

CONCEPTION ET INNOVATION DANS
LES OUVRAGES D'ART

M. MORGENTHALER

Directeur de S.I.F Maroc

I - QUELQUES POINTS DE REPERE HISTORIQUES AU SUJET DES TECHNIQUES MODERNES DE FONDATIONS PROFONDES APPLIQUEES AU MAROC.

Ce survol n'est peut-être pas tout à fait exhaustif. Il résulte de l'examen des archives d'une entreprise marocaine spécialisée exerçant son activité depuis 1929. Des références anciennes relevant d'entreprises aujourd'hui disparues, ou ayant fait l'objet d'interventions ponctuelles et sans lendemain d'entreprises étrangères peuvent avoir été omises.

années 50 et 60: pieux forés-moulés exécutés avec des appareils de battage, essentiellement pour les fondations de pylones électriques, de radiers, et de ponts, notamment le pont de RABAT à SALE (pont HASSAN II) sur l'oued BOU REG REG en 1955.

1968 : première paroi-moulée exécutée au MAROC, dans le port de TANGER.

1970 : pieux $\emptyset$ 800 pour fondation d'un pont à MECHRA EL HOMRI, exécutés au battage

1972 : pieux $\emptyset$ 1000 pour fondation d'un pont à MECHRA SAF SAF, exécutés au rotary sous boue bentonitique. Première application de cette technique au MAROC et introduction définitive d'une première foreuse rotary à Kelly et d'une première centrale de fabrication et de traitement de boue pour fondations.

1975 : barettes 2,70 x 0,60 pour fondation d'un pont de chemin de fer sur l'oued CHERRAT. Première application de cette technique au MAROC.

1977 : parois moulées dans le port de SAFI et au barrage de garde de l'oued LOUKOS. Premières parois réalisées par une entreprise marocaine avec ses moyens propres.

1978 : barrettes 2,70 x 0,60 pour les fondations des ponts routiers et ferroviaires franchissant l'oued OUM ER R'BIA à AZEMMOUR. Premier record de profondeur à 48 m, au MAROC.

1978 : Barrettes composées en "H" pour les fondations des ponts routiers et ferroviaires de la déviation de MATMATA. Première application au MAROC du procédé.

1979 : Pieux forés en rotary à la boue 0 1200 au pont d'AIT MELLOUL sur l'oued SOUSS. Record en diamètre avec cette technique au MAROC.

1980 : Micropieux pour fondation d'un ouvrage neuf dans le port de CASABLANCA. Première application du procédé au MAROC.

1981 : Pieux forés en béton armé prolongés par racines injectées, pour fondations de pylones électriques à MOHAMMEDIA. Première application du procédé au MAROC.

- 1982 : Tirants d'ancrage précontraints définitifs de 100 T. par le procédé T M D répondant aux normes mondiales les plus élevées, avec dispositifs de contrôles permanents de tension. SAMIR MOHAMMEDIA. Première application de ces techniques au MAROC.
- 1983 : Colonnes ballastées pour fondation d'une station de traitement d'eau à Al HOCEIMA. Première application du procédé au MAROC.
- 1985 : Barrettes 2,70 x 0,80 pour fondation d'un pont sur l'oued BOU REG à RABAT. Nouveau record de profondeur, à 55 m, au MAROC.
- 1985 : Barrettes en croix pour massifs d'amarrage au port pétrolier de KENITRA sur l'oued SEBOU. Première application du procédé au MAROC.

II - BILAN DES PROCÉDES DE FONDATIONS PROFONDES ACTUELLEMENT OPERATIONNELS AU MAROC.

A - Les moyens d'étude

Un certain nombre de bureaux d'études de génie-civil, soit en tant que bureaux d'études proprement dits, soit en tant que bureaux d'études d'entreprises, ont actuellement la capacité de calculer des fondations profondes tels que pieux ou barrettes, par des méthodes de calcul statique.

Pour les calculs par des méthodes élasto-plastiques et avec détermination des déplacements, ainsi que pour les études de cas complexes tels que groupes d'appuis, portiques, parois moulées avec ou sans tirants ou butons, il est indispensable de recourir au traitement informatique. Les programmes informatiques très spécialisés adaptés à l'étude de ces problèmes ne sont pas disponibles au MAROC. Ils ont été élaborés par certains organismes ou sociétés, qui en ont la propriété et qui gardent l'exclusivité de leur exploitation. Ces calculs sont donc traités à l'extérieur, par le truchement des correspondants au MAROC de telles sociétés.

Il faut en effet admettre que la concurrence entre les entreprises de fondations spéciales ne s'exerce pas seulement au niveau des prix, des moyens, des performances et de la fiabilité mais également au niveau des capacités de conception, d'imagination et de calcul.

B - Les pieux forés-moulés.

Cette technique est très largement représentée au MAROC. Les équipements de forage actuellement exploités permettent de réaliser des pieux de diamètre variant entre 500 et 1200 mm, verticaux, qui sont donc capables de recevoir des charges verticales dans une gamme de l'ordre de 100 à 500 Tonnes.

Les culées et les piles des ponts sont souvent fondées sur des groupes de tels pieux. Les méthodes de forage sont, soit le battage avec trépan/soupage, ou trépan/hammergrab, soit le rotary avec tarière et bucket et emploi du trépan pour le franchissement des terrains durs. Au MAROC comme ailleurs, rares sont les cas qui autorisent le forage à sec. Dans la très grande majorité des cas, le forage est donc effectué sous boue bentonitique. La fabrication et le traitement de la boue revêtent, dans l'exécution des fondations, une importance primordiale et requièrent de ce fait des matériels et des personnels hautement spécialisés et performants.

