

Terrassements en sous-œuvre et fondations

On appelle travaux en sous-œuvre ceux qui sont exécutés dans la zone de transmission des charges d'une construction existante au terrain de fondation.

DANGERS PRÉSENTÉS PAR CES TRAVAUX

Plusieurs risques sont à combattre :

- les désordres dans la construction ancienne par suite de la décompression du sol ou de la vibration des engins : fissures, lézardes, effondrement partiel ou total,
- les éboulements de terre localisés dans la zone de travail,
- les chutes de pierres ou d'autres matériaux sur les travailleurs,
- les chutes de travailleurs dans les fouilles,
- les risques de rencontre de câbles électriques, canalisations d'eau, de gaz, de carburant, etc., qui, s'ils sont endommagés, peuvent provoquer des électrocutions, noyades, asphyxies, explosions,
- les risques d'asphyxie par émanations de gaz délétères ou accumulation de gaz carbonique.

NÉCESSITÉ D'UNE ÉTUDE PRÉALABLE

Avant de commencer les travaux, il est indispensable d'obtenir des renseignements sur la construction à reprendre en sous-œuvre, et sur le terrain, afin que le projet de reprise et la méthode d'exécution soient conçus rationnellement.

■ Sur la construction

Il faut connaître la constitution et la nature des fondations, leur état actuel, leur épaisseur et le niveau inférieur de leur assise, le poids de la construction, la valeur et la répartition des charges et surcharges qu'elle supporte. Il importe de savoir s'il existe sous les murs une semelle de répartition des charges et si éventuellement des installations (voûtes de cave, par exemple) transmettent au terrain des poussées horizontales ou obliques qu'il faudra équilibrer au fur et à mesure de l'avancement du terrassement. L'idéal est d'obtenir les plans des fondations et de la construction à reprendre. En cas d'impossibilité, il faut les reconstituer grâce aux renseignements recueillis, à des reconnaissances ou à des sondages.

■ Sur le terrain

Il faut connaître l'état et la nature du sol : homogène, hétérogène, diverses couches, pentages des couches, accidents possibles du terrain en profondeur (fontis, carrières souterraines), les caractéristiques physiques et mécaniques, le niveau de la nappe phréatique et éventuellement ses variations dans le temps, etc.

Si le terrain n'est pas vierge, il convient d'obtenir du client et de tous les services publics ou privés intéressés (EDF, GDF, Compagnie des Eaux, Voirie, etc.) tous renseignements sur les installations diverses qu'il contient.

Si les renseignements recueillis sont insuffisants ou douteux, d'autres investigations seront nécessaires (sondages, vérifications).

MESURES CONSERVATOIRES POUR LES CONSTRUCTIONS EXISTANTES

■ Avant les travaux

Avant de commencer les travaux en sous-œuvre, les mesures à prendre en priorité viseront à préserver de tout dommage les constructions sous lesquelles ou en bordure desquelles on doit excaver.

Si la construction reprise est de mauvaise qualité, il faudra étayer les planchers et réaliser autour des baies un encadrement solide pour étayer les linteaux et étançonner les jambages, voire procéder à des renforcements.

■ Au cours des travaux

- Tant que l'ensemble de la construction nouvelle n'a pas atteint le niveau du sol de la construction existante voisine, cette dernière sera constamment surveillée, afin de déceler tout mouvement éventuel du sol de fondation. En particulier, des témoins en plâtre datés seront placés sur les fissures anciennes ou récentes.
- Lorsque la construction existante exerce des efforts horizontaux ou obliques qui sont absorbés par la butée des terres avant la reprise en sous-œuvre, il est nécessaire au fur et à mesure de l'avancement du terrassement de placer des dispositifs (étais, tirants avec ancrages, etc.) capables de résister à ces efforts.

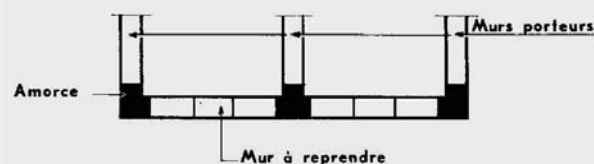
Ces dispositifs seront maintenus jusqu'à ce que les poussées sur le mur à reprendre soient absorbées soit par la construction nouvelle, soit par la construction ancienne après aménagements en conséquence.

