

GDF SUEZ

ÊTRE UTILE AUX HOMMES

DRI_CRIGEN

Congrès INFRA 2012

STABILITE des OUVRAGES EXISTANTS au-dessus d'un FORAGE DIRIGE



Pascal AUSSANT
GDFSUEZ-DRI-CRIGEN

Ingénieur-chercheur
Chef de projet « ingénierie des travaux »

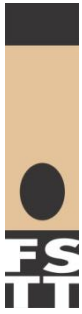
Jean-Pierre BRAZZINI
FSTT

Vice-président
Directeur scientifique-adjoint

MONTREAL le 21/11/2012

- ➡ Inquiétudes des responsables d'ouvrages en surface
- ➡ Forage dirigé: phases et questions associées
- ➡ Objectifs de l'étude
- ➡ Les étapes de l'étude
- ➡ Conclusions





GDF SUEZ

ÊTRE UTILE AUX HOMMES

DRI_CRIGEN

La pose de réseaux sans tranchée et inquiétude des responsables d'ouvrages en surface

Pour les voies ferrées: incidents rares mais importants problèmes d'exploitation

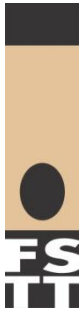
- soulèvement de voies lors du forage
- création de fontis ou déstabilisation de remblais lors du chantier ou à long terme

Peu d'analyse des incidents, et mauvaise connaissance des différentes techniques entraînent des freins sérieux à l'utilisation du sans tranchée

Pour les autoroutes:

- quelques incidents sur les ouvrages annexes (caniveaux et évacuation des eaux pluviales) entachent la réputation du sans tranchée





GDF SUEZ

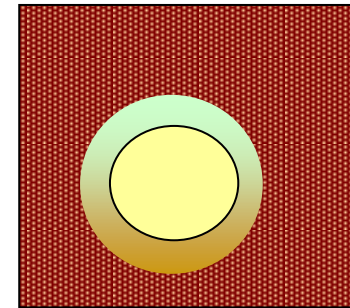
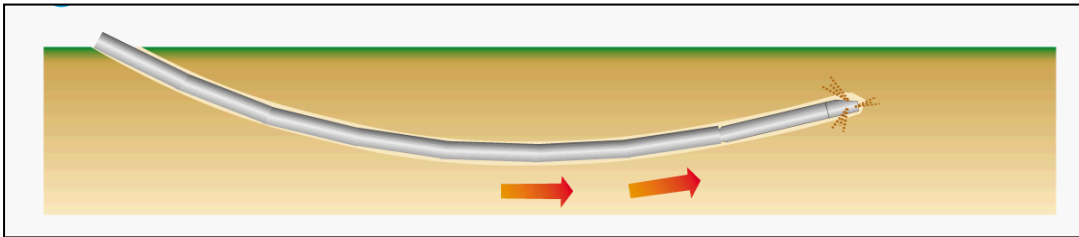
ÊTRE UTILE AUX HOMMES

DRI_CRIGEN

Le forage dirigé:

1- le forage pilote:

- forte pression du fluide de forage
- espace annulaire faible



Quel est le diamètre réel du trou compte tenu de l'effet « jetting » ?
Quel est l'épaisseur de la zone d'imprégnation?
Quels risques de déstabilisation du sol ?



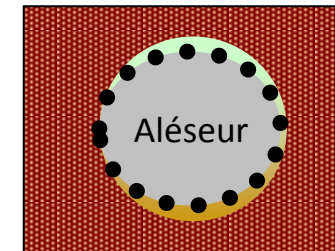
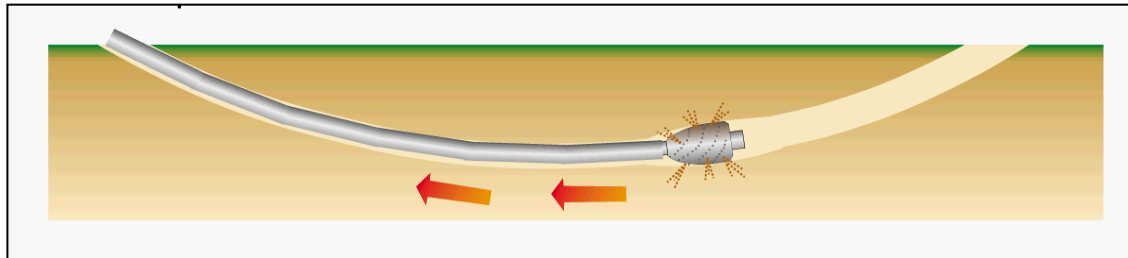
GDF SUEZ