On dénombre actuellement au MAROC une dizaine d'ateliers de battage, et deux ateliers rotary, susceptibles de forer des pieux. Deux entreprises seulement sont équipées des moyens répondant aux normes exigées pour la fabrication et le traitement de la boue de forage.

C - Les barrettes forées-moulées

Pour l'essentiel, une barrette peut être décrite comme un pieu moulé de section rectangulaire. Sa forme exclut évidemment le forage en rotation. Le forage s'exécute donc avec une benne dont l'épaisseur est celle de la barrette à réaliser. Les obstacles durs ou le rocher d'ancrage en pied sont préalablement désagrégés au trépan. Un puissant guidage en tête est nécessaire, constitué par une fosse en béton armé ménageant la section de la barrette et appelée "murette-guide".

Les bennes disponibles actuellement à titre permanent au MAROC existent dans les dimensions 2,70 x 0,60 m et 2,70 x 0,80 m.

Ces bennes, d'un poids de 6 à 8 T. sont manoeuvrées par des câbles qui assurent la suspension de l'ensemble et le mouvement des coquilles.

Le dispositif constitue un gigantesque fil à plomb qui assure la verticalité du forage. Quant au guidage en rotation, il est assuré par la grande jupe qui enveloppe le palonnier de commande des coquilles.

Des barrettes de dimension unitaire (c'est-à-dire celle de la benne soit 2,70 x 0,60 m ou 2,70 x 0,80 m) peuvent recevoir des charges verticales et avantageusement se substituer à plusieurs pieux traditionnels lorsque les charges par appui sont importantes et que la disposition le permet. En outre, elles possèdent, dans la direction de leur grande dimension, une inertie très importante qui leur permet d'encaisser bien mieux que des pieux les efforts horizontaux et les moments.

Des barrettes de longueur supérieure à 2,70 m peuvent être réalisées, nécessitant plusieurs passes de forage. Au-delà de 5 m environ de longueur, on entre dans le domaine de la paroi-moulée, avec fractionnement par panneaux et utilisation de dispositifs pour les joints.

Plus encore que dans le cas des pieux forés, la boue bentonitique requiert des soins attentifs et constants, et une station de traitement de forte capacité en rapport avec les volumes importants mis en jeu.

Actuellement, trois entreprises marocaines possèdent à titre permanent des équipements pour forage de barrettes. Deux d'entre elles disposent des stations de boue correspondantes répondant aux normes.

D - Les barrettes composées.

A partir du module constitué par la section de la benne de forage, on peut concevoir différentes sections de fondation, en croix, en "H", en "I", ou en caisson carré ou rectangulaire, de manière à leur conférer l'inertie nécessaire à la reprise d'efforts particuliers. Les possibilités, qui seraient théoriquement infinies, sont pratiquement limitées par des problèmes de réalisation. L'exécution de tels ouvrages présente en effet des difficultés considérables d'exécution : stabilité du forage en raison de la découpe complexe, difficultés de fabrication, de manutention et de mise en place des cages d'armature, difficultés de bétonnage. Un examen attentif de la faisabilité est nécessaire dans chaque cas particulier, dépendant étroitement de la nature du terrain.

E - Les parois moulées.

Il s'agit de murs continus, en général en béton armé, exécutés dans le sol.

Le domaine des parois-moulées concerne essentiellement l'exécution des fouilles ou les écrans étanches pour ouvrages hydrauliques.

Leur emploi est assez restreint en matière d'ouvrages d'art routiers. On y songera toutefois avec intérêt dans le cas des tranchées ou trémies, et pour la réalisation de caissons de fondation de grande dimension.

Le forage, le ferrailage et le bétonnage s'exécutent par panneaux indépendants jointifs, sous boue bentonitique, avec des bennes identiques à celles utilisées pour les barrettes. Le guidage en tête est assuré par des murettes-guides filantes.

L'exécution d'une paroi-moulée (ainsi que son calcul, comme on l'a vu au § II.1) exige une haute technicité et ne tolère pas l'improvisation.

Actuellement, une seule entreprise marocaine dispose à titre permanent d'un équipement de tubes-joints et de son dispositif d'extraction.

Il convient de se souvenir que dans les parois-moulées conventionnelles, il n'y a pas continuité de ferrailage entre les panneaux adjacents et que ceux-ci sont séparés par des joints secs en forme de demi-lune. Des progrès très récents, évoqués plus loin, permettent la mise en place de points water-stop et d'aciers de liaisonnement entre panneaux.

F - Autres techniques pratiquées au MAROC.

Bien qu'elle n'ait pas connu à ce jour d'application notable dans le domaine des ouvrages d'art routiers, on peut citer la technique des tirants d'ancrages précontraints. Cette spécialité très délicate est actuellement maîtrisée par quelques entreprises marocaines exploitant des procédés par le Maître de l'ouvrage sur la solution proposée au problème de la protection contre la corrosion fissurante à laquelle sont exposées les armatures précontraintes.

Les tirants d'ancrage précontraints peuvent trouver des applications élégantes et fort utiles sur les ouvrages de culées de ponts et les murs de soutènement. Des technologies aujourd'hui éprouvées permettent d'obtenir des forces d'ancrage appréciables dans des terrains meubles de qualité médiocre.

Très voisine de la technique des tirants d'encrage, celle des micropieux permet d'obtenir des appuis unitaires de faible capacité (quelques dizaines de Tonnes au plus). En raison de leur très faible diamètre, les micro-pieux ne peuvent recevoir que des charges selon leur axe. Rapporté à la charge utile unitaire, leur prix est élevé. Aussi ne sont-ils généralement indiqués que pour des reprises en sous-oeuvre d'ouvrages anciens ou d'ouvrages présentant des défaillances en cours d'exécution. Cependant, dans certains cas très particuliers, il peut s'avérer apportun de préconiser des micro-pieux plutôt que des pieux traditionnels sur des ouvrages neufs.

