

TARIERE CREUSE

Par **Mustafa AIT ALI**, membre jeune du Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique (CFMS Jeunes), avril 2022.

Ce rapport a pour but d'expliciter le développement de la tarière creuse. Pour cela, nous allons dans un premier temps remonter le temps pour revenir à la genèse de la tarière creuse. Par la suite, nous parlerons de son développement jusqu'à aujourd'hui. Enfin, la dernière partie de ce rapport sera consacrée au futur de la tarière creuse.

L'origine

Le procédé français de la tarière creuse existe maintenant depuis plus d'un demi-siècle. Avant son apparition, les pieux étaient principalement réalisés par battage d'éléments préfabriqués. En effet, les principaux procédés utilisés, pour le bâtiment, étaient le pieu FRANKI (battu pilonné) et le pieu PAUMELLE (battu moulé).

 **Productivité : 4 à 6 pieux par jour**

Pour les pieux d'ouvrage d'art qui représentent des pieux de gros diamètre, leur exécution se faisait par le biais d'un trépancurette ou à la BENOTO EDF 55 (foré tubé).



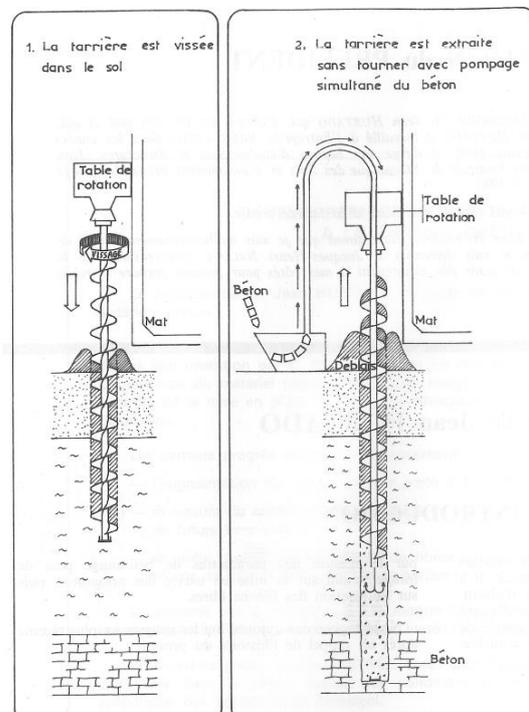
 **Productivité : 1 à 2 pieux par jour**

L'autre technique utilisée à cette époque était le forage de pieux à la boue avec l'utilisation des grosses tarières WILLIAMS et CALWELD.

 **Productivité : 6 à 10 pieux par jour**

C'est dans la volonté d'augmenter la productivité qu'en 1963, la société PIEUX GRIMAUD confie à M. Bourg l'étude d'une machine permettant de visser dans le sol des pieux en béton préfabriqué en forme de vis. Néanmoins, les pieux n'étant pas équipés d'armatures pour reprendre la torsion engendrée par le vissage, ils cassent très rapidement. Le procédé est vite abandonné.

C'est à la suite de cet échec et par l'impulsion à la même époque du béton prêt à l'emploi et des pompes à béton, que M. BOURG envisage d'utiliser la même machine pour la fixer à un tube muni de pales hélicoïdales en acier.



Pour réaliser le pieu, on enfonce dans le sol ce tube jusqu'à la profondeur voulue. Une fois la profondeur atteinte, on remonte le

tube en injectant simultanément le béton. Cette technique permet de remplacer le sol qui est stocké dans l'interstice des pales par le béton frais. Par la suite, on met en place dans le béton des barres d'attente.

Très rapidement, trois difficultés apparaissent :

- le faible couple de rotation des machines entraîne difficilement la tarière dans les terrains compacts à de grandes profondeurs ;
- l'arrêt du bétonnage lors du retrait de la visse crée de la striction et même une coupure du pieu ;
- la mise en place dans le pieu d'une cage d'armatures notamment lorsque le pieu doit être armé toute hauteur est complexe.

Au fil des années, le développement autour du procédé de la tarière creuse a permis d'apporter une réponse à ces limites.

Le développement

Le développement de la tarière creuse ne s'est pas concentré uniquement sur la méthode de réalisation, mais au travers de la création de textes réglementaires, de l'amélioration des machines, des outils de forage, de la qualité des bétons utilisés et de l'instrumentalisation.

Le premier chantier

Le premier chantier est réalisé à Mérignac en 1964, avec la mise en place dans le sol de 40 pieux de 12 m de profondeur et de 350 mm de diamètre.

 **Productivité : 10 à 15 pieux par jour**



Les rendements sont augmentés au fur et à mesure avec l'enchaînement de plusieurs chantiers.

Les bureaux de contrôle sont confrontés de plus en plus à ce procédé et jouent un rôle dans sa validation. Un premier système



d'asservissement est mis en place par M. PAREZ. Ce système permet de contrôler, à travers la pression de bétonnage, la bonne exécution du pieu.

