

## Préface

Avec la conception de nouveaux types de structures ou infrastructures liées aux récents développements dans les domaines de l'énergie, du transport et du génie industriel, l'insuffisance des méthodes usuelles de dimensionnement des fondations sur pieux soumises à des chargements cycliques est fortement ressentie par la profession. Le cas des éoliennes, terrestres ou marines, est emblématique. Les recommandations qui nous sont proposées dans ce document visent à combler partiellement cette lacune technique et réglementaire, en proposant une approche méthodologique et des méthodes de calcul pour prendre en compte ces effets de charges variables dans le dimensionnement des fondations sur pieux. Elles s'appuient sur des expérimentations en laboratoire et en vraie grandeur et des modélisations conduites dans le cadre du projet SOLCYP.

Le projet SOLCYP constitue en fait la poursuite naturelle d'efforts entrepris depuis plus de quarante ans dans le cadre de divers travaux de recherche portant sur la même thématique des chargements cycliques. Ces travaux ont été initiés sous l'impulsion du Professeur Jean Biarez, au laboratoire de mécanique des sols de l'Ecole centrale de Paris, qui a été le premier en France dans les années 1970 à mettre en place et réaliser un vaste programme de recherche sur le comportement cyclique des sols. Deux grandes thématiques ont été développées : le comportement sous chargements sismiques en collaboration principalement avec EDF, et le comportement sous très grands nombres de cycles en collaboration avec Elf Aquitaine et l'Institut français du pétrole (IFP).

Vers la fin de la décennie, l'évolution de l'industrie pétrolière vers l'exploitation des grands fonds (à cette époque  $> 400$  m) a conduit à l'apparition de nouveaux concepts de plates-formes dont les TLP (*Tension Leg Platforms*, plates-formes à câbles tendus) qui ont soulevé la problématique de la tenue des pieux sous efforts de traction, notamment cycliques. Les essais de l'Institut français du pétrole (IFP)

conduits à partir de 1978 sur le site Plancoët par le Laboratoire régional des ponts et chaussées (LRPC) de Saint-Brieuc sont les premiers essais de pieu *in situ* publiés ; ils seront suivis par les essais du BRE (Royaume-Uni) et les premiers essais du *Norwegian Geotechnical Institute* (NGI, Norvège). Les essais de Plancoët ont été poursuivis par ceux de Cran dans l'argile molle puis plus tard par les essais sur le site de Plouasne dans les sables carbonatés cimentés. Le cadre des essais réalisés en France a été le même : ils ont été menés dans le cadre de l'ARGEMA (Association de recherche en géotechnique marine) regroupant les pétroliers (ELF-TOTAL), les entreprises et les ingénieries du secteur parapétrolier (CG DORIS, SEA TANK Co, CFEM, ETPM, etc.), les instituts de recherche (IFP et IFREMER, à l'époque CNEXO). Ils ont été financés par les partenaires avec une contribution publique significative au travers du FSH (Fonds de soutien des hydrocarbures). Le CLAROM (Club pour les actions de recherche sur les ouvrages en mer) s'est plus tard substitué à l'ARGEMA avec l'implication de nouveaux acteurs parmi lesquels TECHNIP, SUBSEA 7, Doris Engineering, SAIPEM, Fugro.

En parallèle des actions de recherche ont été conduites entre le CLAROM, ou directement l'IFP, et certains laboratoires universitaires (comme l'École centrale, le laboratoire 3SR de Grenoble). Ces actions ont porté sur des essais de laboratoire ou sur des développements numériques.

Par la suite on peut relever la création en janvier 1986 du groupement de recherches coordonnées GRECO « géomatériaux », laboratoire « hors les murs » créé en 1986 par le CNRS et le ministère en charge de la recherche, qui a constitué un point de départ significatif de structuration et de coordination en France des recherches théoriques et appliquées sur les géomatériaux (regroupant sols, roches et bétons) et les ouvrages géotechniques. Il a rassemblé la plupart des compétences spécialisées, relevant des laboratoires publics et privés, des entreprises, des bureaux d'études, et des donneurs d'ordres. Parmi les travaux du GRECO, dont le cadre dépasse largement celui des pieux, on relève des thèmes tels que « interfaces sol-structure », « modélisation du frottement latéral des pieux », qui sont au cœur du dispositif SOLCYP. Il est à noter que le GRECO géomatériaux est ensuite devenu le réseau européen de laboratoires « ALERT Geomaterials », qui continue de fédérer et de promouvoir les échanges scientifiques relatifs aux géomatériaux, aux ouvrages, et à l'environnement, en Europe et même au-delà. La richesse de cette production scientifique est due en grande partie ensuite à la collaboration qui s'est instaurée entre les universités, les centres techniques, les grands organismes et les bureaux d'étude.