ÊTRE UTILE AUX HOMMES

DRI_CRIGEN

2- le(s) alésage(s):

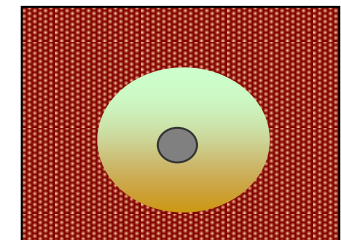
- pression du fluide plus faible
- espace annulaire de plus en plus important derrière l'aléateur



Risque de surcreusement ?

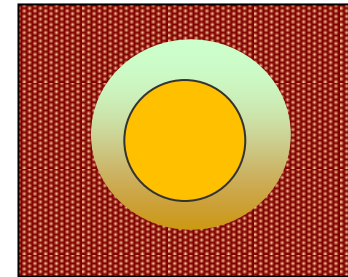
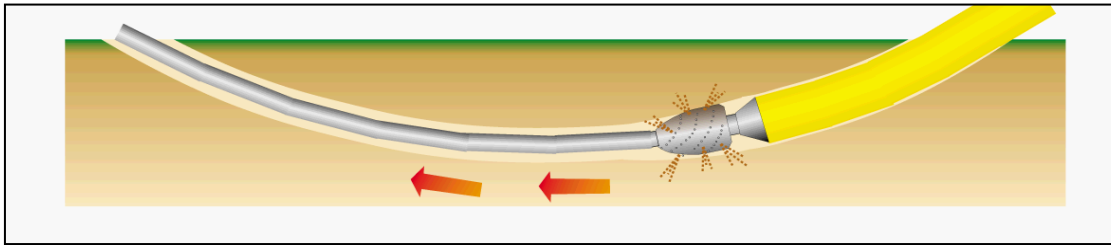
Risque d'effondrement de l'espace annulaire
entre 2 alésages ?

Que devient la zone d'imprégnation ?

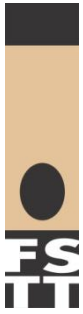


3- tirage de la canalisation:

- pression du fluide faible (rôle de lubrifiant)
- espace annulaire $\approx 50\%$



Que devient la zone d'imprégnation ?
 Quel rôle dans la stabilité du sol ?
 Y a-t-il une couche imperméable ?



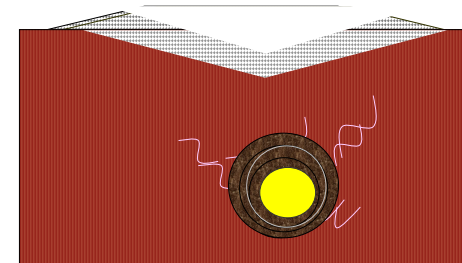
GDF SUEZ

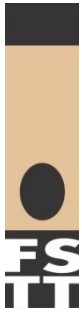
ÊTRE UTILE AUX HOMMES

DRI_CRIGEN

4- après la pose:

que se passe-t-il dans l'espace annulaire ?
que devient la zone d'imprégnation ?





Objectifs de l'étude:

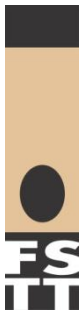
- ➡ Prévoir le comportement du sol en surface
- ➡ Prévenir les risques

Pour cela modéliser le comportement du sol au-dessus du forage dirigé

Des études précédentes avaient abouti à des impasses:

- ➡ le logiciel de calcul utilisé ne permettait pas ce type de modélisation (résultats obtenus aberrants)
- ➡ il est indispensable de connaître les paramètres physiques autour du forage ou de la canalisation (espace annulaire et zone d'imprégnation)

À ce jour très peu d'étude et aucune quantifiant les différents paramètres



Les étapes de l'étude :

La FSTT a réunis 16 partenaires autour de GDFSUEZ principal financeur:

- 2 centres universitaires: *INSA Lyon, université de Poitiers,*
- 3 exploitants de réseaux: *GDFSUEZ, Grtgaz, EDF,*
- l'exploitant des voies ferrées: *SNCF*
- 5 entreprises de forage dirigé: *HDI, SADE, Technofor, LMR, Forage 21,*
- 1 bureau d'étude: *Forexi*
- 2 fabricants: *Tracto-techniques (machines de forage), Sud-Chemie (bentonite),*
- FSTT et DCA



