

AAP Energies Marines Renouvelable 2016



Le projet SOLCYP+



IFSTAR



Laboratoire
Génie Civil
et géo-Environnement
Lille Nord de France

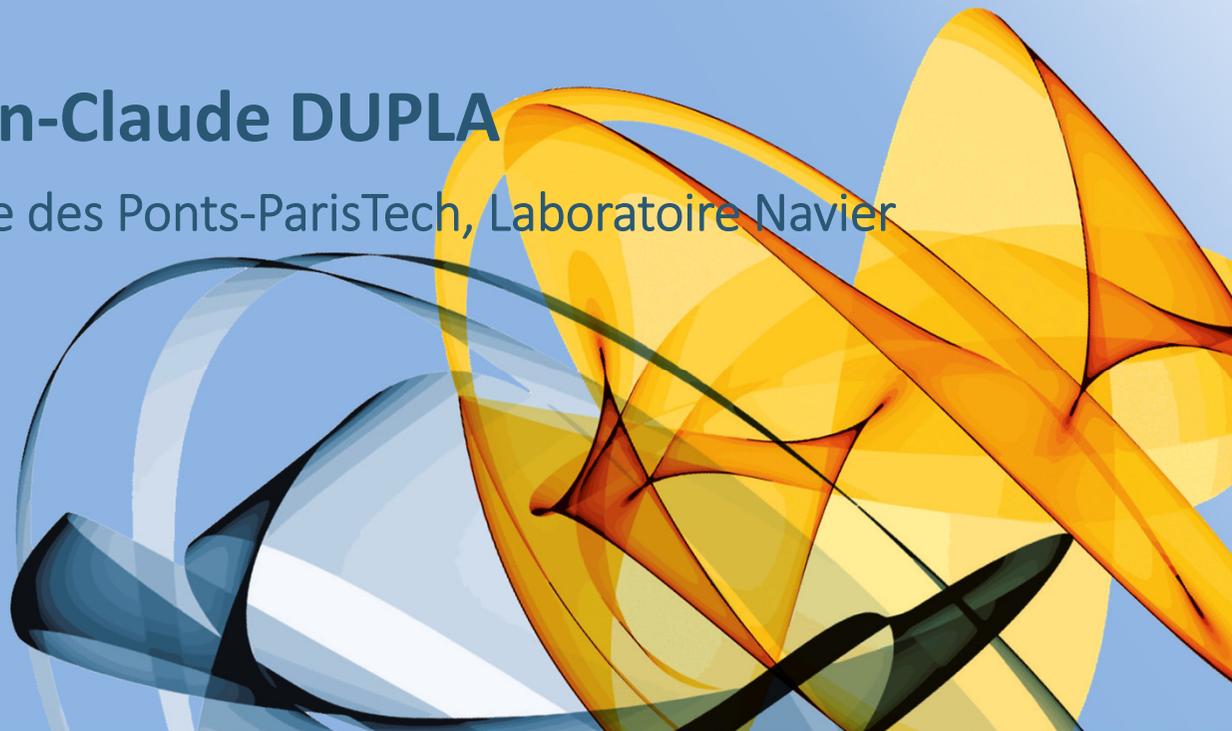
Jean-Claude DUPLA

Ecole des Ponts-ParisTech, Laboratoire Navier



06 Décembre 2018

Fondations des Eoliennes Offshore



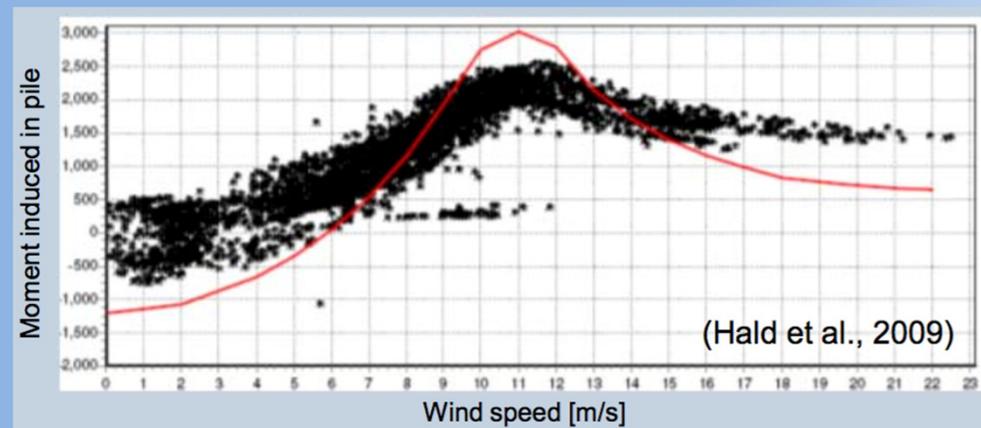
Contexte et problématique

Grenelle de l'environnement et paquet « énergie-climat »