III - TECHNIQUES TRADITIONNELLES NON PRATIQUEES AU MAROC.

Un tel chapitre ne peut être abordé qu'avec beaucoup de circonspection et une certaine humilité vis à vis de conditions qui ne sont pas toutes d'ordre technique.

Les fondations profondes impliquent la mise en oeuvre de technologies très lourdes et donc fort coûteuses en immobilisation de matériel et en mise à disposition des personnels opérateurs qualifiés.

L'introduction d'une technologie particulière ne peut donc s'envisager qu'après un examen attentif des perspectives de marché. Et le marché quant à lui, s'apprécie essentiellement en fonction des programmes de construction sur plusieurs années à venir, et, à l'intérieur de ce programme, sur les cas d'espèce qui permettront à la technologie envisagée de s'appliquer dans des conditions concurrentielles parfaitement nettes.

Si certaines technologies, fort ingénieuses, rapides et économiques, largement pratiquées ailleurs, pouvaient effectivement trouver un domaine d'application, dans un cas singulier, une fois tous les trois ou cinq ans, il ne serait pas pour autant vrai qu'elles apparaîtraient optimales sur les plans économiques et techniques à la fois.

Il ne faut donc pas s'étonner que certaines technologies soient absentes de certains pays, et à fortiori du Maroc où les conditions de sol présentent une forte diversité. Il faut au contraire admettre que l'équipement des entreprises en matériels "passe-partout" résulte d'une sage appréciation et contribue à l'économie sociale du pays.

Ainsi les palplanches sont elles d'un emploi très discret. Cela tient bien sûr au fait que le battage des palplanches n'est possible que dans un sol meuble et exempt de blocs. Cela tient aussi, et pour une large part, au fait que les palplanches proprement dites doivent être achetées à l'étranger et payées en devises, et que le transport sur longue distance de ces produits pondéreux est long et coûteux.

Un écran de palplanches sera donc, dans bien des cas, avantageusement remplacé par une paroi-moulée fabriquée avec du ciment, de l'acier et des moyens marocains.

Les pieux préfabriqués battus représentent eux aussi une technologie absente du MAROC. Du point de vue géotechnique leur champ d'application apparaît assez étroit, surtout dans le domaine des ouvrages d'art routiers où, finalement, le nombre de pieux par ouvrage n'est jamais que de l'ordre de une à quelques dizaines, ce qui est difficilement compatible avec une méthode faisant appel à la préfabrication.

Certains projecteurs regrettent parfois de ne pouvoir faire exécuter des pieux inclinés. Bien évidemment, le forage par battage encore largement employé au MAROC pour l'exécution de pieux, ne permet pas la moindre inclinaison (sauf accidentelle), du fait de son principe pendulaire. Seules les foreuses rotary, et encore pour des pieux courts et dans des terrains très favorables, peuvent permettre de pratiquer une inclinaison ne dépassant pas une dizaine de degrés. Il suffit d'avoir assisté une fois à l'opération complète de forage-recyclage -ferraillage -bétonnage d'un pieu foré pour abandonner définitivement toute idée de pieu incliné par cette méthode.

Les pieux inclinés véritables, s'exécutent soit en pieux préfabriqués battus, soit en pieux à tube battu ou vibrofoncé,

soit avec certains ateliers type BENOTO procédant par fonçage de tube au moyen d'une méthode combinant la havage et le louvoyage. Les technologies de pieu préfabriqué-battu et de pieu à tube vibrofoncé, qui sont d'ailleurs voisines (et qui sont voisines de celle des palplanches), ne sont praticables qu'en terrain parfaitement meuble, et nécessitent des moyens spéciaux, notamment de longues et lourdes glissières inclinables. A supposer que les terrains se prêtent à la méthode de fonçage, il va de soi que ce ne sont pas les quelques culées de pont justifiant éventuellement deux ou trois pieux inclinés qui constituent un marché pour cette technologie. On préférera recourir à des portiques de pieux verticaux ou à des barrettes. Si l'on recherche une solution techniquement élégante, on pourra associer des tirants d'ancrage aux pieux ou barrettes.

Les colonnes ballastées et la vibroflottation ont fait une apparition il y a quelques années au MAROC à l'occasion d'un chantier. C'est une technique de traitement de sol par compactage profond, avec incorporation de matériau d'apport dans le cas des colonnes ballastées, sans incorporation dans le cas de la vibroflottation pure. Cette technique mériterait un développement plus large, pour la fondation des appuis lorsque les conditions s'y prêtent, et surtout pour la fondation des remblais d'accès sur sols de faibles caractéristiques. Des exemples nombreux et significatifs de l'utilisation de cette technique sont là pour démontrer tout son intérêt dans le domaine des ouvrages d'art routiers. Elle est malheureusement handicapée par la mauvaise connaissance qu'en ont les projeteurs et par le fait qu'ils accordent le plus souvent leurs faveurs aux techniques "qui se calculent". C'est là une inclination bien naturelle, mais qui ne favorise pas toujours l'économie des projets.

Les parois préfabriquées n'ont encore donné lieu à aucune application au MAROC. Le procédé consiste à mettre en place, dans une excavation identique à celle d'une paroi-moulée, des dalles de béton armé préfabriquées et de les sceller au terrain. Il n'a, bien sûr, d'intérêt que dans le cas d'une paroi qui sera découverte sur l'une de ses faces. L'intérêt réside essentiellement dans un aspect parfait, une étanchéité nettement améliorée, et la possibilité de prévoir et de positionner avec une faible tolérance toutes les réservations désirées. Dans le domaine des ouvrages d'art routiers, ce procédé a reçu de nombreuses applications pour la réalisation de voiles latéraux de tranchées ouvertes ou couvertes.