A la lumière de ce bref rappel historique, qui ne saurait prétendre à l'exhaustivité, force est de reconnaître que le projet SOLCYP se situe dans la continuité des recherches antérieures. Cette continuité est assurée non seulement par les thèmes

scientifiques traités mais également, prouvant en cela le succès des programmes antérieurs, par la participation des partenaires opérateurs de SOLCYP qui ont tous été impliqués dans ces actions antérieures, qu'il s'agisse des essais ou des travaux de laboratoire :

- IFSTTAR et CERMES (filiale LCPC/LRPC) qui ont conduit notamment des essais en chambre d'étalonnage et des essais *in situ* ;
- 3SR qui a réalisé des essais en laboratoire, en chambre d'étalonnage et développé des modèles théoriques ;
- Ecoles centrales de Nantes et Lyon : essais de laboratoire et développements numériques ;
- Université de Lille : développement de modèles théoriques.

On n'aura garde d'oublier la présence continue d'Alain Puech, directeur technique du projet SOLCYP, qui au gré de ses appartenances professionnelles (IFP, Geodia et maintenant Fugro) a été partie prenante de toutes ces recherches.

Le lecteur ne sera donc pas surpris de retrouver dans les thèmes scientifiques abordés une vaste bibliographie sur les essais de pieux en vraie grandeur, ou en chambre d'étalonnage, sur les essais d'interface sol-pieu, réalisés depuis les années 1970 et poursuivis dans le cadre de SOLCYP. Cette base de données est indispensable pour permettre d'aborder le comportement des pieux sous chargement cyclique dans lequel on retrouve tous les aspects afférents à cette thématique depuis la caractérisation de ces chargements d'un point de vue fondamental et leur mise en œuvre pratique pour les projets, les aspects de dégradation liés au sol et à l'interface sol-pieu et les critères de dommage associés. Sont ensuite abordés le comportement cyclique des pieux sous charge axiale puis sous charge latérale permettant d'aboutir à des règles de dimensionnement pratiques pour l'ingénierie, accompagnées des méthodes de détermination des paramètres nécessaires. Le document s'achève avec des recommandations pour la réalisation des essais de pieux basées sur la grande expérience acquise depuis les années 1970.

On peut donc affirmer qu'il existe aujourd'hui en France un groupe de compétence solide et bien structuré, animé d'un excellent esprit de collaboration sur la thématique des chargements cycliques appliqués au comportement des pieux. Ce n'est pas un des moindres mérites, et succès, du programme SOLCYP. Une prolongation à ce programme, dite SOLCYP+, impliquant les mêmes acteurs, est d'ailleurs en cours de mise en place, sous l'impulsion d'EDF-EN et le pilotage de France Energies Marines, afin de traiter notamment des sols carbonatés rencontrés au large des côtes françaises (craies, calcarénites) dans la perspective du développement de l'éolien offshore.

Pour conclure, le document qui est proposé aujourd'hui constitue indiscutablement une avancée fondamentale non seulement dans la compréhension des phénomènes mais également dans le développement de méthodes de calculs pratiques utilisables par l'ingénierie. Ses résultats sont sans nul doute destinés à recevoir une audience internationale, comme en attestent déjà les nombreuses publications dans les revues, congrès et colloques internationaux. Au niveau national, les résultats de SOLCYP sont en cours d'introduction dans les « recommandations pour le dimensionnement des fondations d'éoliennes offshore » élaborées dans le cadre d'un groupe de travail du Comité français de mécanique des sols et de géotechnique (CFMS).

Je ne saurais terminer cette préface sans remercier tous les acteurs du projet pour la qualité de leur travail et la richesse de leurs échanges à laquelle il m'a été donné d'assister. Ces remerciements s'adressent en premier lieu à Alain Puech qui a su, avec toute la compétence et patience nécessaires, diriger et fédérer un grand nombre d'intervenants d'origines diverses dont les intérêts auraient pu être divergents pour aboutir à un vaste projet cohérent et utile à la profession ; ils vont également à tous les partenaires et organismes financeurs du projet qui sont explicitement nommés dans l'avant-propos et le chapitre 1.

Alain PECKER  
Président du projet SOLCYP