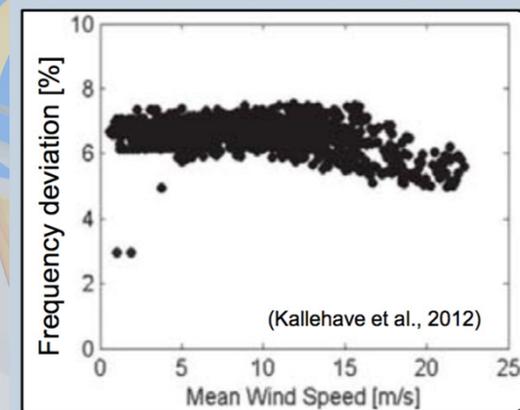
- 9 GW en 2023 pour l'éolien en mer



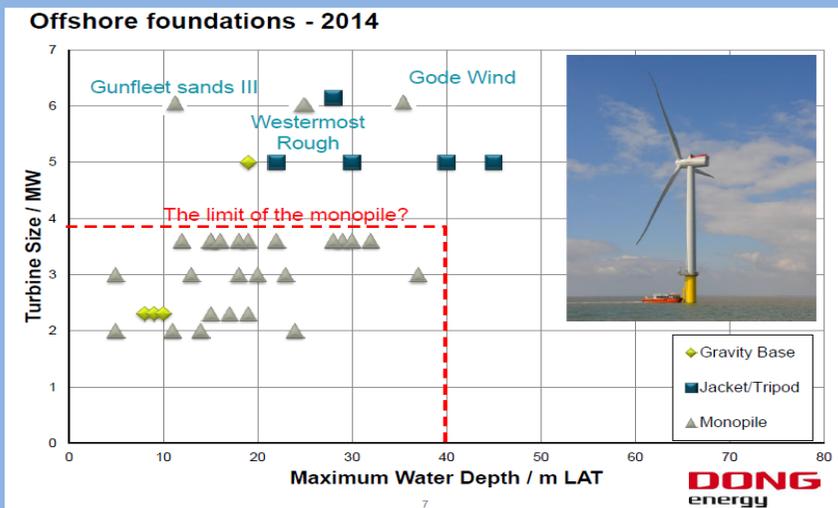
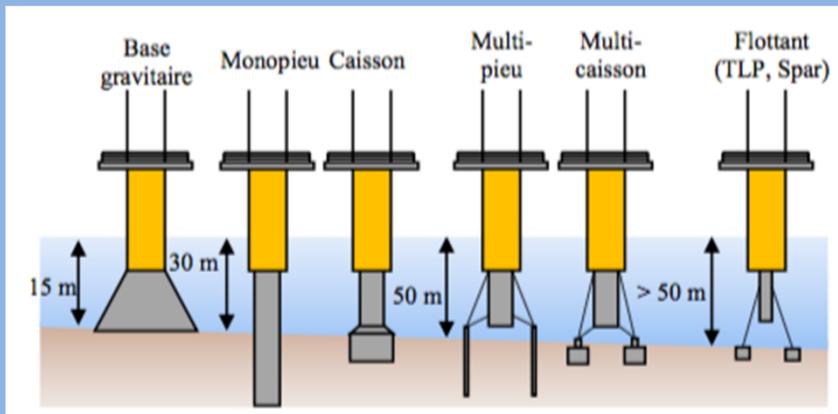
Sols carbonatés : marne, calcarénite et craie



Problème de dimensionnement
Insuffisance des approches API
et DNVGL



Problématique



Les fondations :
15 à 20 % de
l'investissement
total



- Augmentation de la puissance des turbines (6, 8 et 10 MW)
- D (6-8m) \uparrow et L/D (3-5) \downarrow (\neq SOLCYP/API/DNV)



Nécessité d'optimiser le dimensionnement



Complémentarité avec les projets européens (PISA, ALPACA)

Objectifs

- Savoir garantir les résultats des calculs de dimensionnement des systèmes EMR (Energies Marines Renouvelables) par la validation, mise au point d'outils/méthodes de dimensionnement
- Disposer de standards pour le développement des technologies EMR pour garantir la réalisation de fermes commerciales



SOLCYP +

Début du projet : février 2017

Durée : 36 mois

Budget : 998 k€

Organisation du projet

WP 1: Pilotage du projet
ENPC/FEM/EDF EN
J.C. Dupla, G Damblans et E. Palix

WP 2: Effets des chargements cycliques sur la réponse transversale des monopieux
IFSTTAR Nantes, M. blanc et L. Thorel

- Centrifugeuse
- Pieux battus, cyclique latéral,
- Sable
- Post-doctorant (12m)

WP 3: Etude du comportement des sols carbonatés
3SR, Ch. Dano
Partenaire : FUGRO (A. Puech)

- Boîte de cisaillement 3D
- Interface, pieux forés, coulis de scellement, cyclique, saturation
- Sols carbonatés
- Post doctorant (12m)

