ELEMENTS SUR LES DEVELOPPEMENTS TECHNIQUES DE LA FABRICATION MECANISEE DES PUITS

LE CAS DE LA METHODE HYDRAFRIQUE AU MALI

Hubert MACHARD DE GRAMONT [1], Alain POISSON [2]

RESUME

La construction des puits connaît une évolution importante dans sa technique. La méthode HYDRAFRIQUE, tout en étant encore au stade expérimental, représente un progrès notable dans la réalisation d'un type d'ouvrage capable de répondre à des besoins qui sont importants dans certaines régions d'Afrique, en particulier Sahélienne.

Mots clés : Hydrogéologie, Puits, Creusement de puits, Forage-puits, Technologie, Mali

ELEMENTS OF TECHNICAL DEVELOPPEMENTS ON WELL DRILLING CASE OF HYDRAFRIQUE METHOD IN MALI

ABSTRACT

Considerable progress is being made in well drilling technics. The HYDRAFRIQUE's method, wich is still in its experimental stage, represents a remarkable progress in the provision of a type of groundwater source capable of meeting important needs in some regions of Africa, especially, the Sahel.

Key words : Hydrogeology, Deep wells, Drilling, Drilling rig, Mali

VERS UNE NOUVELLE TECHNIQUE EN FAVEUR DES PUITS, UN DEFI A RELEVER

Depuis l'introduction de l'Hydraulique villageoise en Afrique, l'approvisionnement en eau des zones rurales repose principalement sur deux techniques, les forages ou le fonçage de puits. La technique du forage et surtout l'introduction des techniques de forage dans le socle, par son caractère novateur et sa rapidité d'exécution, a très vite supplanté la lente, pourtant traditionnelle mais parfois aléatoire, technique des puits. Cette situation, qui prévalait jusqu'alors, semble évoluer actuellement et une nouvelle demande se dessine très sensiblement en faveur des puits modernes. En outre cette demande a de fortes chances d'être suivie d'effets, car elle provient aussi bien des bénéficiaires que des décideurs politiques.

Les atouts de la technique du forage

Depuis l'invention du marteau fond de trou (MFT), véritable révolution technologique en matière de foration apparue au milieu des années 70, la fiabilité et la longévité du matériel et des outils de forage d'eau n'ont cessé de progresser.

La maintenance des ateliers de forages dans les Etats africains, ne pose actuellement plus grand problème. Les techniques de sertissage notamment permettent l'utilisation des sondeuses "tout hydraulique" en Afrique, sans plus de risque d'immobilisation prolongée, que pour des ateliers à transmission mécanique, qui semblaient au départ les plus adaptés.

La formation de nombreuses équipes nationales a contribué à mettre sur le marché de l'emploi de nombreux techniciens et ouvriers qualifiés, rendant souvent inutile le recrutement de personnel expatrié.

[1] Hydrogéologue, conseiller technique à la Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie, Bamako, Mali

[2] Hydrogéologue, responsable informatique au CIEH, Ouagadougou, Burkina Faso

Ces différents facteurs, parmi d'autres, ont permis de réduire considérablement les coûts et les délais d'exécution des forages.

La baisse de ces coûts et l'amélioration des délais de réalisation a donc permis de mettre en oeuvre rapidement de très vastes programmes de forages d'eau en Afrique de l'Ouest et de préférer la solution des forages munis de pompes à celles des puits modernes. En effet l'exécution de programmes de puits nécessite une logistique plus complexe, des délais de réalisation évidemment beaucoup plus longs, se traduisant par des coûts incomparablement plus élevés que pour des programmes de forages d'eau (2 à 8 fois plus, selon les terrains et la profondeur, si l'on compare les coûts, toutes opérations comprises, rapportés au mètre linéaire).

Les raisons d'un "retour" à la technique du puits

Pourtant, l'échec relatif de ces grandes campagnes de forages est apparu vers le milieu des années 80, lorsqu'il est devenu évident que les difficultés de mise en oeuvre d'une maintenance efficace des pompes avait obéré une grande partie des efforts consentis par les Etats et les bailleurs de ces grands projets.

On assiste donc aujourd'hui, et déjà depuis quelques années, à un nouvel engouement en faveur de la réalisation de puits modernes, de la part de l'Administration du Mali et des organismes de financement, spécialement dans les régions à forte tradition pastorale.