IV - TECHNIQUES RECENTES.

Le luxe étant prohibé dans le domaine des travaux publics, il convient de réaffirmer, à titre de préambule, que l'application d'une technologie, qu'elle soit nouvelle ou traditionnelle, ne sera rationnelle que dans deux cas et deux seulement : soit parce qu'elle est la seule à apporter la solution à un problème, soit parce qu'elle est plus économique (au sens large : prix, délai, sécurité, qualité, etc ...) que d'autres.

Ceci étant posé, il est bon d'avoir en mémoire quelques notions sur les technologies et les procédés que l'on peut actuellement qualifier de "récents" et qui ont déjà fait l'objet d'applications significatives.

A - Les très gros pieux et les très grosses barrettes ou parois-moulées.

Il s'agit seulement d'extrapolations, dans de plus grandes dimensions, des matériels conventionnels. Aucune limite, sinon celle de la raison, ne fait obstacle à ce genre de développement. L'accroissement de la taille des outils de forage entraîne l'accroissement de la taille de la puissance des machines qui les manoeuvrent, de leur environnement et en particulier des stations de traitement et de stockage de boue, des pompes, etc ..., et du poids et de l'encombrement de l'ensemble.

On retiendra seulement que les matériels standards atteignent le diamètre de 2,50 mètres pour les pieux forés et l'épaisseur 1,50 mètre pour les barrettes et parois moulées. Une benne BAG de 3,60 x 1,50 m pèse déjà 17 Tonnes à vide ! Les grues porteuses nécessaires pèsent 75 Tonnes. Les quartiers-boue assortis sont de véritables usines.

Dans le domaine des technologies exceptionnelles pour pieux, on peut citer une méthode utilisée de façon extensive à HONG-KONG pour l'exécution de pieux de 0 2 m dans les granites décomposés à boulders, dont le matériel s'apparente à un tunnelier vertical sous circulation inverse de boue bentonitique.

L'évocation de cette méthode conçue pour un terrain particulièrement difficile nous amène naturellement à rappeler que les procédés conventionnels de forage pour fondations profondes sont conçus pour trailler en terrain meuble. Le franchissement de terrains durs ne doit donc relever que de l'exception : passage de blocs exceptionnels, ancrage en pied dans un substratum résistant. Avec les méthodes conventionnelles, le franchissement des terrains durs exige le recours au trépannage préalable, qui est une méthode extrêmement lente et coûteuse, et qui de surcroît provoque des ébranlements peu favorables à la tenue des parois du forage et souvent nuisible aux ouvrages existant dans le voisinage.

B - Les hydrohaveuses.

Il faut considérer comme paradoxal, et bien souvent aberrant, de projeter des fondations profondes dans un terrain. Le simple bon sens indique en effet que si le terrain est résistant il n'est pas utile de recourir à de telles techniques de fondation (ou de soutènement). Cependant on s'aperçoit qu'il existe malgré tout des cas d'espèce où il se révèle nécessaire de pratiquer des pieux, des barrettes ou des paroi-moulées à travers

des couches rocheuses : terrains mixtes à gros blocs, couches surmontant des couches peu résistantes ou perméables, nécessité d'encastrement importants en pied, etc ...

Depuis une dizaine d'années, certains spécialistes ont développé des recherches très coûteuses pour mettre au point des matériels permettant d'exécuter des barrettes ou des parois en terrain rocheux, dans un domaine totalement inaccessible à l'excavation à la benne conventionnelle. Il en est résulté des appareils désormais opérationnels basés sur le principe du havage par roues dentées avec remontée des sédiments par circulation inverse de boue bentonitique. Ces appareils ont pour nom HYDRO-HAVEUSE ou HYDRO-FRAISE. Bien que parfaitement opérationnels dans leur état actuel, ils sont encore appelés à d'importants perfectionnements notamment sur le plan du contrôle continu des déviations. Une HYDRO-HAVEUSE et son environnement constituent un ensemble très lourd, très sophistiqué et très cher.

Son utilisation peut empiéter sur le domaine des terrains accessibles aux méthodes de forage conventionnelles, sauf les argiles plastiques auxquelles les dents de la haveuse ne sont pas du tout adaptées. Cependant, pour qu'un tel atelier soit concurrentiel avec un atelier conventionnel il faut pouvoir tabler sur une cadence commerciale trois fois plus élevée. Toute une organisation adaptée aux cadences d'un tel matériel est donc indispensable. Le contexte logistique et administratif propice à l'exploitation d'une HYDRO-HAVEUSE doit donc être sélectionné avec autant de soin que le contexte naturel. Il est évidemment impensable d'immobiliser des moyens aussi importants pour attendre une approbation de plans d'exécution, une livraison de béton, ou une réception de cage d'armature ...

C - Le compactage par injection solide et le jet-grouting.

Le compactage par injection solide est une technique très récente étroitement liée au développement de pompes spéciales capables de pomper des matériaux habituellement réputés non-pompables. Il consiste à injecter, à partir de forages de petit diamètre, un mortier sec (slump inférieur à 5 cm) sous pression élevée (60 à 80 bar). Ce mortier ne peut ni imprégner ni claquer le terrain. Il refoule et compacte le terrain autour du point d'injection. Le résultat est une augmentation sensible de la densité relative du sol. Les applications sont multiples : formation d'une voûte résistante préalablement au passage d'un tunnelier, fondation sous radier général ou sous semelle, confortation en sous-œuvre sous la base de pieux existants, etc...