Programme de l'étude:

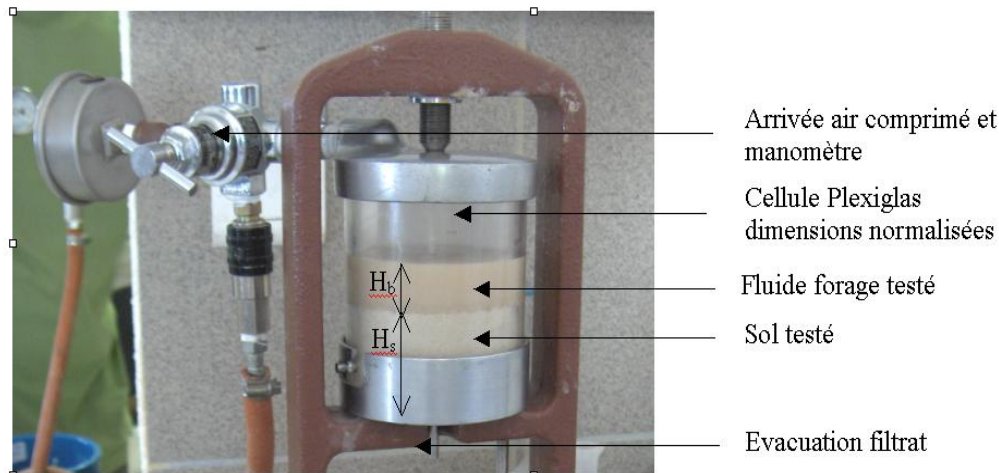
- 1- déterminer les paramètres de la zone d'imprégnation
- 2- étudier le comportement à long terme de l'espace annulaire
- 3- rechercher une modélisation
- 4- analyser les incidents survenus sur les voies ferrées
- 5- suivre la réalisation de chantiers
- 6- vérifier la modélisation par des essais en laboratoire
- 7- réaliser un chantier expérimental (reporté)

En 4 ans une dizaine de stagiaires ont réalisé
les différentes phases de cette étude:

1- Imprégnation

- réaliser des imprégnations de sol en éprouvette en variant la densité de bentonite (20 à 60g/l) et la pression (20 à 100kPa), avec un sable d'Hostun pur, mélangé à du Kaolin, une grave.
- mesurer les paramètres physiques par des essais triaxiaux, à l'oedomètre, à la boîte à cisaillement, ou au rhéomètre.

- Essais de filtration grâce au dispositif API (American Petrole Institut)





Résultats:

GDF SUEZ

ÊTRE UTILE AUX HOMMES

DRI_CRIGEN

- l'épaisseur de la zone d'imprégnation dépend uniquement de la pression maximum du fluide de forage pour un sol donné,