WP 4: Modélisation du comportement des monopieux dans les calcaires
EDF R&D, M. Kham
Partenaires : EDF EN (E. Palix), ENPC (J. Sulem)

- Essais en vraie grandeur et méthodes de dimensionnement
- Calcaire
- Doctorant (36m)
- Confidentiel

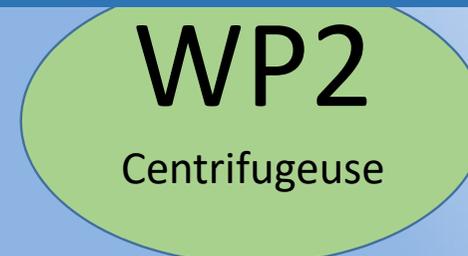
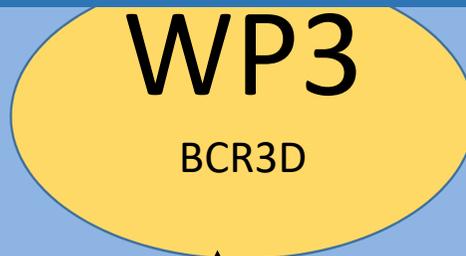
WP 5: Méthodes de dimensionnement
LGCgE, H. Mroueh
Partenaires : IFSTTAR Paris (S. Burlon), INNOSEA (Y. Martin), DONG (M. Pacheco Andrada), FEM (E. Palix), FUGRO (A. Puech)

- Méthodes de dimensionnement
- Axial, latéral, cyclique
- Sable, craie, sols carbonatés
- Post-doctorant (18m) et doctorant (36m)

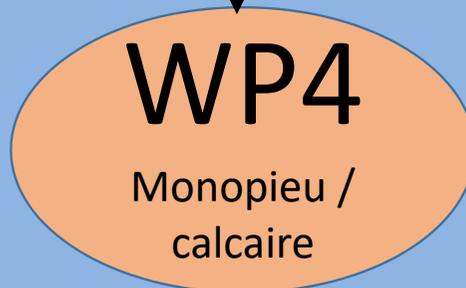
WP 6 Dissémination
FEM, G. Damblans, E. Palix
Partenaires : tous

Interactions entre tâches

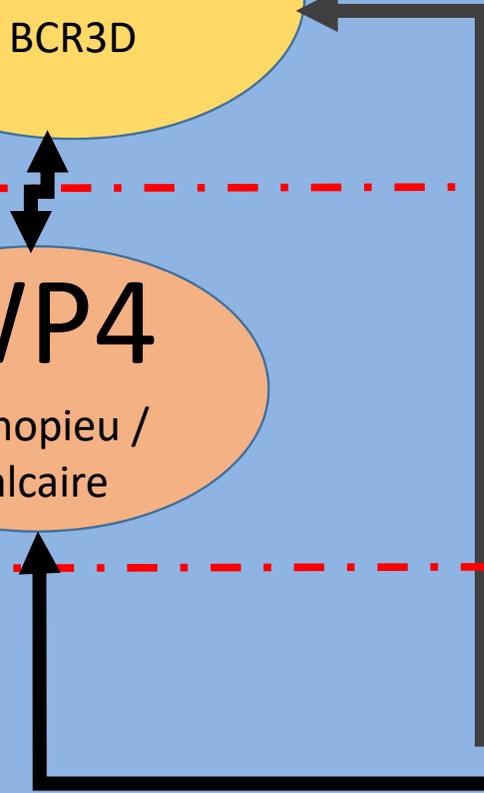
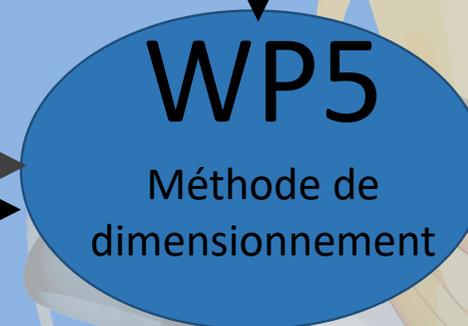
Expérimental