Le jet-mix, ou jet-grouting, quant à lui, découle d'un brevet pris par les anglais il y a quelques 30 ans. Après une éclipse totale, cette technique a été réétudiée par les japonais. Elle procède par destruction du sol au moyen d'un jet d'eau et d'air radial à très haute énergie à partir d'un forage.

Sous certaines conditions, on parvient ainsi à découper le sol soit selon un cylindre axé sur le forage, soit selon un panneau plan limité par deux forages. Le matériau découpé est plus ou moins complètement évacué. On introduit alors soit un coulis de substitution, soit un coulis destiné à être mélangé au matériau naturel subsistant. Il en résulte des colonnes (verticales ou inclinées) ou des panneaux résistants, qui peuvent donner lieu à toutes sortes de dispositifs de fondation, de soutènements ou de reprises en sous-oeuvre. L'intérêt majeur est celui d'une technique qui ne nécessite pas de moyens très encombrants et qui est peu traumatisante vis à vis des existants mitoyens. Dans l'état actuel, il est toutefois quasiment indispensable de réaliser, dans chaque cas, un plot d'essai préalable, afin de contrôler la forme, le diamètre et la résistance des colonnes ou des panneaux ainsi réalisés, et de recalculer éventuellement le projet en fonction des performances réellement obtenues.

D - Les colonnes compactées.

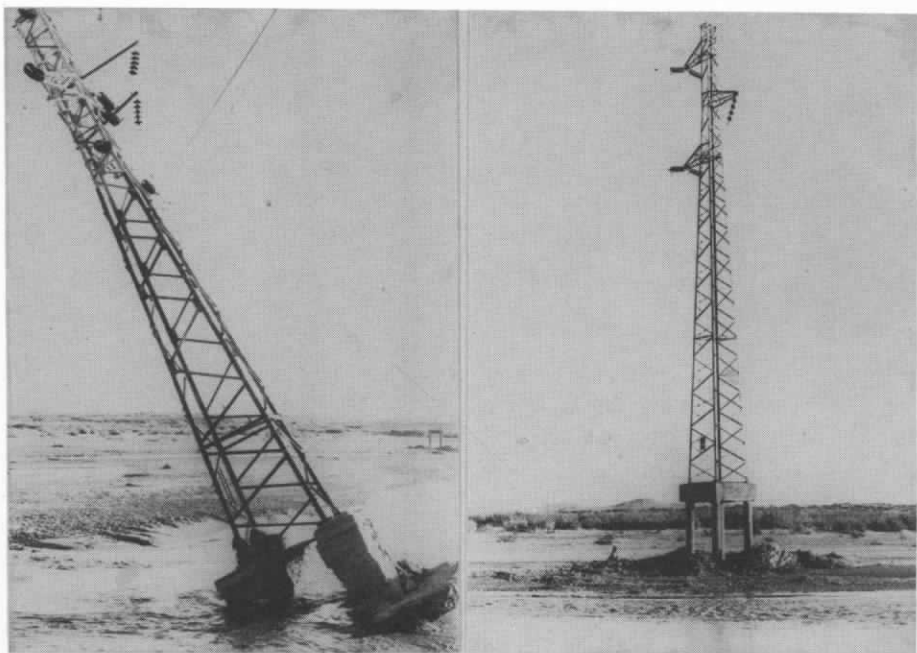
Les colonnes compactées représentent un développement tout récent, qui vient d'être breveté en France, d'une technique de stabilisation profonde in-situ des terrains argileux par incorporation de chaux et compactage au moyen d'un dispositif à double tarière jumelée contrarotative. Une variante permet l'incorporation de ciment dans le cas de terrains pulvérulents.

E - Continuité mécanique, géométrique et d'étanchéité sur les parois moulées.

Depuis le début des années 80, des solutions opérationnelles ont enfin été trouvées pour pallier l'absence de continuité mécanique entre les panneaux adjacents d'une paroi-moulée, et les défauts d'alignement et d'étanchéité qui apparaissent parfois au niveau de ces joints. Ces handicaps, sans conséquence dans de nombreuses applications, deviennent très gênants dans certains cas et attendaient depuis longtemps une solution.

Pour ce qui est de la continuité mécanique, deux procédés concurrents sont disponibles. L'un procède par utilisation d'un petit panneau intermédiaire équipé d'une cage d'armature présentant sur ses chants des gorges d'armature des panneaux courants. Le tout se met en oeuvre au prix d'une manipulation complexe utilisant un caisson amovible et un coulis de scellement provisoire. L'autre technique procède par un liaisonnement entre panneaux adjacents équipés de cages normales, au moyen de barres d'encrage de raccordement. Les barres sont logées dans les cages des panneaux primaires, sur des vérins à simple effet, et noyées dans le béton. Après extraction des tubes-joints, et exécution des panneaux adjacents, les barres sont poussées dans le béton frais de ces panneaux. Grâce à cette astuce, l'exécution de la paroi est accomplie de façon classique.

