



Journée technique CFMS/AGAP du 22 novembre 2019

« *Regards croisés sur les méthodes de reconnaissance géotechnique et géophysique* »

**Reconnaissances géotechniques in situ :
méthodes actuelles et développements récents**

Lucile Saussaye (Cerema)

Contenu



- Pourquoi des reconnaissances géotechniques in situ ?
- Définition d'une campagne de reconnaissances
- Synthèse des reconnaissances
- Conclusions

I. Pourquoi des reconnaissances géotechniques in situ ?



- ✓ Besoin d'identifier le contexte géologique du projet :
 - ❑ lithologie (nature des terrains support, réemploi des sols...)
 - ❑ hydrogéologie (nappe, écoulement)

- ✓ Besoin d'anticiper le comportement des terrains :
 - ❑ portance, stabilité des pentes, tassements...
 - ❑ traficabilité du chantier...

I. Pourquoi des sondages et essais in situ ?



- ✓ ANTICIPER les aléas géotechniques pour :
 - ❑ la faisabilité des ouvrages géotechniques
 - ❑ la conception des ouvrages géotechniques
 - ❑ la sécurité des projets géotechniques
 - ❑ la maîtrise de l'impact économique
- ✓ Le type d'étude (terrassement, ouvrage d'art, digues, soutènement, traitement des sols, renforcement des sols...)
- ✓ L'état d'avancement du projet (étude préliminaire, avant-projet, projet, diagnostic...)

I. Pourquoi des reconnaissances géotechniques in situ ?



Terrassement	Identifier les sols, les états hydriques, en déblai et PST
Ouvrage d'art	Caractériser mécaniquement les sols au droit des fondations
Soutènement	Caractériser les sols et les niveaux d'eau
Renforcement des sols	Caractériser les sols en remblai
Drainage	Identifier les niveaux d'eau, les perméabilités...

I. Pourquoi des reconnaissances géotechniques in situ ?



Stabilité de pente, (déblais, remblais, digues...)	Identifier les sols, leurs caractéristiques intrinsèques
Remblais sur sols compressibles	Caractériser les sols, ses caractéristiques mécaniques et son comportement
Hydrogéologie	Identifier les nappes, les écoulements souterrains, définir la perméabilité des sols, des roches
...	

II. Définition d'une campagne de reconnaissances

- ✓ accessibilité du site
- ✓ connaissance du site : données existantes, nature prévisible des sols ou des roches...
- ✓ géométrie du tracé (déblais/remblais)
- ✓ ...



II. Définition d'une campagne de reconnaissances



- ✓ pour le prélèvement des terrains, sols et roches (carottés, tarières...)
- ✓ pour la caractérisation mécanique des terrains (destructifs, pénétromètres, pressiomètres...)
- ✓ autres essais in situ (diagraphies, essais d'eau...)

II.1. Prélèvements

- ✓ sondages à la tarière :
 - à main
 - hélicoïdale
 - mécanique
- sols « remaniés »



II.1. Prélèvements

✓ sondages à la pelle :

- pelle mécanique
- mini-pelle
- tracto-pelle

→ sols « remaniés »



II.1. Prélèvements

- ✓ sondages carottés :
 - ❑ carottage simple, double ou triple enveloppe
 - ❑ Carottier Piston Stationnaire (CPS)
- sols « intacts » ou « non remaniés »



II.1. Prélèvements

- ✓ développement de carottiers de grand diamètre :
 - ❑ sols fins compressibles : éviter le remaniement des échantillons à tester
 - ❑ sols grossiers : prélever des échantillons représentatifs (en fonction de D_{max})
- ✓ sondage sonique (vibration à haute fréquence) pour les sols grenus



II.2. Caractérisation mécanique

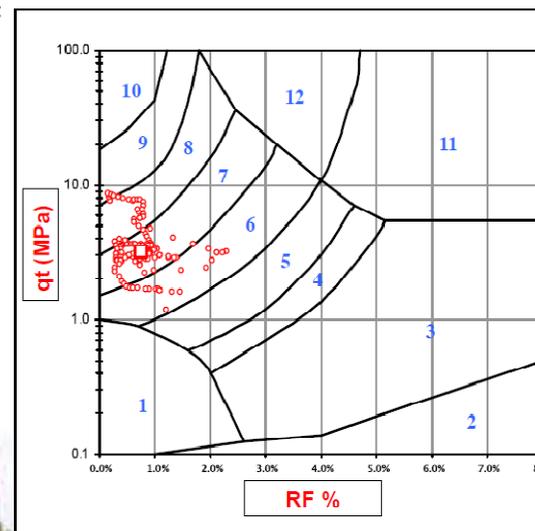
✓ pénétromètre dynamique → résistance dynamique de pointe q_d



II.2. Caractérisation mécanique

- ✓ pénétromètre statique
 - résistance de pointe statique q_c
 - frottement latéral f_s
 - rapport $R_f = f_s/q_c$

- ✓ piézocône
 - pression interstitielle u



Abaque de ROBERTSON

qt fonction de RF

S1	Sol fin argile ou silt sensible
S2	Soils organiques et tourbes
S3	Argile
S4	Argile siteuse à argile
S5	Silt argileux à argile siteuse
S6	Silt sablonneux à silt argileux
S7	Sable siteux à silt sablonneux
S8	Sable siteux à sable
S9	Sable
S10	Sable graveleux à sable
S11	Soils fins intermédiaires très raides
S12	sables cimentés ou dilatants



II.2. Caractérisation mécanique

✓ pressiomètre

Contrôleur Pression
Volume (CPV)



Gaines pressiométriques

**Système d'Acquisition
des données
d'essais (SPAD)**



II.2. Caractérisation mécanique

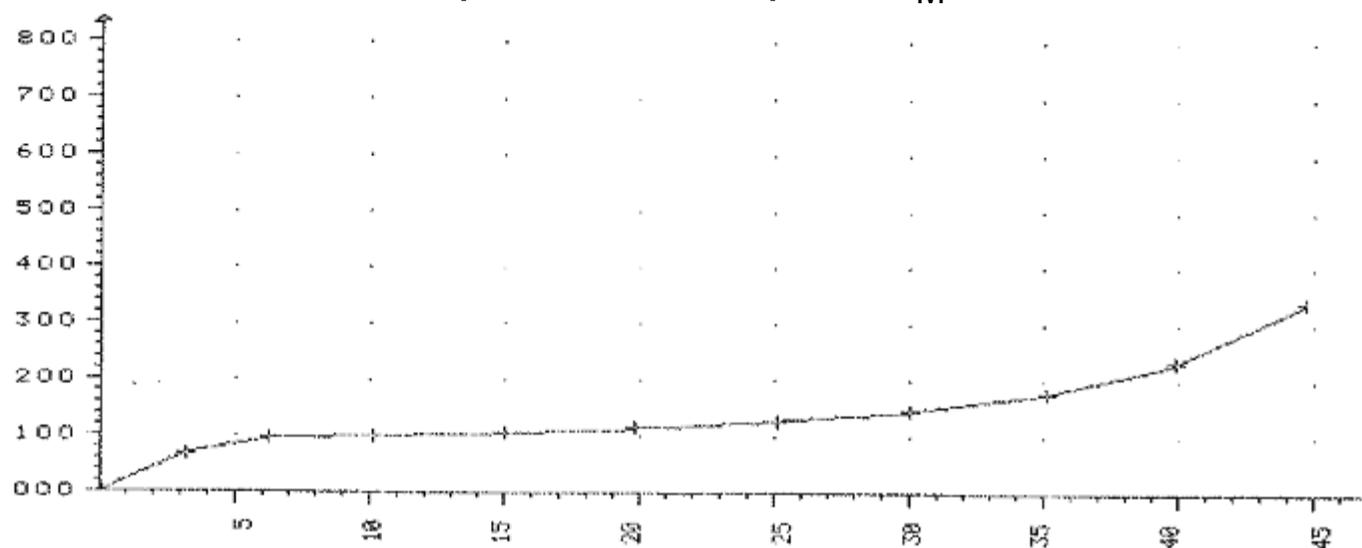


✓ pressiomètre :