Expérimental / numérique



Numérique

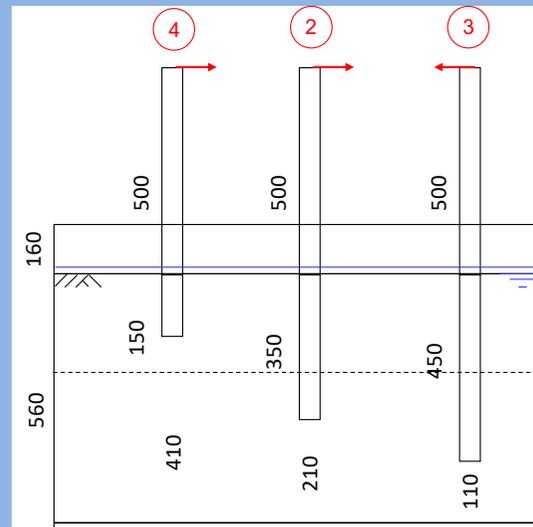
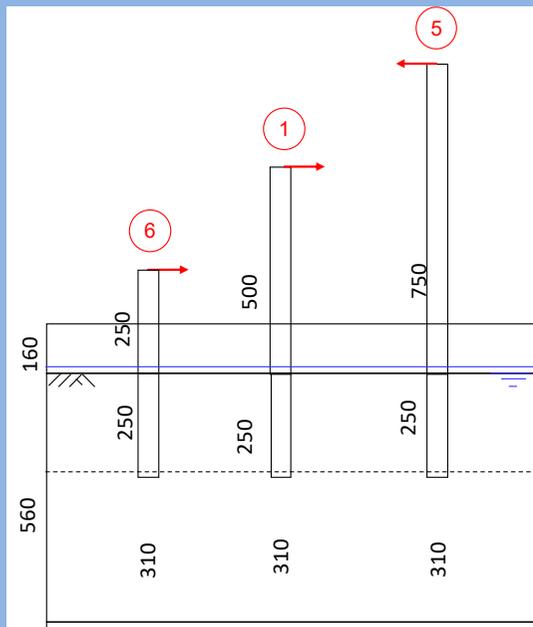


WP2 : Effets des chargements cycliques sur la réponse transversale des monopieux

Sable de Fontainebleau
Saturé, $I_D=0,8$

Monopieu
D=5m

N=100 g



Paramètres:

I_e/D

L/D

WP2 : Effets des chargements cycliques sur la réponse transversale des monopieux

Instrumentation

Capteurs de déplacement laser



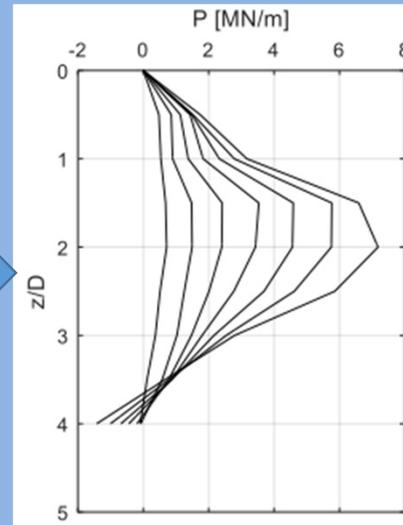
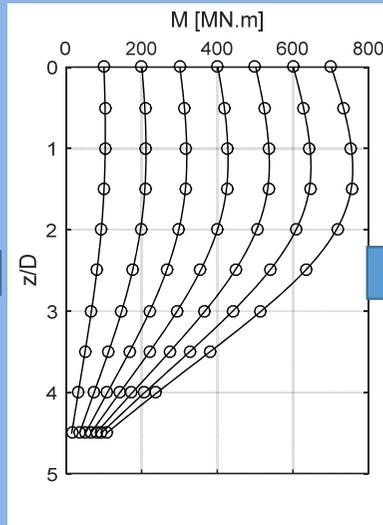
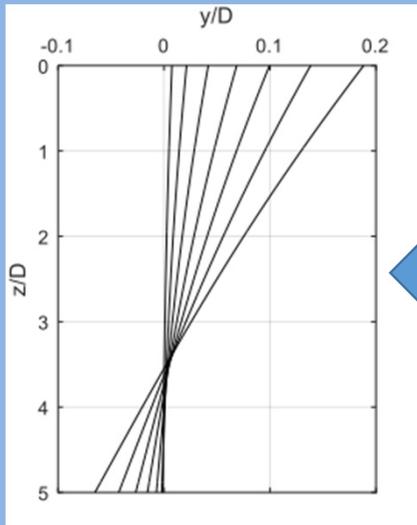
Fibre optique



Programme

- Essais monotones (l_e/D , L/D)
- Essais cycliques (H_{max}/H_{lim} , L/D)

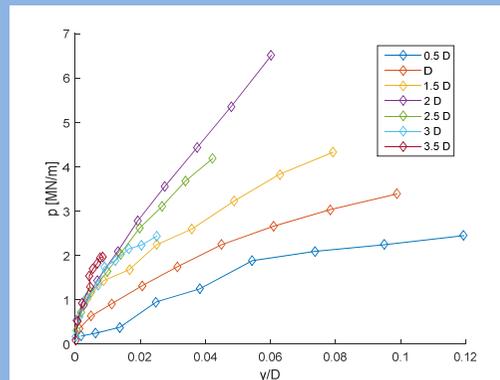
WP2 : Effets des chargements cycliques sur la réponse transversale des monopieux



Résultats typiques
($I_e/D=5$ et $L/D=5$)