- Lorsque la fondation à reprendre est constituée par une maçonnerie de moellons prenant appui directement sur le sol, sans semelle de répartition, il est recommandé de construire sous cette fondation, par tronçons successifs (selon la méthode exposée dans les rubriques *Mode d'exécution d'un premier tronçon de mur* et *Exécution d'un tronçon compris entre deux tronçons terminés* de la section à suivre) une poutre continue en béton armé. Cette poutre permettra de prolonger le mur avec plus de sécurité jusqu'au niveau inférieur prévu par le projet, qui doit être le même que celui des fondations de la nouvelle construction.
- Lorsque le mur d'un bâtiment doit être repris en sous-œuvre, des précautions spéciales sont à prévoir aux emplacements de départ des murs porteurs perpendiculaires. Le sol intérieur étant fortement chargé dans ces zones, il y a lieu de renforcer le blindage de la tranche d'excavation correspondante et, si nécessaire, de faire une amorce de mur en sous-œuvre sous chaque mur porteur perpendiculaire au mur à reprendre (Fig. 1).
- D'une manière générale, on ne doit entreprendre aucune partie de la construction nouvelle dans la zone pouvant transmettre des efforts et amener des désordres à la

construction ancienne tant que les fondations de celle-ci n'ont pas été complètement reprises et descendues au niveau prévu.

Fig. 1

Coupe horizontale

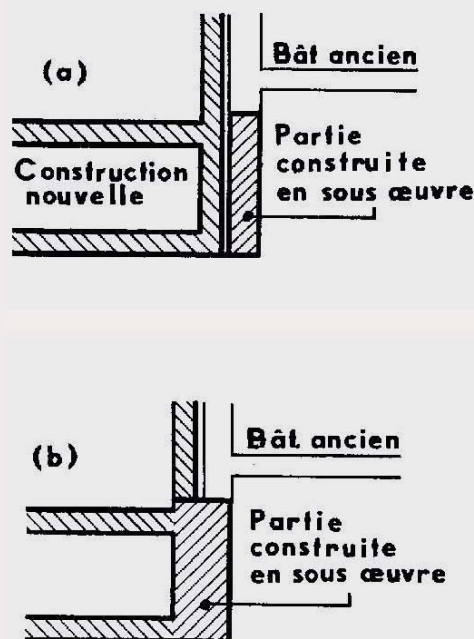


Deux conceptions sont possibles dans le projet d'exécution (Fig. 2) :

- ou bien le mur construit en sous-œuvre n'est destiné qu'à soutenir la construction ancienne, et la fondation du nouveau bâtiment est alors indépendante de celui-ci (a),
- ou bien ledit mur est destiné à servir de fondation commune aux deux bâtiments qui deviennent alors solidaires (b).

Fig. 2

Coupes verticales



Dans le premier cas (a), il faut veiller à maintenir en élévation comme en fondation l'indépendance de l'ancienne et de la nouvelle construction.

Dans le second cas (b), il faut s'assurer que les tassements de la nouvelle construction ne sont pas de nature à provoquer des désordres dans l'ancienne construction.

PROCÉDÉ CLASSIQUE DE REPRISE EN SOUS-ŒUVRE PAR PUIITS ALTERNÉS

■ Principe

Dans les deux cas ci-dessus, le mur à construire en sous-œuvre et le terrassement qu'il nécessite sont exécutés par petites parties indépendantes, de longueur variable suivant la nature du terrain. Les tranches en exécution simultanée doivent toujours être séparées par des tranches non commencées ou par des tranches totalement terminées, c'est-à-dire aptes à supporter à elles seules la construction existante. Le procédé utilise l'effet de voûte ou d'arc-boutement qui prend naissance dans une maçonnerie homogène au-dessus d'un vide de faible portée.