- pression de fluage nette : p_f^*
- pression limite nette : p_l^*
- module pressiométrique : E_M

 APAGED Data acquisition System SONDAGE PRESSIOMETRIQUE	
n° Dossier: 5107740 n° Sondage: 26	
Hauteur appareil: 2.6 m	
Type de sonde: 1 Type du forage: 2	
ESSAI n° 65 du 28/02/2006 Prof: 2.0 m	
Ecart: SP 0045 Carte: 4163 Pressio:	

PALIER N°	PRESSIION bar	VOLUME CC 30" 1'	DIFF 1' - 30"	DIFF entre PALIER
0	0.0	0 0	0	68
1	3.2	54 68	14	28
2	6.2	93 96	3	4
3	10.1	100 100	0	7
4	15.0	106 107	1	8
5	19.8	114 115	1	13
6	25.1	126 128	2	18
7	30.0	143 146	3	31
8	35.1	171 177	6	55
9	39.9	214 232	18	109
10	44.7	296 341	43	



II.2. Caractérisation mécanique

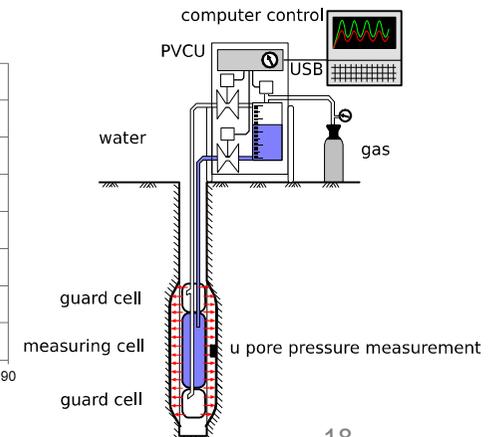
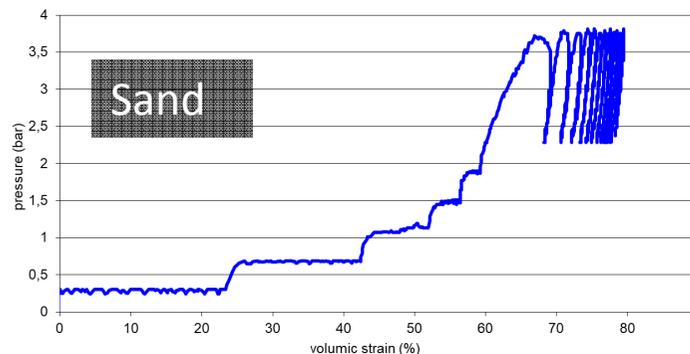
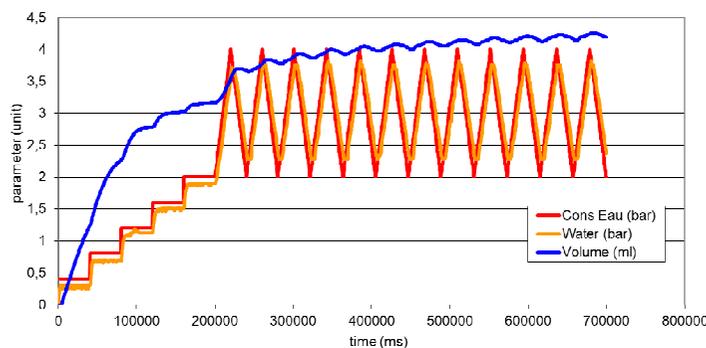
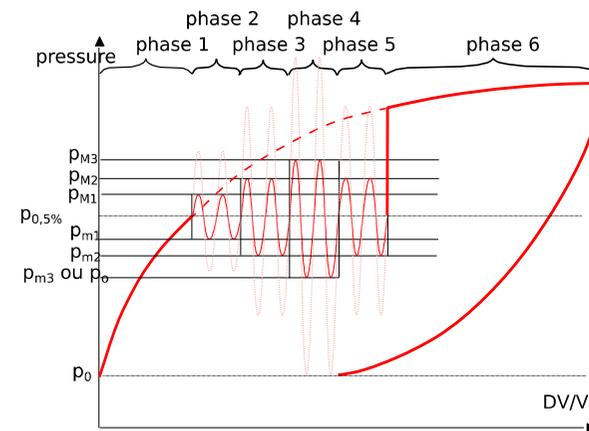
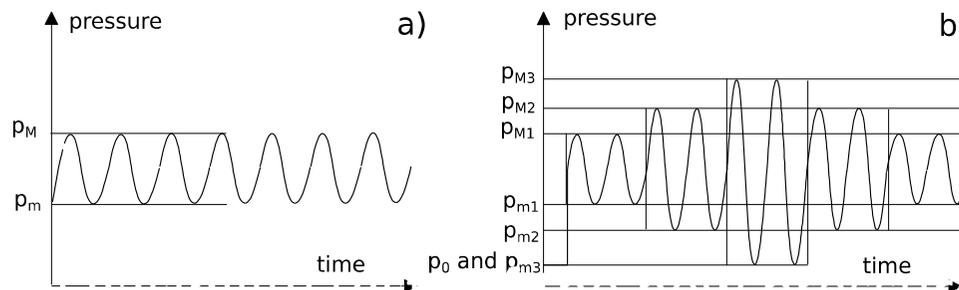
- ✓ développement de méthodes de réalisation :
 - ❑ tubage à l'avancement
 - ❑ automatisation des essais
 - ❑ ...
- ✓ projet ANR ARSCOP - Approches de Reconnaissance des Sols et de Conception des Ouvrages géotechniques avec le Pressiomètre
- ✓ essais pressiométriques cycliques avec mesure de pression interstitielle



II.2. Caractérisation mécanique

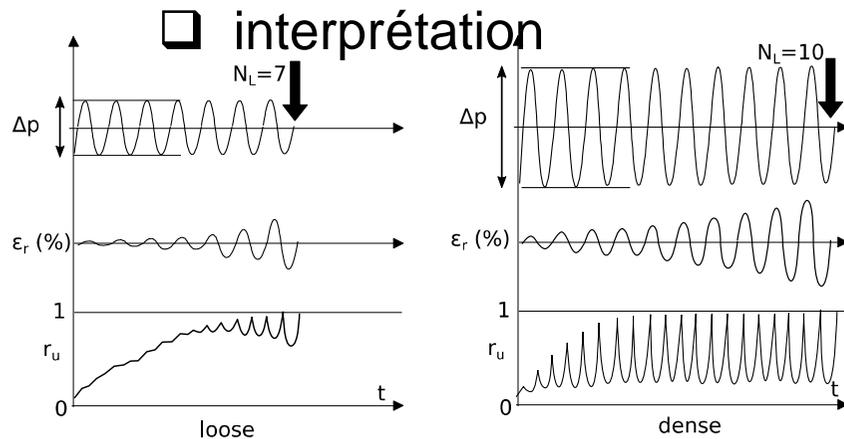


- ✓ essais pressiométriques cycliques
 - ❑ chargement cyclique entre p_M et p_m (Figure a)
 - ❑ essais entre deux pressions variables de moyenne constante, la limite basse étant supérieure à la pression au repos p_0 (Figure b)