Essais cycliques en cours

Battage en vol en 2019



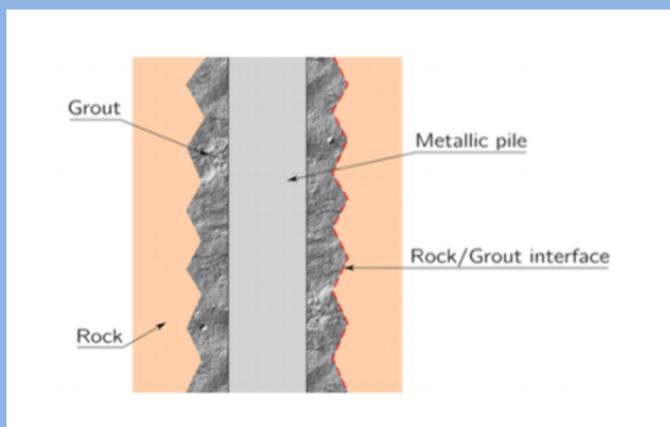
*Voir présentation de
Matthieu BLANC*

WP3 : Etude du comportement des sols carbonatés

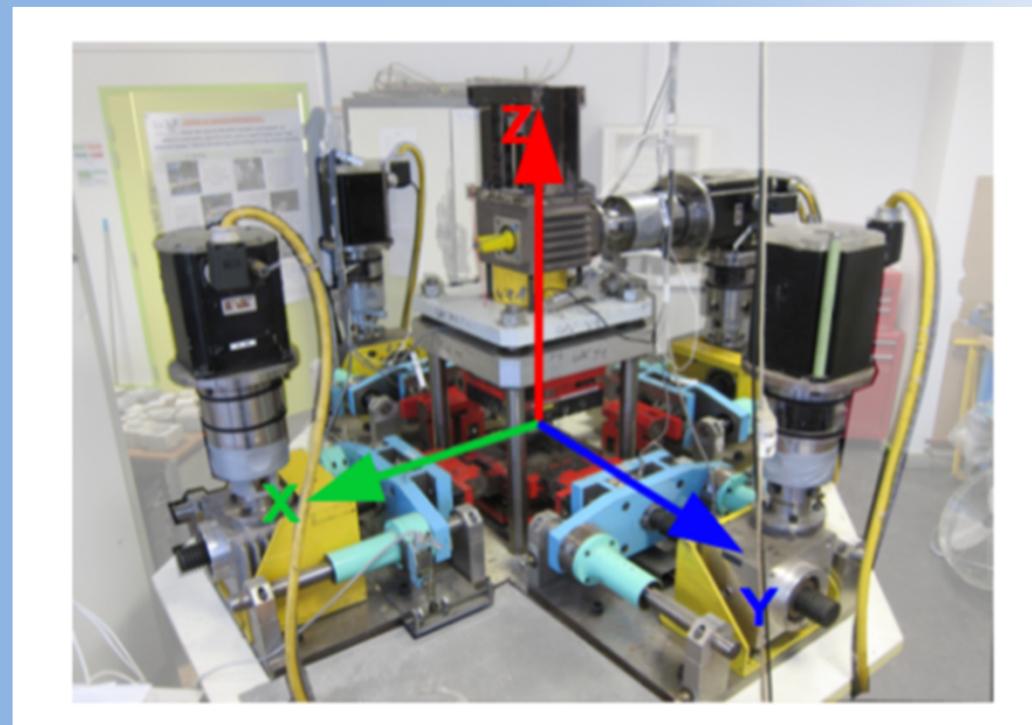
Sols carbonatés

- Caractérisation du frottement le long des monopieux
- Dégradation lors des chargements cycliques

Pieux forés et coulis de scellement



Dispositif expérimental BCR3D (3SR)



WP3 : Etude du comportement des sols carbonatés

Programme (post doc E. Stavropoulou; C. Dano)

- Caractérisation des matériaux (roche, coulis)
- Essais monotones (Roche-Coulis, Roche-Roche et Coulis-Coulis)
- Essais cycliques (idem)

Matériaux

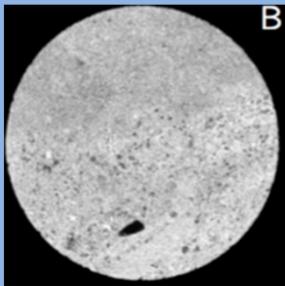


Calcaire
de St-
Maximin



Coulis

Micro- tomographie



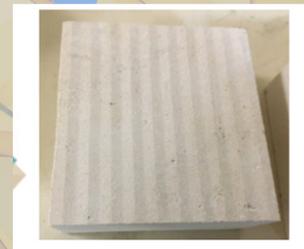
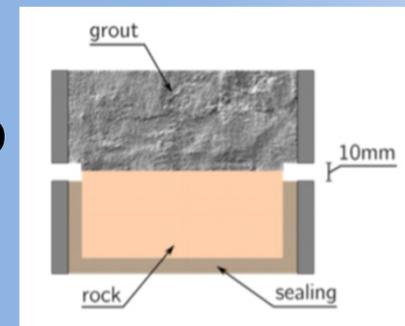
Types d'essais