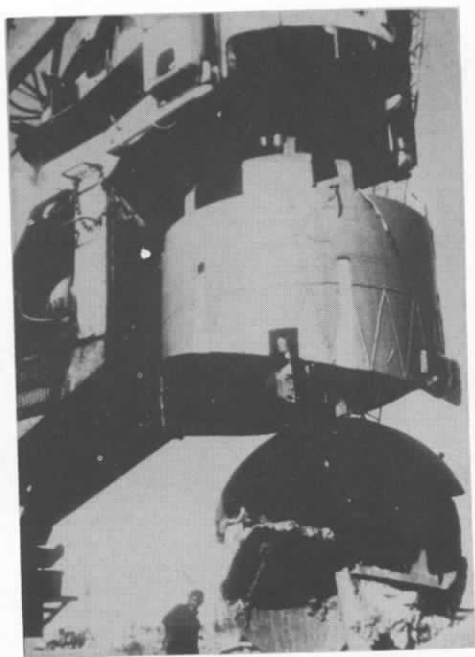
En ce qui concerne l'alignement et l'étanchéité au niveau des points, une solution a été trouvée qui est exploitée de façon presque systématique et avec succès par l'entreprise qui en est l'inventrice. Il s'agit du joint CWS qui remplace le tube-joint cylindrique traditionnel et assure le guidage de l'excavation des panneaux adjacents conférant ainsi à la paroi une parfaite continuité géométrique. En outre, le joint CWS permet l'incorporation d'une ou plusieurs lames water-stop, permettant de répondre aux exigences d'étanchéité les plus sévères.



Ce pylône en position inconfortable, souhaiterait, comme son frère
 fièrement dressé, bénéficier de fondations profondes le mettant
 à l'abri des affouillements.
 (archives Cie Marocaine SIF)



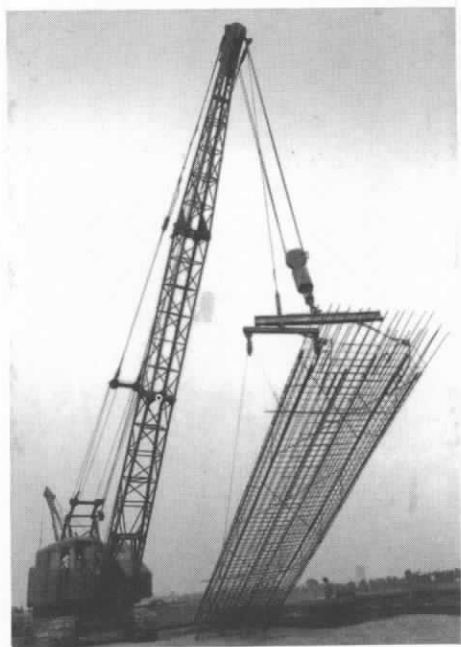
Forage de pieux au treuil de battage comme cela se pratiquait
dans les années 50. (Archives SIF Tunis)



Bucket de forage de pieu au rotary en
position de vidange, fond ouvert.
(Document Cie Marocaine SIF)



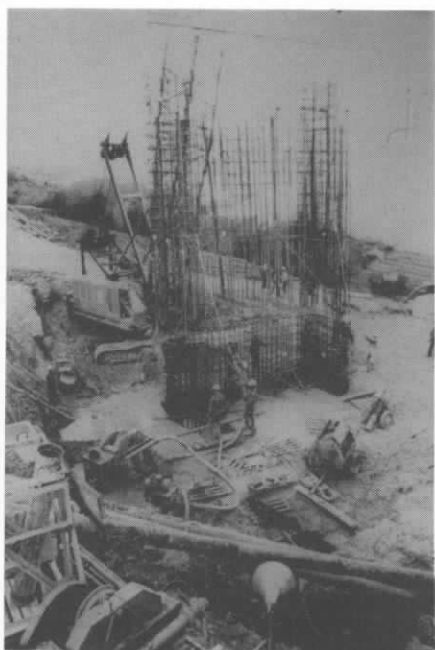
Benne lourde à câble, type KL, pour l'exécution de barrettes ou de parois moulées. Noter l'importance de la jupe de guidage.
(Document Cie Marocaine SIF)



Manutention d'une cage d'armature de
barrette, au moyen d'un palonnier.
(Document Cie Marocaine SIF)



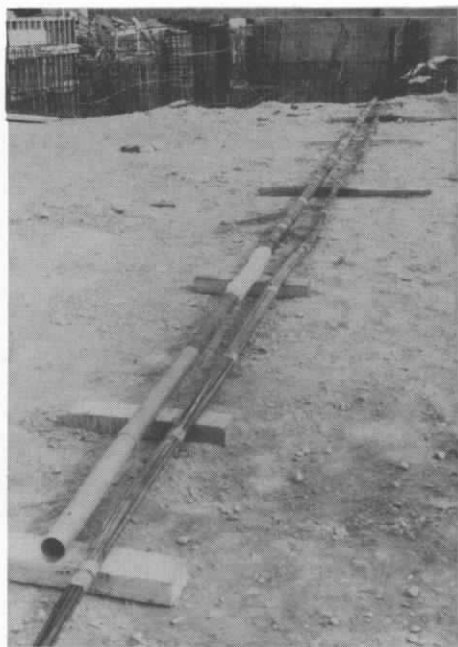
Bétonnage au tube plongeur d'une barrette.
(Document Cie Marocaine SIF)



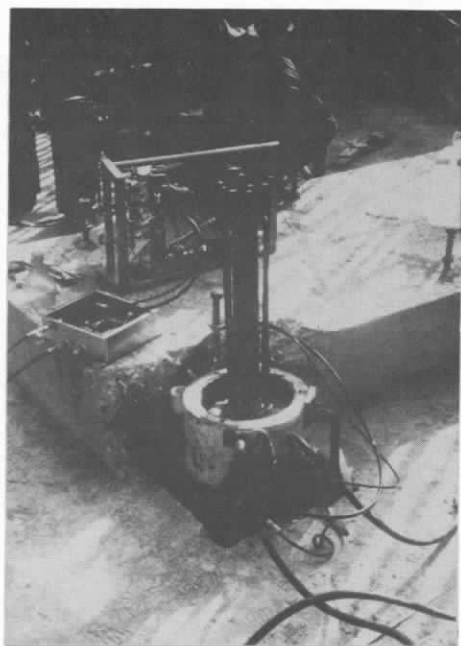
Mise en place d'une imposante cage
d'armature dans une barette en U.
(Document SIF BACHY)



