



INNOVATION ET HYDROFRAISES

AUTEURS : JEAN-FRANÇOIS MOSSER, DIRECTEUR RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT, SOLETANCHE BACHY -
STÉPHANE MONLEAU, DIRECTEUR COMMERCIAL ET MARKETING, SOLETANCHE BACHY FRANCE -
FRANÇOISE ROUMÉGOUX, RESPONSABLE FORMATION, SOLETANCHE BACHY

DEPUIS SON INVENTION DANS LES ANNÉES 1970 PAR SOLETANCHE BACHY, L'HYDROFRAISE EST DEVENUE L'OUTIL INCONTOURNABLE POUR LA PERFORATION DES PAROIS MOULÉES. CES DERNIÈRES ANNÉES, LES DÉVELOPPEMENTS SE SONT ACCÉLÉRÉS POUR RÉPONDRE AUX BESOINS CROISSANTS DES CLIENTS ET À DES PROJETS DE PLUS EN PLUS AMBITIEUX : EMPRISES LIMITÉES, PROFONDEUR ET ÉPAISSEUR ACCRUES, AINSI QUE TOLÉRANCES DE VERTICALITÉ RÉDUITES.

UN PEU D'HISTOIRE

Le développement de la paroi moulée, dans les années 1960, a apporté un progrès considérable dans les fondations profondes : fiabilité de l'étanchéité et du soutènement, et surtout possibilité d'intégrer directement la fondation et/ou le soutènement dans la structure du bâtiment - un atout important pour la construction de parkings, stations de métro et tranchées couvertes.

Les premiers outillages de creusement sont des bennes à câbles, avec des performances limitées :

- Un rendement de perforation faible ;
- Peu de moyens pour contrôler la trajectoire de l'outil, un contrôle de verticalité sommaire ;
- Et surtout, l'obligation d'utiliser des trépan lorsque le sol devient trop difficile à forer.

En contexte urbain, la construction de parois moulées ne passe pas inaperçue : transports de matériaux excavés pollués par la boue, vibrations induites



1- HC05 au barrage de Subansiri (Inde).

2- Forage de la paroi moulée de la station RER Gare-de-Lyon (1974).

1- HC05 at the Subansiri Dam (India).

2- Drilling the diaphragm wall of the Gare-de-Lyon "RER" station (1974).

par les coups de benne et surtout par les chutes du trépan.

L'invention de l'outillage Hydrofraise par Soletanche, dans les années 1970, a représenté un véritable saut technologique.

La perforation est désormais assurée par deux paires de tambours rotatifs munis de pics, permettant de forer tous les types de terrain sans recourir à la technique du trépanage.

La haute taille du châssis de l'Hydrofraise et la perforation en rotation assurent une grande stabilité de la trajectoire de l'outillage et d'excellentes performances en termes de verticalité. Enfin, les déblais sont évacués par la boue, puis traités dans une station de dessablage, ce qui permet d'évacuer les matériaux plus proprement.

Depuis sa première utilisation en 1974 sur la station RER de la Gare de Lyon (figure 2), l'Hydrofraise a connu un succès considérable et a été imitée par l'ensemble de la profession, devenant alors un standard du marché.

Plusieurs générations d'Hydrofraises ont été développées pour répondre aux exigences croissantes des grands projets internationaux d'infrastructures en termes d'épaisseur de la paroi (2200 mm sur le pont Akashi au Japon en 1990, 1800 mm sur le barrage de Wolf Creek aux États-Unis en 2008-2012 ou les puits de Lee Tunnel à Londres en 2011 - figures 3, 4 et 5) et de profondeur (plus de 120 m de profondeur pour le barrage de Mud Montain aux États-Unis en 1990 ou les Tours Petronas à Kuala Lumpur en Malaisie en 1993).

UNE GAMME ÉTENDUE D'HYDROFRAISES

Ces dernières années, 3 nouvelles familles d'Hydrofraises ont été développées pour répondre à des besoins différents :

- Le forage sous hauteur réduite ;
- Le forage en site urbain ;
- Le forage du terrain très dur.