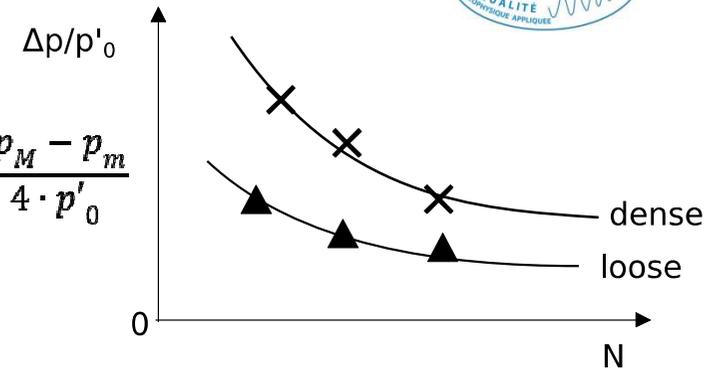


II.2. Caractérisation mécanique

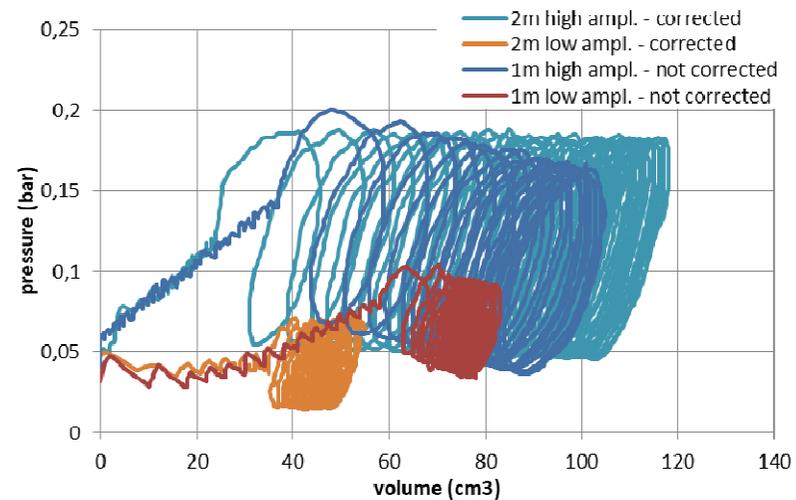
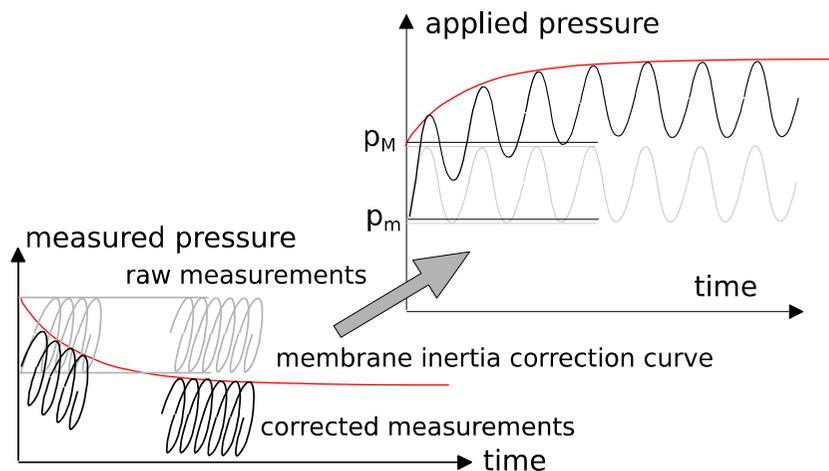
✓ essais pressiométriques cycliques