Suivant la hauteur et les conditions de terrain, on peut exécuter la totalité de chaque tranche en une seule fois ou faire plusieurs reprises successives, par exemple pour réaliser d'abord une semelle armée de répartition des charges (comme indiqué au point c. de la rubrique *Au cours des travaux*, de la section précédente).

Il est indispensable de solidariser les tranches entre elles de façon à avoir un mur monolithe. Dans le cas d'un mur en maçonnerie, des arrachements pour reprise doivent être disposés aux extrémités et répartis sur toute la hauteur. Dans le cas d'un mur en béton, armé ou non, des armatures de reprise d'une longueur suffisante doivent être laissées en attente.

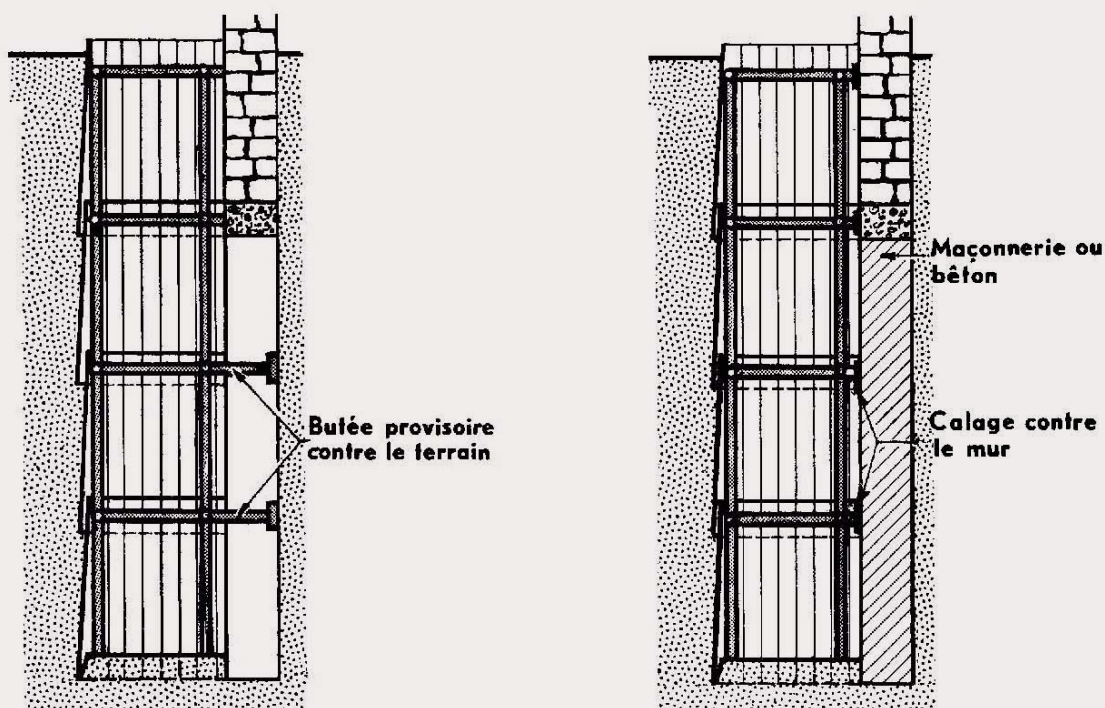
D'autres précautions essentielles sont à prendre :

- Le mur construit en sous-œuvre doit être bloqué au terrain arrière de façon à éviter toute décompression ultérieure du sol susceptible d'engendrer des tassements amenant des fissurations des maçonneries.
- Ce mur doit pouvoir supporter à la fois les charges verticales et les poussées du terrain. Il s'agit donc d'un véritable dispositif de soutènement. Tant que ce mur n'a pas atteint une résistance suffisante, il convient de le buter provisoirement pour équilibrer les poussées.
- Dans certains cas d'ailleurs, sa section est insuffisante pour qu'il remplisse seul son rôle de soutènement. Il n'est stable, par exemple, que lorsque les planchers de la nouvelle construction sont bétonnés. Dans ce cas, avant de procéder au terrassement général, il est indispensable d'assurer provisoirement sa stabilité par des dispositifs étudiés pour gêner le moins possible les autres phases de travaux : étais inclinés, contreforts, tirants ancrés à l'arrière.