HYDROFRAISES POUR HAUTEUR LIMITÉE : HC05

Après les premières générations d'Hydrofraises compactes (Latine et HC03), la gamme Hydrofraise, avec HC05, s'est enrichie d'une nouvelle référence permettant de travailler sous hauteur limitée et se transportant aisément. Son atout numéro 1 consiste dans sa compacité. Conçue par les équipes de Soletanche Bachy, elle peut être expédiée partout dans le monde en trois conteneurs de 40 pieds et trois autres de 20 pieds. Elle se caractérise également par des temps de montage et de démontage réduits (3 jours). Elle est capable d'effectuer des forages jusqu'à 50 m de profondeur pour une épaisseur de 630 à 1 500 mm, le tout sous une hauteur limitée de 5,30 m.

Cette Hydrofraise a été lancée sur le projet de couverture des voies de la ZAC Clichy-Batignolles avant de rejoindre le barrage de Subansiri en Inde, où elle a été amenée à travailler dans des galeries de 7 m de tirant d'air pour réaliser 18 000 m² d'écran étanche à 50 m de profondeur (figure 1). Elle a depuis été produite en plusieurs exemplaires et déployée en France et en Asie. Elle a récemment été utilisée avec succès, sous un tablier auxiliaire de la SNCF, dans le cadre des travaux de la gare de Fort-d'Issy-Vanves-Clamart (Ligne 15 Sud du Grand Paris Express - figure 6).

HYDROFRAISES URBAINES : XS

L'Hydrofraise XS (figure 7) est un modèle de gabarit réduit, mais néanmoins puissant et performant, spécialement destiné aux chantiers urbains. Alors que l'Hydrofraise classique est montée de façon pendulaire sur des grues à chenilles de plus de 130 t, le modèle XS équipe une foreuse de pieux d'environ 60 t par l'intermédiaire d'un kelly (mât). Ce mode de suspension apporte à l'outillage plusieurs avantages décisifs :

- Le poids du kelly s'ajoute à celui de l'outil ; de plus il, est possible d'appliquer une poussée sur le kelly. Ces deux facteurs permettent d'augmenter de façon très importante le poids exercé sur l'outil, donc son

rendement de perforation dans tous les terrains, et sa capacité à forer les terrains durs.

- Le kelly assure un guidage de l'outil sur toute la hauteur de la paroi, ce qui améliore ses performances en termes de verticalité.
- Il permet également de réduire les frais de transport du matériel et d'accélérer la mise en route des travaux.

Cette machine, qui peut descendre jusqu'à 25 m de profondeur, a également l'avantage de pouvoir réaliser des parois de 500 mm d'épaisseur (contre 630 mm pour le matériel standard) - une particularité intéressante pour les fouilles urbaines, où elle permet de



3

© SOLETANCHE BACHY



4



5

© SOLETANCHE BACHY

3- Barrage de Wolf Creek (USA 2008-2012).

4- Hydrofraise au pont Akashi (Japon 1990).

5- Hydrofraise Evolution sur projet de Lee Tunnel (Royaume Uni 2011).

3- Wolf Creek Dam (USA 2008-2012).

4- Hydrofraise at Akashi Bridge (Japan 1990).

5- Evolution Hydrofraise on the Lee Tunnel project (United Kingdom 2011).

créer des places de parking supplémentaires. L'Hydrofraise XS est par ailleurs au cœur de l'offre Cit'Easy, lauréat du Trophée des TP 2013, pour la réalisation des parois moulées en site urbain.

HYDROFRAISE À GRIPPEURS

Dernière-née dans la famille, l'Hydrofraise à grippeurs renouvelle le procédé de la paroi moulée en proposant un nouvel outillage capable de forer à plus de 70 m de profondeur avec une poussée de plus de 120 t sur les outils de coupe, alors que le poids suspendu n'est que de 45 t. Cela est possible grâce à une nouvelle conception de l'outil en deux modules :



6
© CÉDRIC HELSLY

→ Un module d'ancrage qui, grâce à des gripeurs, s'ancre sur le terrain pendant le forage, ce qui permet de mobiliser un frottement latéral important ;

→ Un module de forage coulissant par rapport au module d'ancrage.

Deux puissants vérins sont montés entre les deux modules : ils s'appuient sur le module d'ancrage, une fois celui-ci grippé dans le terrain, pour exercer une poussée de 120 t sur le module de forage.