Il existe plusieurs types de raisons à cela :

des raisons techniques :

Dans ces régions pastorales, l'espacement des points d'eau, conjugué avec l'absence de bourgs importants, rend très difficile l'émergence et la survie d'un réseau rentable d'entretien de pompes et de vente de pièces de rechange. Pour des raisons logiques, la politique de l'Administration rejoint donc la préférence des éleveurs.

Pour des raisons de rapidité d'exécution, en période de sécheresse, la plus grande partie des points d'eau réalisés ont été des forages. Les rares programmes de puits n'ont pas été des programmes importants : il était en effet inutile de multiplier les puits dans des zones où les pâturages disparaissaient sous l'effet de la sécheresse. Avec une meilleure pluviométrie retrouvée depuis plus de cinq ans, et donc de plus grandes étendues de pâturages utilisables, les éleveurs ont une tendance naturelle à exiger de nouveaux points d'eau pastoraux.

des raisons politico-économiques :

Pour des raisons économiques évidentes, l'Administration du pays souhaite fixer ses éleveurs à l'intérieur des limites du pays et éviter la fuite du cheptel sur les pays limitrophes. C'est ainsi que des programmes pastoraux sont prévus et en cours le long de la frontière mauritanienne, dans le Nord (PSARK = Programme de Sécurité Alimentaire et de Revenus dans la Région de Kidal), et le long de la frontière du Burkina Faso (ODEM).

Pour des raisons d'ordre politique, et qui procèdent d'une logique d'unité nationale, notamment concernant la question touareg, le développement des zones du Nord du Mali passe en particulier par celui de son potentiel pastoral. Il nécessite l'exécution de programmes de puits dans des zones encore nettement sous-équipées en ce type d'infrastructures (Nord Tilemsi et Tamesna).

des raisons de politique sectorielle :

La notion de "pérennité" du point d'eau apparaît plus importante que le facteur "délai de réalisation", surtout pour le moment, en période de moindre sécheresse et donc d'urgence moindre.

des raisons financières :

Le coût même des puits, encore très élevé, n'est plus un élément discriminant puisque l'appropriation et donc l'entretien du puits par les utilisateurs se fait de façon plus naturelle que dans le cas de forages et n'oblige plus les Etats à de coûteuses opérations de réhabilitation.

Cette faveur nouvelle envers les puits repose également, du point de vue des utilisateurs, sur des raisons concrètes et pratiques, qui procèdent de critères techniques, économiques et culturels :

- l'affranchissement des bénéficiaires envers les réseaux, souvent très mal organisés, de pièces détachées nécessaires aux pompes ;

- l'adaptation possible de techniques traditionnelles d'exhaure (délous) ;

- la ressource journalière plus importante que celle fournie par des pompes manuelles et compatible avec les besoins réunis des populations et de leurs troupeaux (4 à 5 m^3/h contre 1 à 2 m^3/h).

- l'exécution de programmes de puits ne crée pas de nouveaux besoins dans les communautés d'éleveurs, puisque le coût de l'exhaure ne change pas de nature (cordes, puisettes, curage), ce qui n'est pas le cas des programmes de forages (pièces de pompes, net-toyage du forage, groupes électrogènes ou pompes solaires dans certains cas).

Parallèlement à ces raisons, dans plusieurs pays d'Afrique, et en particulier au Mali, le choix du type de point d'eau (forage ou puits) est désormais laissé aux bénéficiaires. Ce choix se traduit actuellement par une plus grande demande en puits.

Les handicaps à vaincre

Les entreprises locales ou étrangères de fabrication de puits rencontrent toujours de très grandes difficultés à respecter les délais imposés par les cahiers des charges, et même à atteindre les profondeurs nécessaires : nombreux sont les exemples de programmes inachevés ou de puits non terminés. Ces programmes non terminés coûtent généralement très cher.

Contrairement aux procédés de forages d'eau, dont l'évolution est redevable des innovations effectuées dans le domaine pétrolier, les techniques de fonçage de puits n'ont jusqu'à présent pas bénéficié de progrès technologiques significatifs.

