

Objectifs

Le Projet National TUBA, lancé en Juin 1993, a résulté des réflexions des principaux intervenants dans le domaine des travaux à la mer se retrouvant, depuis 1990, dans le « Club des travaux portuaires de l'IREX ».

Les idées maîtresses rapidement apparues,

- la nécessité économique de favoriser une relance des fondations sur pieux métalliques battus,
- le constat d'un certain retard technique notamment en matière de prévision de battage et de contrôle de battage,

- l'existence d'un savoir faire important dans le secteur de l'offshore pétrolier où la fondation sur pieux métalliques battus s'impose dans plus de 90 % des cas,

ont conduit à l'élaboration d'un Projet National de recherche avec pour objectif le développement d'une procédure complète de prévision et de contrôle de battage des pieux métalliques adaptée aux travaux portuaires français.

Projet National TUBA

Battage des pieux

Programme réalisé

Le programme s'est appuyé largement sur la méthodologie mise en place dans les travaux offshore et reposant sur trois décennies d'expérience. Toutefois des modifications ou adaptations ont été introduites de manière à tenir compte de certaines spécificités :

- *le type de reconnaissance géotechnique réalisable par de faibles profondeurs d'eau,*
- *la pratique française en matière d'essais pressiométriques,*
- *la nature des sols effectivement rencontrés dans les zones portuaires actives,*
- *la longueur relativement faible des pieux et leur mode de fonctionnement,*
- *le type des engins de battage utilisés (marteaux diesel et électrique)*

Le projet a été articulé en cinq phases :

- *une étude bibliographique,*
- *une étude théorique,*
- *deux études expérimentales sur site,*
- *le développement du logiciel CALYPSO,*
- *la rédaction de la procédure.*

1

Etude bibliographique

L'étude bibliographique a été plus particulièrement axée sur quatre points :

- la comparaison des techniques de traitement des problèmes de battage des pieux métalliques dans les secteurs offshore et portuaire ou terrestre,
- la revue détaillée des méthodes de calcul de la résistance des sols au battage en usage dans le domaine offshore,
- la description des programmes de simulation de battage opérationnels basés sur la théorie de propagation des ondes (TTI, WEAP) ou sur la méthode des caractéristiques (TNO-WAVE, ADIG),
- le recensement des marteaux de battage avec leurs caractéristiques opérationnelles.



2

Etude théorique

L'étude théorique a été consacrée à la modélisation du battage des pieux métalliques : modélisation des interfaces pieu-sol, réponse du sol aux sollicitations dynamiques, prise en compte des phénomènes d'amplification dynamique, dissipation d'énergie par plastification et radiation, etc.

L'objectif étant de faire le point sur l'état des connaissances, de définir les paramètres essentiels à la restitution des phénomènes de base et de proposer des guides pour le choix des valeurs à attribuer.

3

Expérimentations

Une première instrumentation a été réalisée en janvier 1994 au port du Havre lors de l'installation du nouveau poste ferry du Bassin de la Manche. Elle a porté sur 3 pieux de diamètre 1220 mm, de 32 m de longueur, battus au moyen d'un marteau diesel (Delmag D 22-32) à travers les sables et graviers et fondés dans les argiles raides.

L'instrumentation a consisté à :

- équiper la tête du pieu de capteurs de contrainte et d'accélération,
- enregistrer et traiter les signaux recueillis sous chaque coup de marteau de manière à en déduire la contrainte dans le tube, l'énergie délivrée au tube et la résistance dynamique du sol.

Des essais de surbattage ont également été effectués de manière à étudier l'effet de cicatrization du sol après arrêt du battage.

Les résultats étaient destinés à fournir des données de base pour le développement de la procédure d'instrumentation des pieux et d'exploitation des données de battage.

La deuxième opération a eu lieu en avril 1995 sur le site du terminal TMDC de Montoir dans le port de Nantes-St-Nazaire.