$$CSR = \frac{\delta p}{2 \cdot p'_0} = \frac{p_M - p_m}{4 \cdot p'_0}$$

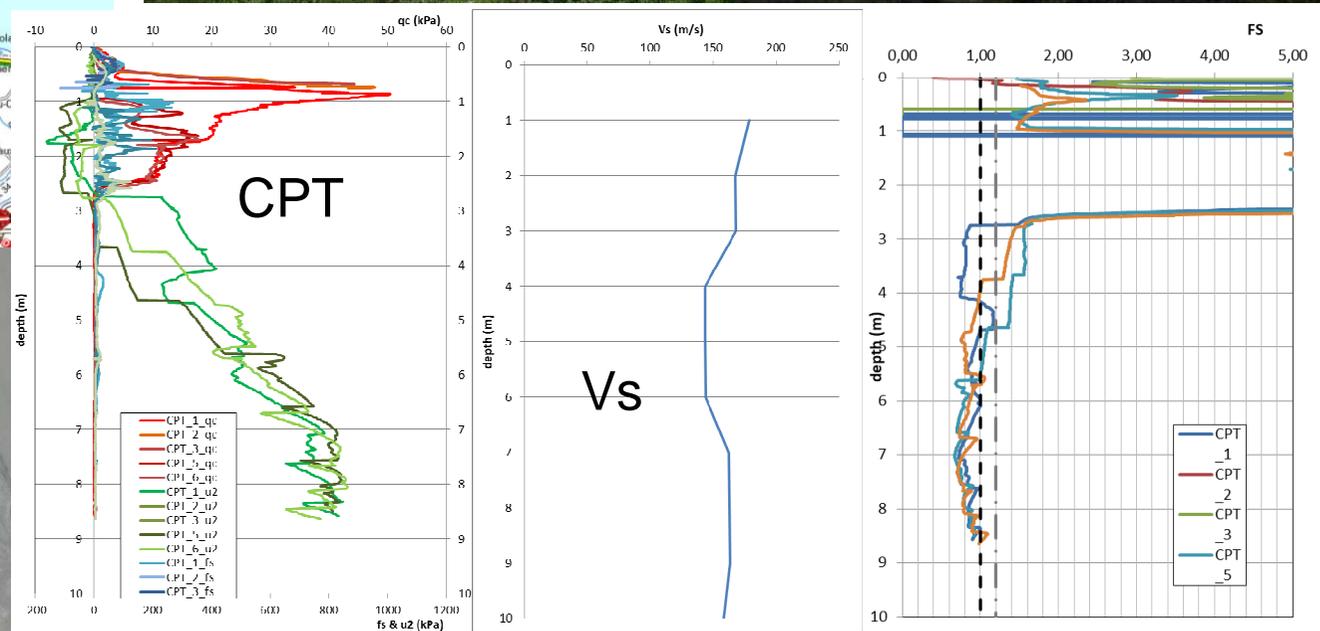


□ facteur d'influence : inertie de la membrane



II.2. Caractérisation mécanique

Digue de la Duchesse Anne

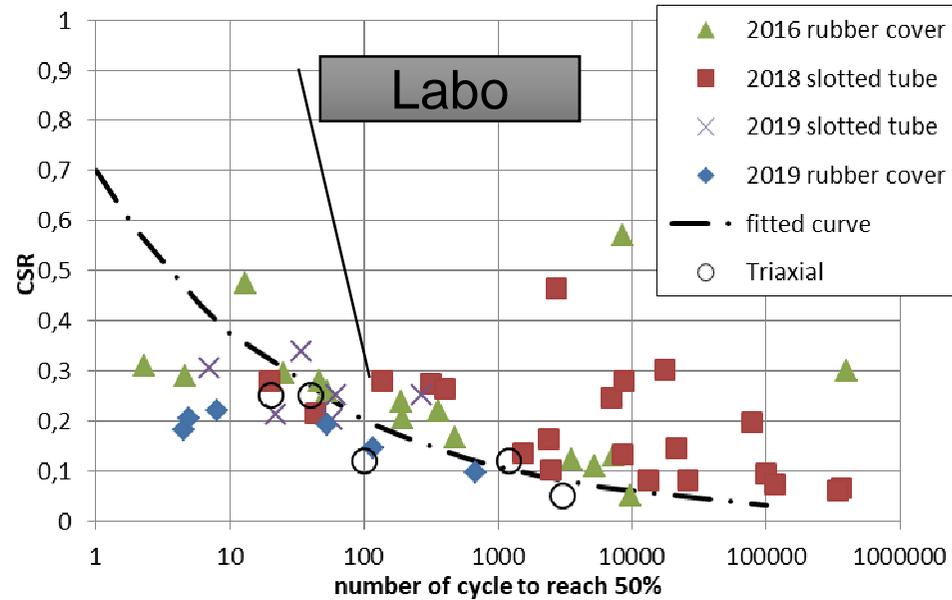
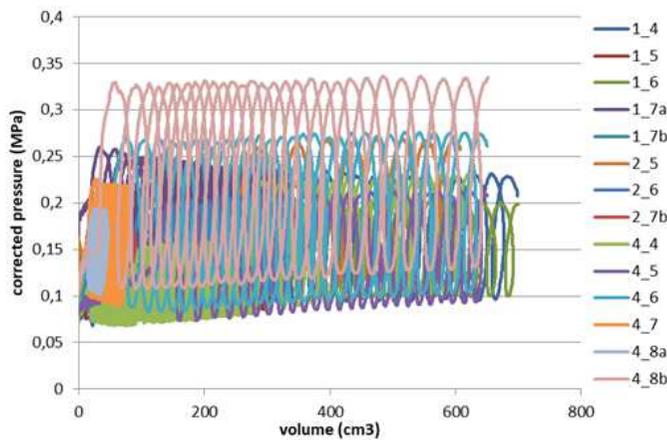
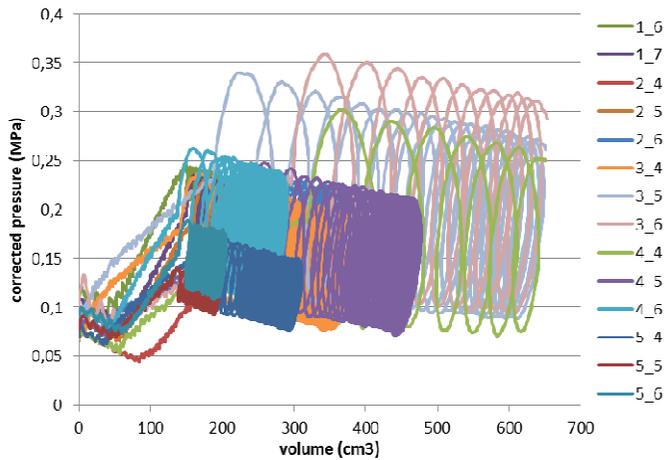


Sable à sable limoneux

II.2. Caractérisation mécanique



Campagnes de 2016 et 2019

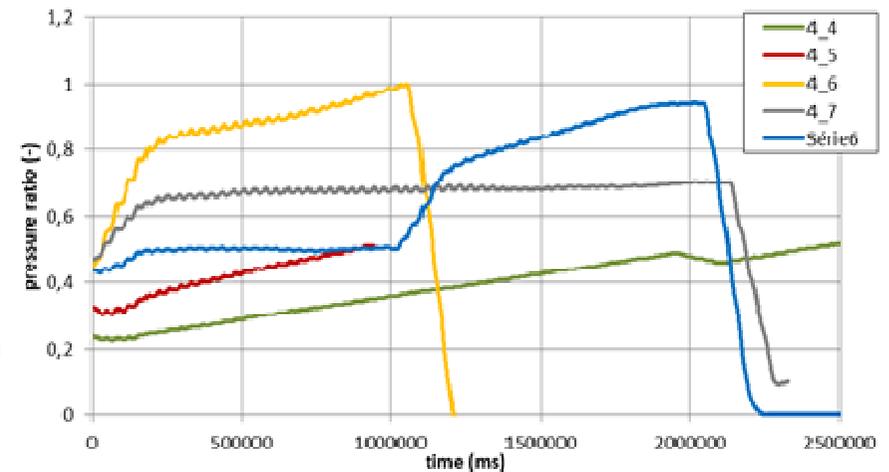
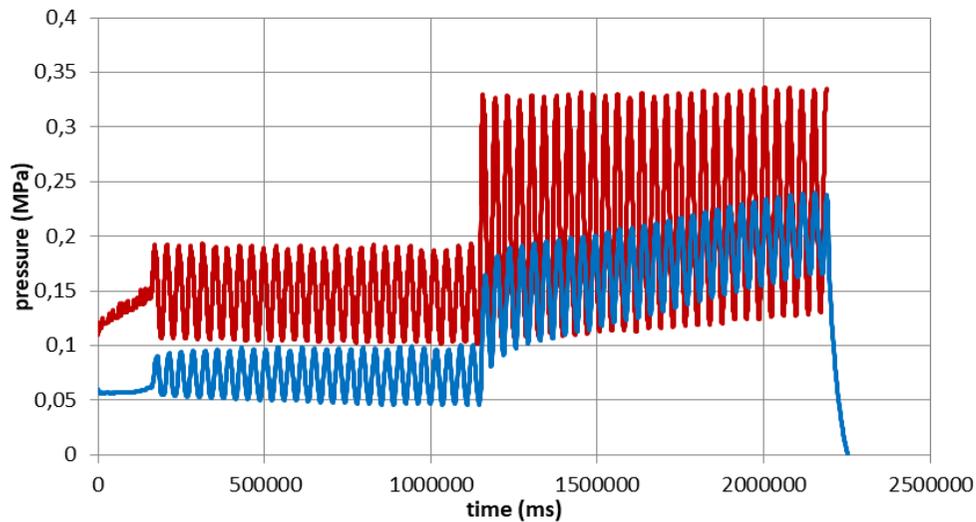
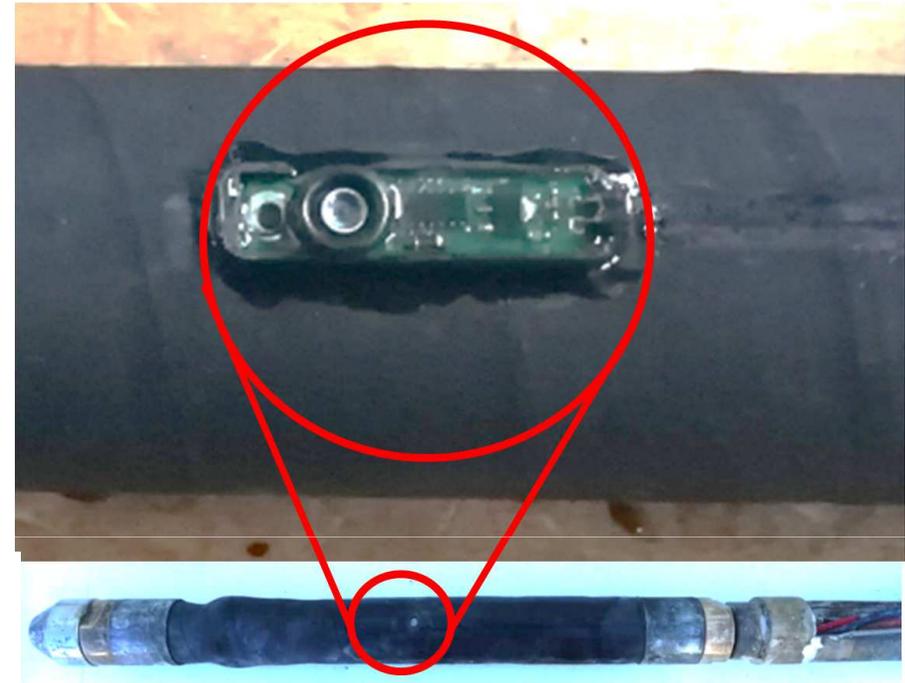