L'exception reste sans doute celle du procédé mécanisé CALWELD, mais son utilisation reste limitée aux horizons meubles et peu profonds (29 mètres utiles).

Une solution : la mécanisation

Dans ce domaine, la méthode développée et en cours d'amélioration par la société HYDRAFRIQUE au Mali, sur le projet ODEM financé par la Caisse Française de Développement, semble marquer une étape importante dans la réalisation de puits à grande profondeur, c'est-à-dire à des profondeurs supérieures à 50 mètres, dans des terrains et des séquences à consolidation et dureté très variables.

Jusqu'alors il était bien entendu possible de réaliser de tels ouvrages par la méthode de fonçage traditionnel, à condition d'en accepter les délais (plusieurs mois par puits), de disposer de cadres techniques compétents, ainsi que d'une logistique bien étudiée. Ces conditions étaient très rarement toutes réunies.

Dans les puits à grande profondeur, comme ceux réalisés au Mali dans la zone de l'ODEM (60 à 90 mètres) par HYDRAFRIQUE, le problème majeur dont découlent toutes les difficultés techniques est la profondeur elle-même des ouvrages.

Les problèmes à résoudre se multiplient en effet très vite au dessous d'un seuil de profondeur (50 mètres environ) à partir duquel les matériels classiques et les méthodes conventionnelles se révèlent inadaptés : poids des colonnes de buses à descendre, volume des déblais à remonter, efforts sur les câbles et les tuyaux des pompes électriques, baisse de rendement des compresseurs et des pompes due à l'accroissement des pertes de charges et à une hauteur manométrique, à vaincre, importante, pénibilité du travail à grande profondeur et, son corollaire, baisse de rendement du travail humain, etc.

Les difficultés à surmonter pour exécuter ces ouvrages exigent d'utiliser du matériel très étudié, souvent surdimensionné, et nécessitent donc des investissements dans la trésorerie de l'entreprise, surtout en méthode mécanisée où ils sont plus importants, rendant indispensables des avancements très rapides.

La méthode HYDRAFRIQUE a déjà été présentée dans l'état où elle se trouvait en 1991 dans l'ouvrage "La construction des puits en Afrique Tropicale" (BURGEAP, 1992, Techniques Rurales en Afrique, Ministère de la Coopération et du Développement, chapitre IV p. 153-178). De notables progrès ont été réalisés depuis et d'autres sont encore à envisager pour que la méthode devienne parfaitement efficace.

La situation actuelle : une phase expérimentale

Compte tenu de la jeunesse de cette méthode, on peut la considérer comme en phase expérimentale : phase probatoire sur le terrain pour les techniciens des puits qui la mettent en oeuvre et progressivement l'adaptent, mais aussi phase d'expérimentation pour les cadres chargés de superviser ce programme.

Ces derniers doivent en effet juger des possibilités, mais aussi des limites de cette méthode, sans perdre de vue le but recherché qui est de fournir de l'eau dans les meilleures conditions, le plus rapidement possible, et au moindre coût. Mais ils ne peuvent pas non plus ignorer les difficultés financières qu'impose généralement pour une entreprise l'expérimentation en vraie grandeur sur le terrain d'une technique nouvelle, donc encore imparfaite.

Sur ce dernier point, les responsables des Directions de l'ODEM, de la Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie et de la CFD ont fait preuve d'une ouverture remarquable, comprenant qu'il était préférable d'alléger les difficultés financières de l'entreprise de façon à faire avancer le programme et progresser la technique, en permettant en cours de marché la revalorisation de certains prix.

Cette ouverture de l'Administration a été rendue possible par la volonté de l'entreprise de perfectionner et d'adapter ses outils aux conditions du terrain, ce qui lui a demandé de gros efforts d'investissement en cours de campagne (conception et mise au point de la FCH 2000 notamment).

Il faut aussi admettre qu'il n'est pas toujours aisé pour les cadres d'une administration chargée de suivre un tel programme, d'apprécier le bien fondé du développement d'un outil ou d'une technique et d'en apprécier son coût, quand il s'agit d'une méthodologie encore mal connue et parfois même encore mal maîtrisée.

Cela est d'autant plus vrai que le cadre financier et administratif (marché, bordereau des prix, délais, etc.), hérité des anciennes techniques, peut se révéler inadapté et doit, lui aussi, évoluer.