■ Mode d'exécution d'un premier tronçon de mur

- a. A partir du terrain naturel ou d'un niveau décapé au-dessus des fondations, on exécute un puits à parois blindées ayant la profondeur de la phase de reprise envisagée. Si le terrain est vierge, de bonne tenue, exempt de toute venue d'eau, on peut blinder le puits sur les trois parois extérieures au mur et laisser apparentes les parois sous le mur (paroi du fond et parois latérales) en assurant cependant la butée transversale des cadres (Fig. 3).

Fig. 3
Coupes verticales



TERRASSEMENT TERMINÉ

REPRISE DU MUR ACHÉVÉE

Le mur ancien sera étançonné ou étayé pour éviter tout désordre. Dans le cas d'un mur de mauvaise qualité on installera une protection pour que les travailleurs dans le puits soient abrités des chutes de pierres ou matériaux.

La méthode de blindage qui offre le plus de sécurité est celle à planches verticales jointives enfilées à l'avancement derrière des cadres de bois en grumes.

La semelle de fondation est bétonnée et le mur monté en maçonnerie ou béton jusque sous la fondation à reprendre.

Les bois qui assuraient la butée des cadres contre le terrain derrière le mur ne sont enlevés progressivement que lorsqu'une butée compensatrice a été effectuée en se servant du mur. Dans certains cas, ils sont laissés dans le mur, entourés d'une gaine, ce qui permet de les sortir lors de l'exécution de la nouvelle construction.

Cette méthode ne doit être employée que si l'étude approfondie du terrain donne l'assurance qu'aucun éboulement n'est à craindre pendant le court laps de temps que dure l'exécution d'une tranche de mur.

- b. S'il n'en est pas ainsi, et c'est le cas le plus fréquent, il faut blinder toute la périphérie du puits de façon à ne laisser subsister aucune partie verticale de terrain apparente. Il faut donc employer sous le mur des cadres complets, mais au début du terrassement sous le mur, l'enfilage des planches étant impossible par le haut, on sera amené soit à terrasser une hauteur réduite de fouille pour éviter les éboulements et placer les planches de blindage verticales entre le mur et un cadre inférieur, soit à blinder au fur et à mesure du terrassement, et par planches horizontales, une certaine hauteur de puits jusqu'à ce que, ayant obtenu un dégagement suffisant vers le haut, on puisse reprendre la méthode normale de blindage à planches verticales par enfilage en potelle.

Le mur est exécuté en montant. Les planches derrière le mur peuvent être récupérées progressivement. Les longrines elles-mêmes peuvent être enlevées mais à condition d'avoir préalablement buté la paroi opposée contre le mur.

Souvent, d'ailleurs, on préfère abandonner tous les bois situés derrière le mur et laisser en place les étré-sillons. Ces derniers sont alors retirés ultérieurement, comme dans le cas précédent.

■ **Exécution d'un tronçon compris entre deux tronçons terminés (Fig. 4)**

Le mode opératoire est le même que celui d'un tronçon exécuté en 1^{re} phase, mais, en terrassant suivant DCFE, on supprime la butée que ce terrassement opposait aux pressions exercées sur les faces transversales AB et GH par l'intermédiaire des longrines parallèles au mur. Il faut donc, dans le blindage du nouveau puits, reprendre les efforts en solidarissant les pièces maîtresses du nouveau puits à celles correspondantes des puits adjacents.