Avec et sans correction de l'inertie de la membrane

II.2. Caractérisation mécanique

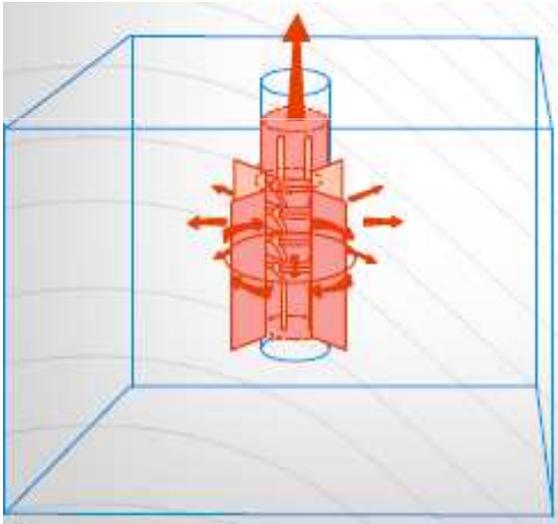
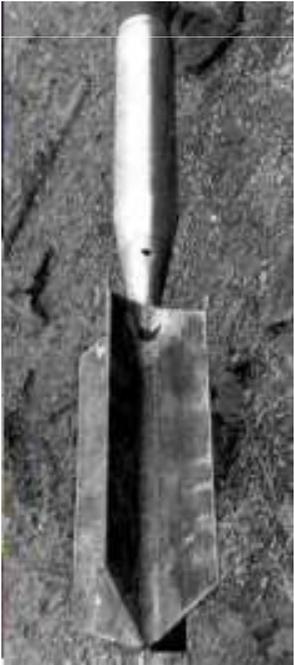
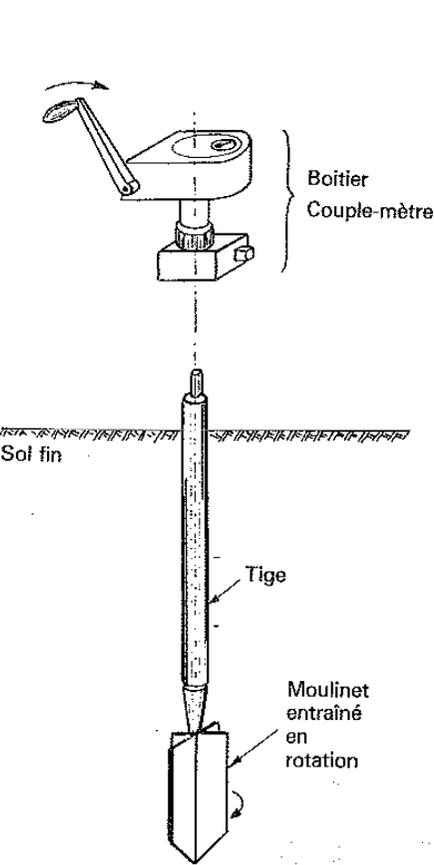


- ✓ essais pressiométriques cycliques
 - mesure de la pression interstitielle u
 - p est l'accumulation moyenne de pression



II.2. Caractérisation mécanique

✓ scissomètre → $S_u, S_r, S_t = S_u/S_r$



II.2. Caractérisation mécanique

✓ Valorisation des sondages : diagraphie instantanée

Forages destructifs avec enregistrement des paramètres :

- vitesse d'avancement
- pression sur l'outil
- pression d'injection
- pression de rotation



✓ Autres essais in situ :

- SPT
- phicomètre
- dilatomètre
- ...

✓ Diagraphies différées :

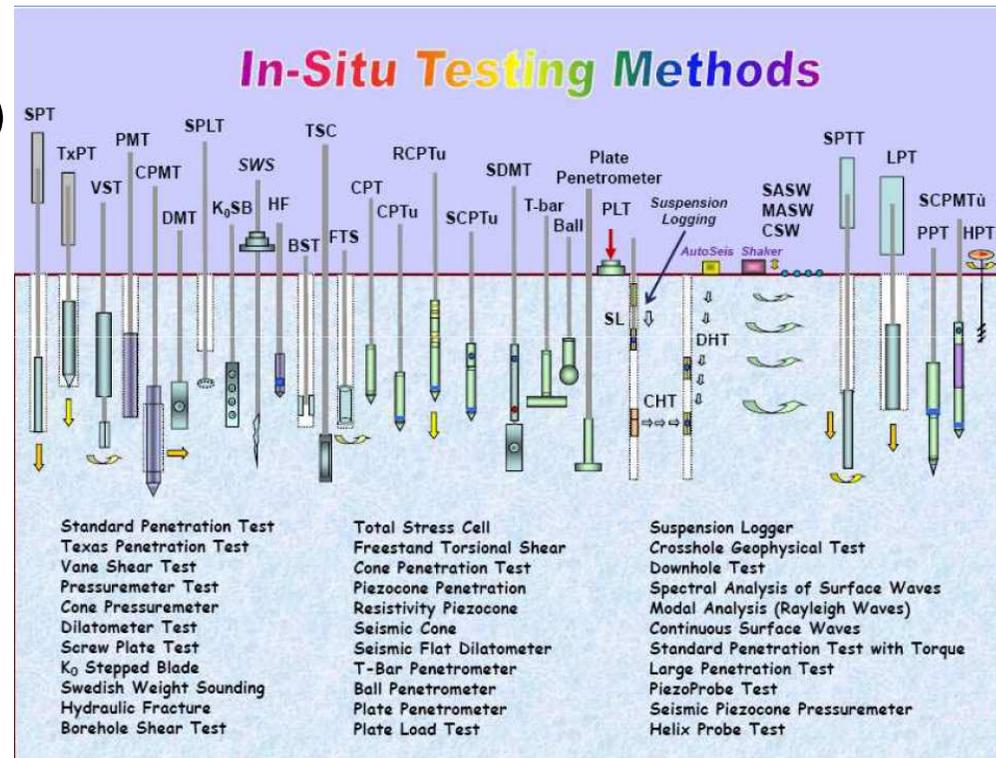
- Radioactivité Naturelle (RAN)
- sonde neutron
- géophysique en forage
- ...