Ce fonctionnement est inspiré de l'Hydrofraise XS qui, par l'intermédiaire de son kelly, stabilise l'outil de coupe, ainsi

6- HC05 sur Fort-d'Issy-Vanves-Clamart (Ligne 15 Sud du Grand Paris Express).

7- Hydrofraise XS sur RER A à Nanterre Université.

6- HC05 on Fort-d'Issy-Vanves-Clamart (Line 15 South of the 'Grand Paris Express' project).

7- XS Hydrofraise on RER A at Nanterre University.

que des tunneliers à gripeurs, qui se grippent sur le rocher de manière à augmenter la poussée sur la roue de coupe pour pouvoir pénétrer dans des roches très dures.

La conception de l'Hydrofraise à gripeurs a dû faire face à deux défis majeurs :

→ Un défi géotechnique : s'ancreur sur les parois du panneau en cours de forage pour reprendre des efforts de plus de 120 t, sans provoquer l'éboulement du panneau. À la différence des tunneliers à appui radial, qui se grippent dans du rocher, l'Hydrofraise à gripeurs

sera amenée à se gripper dans des terrains meubles qui recouvrent les sols indurés.

→ Un défi mécanique : assurer une verticalité aussi bonne, voire meilleure, que pour les Hydrofraises conventionnelles et ce malgré le grippage du module d'ancrage dans le sol.

Le premier point a fait l'objet d'une étude approfondie de différents profils géotechniques à travers le monde, pour définir la surface de grippage nécessaire pour assurer une reprise d'efforts de poussée allant jusqu'à 200 t.

Le deuxième point a requis la conception de caissons d'ancrage spécifiques permettant une translation horizontale du module de forage par rapport au caisson, de manière à ce que les plaques de grippage puissent s'adapter aux contours du sol sans provoquer la déviation de l'Hydrofraise.

L'Hydrofraise à gripeurs a été utilisée avec succès en région parisienne dans le cadre du prolongement Nord de la Ligne 14 (figure 8). Elle a ensuite été utilisée sur des stations de la Ligne 15 Sud du Grand Paris Express : Les Ardoines (figure 9) et Le-Vert-de-Maisons.

L'Hydrofraise à gripeurs est lauréate du Trophée des TP en 2016 et fait l'objet de quatre dépôts de brevets en France et à l'International. Elle sera bientôt exportée dans le Sud-Est Asiatique où les terrains granitiques l'attendent avec impatience.



© CÉDRIC HELSLY

DES DÉVELOPPEMENTS DURABLES POUR FACILITER L'UTILISATION DE L'HYDROFRAISE

SIMULATEUR D'HYDROFRAISE

Le pilotage des Hydrofraises est d'une grande complexité. Jusqu'à présent, la formation de nos opérateurs grutiers Hydrofraise s'effectue exclusivement en cours de production, en tutorat avec un grutier confirmé, ce qui ne permet, ni d'aborder tous les scénarios, ni de rencontrer tous les aléas de forage. Or, la perspective du Grand Paris Express en particulier obligeait à former davantage d'opérateurs dans un délai très court. Soletanche Bachy a donc mis au point, en partenariat avec Acreos, un simulateur numérique ultra-perfectionné de forage de parois moulées à l'Hydrofraise (figure 10).

Caractéristiques des sols, comportements de la machine (vrillage, blocage ...), sensations (siège dynamique) ... toutes les conditions de terrain, reproduites numériquement dans une cabine de pilotage, sont très proches de la réalité.

Avec le simulateur de conduite d'Hydrofraise, les temps de formation sont considérablement réduits, les coûts diminués, et le nombre de personnes formées est augmenté. Les erreurs de pilotage n'ayant pas de conséquences réelles sur le chantier, les apprentis peuvent recommencer à l'envi les exercices les plus complexes dans des conditions de site extrêmes.

Dix modules interactifs, intégrant pour chacun un nombre d'exercices prédéfini, permettent au stagiaire de se confronter à tous types d'aléas. Les modules pédagogiques de forage sont aussi utilisés comme perfectionnement ou rappel pour les opérateurs aguerris. Ce simulateur est par ailleurs installé dans un container qui peut être directement installé sur chantier.

