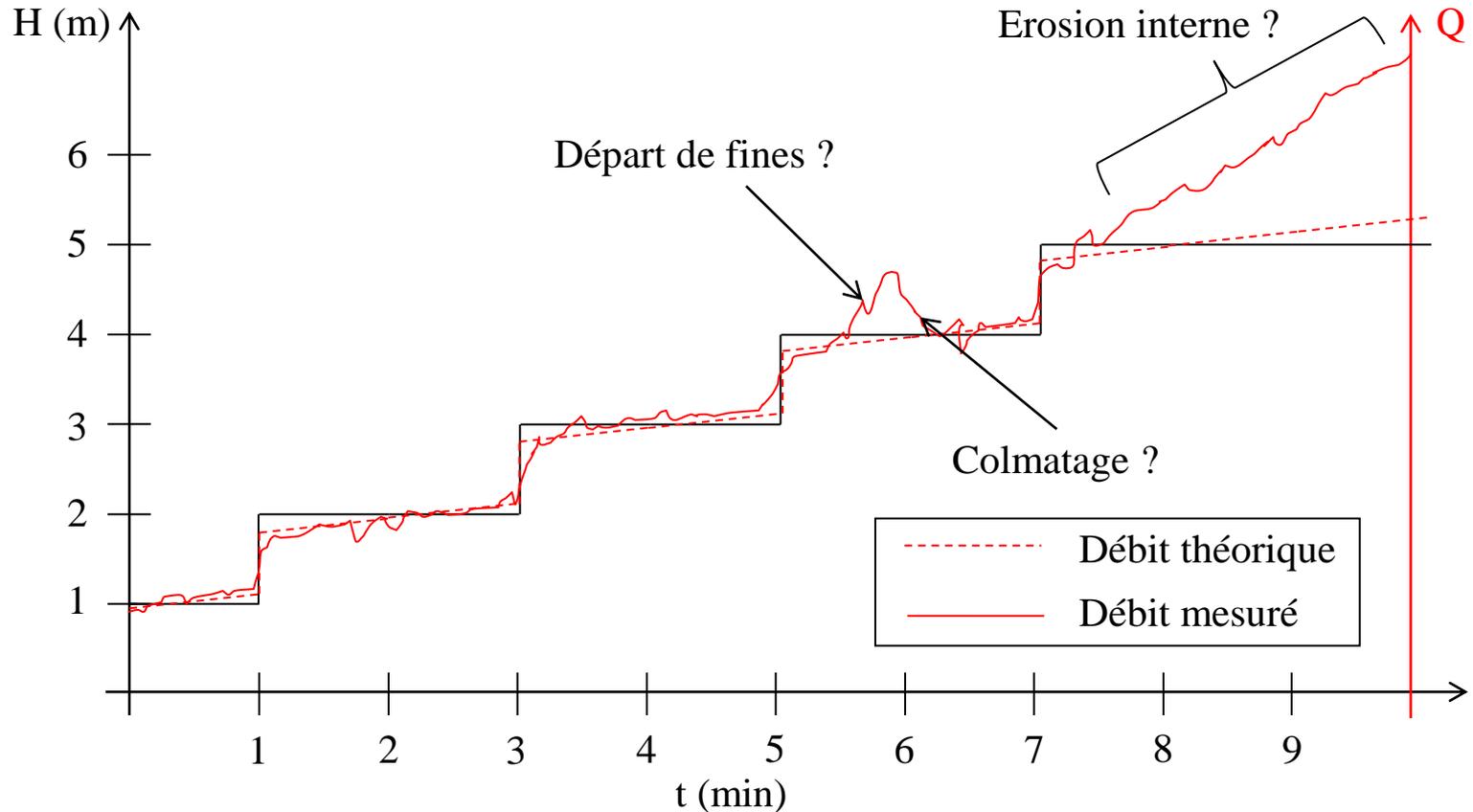


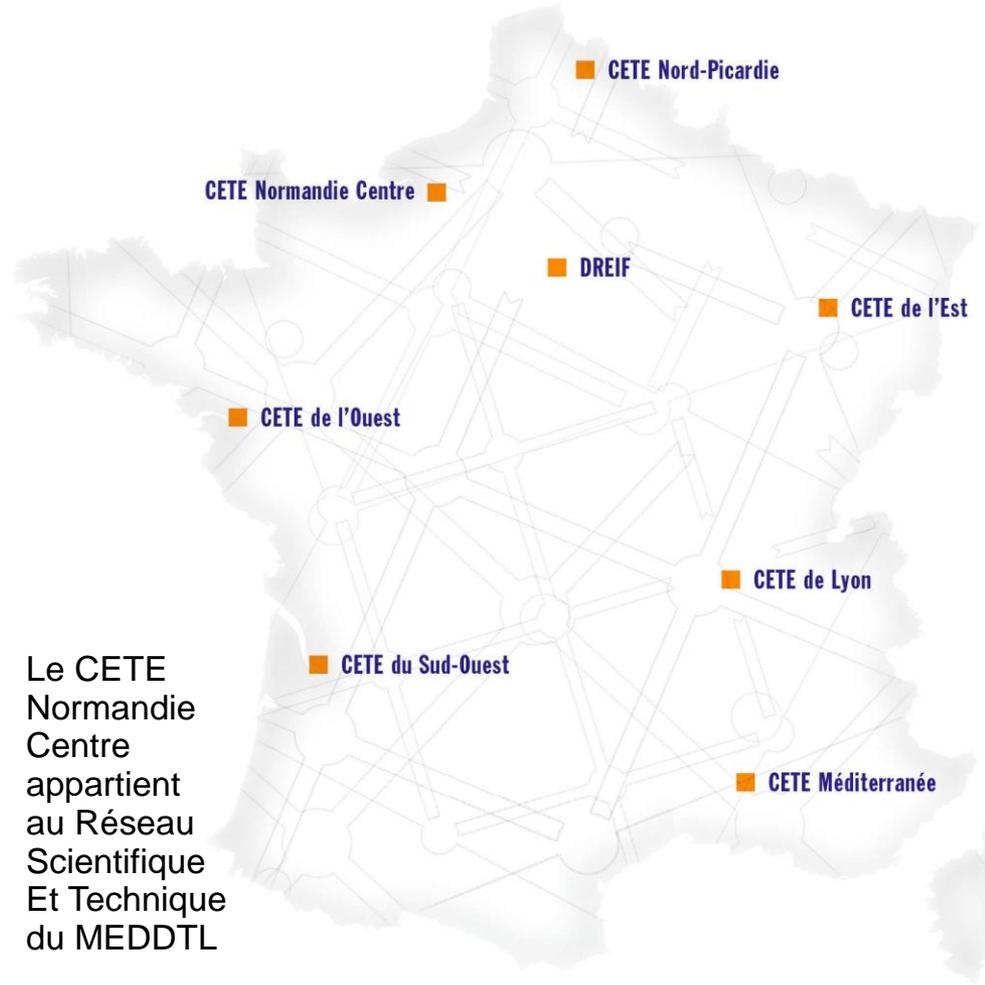


Objectif de Recherche 2

Caractérisation in-situ de la sensibilité des horizons du sol à l'érosion interne

cetmef





Le CETE Normandie Centre appartient au Réseau Scientifique Et Technique du MEDDTL



Ressources, territoires et habitats
Énergie et climat
Prévention des risques
Développement durable
Infrastructures, transports et mer

Présent pour l'avenir



Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement



Cadre : l'Opération de Recherche DOFEAS

(Digues et Ouvrages Fluviaux : Érosions, Affouillements et Séismes)

cetmef



Programme de Recherche :

4 problématiques traitées ...

- A – Affouillements d'ouvrages en rivière ou sur canaux
- B – Erosion de digues ou de remblais sous charge hydraulique**
- C – Risques sismiques sur les digues et remblais
- D – Érosion des berges et digues par batillage



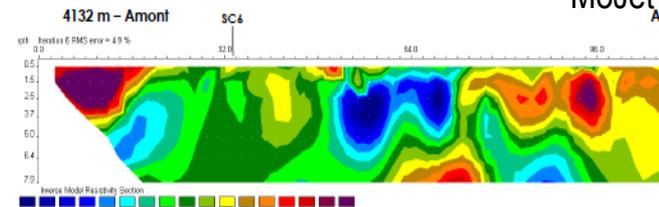
permeator

... selon 4 étapes

- 1 – Caractérisation de sites, retour d'expérience, évaluation de l'aléa hydraulique
- 2 – **Méthodes de reconnaissance et développement d'outils**
- 3 – Modélisations physique et numérique, compréhension des phénomènes
- 4 – Evaluation, prévention et lutte contre le risque



MoJet_{Av}



Tomographie de Résistivité Electrique