- la profondeur maximale d'imprégnation est atteinte en 1 à 2 minutes

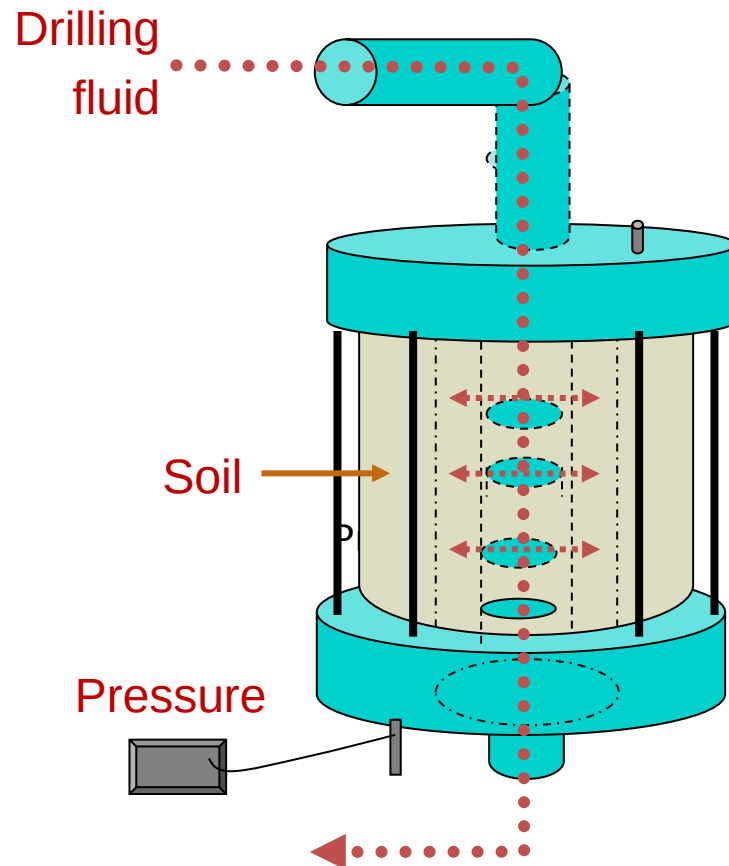


- il ne se crée pas de couche imperméable autour de l'espace annulaire, une pression plus forte lors d'un nouveau passage provoquera une imprégnation plus profonde.

Filtration dynamique radiale:

ÊTRE UTILE AUX HOMMES

DRI_CRIGEN

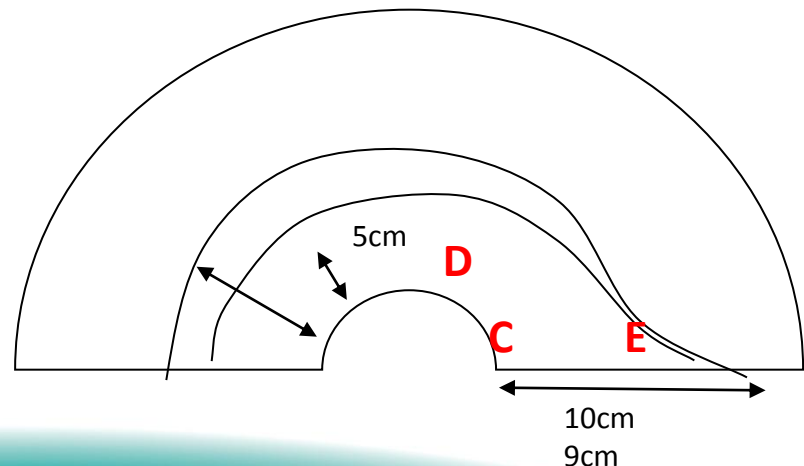
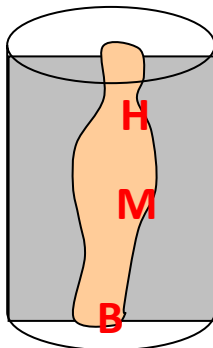


Les essais réalisés de manière statique et verticale sont loin des conditions de chantiers,

Aussi une boucle de circulation de fluide ont permis de réaliser une imprégnation radiale et dynamique plus proche des conditions de chantier avec les mêmes sols, mêmes densités de bentonite et pressions.

résultats

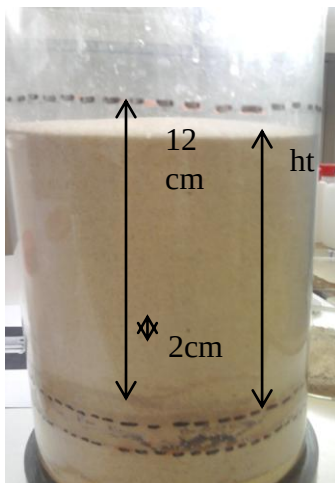
- ces essais dynamiques ont donné des résultats équivalents, la profondeur d'imprégnation est en moyenne proche de celle obtenue en éprouvette.
- les essais en éprouvettes sont donc suffisamment représentatifs et permettent de mesurer la profondeur d'imprégnation et les paramètres physiques de cette zone d'imprégnation pour un sol donné et la pression maximum en tête du forage.