Fig. 4

Coupe horizontale

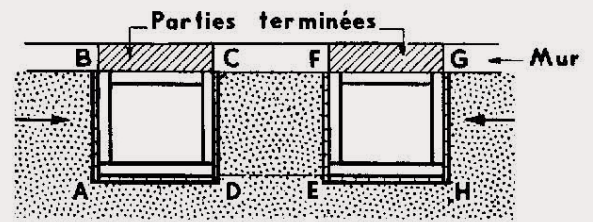
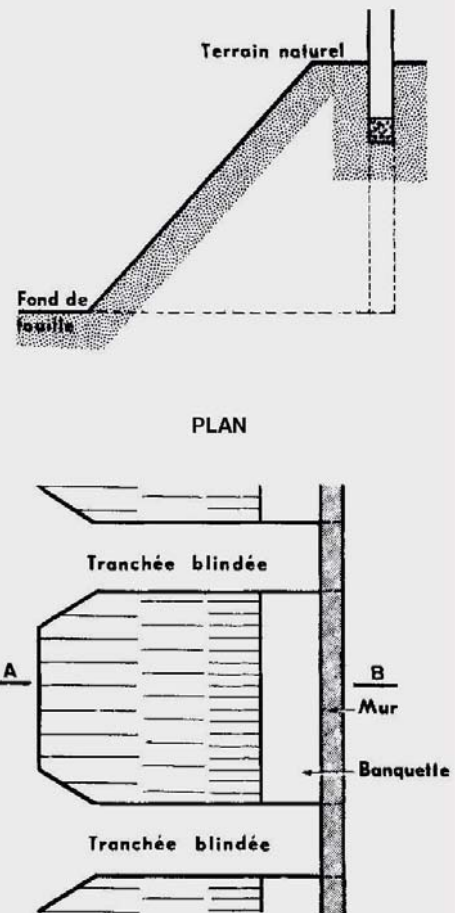


Fig. 5

Coupes verticales A et B



■ **Variante - Cas d'un terrassement général préalable aux travaux, en contrebas de la construction à reprendre (Fig. 5)**

- a. Si le niveau inférieur de ce terrassement général est plus bas que celui des fondations, il convient de prendre des précautions :

Il faut fixer les limites du terrassement général pour éviter d'apporter la moindre modification aux conditions de stabilité, de l'ouvrage en tenant compte de l'existence éventuelle et de la valeur de la semelle de répartition et, le cas échéant, de l'existence de poussées horizontales ou obliques.

Fig. 6a

Coupe horizontale A et B

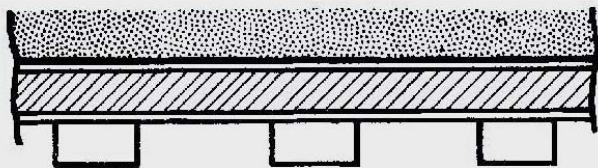
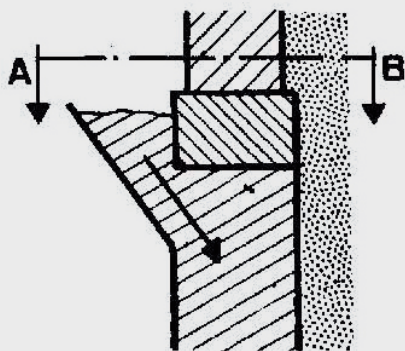


Fig. 6b

Coupe verticale



En fonction de ces données et de la nature du terrain, on déterminera la largeur à donner à la banquette supérieure au niveau du terrain naturel de la construction à reprendre et la pente du talus de l'excavation. Il faut, dans cette éventualité, se montrer extrêmement prudent, les facteurs conditionnant la stabilité d'un talus étant fort nombreux et souvent variables dans le temps (conditions climatiques, surcharges, vibrations, etc.).

L'excavation générale n'est possible que si l'on reste au-dessus de la nappe phréatique ou si son rabattement a été prévu. Toutefois le rabattement ne peut être admis que s'il ne présente pas de risque d'entraînement des particules fines du terrain avec les eaux de pompage et si la nature des terrains exclut le risque de tassements dangereux par dessiccation des couches.

- b. La technique d'exécution (exposée dans la rubrique *Mode d'exécution d'un premier tronçon de mur*), est alors modifiée. Au lieu d'opérer par puits on opérera par tranchées blindées perpendiculaires au mur à reprendre, dans des conditions sensiblement comparables à celles requises pour le procédé par puits.

