

## **65. OUVRAGES D'ART**

### **65.01 ESSAIS DE MISE EN CHARGE DYNAMIQUE** (version 12/2017)

## 65.01 ESSAIS DE MISE EN CHARGE DYNAMIQUE (version 12/2017)

### 1. REFERENCES NORMATIVES

- NF XP P94-152: Sols: reconnaissance et essais - Essai de chargement dynamique axial d'un élément de fondation profonde
- prEN ISO 22477-4(2017): Geotechnical investigation and testing - Testing of geotechnical structures - Part 4: Testing of piles dynamic load testing (ISO/DIS 22477-4:2016)

### 2. DESCRIPTION DE L'ÉQUIPEMENT D'ESSAI

Avant la réalisation des essais de mise en charge dynamique, l'adjudicataire estime les niveaux de vibrations atteints par les essais sur les bâtiments ou sur les ouvrages voisins. La méthode de mise en charge dynamique doit être adaptée en fonction des niveaux de vibration admissibles pour les bâtiments ou sur les ouvrages voisins et des charges appliquées au droit des pieux en service. Une note de calcul reprenant notamment la méthode de mise en charge dynamique des pieux et les niveaux de vibrations générées au droit des bâtiments voisins doit être fournie au pouvoir adjudicateur pour approbation avant le début des essais.

Un monitoring des vibrations des bâtiments ou sur les ouvrages situés à proximité est réalisé avant et pendant les essais sur pieux.

Les essais de chargement dynamique consistent à vérifier la force portante utile d'un pieu suite à la réalisation d'un essai de mise en charge dynamique.

Le module de mise en charge dynamique est un équipement spécialisé capable de larguer, par action de la gravité, un marteau **sur le centre** de la tête du pieu. Le module indépendant peut être levé par une grue et positionné en toute sécurité sur la tête du pieu. La **sécurité** du personnel de chantier est notamment assurée par une cage métallique enfermant **complètement** l'espace de chute du marteau. Un dispositif de centrage permet à l'opérateur de spécifier, de contrôler et de piloter la position du module par rapport à l'axe de la tête du pieu.

Le marteau peut être libéré d'une hauteur de chute fixée à l'avance. Une étude **préalable** présente une simulation basée sur l'équation d'onde de l'impact considéré sur le pieu envisagé, tenant compte de la stratigraphie locale. Cette analyse préalable permet d'établir l'énergie à transférer au pieu et la hauteur de chute suffisante pour mobiliser la partie souhaitée de la résistance du pieu (selon essai "à la rupture" ou "de contrôle" tout en restant en deçà des contraintes admissibles). Un exemple de rapport mettant en jeu le module de mise en charge dynamique proposé sur un pieu de section analogue permet au pouvoir adjudicateur de contrôler que le système proposé est capable de transférer l'énergie (EMX) suffisante au pieu d'essai. Le module comprend un casque de raideur étudiée. De plus, un disque de bois lamellé de 20 mm d'épaisseur est placé sur la tête de pieu afin de fournir un amortissement supplémentaire des coups et d'absorber toute irrégularité potentielle de la tête de pieu en béton brut.

Le contrôle dynamique est réalisé à l'aide de **quatre** jeux d'instruments, comprenant chacun un accéléromètre et une jauge de déformation, qui sont utilisés pour enregistrer des signaux à l'aide d'un Pile Driving Analyzer (PDA) ou équivalent. Les quatre paires d'instruments sont situées sur des génératrices à 90° l'une de l'autre par rapport à l'axe du pieu, afin de distinguer les efforts normaux et excentriques. Dans le but de fixer les instruments au béton du pieu (cas de pieux existants en béton moulé dans le sol), des fenêtres octogonales sont découpées par l'adjudicataire, sur ordre du pouvoir adjudicateur, de manière à dégager le béton sur une surface de 220 cm<sup>2</sup> chacune.

La force d'impact est évaluée en multipliant les déformations mesurées sur le béton au module de raideur pertinent de la tête de pieu. Les signaux sont acquis avec une fréquence d'acquisition d'au moins 5000 lectures par seconde et traités par le PDA ou équivalent pendant chaque coup. Cet équipement permet d'obtenir, en temps réel, une évaluation de l'énergie maximale transférée, les maxima de force de compression et de traction, la résistance dynamique ( $Q_d$  de la NF XP P94-152) et la résistance statique mobilisée grâce à la méthode CASE.