La réglementation

Le nombre de chantiers où la tarière creuse est utilisée devient de plus en plus important, ce qui fait ressentir un besoin de normalisation pour cadrer cette nouvelle technique de forage.

Il faut attendre 1974 pour que la première réglementation voit le jour. Les textes de base sont établis par MM. CHADEISSON et BRULOIS. Ce travail se poursuivra pour être publié en juin 1978.

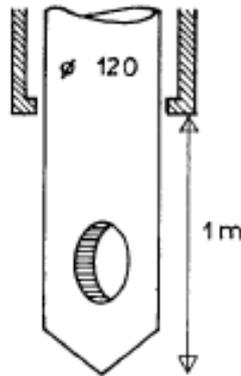
Cette évolution galopante de la tarière creuse est freinée par le fait que les pieux ne peuvent être armés que par l'intermédiaire de barres d'attente. C'est pour solutionner cette problématique que l'association pour la qualité des fondations (ASQUAF) établit en septembre 1980 un cahier des charges. Cela permet de mettre en conformité les fondations exécutées à la tarière creuse avec l'Art. 1.11 du D.T.U 13.2 « *Mise en place des cages d'armatures dans le béton des pieux verticaux* ».

C'est pendant cette période que l'instrumentation s'améliore avec l'apparition de nouveaux paramètres de forage tels que la vitesse d'avancement et couple de forage.

Le type 3

La tarière creuse connaît un tournant dans les années 1980 avec la mise en place des premiers tubes télescopiques. Ce tube intervient durant la remontée de la tarière au moment où le béton est pompé. Cet outil permet l'immersion constante du tube dans

le béton fraîchement coulé. Cela permet de garantir la qualité du béton sur toute la hauteur du fut. Les pieux réalisés par le biais de ce nouvel outil, prennent l'appellation de « Tarière creuse type 3 » (fascicule 62 titre V de 1993).



Le progrès à travers les machines.

Pour entrainer des tarières de diamètre toujours plus importants, à des profondeurs toujours plus élevées, les machines doivent gagner en puissance. C'est pourquoi, ce développement leur a permis d'atteindre aujourd'hui des couples de forage pouvant aller jusqu'à 400 kN.m, bien loin des 9,5 kN.m des premières machines des années 60.

Cela se traduit par des records de profondeur et de diamètre toujours plus importants.

Le dernier record en date a été réalisé par la société Soletanche Bachy Fondations Spéciales le 23 septembre 2020, avec la réalisation d'un pieu de 50 m armé toute hauteur.



Qui aurait pu imaginer cela en 1963 ?

Le futur de la tarière creuse

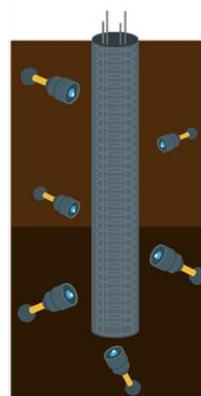
Le développement de la tarière creuse s'est beaucoup concentré sur l'amélioration des machines et de l'asservissement. Le thème qui n'a pas beaucoup été exploité ou qui est resté au stade de la recherche, est l'instrumentation du pieu post réalisation. La principale difficulté des fondations profondes est qu'on ne les voit pas ! En effet, les pieux sont des éléments structuraux réalisés dans le sol. Il est alors difficile de les observer pour contrôler leur qualité. Comment vérifier la verticalité du pieu ? Comment s'assurer du diamètre du fut sur toute sa longueur ? Comment contrôler la qualité du bétonnage et le profil géométrique du pieu ?

C'est pour pallier ces potentielles non-conformités que les normes de calcul imposent plusieurs coefficients de sécurité et ainsi la capacité portante du sol ou la résistance des matériaux (béton ou acier) sont minorées.

Si on pouvait garantir la parfaite exécution du pieu, ces coefficients de sécurité pourraient être réduits. De ce fait, en conservant la technicité de réalisation actuelle, la performance du procédé augmenterait.

De là, le champ des possibles s'ouvre à nous.

Nous pouvons imaginer créer des sondes robotiques permettant d'ausculter le pieu et même d'avoir une image 3D.



Aujourd'hui certaines expériences permettent d'équiper le pieu avec des sondes qui, sous un chargement donné, nous permettent de déterminer le frottement latéral et la pointe mobilisés.

Demain grâce à ces équipements nous pourrions ausculter les pieux et déterminer leur résistance afin de

pouvoir repousser la durée de vie de l'ouvrage qu'ils supportent.

Dans le cas de pieux existants, cette auscultation permettrait de déterminer leur performance afin de les réutiliser pour un ouvrage neuf.

Interview : chantier majeur en tarière creuse

L'interview qui suit permet de mettre en lumière un chantier où le procédé de la tarière creuse a été utilisé. Sur ce chantier, le potentiel de la tarière creuse a été poussé à son maximum. Marie LERAY, ingénieure travaux de la société NGE FONDATIONS, qui a travaillé sur ce chantier, nous partage son expérience.