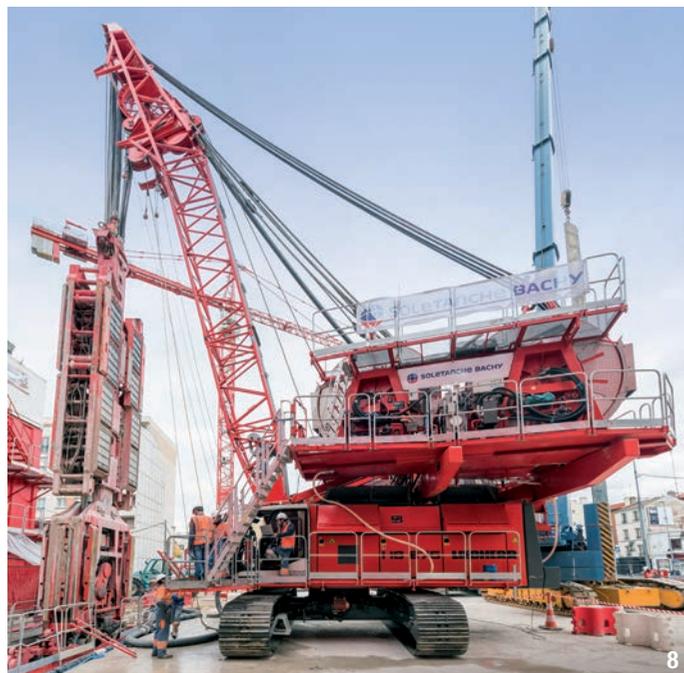
La proximité du simulateur avec les outils de forage en exploitation permet d'alterner alors les séances de simulation et de forage réel.

Fort du succès de ce premier simulateur, Soletanche Bachy a depuis fait le choix de l'adapter au forage à la benne et ce, dans de multiples langues de manière à l'exporter sur les filiales étrangères.

Le groupe dispose désormais d'un outil qui permet de valider les acquis de manière plus certaine.

POWER PACKS ÉLECTRIQUES

Afin de répondre à des exigences environnementales de plus en plus élevées,



8
© CÉDRIC HELSLY

Soletanche Bachy a mis au point une Hydrofraise alimentée électriquement : le power pack, organe fournissant la puissance hydraulique pour les moteurs des outils de coupe et la pompe de remontée des déblais, est directement alimenté électriquement. L'électricité est prélevée sur un réseau haute tension pour être ensuite transformée en 400 V sur chantier.

Cette Hydrofraise (figure 11), utilisée pour réaliser des puits sur le projet de

8- Hydrofraise à grappeurs sur L14.

9- Hydrofraise à grappeurs sur Les-Ardoines.

8- Hydrofraise with grippers on Line L14.

9- Hydrofraise with grippers on Les-Ardoines station.

Thames Tideway Tunnel est, non seulement plus respectueuse de l'environnement, mais aussi plus silencieuse que les modèles conventionnels avec un fonctionnement thermique.