4

Logiciel CALYPSO

Le logiciel a constitué une part importante du projet. Son développement a été confié, après appel d'offres, au bureau d'ingénieurs conseils en géotechnique GEODIA.

Il a été baptisé CALYPSO : « CALCul Informatique Intégré des Pieux de Structures Océaniques ».

Il s'agit d'une chaîne complète constituée de banques de données, de logiciels de calcul et graphique et de modules d'interconnexion permettant de traiter un problème complet de fondation profonde et de gestion de données.

Le logiciel CALYPSO intègre trois fonctions essentielles :

- gérer des banques de données. Les banques de données sont au nombre de cinq sans compter la banque de données des projets en amont :
 - 1 – données de sol : profils de sol et paramètres de projet,
 - 2 – données sur les pieux : caractérisation des pieux du projet,
 - 3 – données sur les marteaux : paramètres de modélisation et données opérationnelles de plus de 150 marteaux,
 - 4 – données de battage : courbes de battage et résultats éventuels d'une instrumentation,
 - 5 – données d'essais statiques de pieux : résultats d'un éventuel essai de chargement statique.

Les banques 1 à 3 sont indispensables au déroulement d'une opération de dimensionnement.

Les banques 1, 4 et 5 sont destinées à constituer la mémoire du projet.

Les banques 4 et 5 sont réutilisables ultérieurement pour une post-analyse des résultats.



Le Havre
Port autonome.
©ASCO TP/Daniel VANDROS



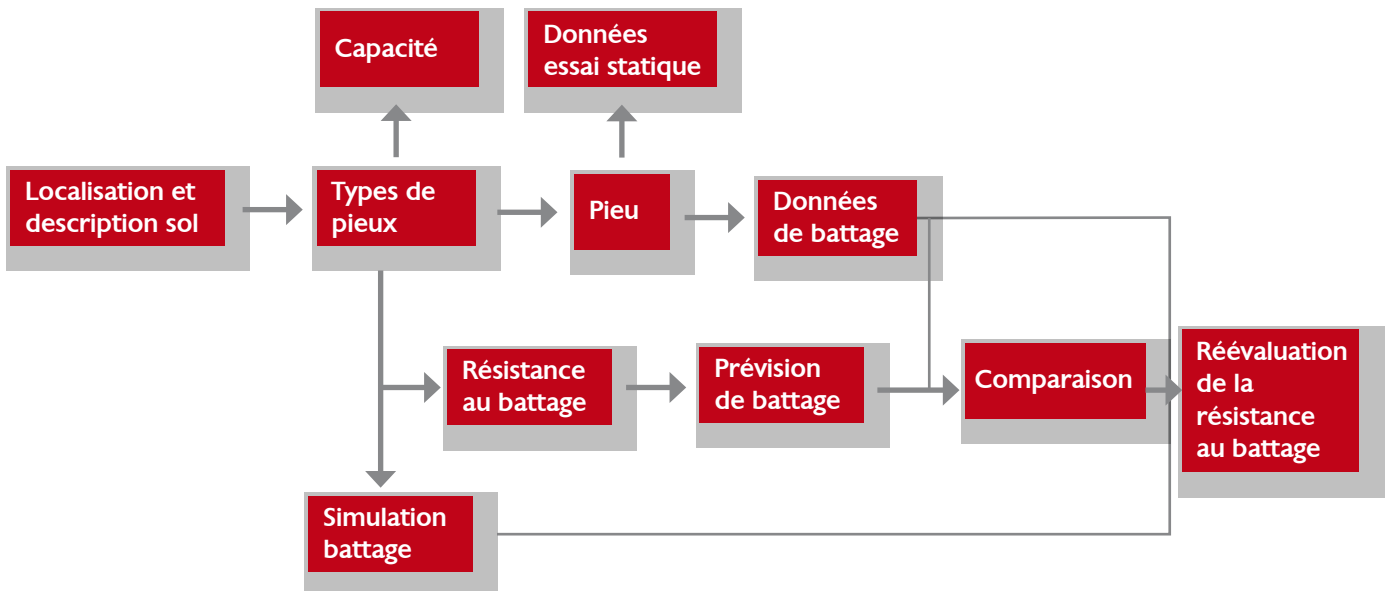
Pieu instrumenté et système d'enregistrement des données, mesure en cours de battage.