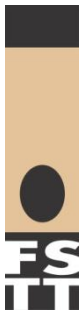
2- Comportement à long terme de l'espace annulaire

- Faire « vieillir » en éprouvette des mélanges de fluide de forage et de « cutting »
- évaluer la réduction de volume une fois secs et
- mesurer les paramètres physiques



résultats

à long terme la réduction du volume du mélange fluide de forage/cutting dans l'espace annulaire est d'environ 30% pour un fluide dosé à 60g/l de bentonite,



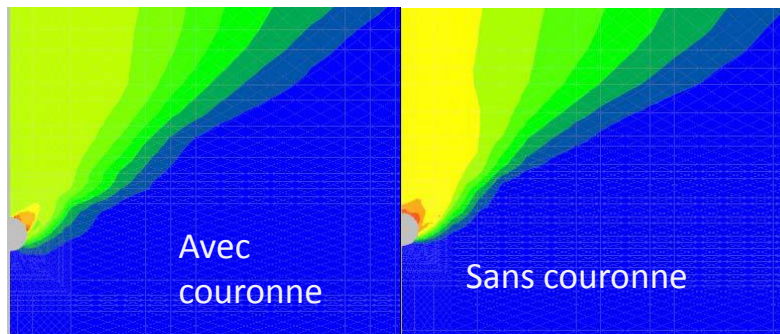
GDF SUEZ

ÊTRE UTILE AUX HOMMES

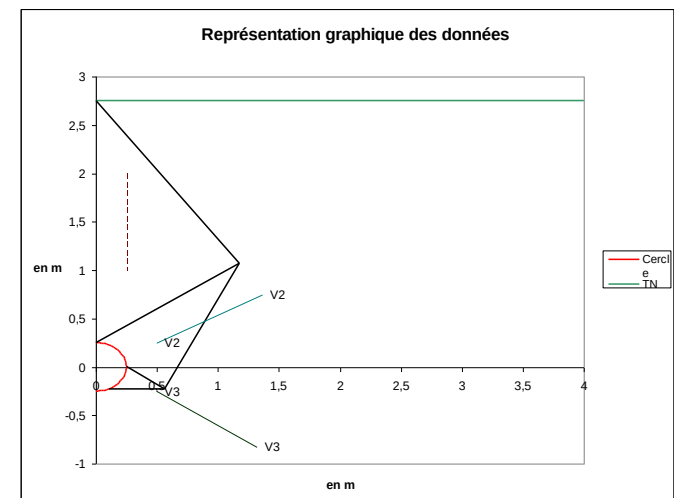
DRI_CRIGEN

3- Modélisation

- Rechercher les causes des échecs des tentatives précédentes de modélisation,
- Choisir le modèle de comportement le mieux adapté,
- Réaliser une modélisation avec ce logiciel



Comparaison des déplacements



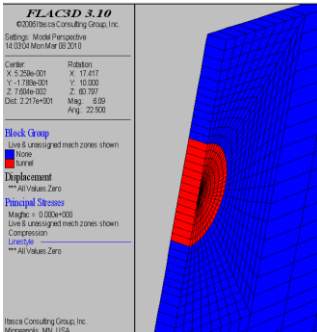


résultats

GDF SUEZ

ÊTRE UTILE AUX HOMMES

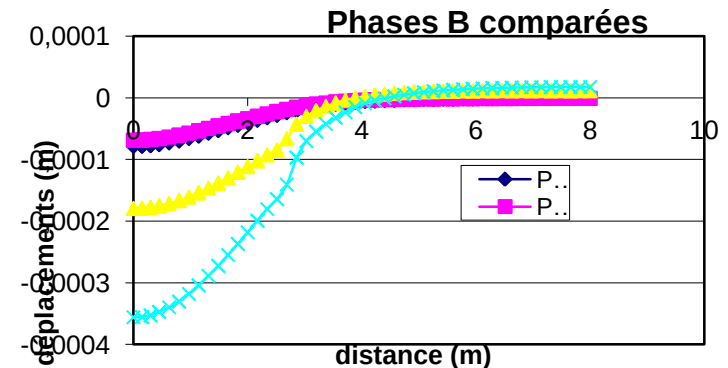
DRI_CRIGEN



Le maillage utilisé dans le logiciel Plaxis avec le modèle Mohr Coulomb ne permet de prendre en compte les conditions initiales du forage, modifier ce maillage est trop complexe pour cette étude

Un autre logiciel, FLAC 3D, a donc été testé.

- Les résultats obtenus sont beaucoup plus proche des effets constatés sur le terrain.
- L'introduction des paramètres de la zone d'imprégnation et de l'espace annulaire est possible.
- Les calculs sont beaucoup plus longs.



On constate que la zone d'imprégnation renforce l'effet voûte.