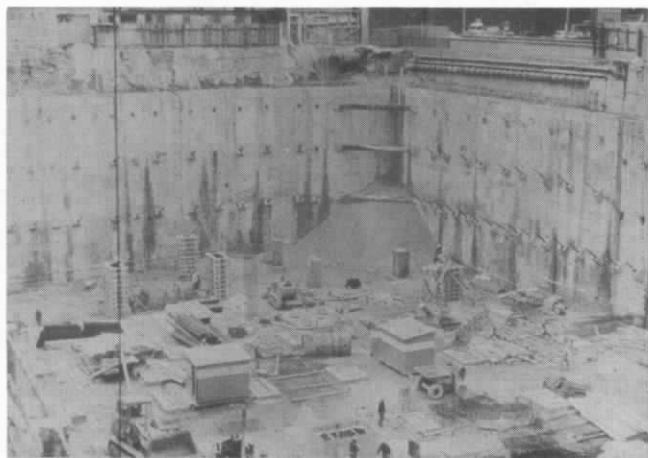
Barrette équipée d'un coffrage métallique
sur une partie de sa hauteur au niveau de
terrains caverneux. Le coffrage est descendu
en même temps que la cage d'armatures.
(Document SIF BACHY)



Anatomie d'un tirant TMD. Le tube TM à gauche,
le faisceau d'armatures à droite.
(Document Cie Marocaine SIF)



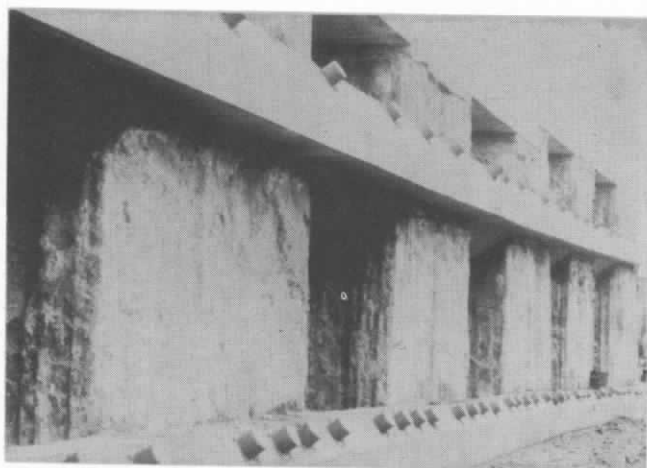
Tirant précontraint de 100 tonnes en cours de mise en tension à MOHAMMEDIA. Ce tirant est équipé d'un dispositif permanent de contrôle de tension.
(Document Cie Marocaine SIF)



Fouille de 12 m en site urbain, soutenue par
une paroi moulée ancrée par trois nappes de
tirants précontraintes.
(Document SIF BACHY)



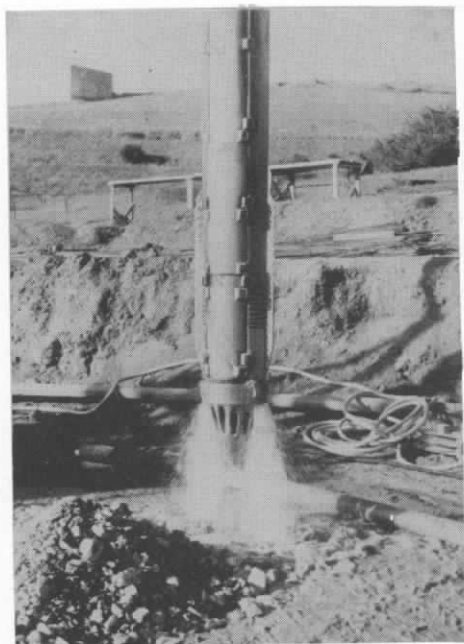
Paroi moulée préfabriquée présentant un fini
parfait après creusement de la fouille.
(Document SIF BACHY)



Mur de quai en paroi moulée PALSIF, avec deux nappes d'ancrages par tirants précontraints TMD. Le profil ondulé de cette paroi lui confère une très grande inertie. (Document SIF BACHY)



Benne K1 1200 : épaisseur 1,20 m, ouverture 2,70 m,
poids 11 tonnes. (Document SIF BACHY)



Vibreux exécutant des colonnes ballastées à
AL HOCEIMA. Noter les puissants jets de lançage
par les deux rampes latérales.
(Document Cie Marocaine SIF)



Appareil de vibroflottation. Ici, deux
vibreurs lourds sont accouplés sur la même
grue porteuse.
(Document SIF BACHY)



HYDRO-HAVEUSE en action
(Document SIF BACHY)



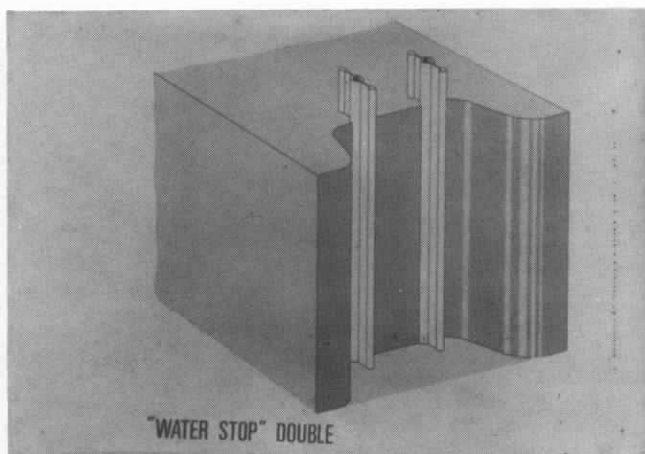
Mise en place de la cage d'armature dans un pieu
de gros diamètre. (Document SIF BACHY)