- Compression simple
- BCR3D (CNL et CNS)

Compression simple

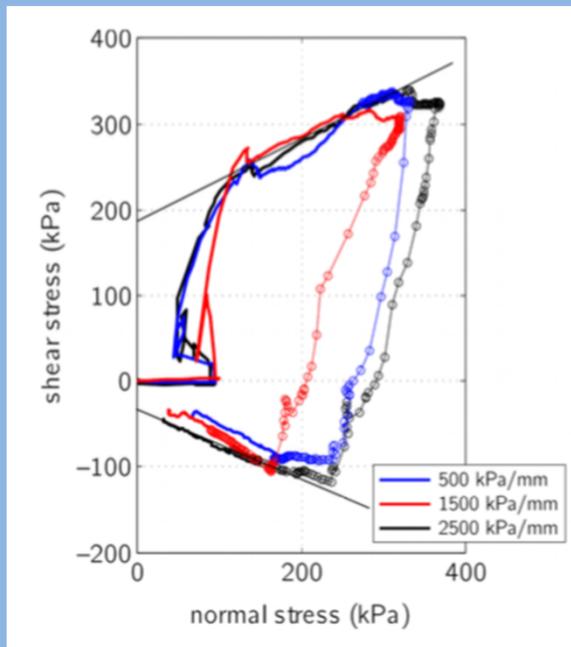


BCR3D



WP3 : Etude du comportement des sols carbonatés

➤ Résultats typiques (roche-coulis)



CNS Monotone

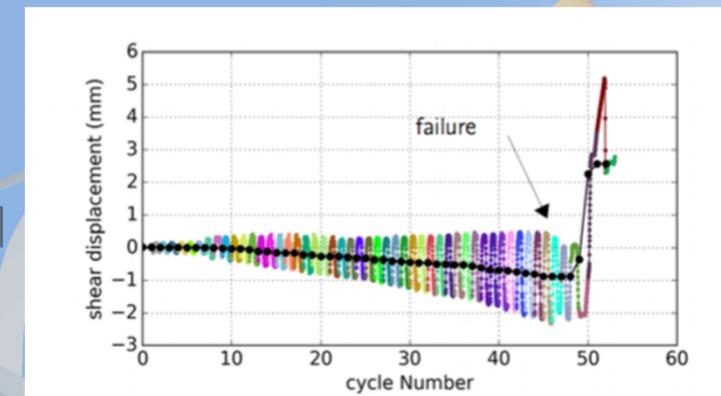


Paramètres de rupture (c' , ϕ')

Diagramme cyclique
($\tau_{ave}/\tau_{max,CNS}$, $\tau_{cyc}/\tau_{max,CNS}$)

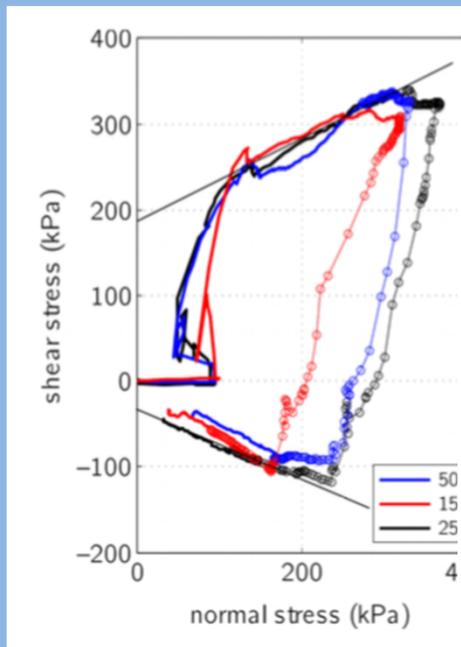


CNS Cyclique



WP3 : Etude du comportement des sols carbonatés

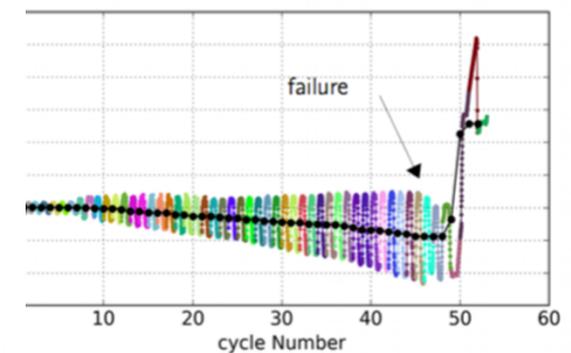
➤ Résultats typiques (roche-coulis)