■ Conseils divers

Il faut éviter de faire accéder en bordure immédiate du puits les camions chargés d'évacuer les déblais.

Le poids et les vibrations risquent en effet de provoquer des accidents pendant les travaux de boisage. Il est recommandé d'approvisionner le bois nécessaire à la totalité de l'opération. Sinon, il faudrait déblinder une partie

des puits pour utiliser les bois dans d'autres puits, ce qui serait dangereux et peu rentable. De plus, le déboisement en charge est très difficile du fait que certaines pièces sont engagées dans le béton ou fortement comprimées.

Dans certaines régions comme la région parisienne, il conviendra de s'assurer de l'absence de carrières souterraines sous l'emprise des constructions et de leurs abords. La présence de telles carrières obligerait à des travaux préalables de consolidation.

Par ailleurs, même si le sol est sec et d'une bonne cohésion apparente, il faut éviter à tout prix les infiltrations d'eau pendant les travaux (eaux provenant des caniveaux en particulier). Si les descentes d'eaux pluviales de l'immeuble voisin se déversent directement sur le sol, il est recommandé de canaliser ces eaux pour les évacuer le plus loin possible. Si l'on a commencé par faire un terrassement général, la banquette et le talus seront avantageusement revêtus de bâches imperméables en matière plastique.

Dans l'exécution de la partie en sous-œuvre, on veillera tout particulièrement à ne pas laisser de vides entre le dessus du mur construit en sous-œuvre et le dessous de la fondation ancienne, pour éviter tout tassement de cette dernière. S'il s'agit d'un mur en maçonnerie de moellons on matera fortement le lit de mortier entre le nouveau et l'ancien mur.

Pour un mur en béton on ménagera des trémies de déversement du béton assez rapprochées, en saillie sur la paroi extérieure, et dépassant le niveau supérieur du nouveau mur de façon que, sous l'effet conjugué de la pesanteur et de la vibration, le béton ne laisse subsister aucun vide (Fig. 6). Ce béton de clavage doit avoir une plasticité suffisante et une granulométrie appropriée.

Les petites consoles de béton des trémies sont décoffrées et démolies avant que le béton ait acquis une résistance importante.

Si le mur de reprise a une hauteur importante, on évitera le vide dû au retrait sous la fondation ancienne en laissant en attente sur une petite hauteur la partie supérieure du mur de reprise. On l'exécutera lorsque la partie inférieure aura subi une bonne partie de son retrait.

La paroi arrière du mur en sous-œuvre doit être parfaitement bloquée au terrain sur toute sa surface de contact.

Des injections de mortier de ciment ou autres produits peuvent être envisagées dans certains cas. La pression d'injection doit alors être étudiée de façon à n'apporter aucun dommage à la construction.

PROCÉDÉS SPÉCIAUX DE REPRISE EN SOUS-ŒUVRE

La description détaillée de ces procédés dépasse le cadre de la présente étude. On indiquera seulement le principe des procédés les plus connus. Tous ces procédés ont l'avantage de diminuer les risques signalés au début et d'assurer ainsi une meilleure sécurité des travailleurs.

■ Parois moulées dans le sol (Fig. 7)

On construit par petites parties (panneaux d'environ 4 à 6 m de longueur), avant le terrassement général et en bordure immédiate des constructions ou de leurs fondations existantes, un mur en béton, armé ou non, sous la protection duquel on peut ensuite exécuter l'excavation de la construction à l'aide d'engins mécaniques.

Le procédé d'exécution du mur repose sur l'emploi d'une boue de bentonite, remplissant constamment la tranchée étroite ouverte mécaniquement, qui correspond à la section du mur. La boue évite les décompressions du sol et les éboulements, et le béton du mur est exécuté à pleine fouille sous la bentonite suivant la même technique que celle du bétonnage sous l'eau.

Le procédé est très utilisé dans les travaux publics et dans les fondations profondes d'immeubles en site urbain.

Il nécessite que le mur à reprendre possède une semelle de fondation armée. S'il en est démunie, il faut en constituer une préalablement à l'exécution de la paroi moulée.