Après une difficile période d'adaptation du matériel aux conditions peu connues du terrain, les résultats sont encourageants puisque cette technique a permis, certains mois, des avancements en fonçage de l'ordre de 120 mètres/mois avec un seul atelier.

Pourtant, pour être rentable, il apparaît que cette technique doit permettre d'obtenir un avancement régulier de cet ordre de grandeur en régime de croisière, ce qui n'est pas encore le cas, mais peut parfaitement être atteint.

figure 1 : la foreuse FCH 2000 en position

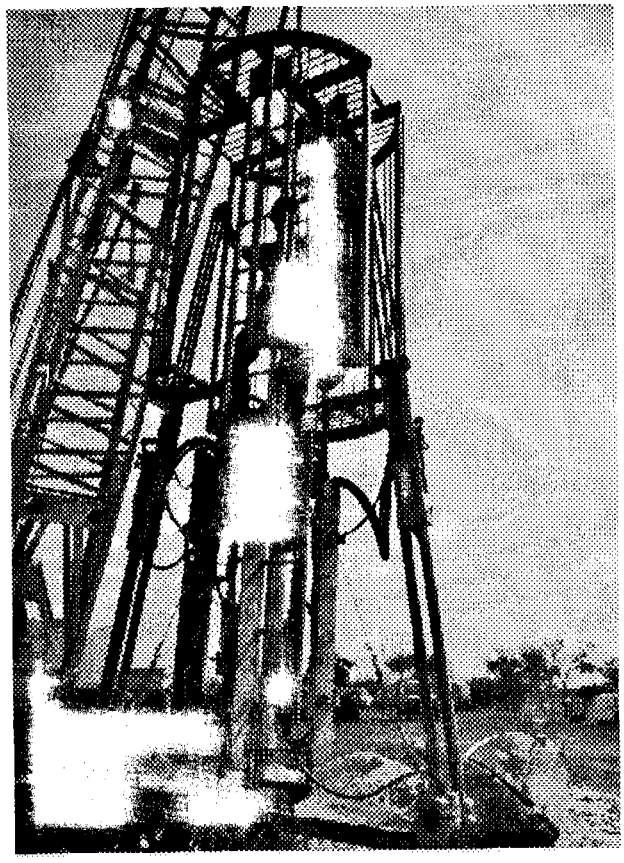


figure 2 : descente de la foreuse

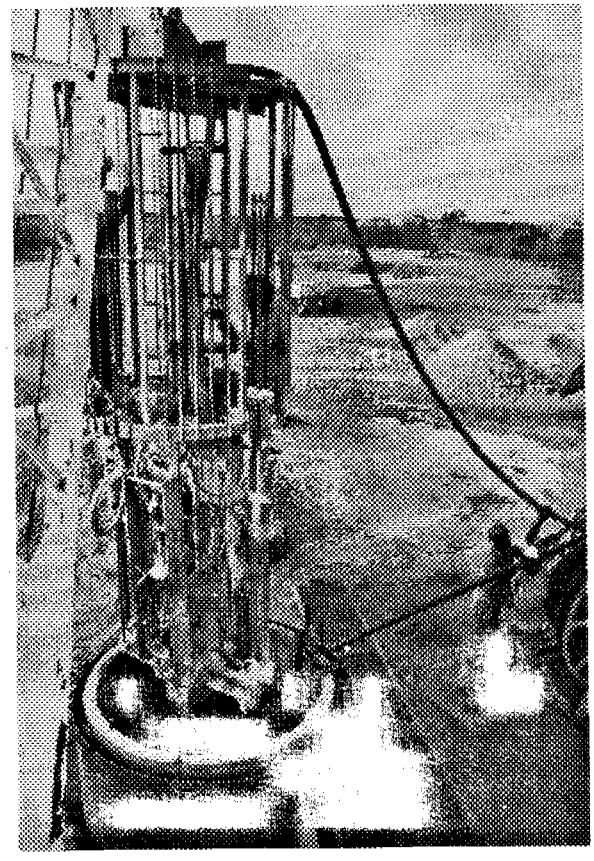


figure 3 : benne Casagrande et grue

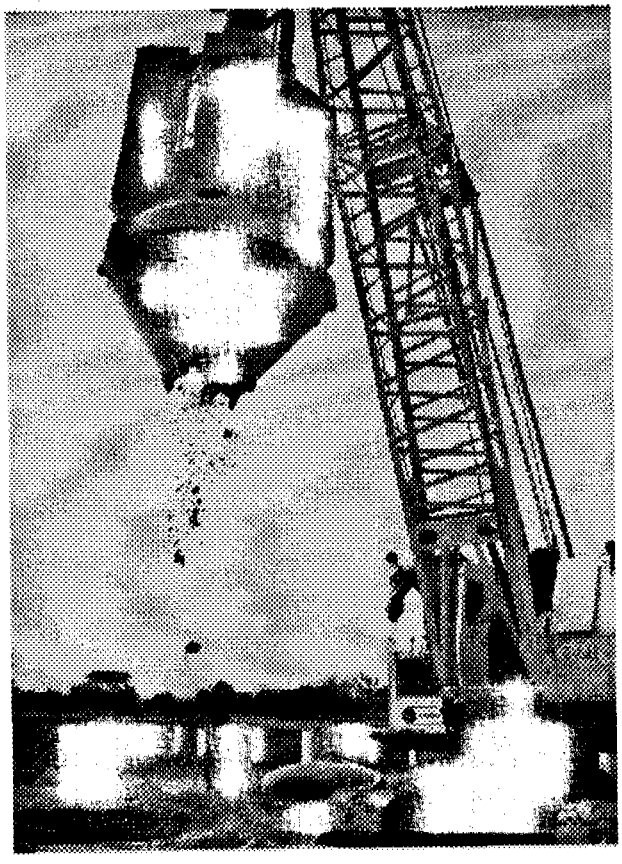