CNS Monotor

*Voir présentations de
Alain PUECH et
Christophe DANO*

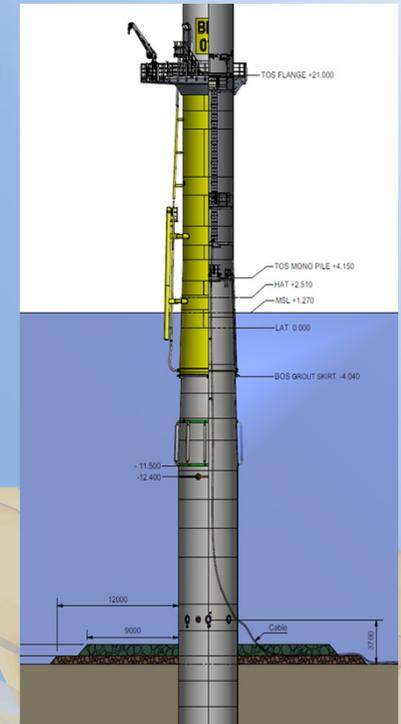
CNS Cyclique



WP4 : Modélisation du comportement des monopieux dans les calcaires

A la suite d'essais de pieux réalisés dans les calcaires par EDF EN (2016), une thèse est en cours sur le « Dimensionnement sous chargement cyclique de fondations de type 'mono-pieu' des éoliennes installées dans la roche tendre » (thèse réalisée par Anaïs Lovera ⁽¹⁾)

- Compréhension des mécanismes en jeu lors de la sollicitation latérale d'un pieu rigide dans des calcaires
- Modélisation 3D sur code Aster
- Modèle analytique validé par les essais de pieu



$D > 7m$

(1) Thèse non éligible et confidentielle



THE UNIVERSITY OF
WESTERN AUSTRALIA



École des Ponts
ParisTech

WP4 Modélisation du comportement des monopieux dans les calcaires

Campagne EDF-EN d'essais in situ réalisée par FUGRO en 2016

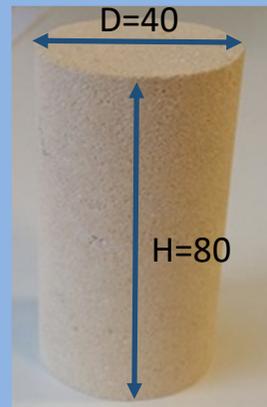
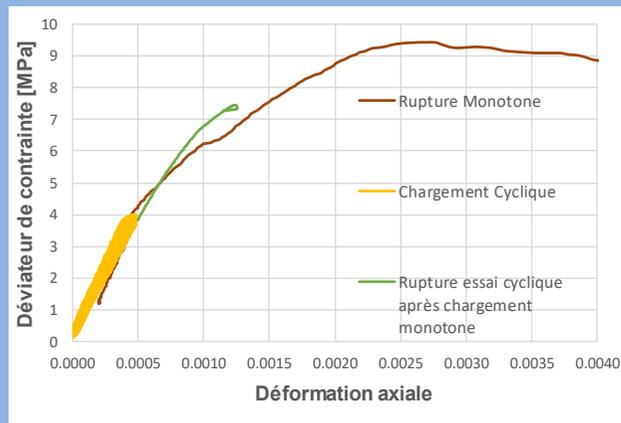
- Inspirée du programme de recherche PISA
- Essais de chargement horizontaux monotones et cycliques fortement instrumentés
- Jusqu'à 3000 cycles réalisés à une amplitude donnée
- 4 essais cycliques de 2 * 12h



WP4 : Modélisation du comportement des monopieux dans les calcaires

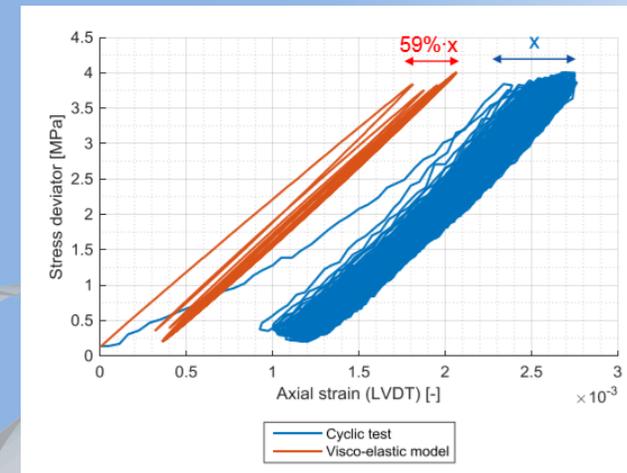
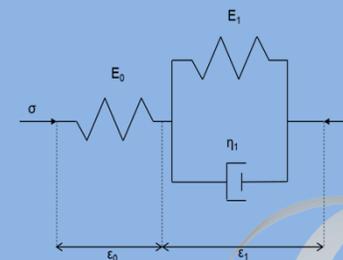
Interprétation dans le cadre d'une collaboration: EDF EN, EDF R&D,
M. Randolph (UWA) & J. Sulem (NAVIER)