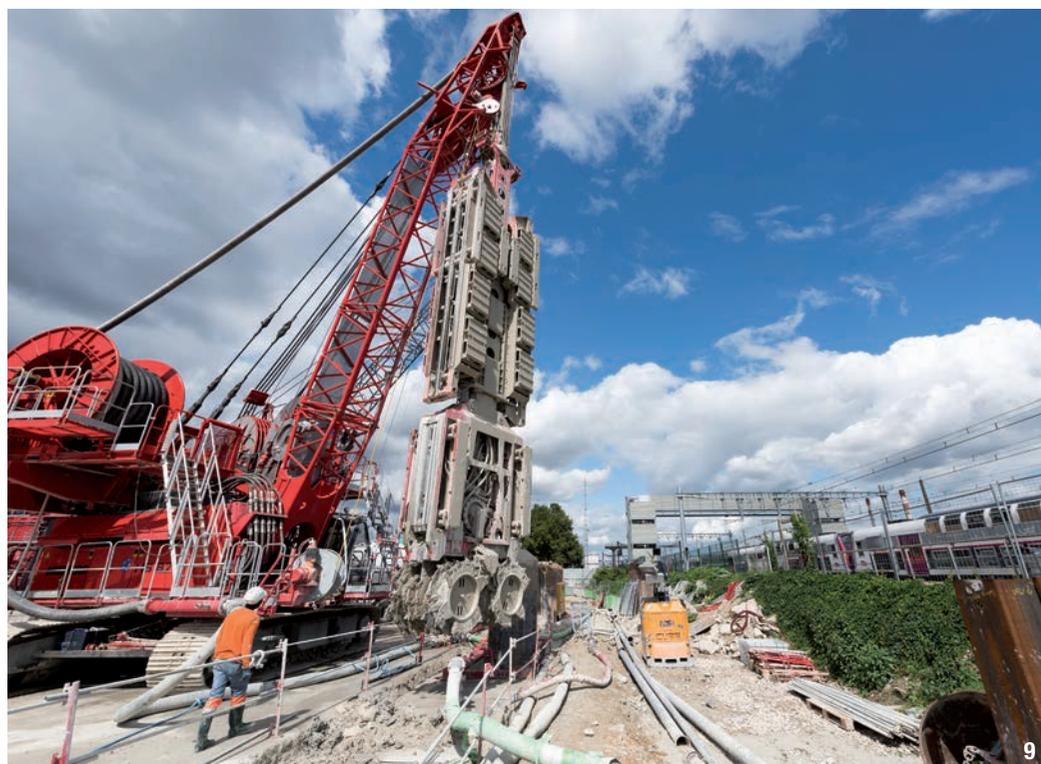
UNITÉ DE DESTRUCTION DE BOUE PAR HYDROCYCLONAGE

Au cours du creusement, la densité de la boue de forage croît inévitablement du fait de l'apport de fines contenues dans les déblais.

Pour conserver une boue toujours conforme aux exigences du forage, il est indispensable de la traiter en permanence. Cependant, en moyenne, après 2 ou 3 cycles de traitement, les qualités de la boue sont trop dégradées pour pouvoir autoriser sa réutilisation. Il faut alors la remplacer par une boue neuve.

La boue usagée est alors généralement évacuée sous forme liquide. Mais cette pratique pose bien des problèmes, aussi bien logistiques (transport) que réglementaires (mise en décharges spécifiques). Elle peut sinon être détruite sur place, mais les solutions existantes, soit sont coûteuses, comme l'utilisation de centrifugeuses, soit requièrent de l'espace, comme l'utilisation de filtres-presses.

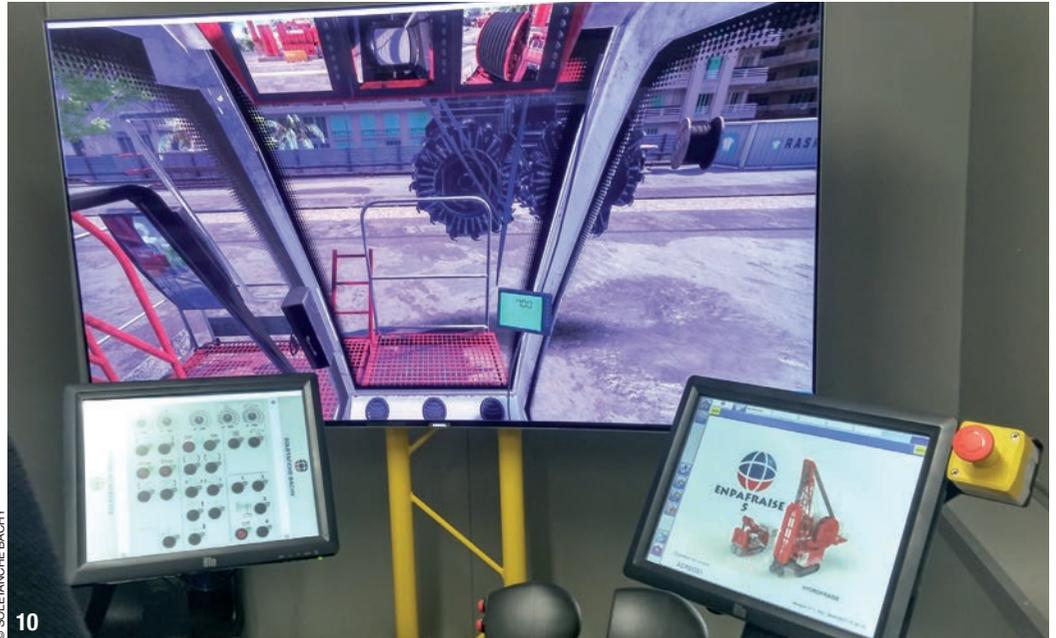
Soletanche Bachy a développé une unité compacte de destruction de boue par hydrocyclonage qui permet de s'affranchir des contraintes des technologies ci-dessus.