Mustafa : Pouvez vous nous présenter ce chantier ?

Marie : Il s'agit d'un chantier, que nous avons réalisé au printemps 2019. Il consistait en la création d'un ouvrage d'art sur l'A40 pour la réalisation d'une nouvelle aire d'autoroute bidirectionnelle à côté de Bonneville (Haute-Savoie).



D'une portée de 44 m et d'une largeur de 15 m, le pont de franchissement a été conçu en structure mixte métal-béton. Afin de limiter la gêne des usagers de l'autoroute, le pont a été conçu sans pile centrale. Pour soutenir l'ensemble, 2 culées ont été assises sur 24 pieux de fondation, 12 par culée. Forés à la tarière creuse en diamètre 1 220 mm et armés toute hauteur sur une profondeur de 30 m.

Mustafa : Pourquoi avoir utilisé le procédé de la tarière creuse pour la réalisation des fondations ?

Marie : Les terrains géologiques, au droit des culées à réaliser, étaient très médiocres. Sans le procédé de la tarière creuse, nous aurions dû tuber sur une hauteur importante (foré tubé) ou utiliser un

fluide stabilisateur lors du forage (foré boue), ce qui nous aurait contraint à mettre en place une centrale de traitement de la boue de forage. De plus, sur ce chantier nous n'avions pas une très grande emprise pour la réalisation des pieux. Cette contrainte ne nous aurait pas permis de mettre en place ces ateliers de foré à la boue ou du foré tubé, qui demandent des installations plus conséquentes.



Mustafa : Quels ont été les avantages de la tarière creuse ?

Marie : Le premier a été cité juste avant, c'était le fait d'avoir un atelier de forage le plus compact possible du fait du peu de place disponible au droit des culées. L'autre avantage découle de la géologie du site. En effet l'ouvrage est construit dans la vallée de l'Arve. La principale caractéristique de cette vallée est la présence d'alluvions sur 50 m de profondeur avec des caractéristiques mécaniques faibles. De fait, les fondations ne pouvaient être que profondes (30 m de profondeur dans le cas présent). Ces terrains sont tout à fait adaptés à la technique de tarière creuse (facilité de forage, maintien des parois par le terrain puis par le béton) et les paramètres de calcul sont plus favorables en tarière

creuse qu'en foré simple (frottement et pointe).

De plus, la tarière creuse nous a permis de réaliser un pieu par jour comprenant, le forage, le bétonnage et l'équipement de la cage d'armatures. Ce rendement n'aurait pas été possible avec une autre technique de forage.

Mustafa : *Quel a été la spécificité de ce chantier ?*

Marie : On peut dire que c'était le fait d'armer les pieux toute hauteur.



En effet, la réglementation impose d'armer les pieux sur tout leur profil quand il s'agit de pieux de fondation d'ouvrage d'art. Cela se comprend quand on sait que ces ouvrages sont calculés pour avoir une durée de vie de 100 ans. De plus, ce pont se situe dans une zone de sismicité 4, le plus fort niveau existant en France métropolitaine, et est classé en catégorie d'importance III. Ces hypothèses sismiques imposent des sections de ferrailage plus

importantes et notamment des dispositions constructives à respecter (mise en place de cerces plutôt que de la spire).

Pour garantir l'insertion de ces cages toute hauteur dans le béton frais, nous avons réalisé une étude spécifique interne pour mettre en place une formulation de béton adéquate. D'une fluidité S5 avec une bonne adjuvantation, pour obtenir une rhéologie de 3h, nous avons pu obtenir la bonne « recette » qui a été testée par la suite lors d'une convenance.

De plus, 2 pieux d'essai ont été exécutés à proximité des culées. Cela nous a permis de garantir la parfaite exécution des pieux définitifs. Nous avons pu appréhender le levage des cages de 30 m afin d'être le plus efficient possible lors de la production et confirmer que le béton mis en œuvre était satisfaisant pour l'insertion des armatures.



Sources

ANNALES de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics – N°472 Février 1989
Série : Sols et Fondations 203

Crédits photo pieu de 50 m réalisé par la société SOLETANCHE BACHY FONDATIONS
SPECIALES : Cédric Helsly

Crédits photos de l'interview : ©vuedici.org / NGE FONDATIONS

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont aidé lors de la rédaction de ce rapport.

Tout d'abord, j'adresse mes remerciements à Marie LERAY, ingénieure travaux, qui a trouvé du temps pour me présenter son chantier de Bonneville où le procédé de la tarière creuse a pu être utilisé.

De plus, je tiens à remercier vivement Nicolas UTTER, président du CFMS, qui fut mon relecteur pour ce rapport.

Enfin, je remercie également toute l'équipe de ce Projet Time Capsule menée par Laura KERNER.