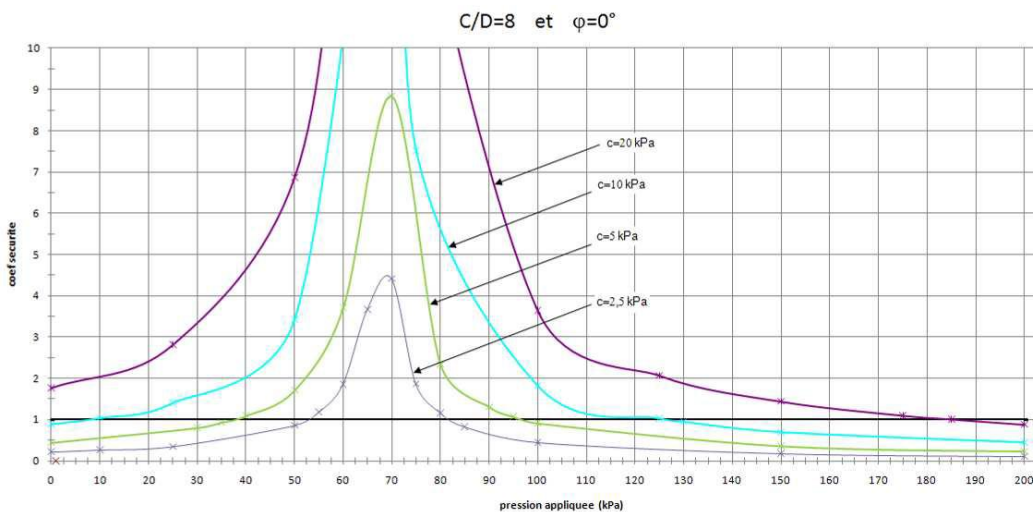
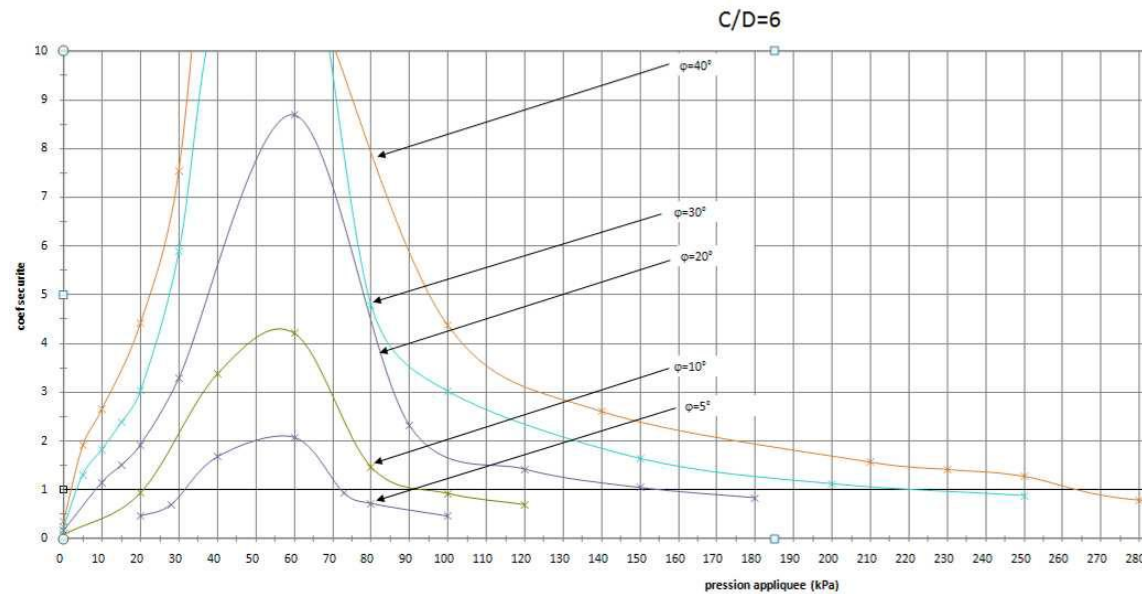


stabilité

GDF SUEZ

ÊTRE UTILE AUX HOMMES

DRI_CRIGEN



La plage de stabilité du forage s'élargie avec la cohésion du sol, le coefficient de frottement et la profondeur



4- Retour d'expérience de la SNCF

- Analyser les incidents survenus lors ou suite à des travaux sans tranchée sous les voies ferrées depuis 15 ans

résultats



Très peu d'incidents dus au forage dirigé.
Les fontis et déstabilisation des remblais sont dus pour l'essentiel à des micro-tunneliers et surtout des tarières avec des surexcavations.