✓ Essais d'eau :

- essais Lefranc, Nasberg...
- piézocône
- ...

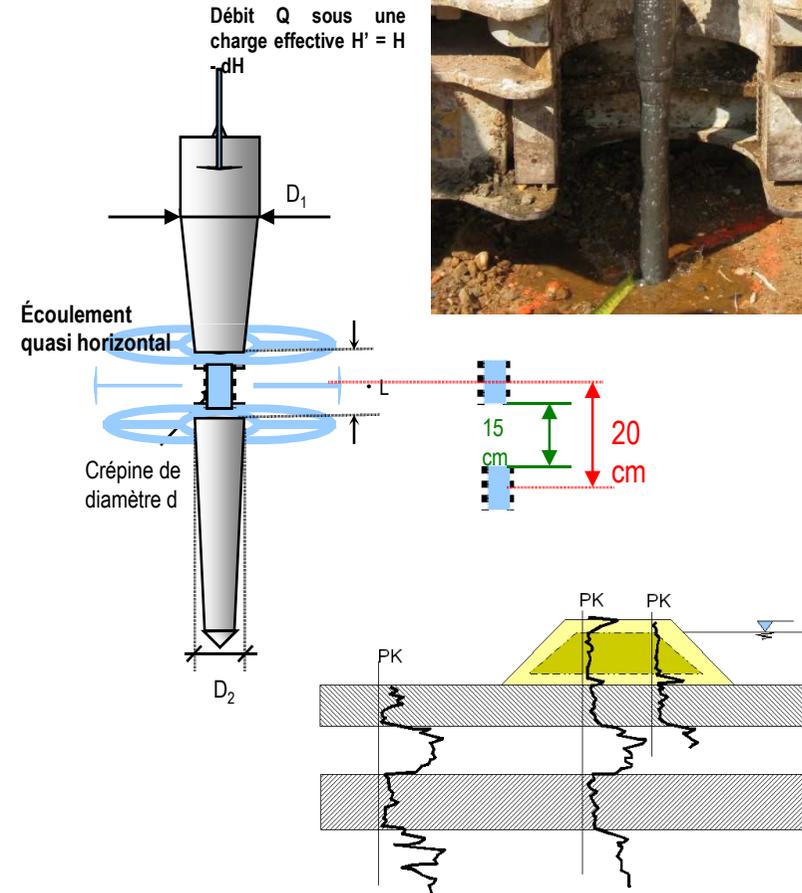
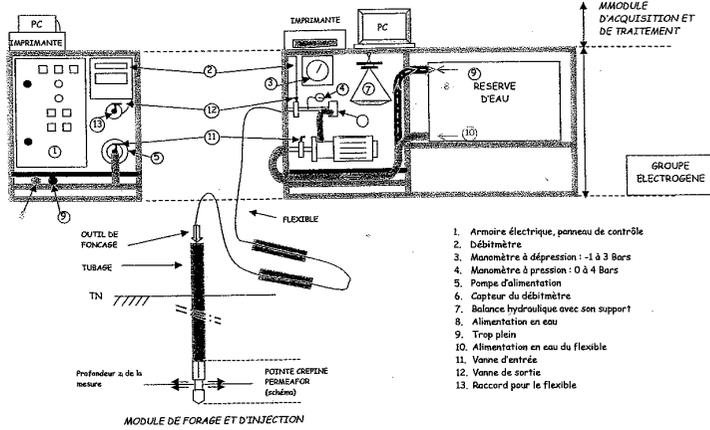
✓ Instrumentation :

- piézomètre
- inclinomètre
- fibre optique
- ...



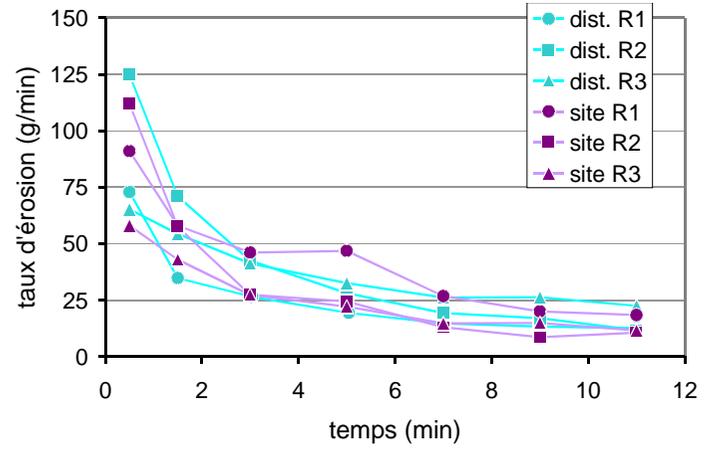
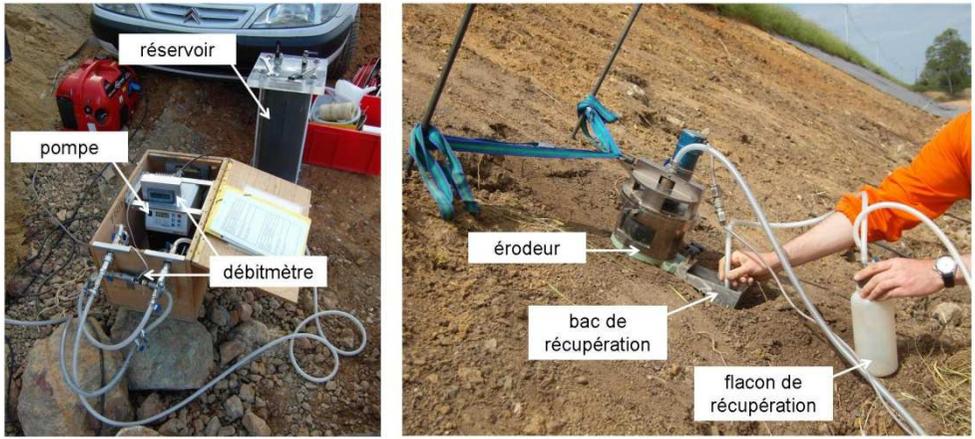
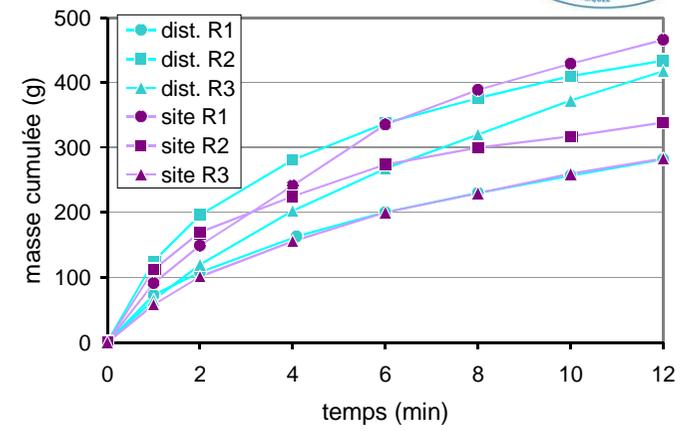
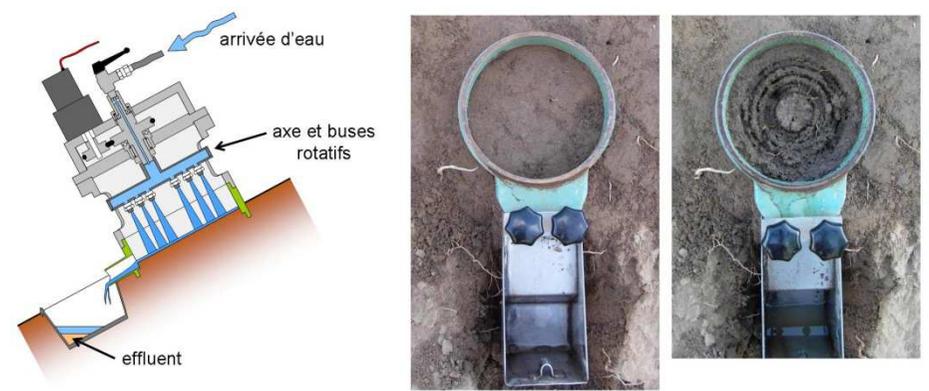
II.3. Caractérisation de l'érosion