➤ Essais au laboratoire (Navier)



Roche Calcaire de Saint-Maximin

➤ Calibration du modèle rhéologique de Kelvin à partir des essais cycliques et de fluage



WP5 : Méthodes de dimensionnement

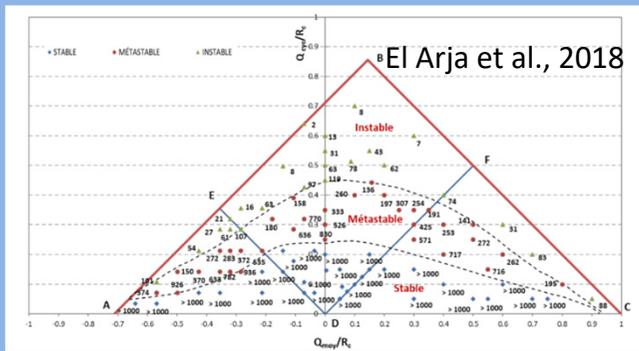
- **Poursuite des travaux de SOLCYP (IFSTTAR) – Postdoc de Zineb Abchir (Sébastien Burlon)**
 - Chargement axial cyclique
 - Chargement latéral cyclique

- **Procédures de calcul dans la craie (LGCgE) – Thèse de Mirna Doghman (Hussein Mroueh)**
 - Etat de l'art
 - Comparaison des règles Françaises et Britanniques (NF 94 262 et CIRIA C574)
 - Méthodes numériques (Hybride, TzC ...)

- **Application des méthodes de dimensionnement sur un cas pratique (Yves Marin, INNOSEA)**
 - Un cas représentatif d'un site Français

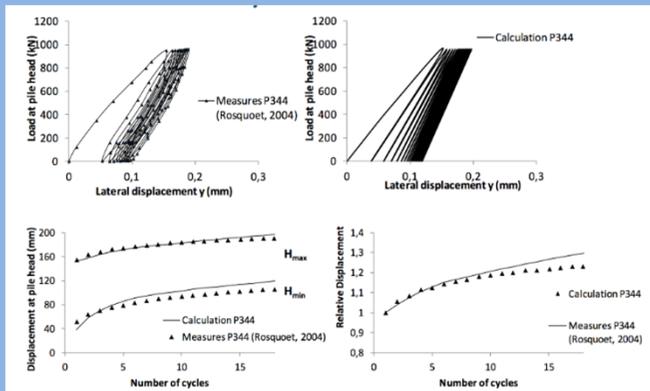
WP5 : Méthodes de dimensionnement

- Logiciel de calcul sous chargement cyclique vertical

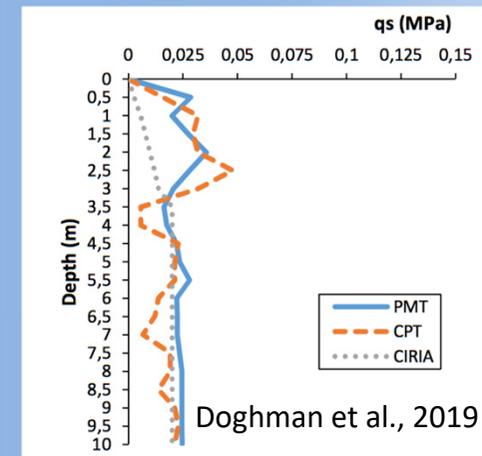


IFSTTAR

- Procédure pour le calcul sous chargement cyclique latéral « PILATE CYC »

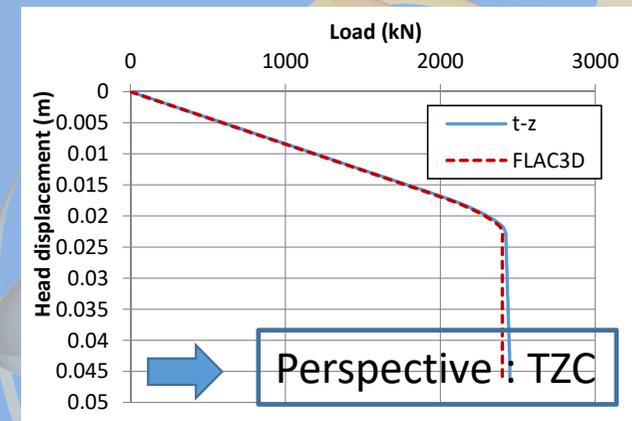


- Capacité portante dans les craies
Pieu métallique ouvert - site de Fleury-sur-Andelle (27)



LGCgE

- Mise en œuvre de la méthode t-z dans Flac 3D



Merci de votre attention



Orsted



IFSTAR



Laboratoire
Génie Civil
et géo-Environnement
Lille Nord de France