Par contre les forage dirigé peuvent provoquer des soulèvement de voies ou des épanchements de bentonite en surface



5- Suivi de chantiers

- Etudier in-situ le comportement du fluide de forage,
- prélever des échantillons autour de canalisations posées depuis plusieurs mois (zones d'imprégnation et espace annulaire)
- analyser ces échantillons

résultats

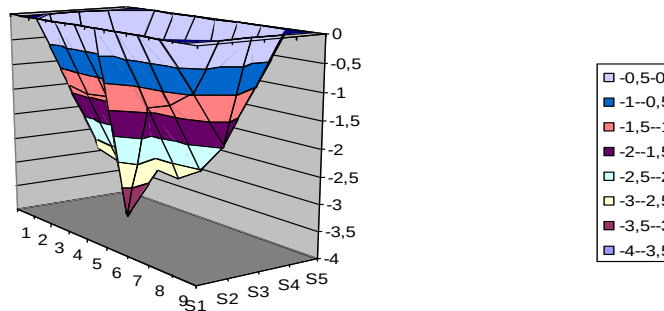
- Les chantiers étudiés sont des poses de canalisations de faibles diamètre à faible profondeur.
- Pas de mouvement constaté en surface.
- Une densité de bentonite plus faible que les recommandations ($< 20\text{g/l}$).



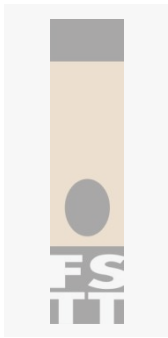


6- Essais en laboratoire

- réaliser des essais dans une cuve de 6 m³
- mesurer les mouvements du sol en surface
- comparer les résultats à la modélisation



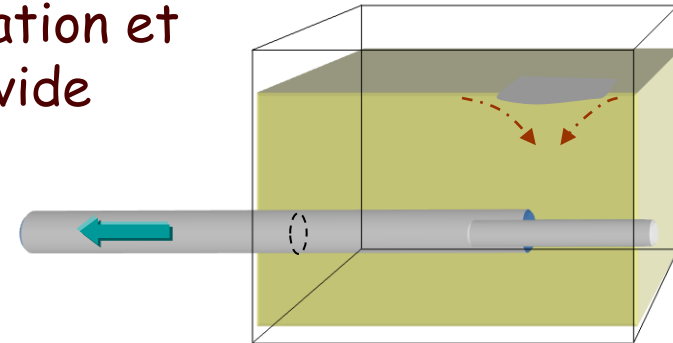
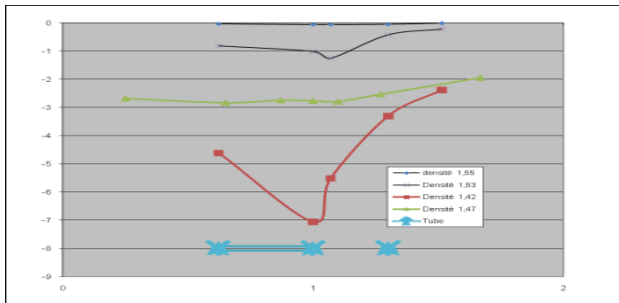
Mesures des mouvements en surface réalisés par stéréocorrélation pour 3 essais/10



10 essais réalisés dans des conditions plus défavorable que sur le terrain:

- Utilisation d'un matériau sec sans cohésion,
- sans charge sur le sol,
- à la limite avec $C/D = 8$ (profondeur/diamètre),
- sans fluide de forage donc

sans zone d'imprégnation et un espace annulaire vide



Résultats:

- ☞ Constat d'une forte corrélation avec le modèle théorique de Peck
- ☞ Profondeur des déplacements < 10 mm
- ☞ Les paramètres les plus importants sont:
 - rapport C/D ,
 - cohésion (humidité de 5% $\Rightarrow$ déplacements divisés par 7)
 - rapport des contraintes
- ☞ Rapport entre volume déplacements/ volume espace annulaire = 20%



conclusions

GDF SUEZ

ÊTRE UTILE AUX HOMMES

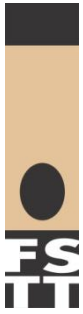
DRI_CRIGEN

Pas de mouvement significatif du sol en surface lorsque $C/D \geq 10$

Une modélisation est possible à condition de connaître les paramètres physiques du sol et de réaliser en labo une imprégnation du terrain par le fluide de forage et d'en déterminer les paramètres