✓ Perméafor



II.3. Caractérisation de l'érosion

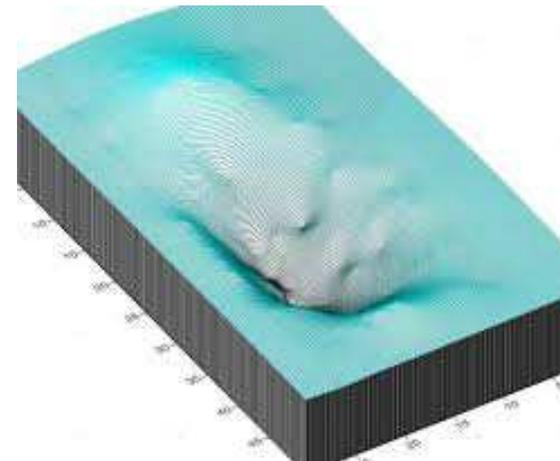
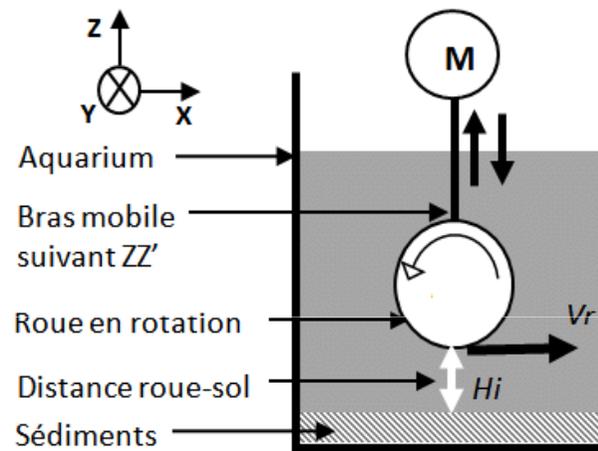
✓ Mobile Jets Erodimetre (MoJET)