■ Mini-pieux ou micro-pieux

Dans ce procédé, les fondations existantes sont traversées par une série de forages rotatifs de petit diamètre (50 à 200 mm) orientés dans différentes directions, armés sur toute leur longueur par un acier unique ou une cage d'armatures, et remplis de béton ou de mortier introduit sous pression.

Le procédé convient particulièrement pour des reprises en sous-œuvre de fondations massives ou pour des consolidations d'ouvrages.

■ Pieux foncés par vérins sous la fondation à reprendre

Ce procédé, quoique ancien, est intéressant quand le terrain se prête au fonçage et qu'on dispose de très peu de

place. Il n'exige pas la mise en œuvre d'un matériel important et peut être employé sur des chantiers modestes. Il ne produit ni bruit, ni vibrations, ni chocs, ni fumées.

La méthode consiste à enfoncer des pieux par pression et par tronçons successifs au moyen d'un vérin hydraulique prenant appui sous la fondation à reprendre. Si celle-ci ne comporte pas de semelle armée, il faut en constituer une avant de foncer les pieux, car on risquerait de fissurer, voire de disloquer l'ancienne fondation. De plus, les points d'appui doivent être judicieusement choisis.

Le premier élément de pieu est muni d'une pointe renforcée favorisant son enfoncement. Les autres éléments viennent se superposer par emboîtement.

Ces éléments, qui peuvent être métalliques ou en béton armé, comportent des évidements intérieurs qu'on remplit ensuite de béton pour réaliser un pieu continu.

Lorsque le refus est obtenu, on bloque des cales entre la tête du pieu et la semelle, on retire le vérin et on procède au clavage.

Le procédé supprime par ailleurs tout risque de décompression du sol et permet un contrôle de la force portante des pieux.

Il peut être utilisé pour le relevage ou le redressement d'une construction ancienne. Dans ce cas, on enfonce d'abord tous les pieux au refus et on procède au relevage soit avec quelques vérins, les autres pieux servant d'appui pour un calage provisoire, soit en agissant sur tous les pieux en même temps à l'aide de vérins plats et de calages prenant appui sur les pieux.

■ Pieux forés encadrant le mur

Ce procédé n'est applicable que si les deux côtés du mur à reprendre sont accessibles. Le matériel nécessaire étant peu encombrant, un sous-sol de cave constitue un espace généralement suffisant pour la mise en œuvre du procédé.

Celui-ci consiste à exécuter deux files de pieux de chaque côté et le plus près possible du mur, et à reporter les charges de l'ouvrage sur ces pieux, par l'intermédiaire de poutres semelles et de consoles en béton armé exécutées sous le mur par petites parties.

Les pieux sont forés au trépan ou à la tarière, et tubés par éléments de faible longueur assemblés par filetage. Ces tubes sont remontés au cours du bétonnage et récupérés un par un.

Chaque pieu est terminé par une tête élargie et évidée de façon à ménager l'emplacement d'un vérin hydraulique. La pression est réglée de manière à imprimer aux pieux un effort au moins égal à la charge définitive. Quand les pieux ne s'enfoncent plus, on dispose un calage, on retire les vérins et on procède au clavage.

Au lieu de vérins ordinaires, on utilise également des vérins plats Freyssinet, beaucoup moins encombrants.

Fig. 7

Hydrofraise latine



■ Consolidation préalable du terrain

Certains procédés permettent la consolidation des mauvais terrains : injections de ciment ou de produits spéciaux, congélation à la saumure ou à l'azote liquide dans les terrains aquifères. Moyennant leur mise en œuvre préalable, on peut opérer la reprise en sous-œuvre dans de très mauvais terrains en employant les méthodes manuelles classiques.

REGLEMENTATION

- **Code du travail :**

Article R. 4534-22 et suivants et, notamment,
Article R. 4534-26

OPPBTB

25, avenue du Général Leclerc - 92660 Boulogne-Billancourt Cedex
Tél : 0825 03 50 00 - Tél : 01 46 09 27 00 - Fax : 01 46 09 27 40

www.oppbtp.fr