Concernant le forage dirigé, il y a un risque réel de soulèvement ou de remontée du fluide en surface

qui peut être évité par une **surveillance permanente du débit de retour** du fluide de forage durant le passage sous les ouvrages



GDF SUEZ

ÊTRE UTILE AUX HOMMES

DRI_CRIGEN

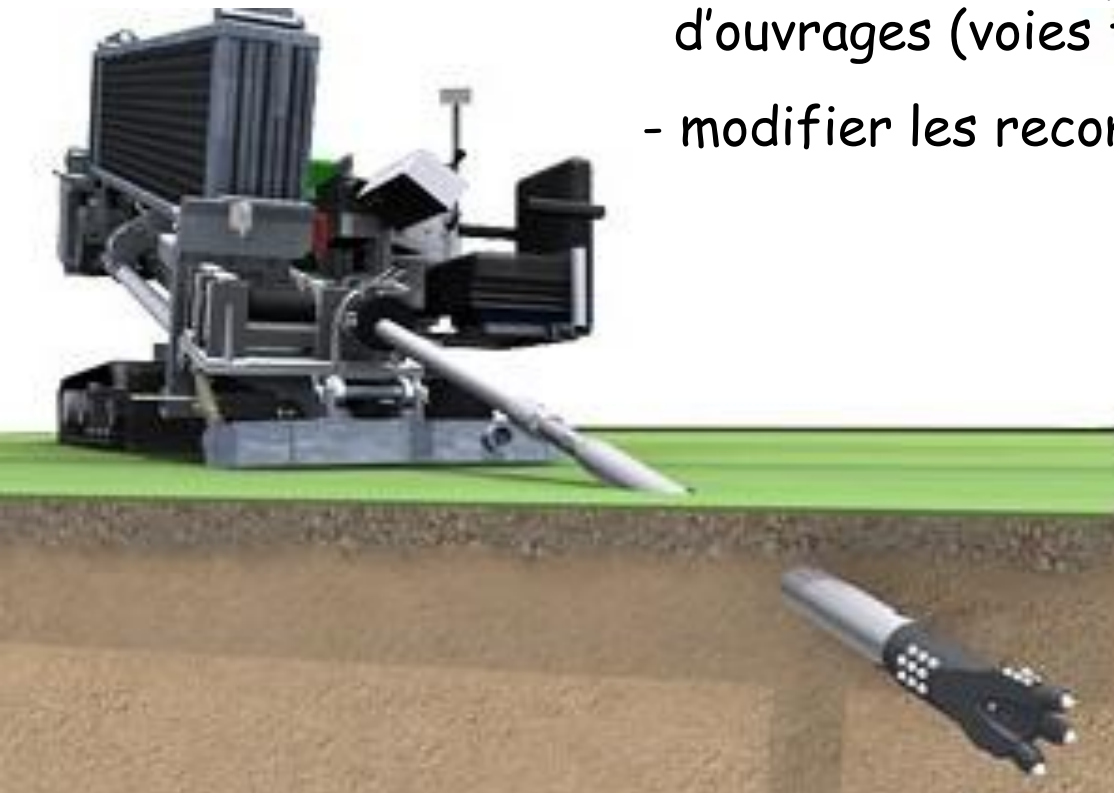
Cette étude montre que le passage d'un forage dirigé sous un ouvrage en surface présente peu de risques pour celui-ci,

ils peuvent être évités:

- en respectant les recommandations existantes en matière de profondeur,
- en réalisant une reconnaissance complète du sol (caractéristiques physiques, existence de faille ou vide,...),
- en réalisant une modélisation en cas de doute ou pour les ouvrages particulièrement sensibles.
(pour cela réaliser des imprégnations en labo)

Prochaines étapes:

- faire connaître ses résultats,
- faire évoluer les prescriptions des responsables d'ouvrages (voies ferrées, ...),
- modifier les recommandations de FSTT.



FIN

**Merci
de votre
attention**



**jeanpierre.brazzini@fstt.org
pascal.aussant@gdfsuez.com**