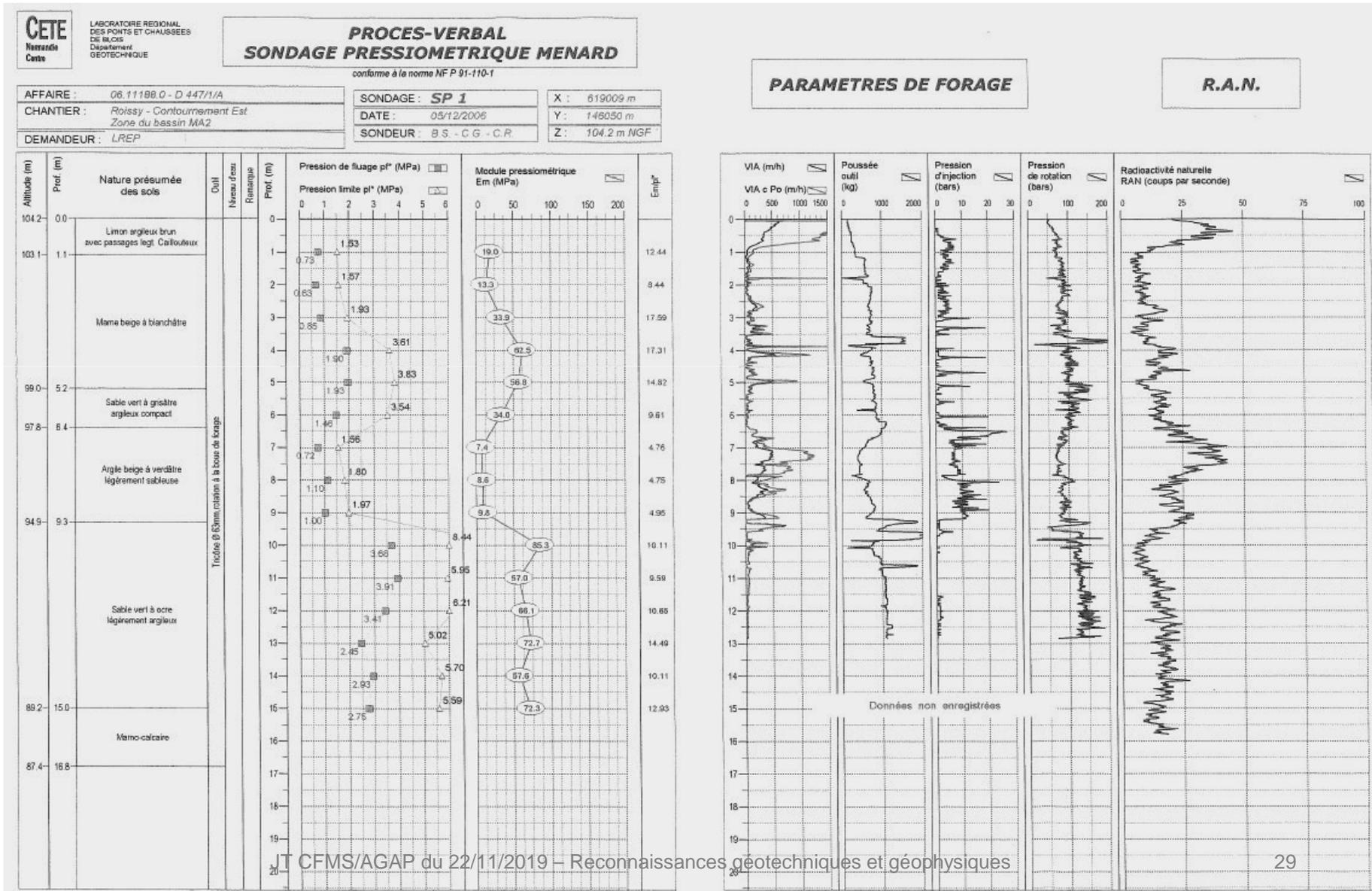
Equipement IFSTTAR

II.3. Caractérisation de l'érosion

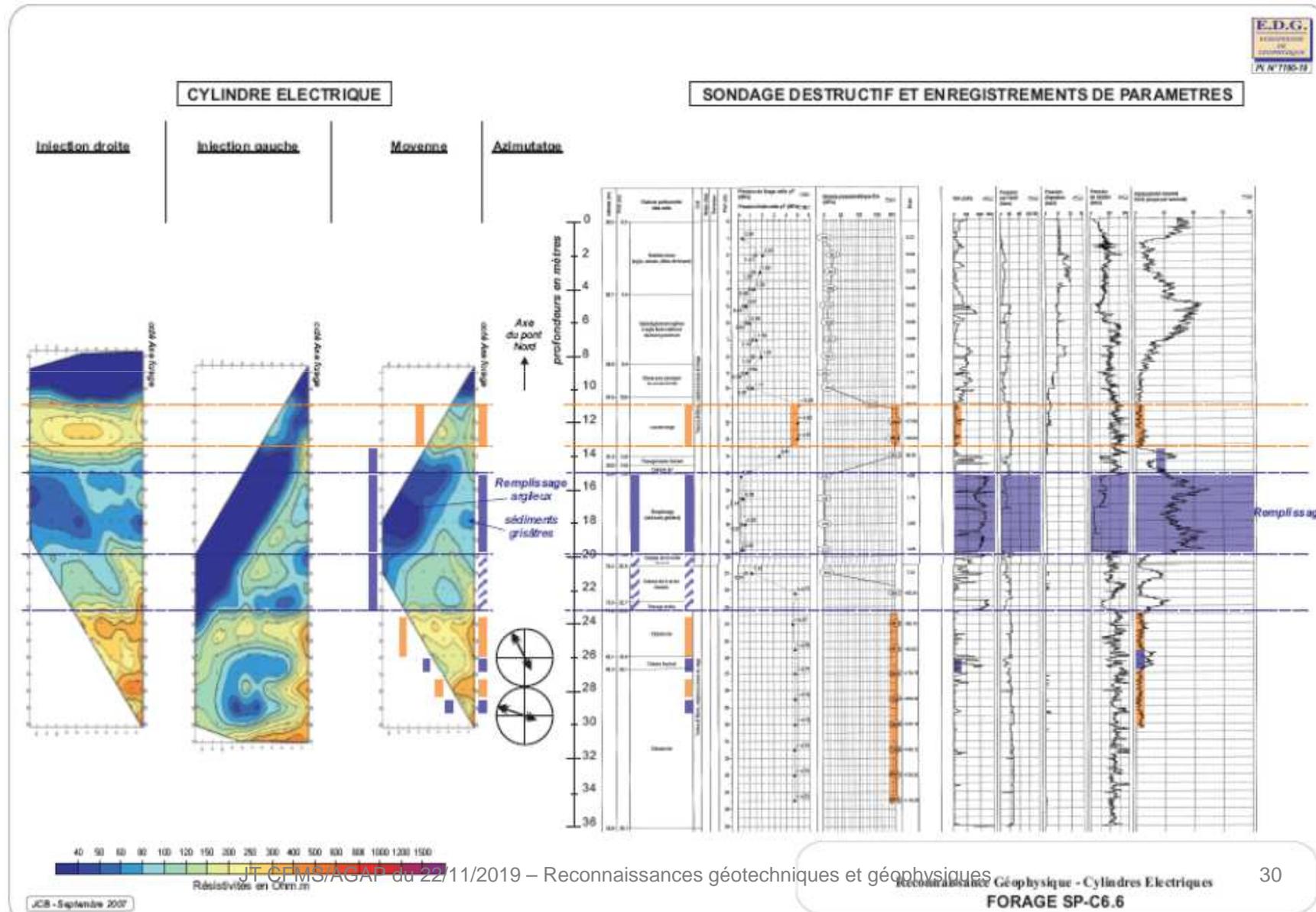
✓ développement d'un érodimètre à roue pour caractériser l'affouillement (projet ANR SSHEAR - Sols, Structures et Hydraulique : Expertise et Recherche Appliquée)



III. Synthèse des reconnaissances in situ



III. Synthèse des reconnaissances in situ

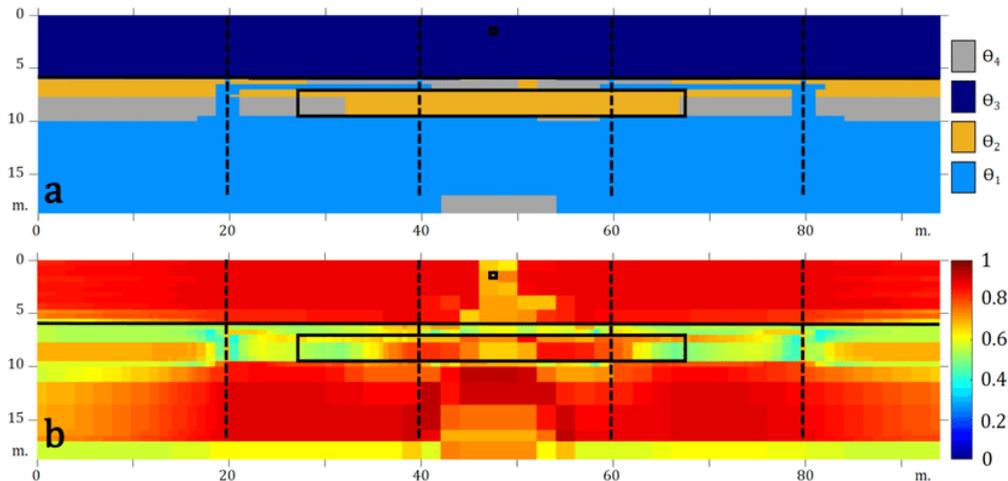


III. Synthèse des reconnaissances in situ



✓ développement :

- ❑ fusion de données géophysiques et géotechniques par l'utilisation des fonctions de croyance (thèse Cerema-IFSTTAR de Théo Dézert)
- ❑ diagnostic d'ouvrages hydrauliques en terre maritime par Contrôle Non Destructif et fusion des données (thèse Cerema de Scarlett Gendrey réalisée dans le cadre du projet CPER/FEDER Digue 2020)



Conclusions



- Reconnaissances permettant de prélever le sol afin de le visualiser et de le caractériser, de le caractériser mécaniquement...à adapter en fonction de l'objectif et de l'avancement du projet
- Reconnaissances qui restent ponctuelles (implantation en fonction des résultats de méthodes géophysiques à grand rendement)
- Nombreux développements en cours pour l'amélioration des mesures ou la caractérisation de nouveaux paramètres in situ
- Apport de la fusion de données pour croiser les données géotechniques et géophysiques



MERCI DE VOTRE ATTENTION

Lucile SAUSSAYE
Responsable de l'unité Ouvrages Hydrauliques et Géotechniques-
Risques Géologiques
Chargée d'études en Mécanique des Sols

+33 (0)2 54 55 49 43
lucile.saussaye@cerema.fr