9
© CÉDRIC HELSLY

10- Simulateur de conduite d'Hydrofraise.
11- Hydrofraise avec powerpack électrique sur Thames Tideway Tunnel (Royaume Uni).
12- Unité DHF de destruction de boue.

10- Hydrofraise operating simulator.
11- Hydrofraise with electric power pack on Thames Tideway Tunnel (UK).
12- DHF sludge destruction unit.



© SOLETANCHE BACHY

10

Dans ce procédé breveté, la boue est traitée par coagulation, puis floculation, avant d'être déshydratée à l'aide d'hydrocyclones.

La centrale est composée de 2 modules de la dimension d'un conteneur de 20 pieds. Elle est facile à installer et parfaitement adaptée aux besoins des chantiers de paroi moulée urbaine.

En fin de vie, la boue usagée est donc détruite : on rejette l'eau de la boue traitée au réseau et on récupère la partie solide pour l'évacuer comme un déblai solide. L'impact sur l'environnement est alors réduit au minimum. Elle a été utilisée pour la première fois sur la Ligne 15 Sud du Grand Paris Express (figure 12).

CONCLUSION

L'Hydrofraise de Soletanche Bachy se réinvente donc en permanence pour apporter rapidement des solutions aux clients dont les projets sont de plus en plus complexes. Quelle que soit la taille de l'Hydrofraise, l'accroissement de la productivité dans le respect de l'environnement, ainsi que la maîtrise

de la verticalité du forage, demeurent deux exigences qui guident ses développements.

Les équipes de Soletanche Bachy travaillent actuellement sur de nouvelles solutions pour étendre les avancées des dernières années et permettre ainsi à l'Hydrofraise de rester la référence en forage de parois moulées. □



© TIDEWAY - IMAGE2

11



© SOLETANCHE BACHY

12

ABSTRACT

INNOVATION AND HYDROFRAISES

JEAN-FRANÇOIS MOSSER, SOLETANCHE BACHY - STÉPHANE MONLEAU, SOLETANCHE BACHY - FRANÇOISE ROUMEGOUX, SOLETANCHE BACHY

Since its invention by Soletanche Bachy in the 1970s, the Hydrofraise (hydro-cutter) has become the indispensable tool for drilling diaphragm walls. In recent years, development has accelerated to meet the growing needs of customers for increasingly ambitious projects: limited available space, greater depths and thicknesses, and reduced verticality tolerances. We have thus seen the advent of compact and urban Hydrofraises and, recently, Hydrofraises provided with grippers. At the same time, certain innovations contributing to sustainable development have appeared: electric power packs, operating simulators for crane operator training, and sludge treatment units. □

INNOVACIÓN E HIDROFRESAS

JEAN-FRANÇOIS MOSSER, SOLETANCHE BACHY - STÉPHANE MONLEAU, SOLETANCHE BACHY - FRANÇOISE ROUMEGOUX, SOLETANCHE BACHY

Desde su invención en los años 1970 por Soletanche Bachy, la hidrofresa se ha convertido en la herramienta esencial para perforar pantallas de hormigón. Estos últimos años, los desarrollos se han acelerado para responder a las crecientes necesidades de los clientes y a proyectos cada vez más ambiciosos: zonas de implantación limitadas, mayores profundidades y grosos, así como tolerancias de verticalidad reducidas. De este modo, han surgido las hidrofresas compactas, urbanas o, recientemente, provistas de pinzas. Paralelamente, han aparecido algunas innovaciones que contribuyen al desarrollo sostenible: power packs eléctricos, simuladores para la formación de conductores de grúa, unidades de tratamiento de los lodos. □