Les résultats dynamiques sont exposés en temps réel au pouvoir adjudicateur sur le site. Les données brutes ont été enregistrées sur un ordinateur portable de chantier pour analyse ultérieure.

### 3. PRESCRIPTIONS GENERALES

L'essai de mise en charge dynamique est conforme à la norme prEN ISO 22477-4.

### 4. DONNEES RECUEILLIES – SEQUENCE ET PROCEDURE

Les essais de chargement dynamique ont lieu dans l'ordre indiqué dans un tableau résumant les données résultant des impacts.

Les instruments sont fixés sur le pieu avant que le module ne soit placé sur la tête de pieu. Les coups sont appliqués en suivant une tendance généralement croissante en hauteur de chute, avec des réductions occasionnelles pour couvrir une large gamme d'énergie, de vitesses et de déplacements transitoires et ainsi, enrichir la modélisation inverse des paramètres géotechniques du pieu. Les enfoncements **permanents** sont enregistrés en utilisant un niveau digital avec une **précision de 0,1 mm**.

### 5. RAPPORT DE RESULTATS

Les résultats de la campagne d'essais dynamiques sont résumés dans un tableau, qui inclut, pour chacun des pieux, les informations suivantes relatives à **tous** les impacts:

- Heure du coup ("time stamp");
- Numéro du coup "BN";
- Hauteur de chute "H";
- Enfoncement permanent "s";
- Force d'impact maximale en compression "FMX";
- Energie transmise au pieu "EMX";
- Contrainte de compression maximale "CSX";
- Contrainte de traction maximale "TSX", *estimée dans le fût* à partir de l'équation d'onde;
- Vitesse maximale de la tête de pieu "VMX";
- Déplacement maximum (transitoire) "DMX";
- Estimation de la résistance dynamique ( $Q_d$  de la NF XP P94-152 sans approximation statique) à partir de l'équation d'onde;
- Estimation de la résistance à la base "CFB", valeur dynamique (sans approximation statique) estimée à partir de l'équation d'onde;
- Estimation de la résistance au frottement mobilisée "SFR", *approximée* en utilisant la méthode CASE avec un facteur de damping de Case Jc calibré sur les analyses inverses;
- Estimation de la capacité portante du pieu  $R_{mx}$ , *approximée* en utilisant la méthode CASE et un facteur de damping de Case Jc calibré sur les analyses inverses.

Les données recueillies par le PDA sont présentées en annexe, montrant en particulier l'ajustement de l'enfoncement sur les signaux doublement intégrés de l'accélération, ainsi

que la séparation en composantes descendantes et montantes des signaux de force et de vitesse.

Le rapport comprend une analyse sur:

- l'excentricité observée pendant les essais;
- la proportionnalité entre les signaux de force et de vitesses;
- le pic de la moyenne des contraintes mesurées dans le béton;
- l'énergie transférée en regard de la hauteur de chute et le rendement de transfert d'énergie;
- la contrainte dynamique de compression en regard de sa valeur admissible;
- la contrainte dynamique de traction en regard de sa valeur admissible;
- l'énergie maximale transférée en regard de l'énergie nécessaire;
- l'intégrité du pieu;
- la capacité portante;
- la raideur initiale de la courbe de chargement;
- la répartition entre les résistances au frottement latéral et à la base;
- l'amortissement réconciliant les capacités "CASE" et "CAPWAP".

### **Modélisation inverse (Analyses CAPWAP ou équivalentes)**

Les analyses CAPWAP sont réalisées sur des coups d'énergie moyenne sélectionnés à partir des signaux enregistrés et raffinés à partir d'autres coups. La force mesurée dans le pieu est imposée (input/entrée) comme condition à la limite à la tête du pieu tandis que les paramètres de sol sont ajustés pour produire un déplacement simulé (output/sortie) qui correspond de près au déplacement mesuré lors de l'impact. Une fois que la correspondance ne peut être améliorée, les composantes statiques du modèle de sol sont extraites afin d'évaluer la capacité portante du pieu, et en particulier la résistance au frottement latéral, la résistance à la base et le déplacement vertical nécessaire pour mobiliser ces dernières. Les courbes charge-enfoncement dans le domaine statique déduites de ces essais dynamiques sont présentées sur des figures tandis que les résultats complets des analyses CAPWAP correspondantes sont fournies en annexe. Ces résultats incluent, pour chaque simulation, la distribution de la résistance du sol le long du fût et à la base, les "quakes" et "dampings", le damping Case (Jc) équivalent, ainsi que le paramètre caractérisant la qualité de l'ajustement ("Match number").