Battage instrumenté de profilés métalliques au marteau hydraulique.

- effectuer des calculs. Les modules de calcul sont destinés à quatre usages :
 - évaluer la capacité portante des pieux métalliques,
 - évaluer la résistance du sol au battage,
 - effectuer les simulations de battage à partir des données de pieu, des données de marteau et des résultats de la résistance du sol au battage,
 - réanalyser les données de battage pour parvenir à la résistance au battage réellement mesurée.
- le tableau de bord dont le rôle est multiple :
 - contrôler l'avancement du projet,
 - afficher l'ensemble des composants du système et montrer les enchaînements entre les différentes tâches,
 - proposer une démarche méthodologique,
 - créer, éditer, détruire les objets et lancer les modèles de calcul.

Architecture de CALYPSO



5

Procédure pratique

La « Procédure pratique », objectif ultime du projet, propose une méthodologie complète et homogène pour le traitement de la prévision du contrôle du battage des pieux métalliques battus.

Elle porte sur les points suivants :

- recommandations concernant le type de reconnaissance des sols à effectuer,
- harmonisation des termes à utiliser pour la description des sols et de leurs propriétés,
- méthodologie à respecter pour l'évaluation de la résistance des sols au battage,
- mode d'utilisation du logiciel de simulation de battage,
- recommandations en vue de l'évaluation des risques opérationnels de battage et définition des procédures de contrôle à mettre en place,
- rédaction de spécifications techniques pour les appels d'offres d'instrumentation de battage.

O • • rganisation

• • **La Direction du Projet**

• • Président : Jean-Yves LE VEN
(Port Autonome de Bordeaux)

• • Directeurs scientifique
et technique : Pierre VERGOBBI
Alain PUECH

• • **Les partenaires**

• • Bouygues Offshore - Campenon Bernard - Chantiers
Modernes - Dodin - EMCC - ETPO - GEODIA - GTM-
BTP - IHC Marteaux Hydrauliques - Port Autonome
de Bordeaux - Port Autonome de Dunkerque - Port
Autonome du Havre - Port Autonome de Nantes-
Saint-Nazaire - Port Autonome de Paris - Port
Autonome de Rouen - Profil Arbed Recherches
- ISPC - Procédés Techniques de Construction -
Simecsol - Spie Batignolles - STCPMVN - STTIM
• • Marine Nationale