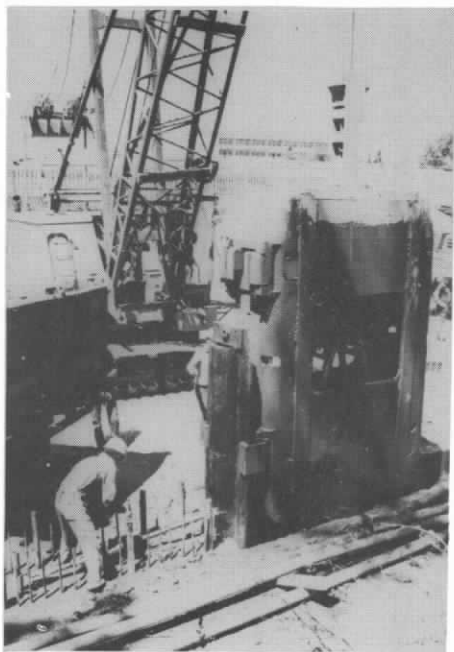
Type de centrale de préparation et de traitement
de boue pour un chantier de fondations important.
(Document SIF BACHY)



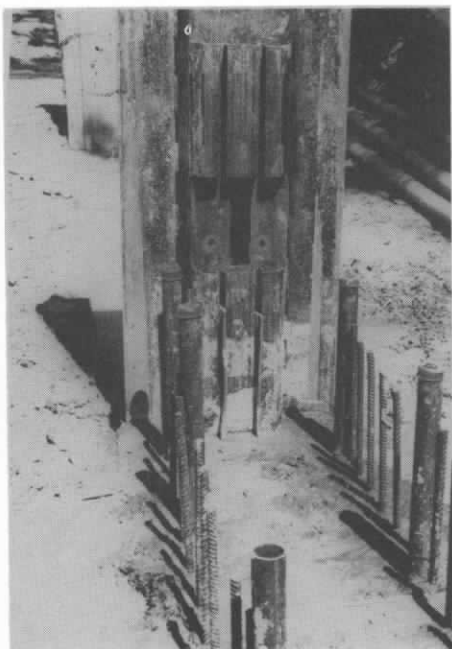
Forage de pieux Ø 2,50 m d'une pile de pont,
en rivière. L'atelier de forage est monté sur
un ponton flottant.
(Document SIF BACHY)



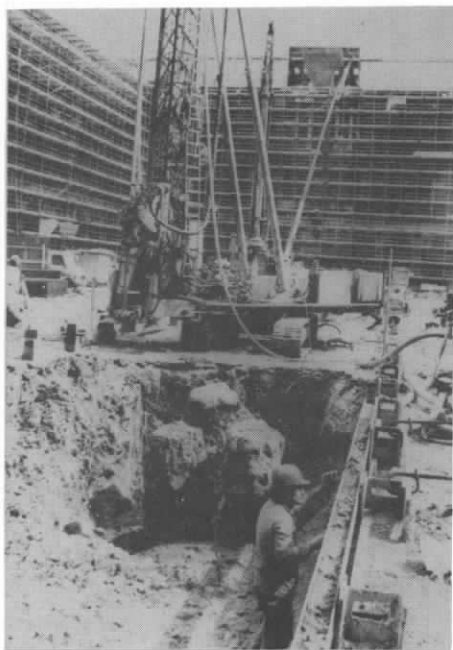
Dessin montrant la configuration d'un joint CWS entre deux panneaux de paroi moulée, équipé de deux lames water-stop.
(Document SIF BACHY)



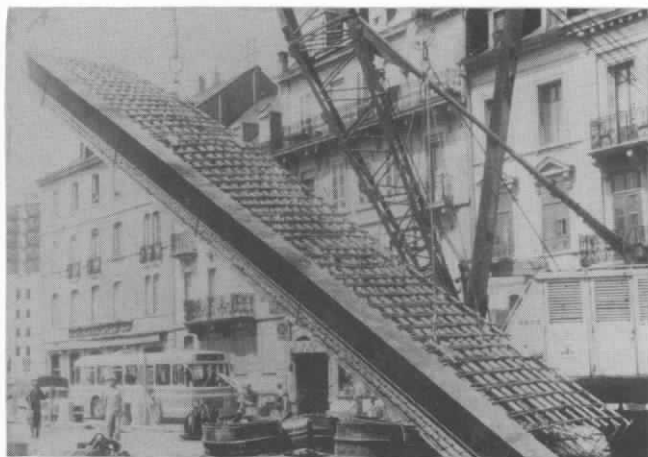
Procédé CWS. Le guidage de la benne d'excavation
sur le joint-coffrage CWS, lors de l'exécution du
panneau adjacent assure une parfaite continuité
en plan de la paroi.
(Document SIF BACHY)



Coffrage-joint type CWS. Sur une paroi moulée en cours d'exécution, le joint entre panneaux est équipé de 2 lames water-stop qui se distinguent sur la photo.
(Document SIF BACHY)



Colonnes réalisées par JET-GROUTING découvertes pour contrôle sur un plot d'essai. A l'arrière, se trouve la machine qui les a réalisées.
(Document SIF BACHY)



Procédé d'armatures continues sur paroi moulée.
Cage d'armature équipée du coffrage-réservation
dans lequel viendront se loger les armatures du
panneau adjacent, en recouvrement.
(Document SIF BACHY)



Procédé d'armature continues entre deux panneaux
de paroi moulée. Le béton a été dégagé pour faire
apparaître le recouvrement des deux nappes
d'armatures adjacentes.
(Document SIF BACHY)