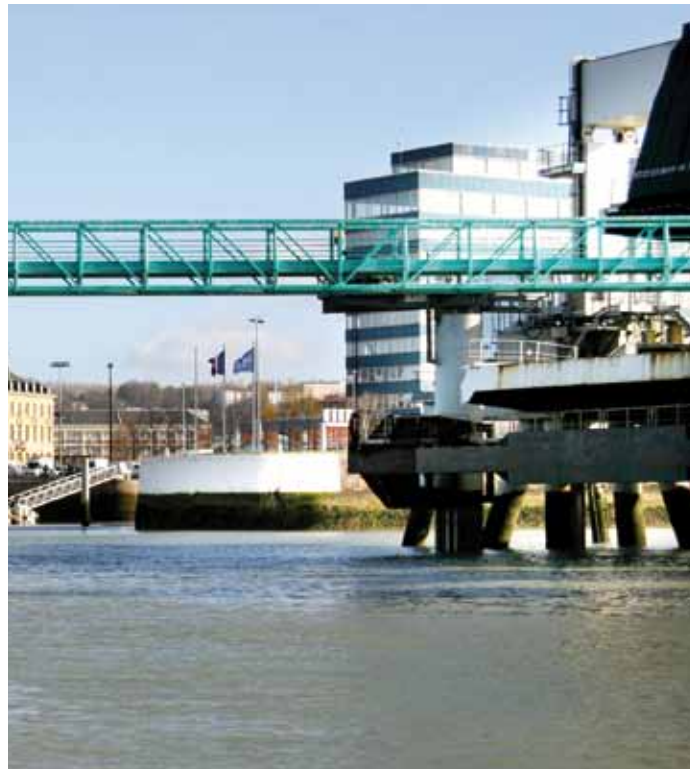
• • Durée Budget

• • Le Projet National s'est déroulé de 1993 à 1996.

• • Le budget définitif s'est élevé à 310 000 € HT, dont
une subvention de la DRAST de 26 000 € HT, le solde
en apports en nature et cotisations des partenaires.

• • Publications

- • Les travaux du Projet ont été présentés aux
• • « Journées Nationales Génie côtier & Génie Civil »
• • à Nantes en Février 1992.
- • Les résultats de l'expérimentation du terminal ferry du
• • Havre sont disponibles sur demande.
- • La « Procédure pratique » a été adressée aux services
• • maritimes et fluviaux de l'Équipement.



Port du Havre - ©ASCO TP/Daniel VANDROS



Applications et retombées du Projet National

La procédure mise au point lors du projet TUBA a considérablement modifié l'approche technique du battage des pieux et palplanches métalliques en introduisant :

- **la notion de prédiction de battage fiable,**
- **la possibilité de contrôler la mise en place en assurant l'intégrité du tube ou du profilé,**
- **la notion de critère d'arrêt de battage basée sur l'énergie réellement délivrée au pieu,**
- **le concept de réanalyse des données de battage donnant accès à la capacité du pieu ou du profilé tel qu'installé.**

■ La large diffusion de la procédure et du logiciel auprès des ports autonomes (Le Havre, Bordeaux, Nantes-Saint Nazaire...), de la Marine Nationale et des entreprises impliquées dans les travaux portuaires (Bouygues, ETPO, EMCC, Dodin, Chantiers Modernes...) s'est traduite par une modification des termes d'appels d'offres, une meilleure fluidité des relations entre maîtres d'ouvrage et entreprises, une amélioration des prestations de battage.

■ De nombreuses instrumentations en cours de battage ont été réalisées dans le secteur portuaire (Extensions du Port du Havre, Port de Boulogne, Pointe des Grives en Guadeloupe, Port de Monaco...). On notera également que la procédure s'est diffusée auprès du LCPC et des CETE, ce qui a donné lieu à plusieurs opérations d'instrumentation de pieux et profilés pour des applications terrestres (viaducs autoroutier de Mirville et de la Maye, échangeur de Gignac, usine Opel de Gliwice en Pologne).

■ La reconstruction du poste 9 à Djibouti, menée par Roland BOUTIN - STTIM Marine Nationale, est un exemple réussi de l'utilisation du logiciel CALYPSO couplée à une instrumentation en cours de battage. Elle a permis de bien appréhender les caractéristiques géotechniques et de préciser des fiches minimales à prévoir pour chaque type de pieux.

Les moyens à mettre en œuvre sur le chantier ont pu être validés avant l'envoi du matériel sur place, ce qui est particulièrement appréciable pour un chantier à l'export. La méthodologie développée dans CALYPSO a permis de définir des critères d'arrêt de battage réalistes. Enfin, cette procédure permet une approche technique rationnelle du chantier de battage.

■ S'il est vrai que l'utilisation du pieu ou du profilé métallique battu demeure marginale dans le contexte français, les intervenants (maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entreprises, fournisseurs de marteaux) disposent de procédures et moyens de contrôle modernes pour orienter leurs décisions, maîtriser les opérations et s'assurer de la bonne marche des chantiers.

Port de Djibouti