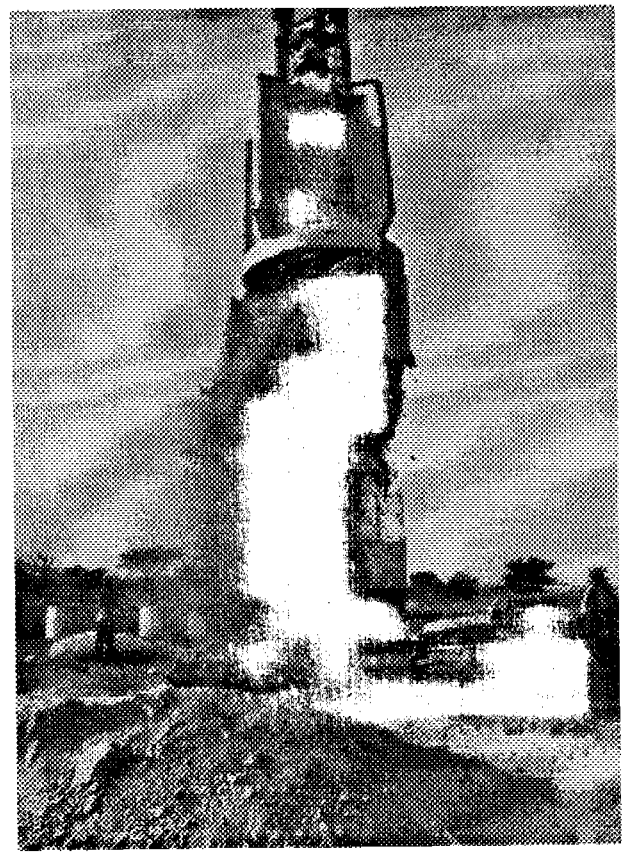


figure 4 : vidange de la benne



Les principales difficultés portent actuellement sur :

- la déviation des forages, dans le cas des contre-puits, qu'il convient de connaître avec précision avant le fonçage, de façon à pouvoir réaliser rapidement la jonction puits-forages; dans de futurs programmes, il est prévu que cette déviation soit effectuée par l'entreprise attributaire du marché de forages, et qu'un prix unitaire soit prévu au bordereau des prix pour cette opération, ce qui n'a jamais été le cas ;

- les débits importants rencontrés dans certains puits (plus de 20 m^3/h), couplés à des hauteurs manométriques élevées (près de 80 m dans certains cas) et d'importantes charges solides (sableuses notamment) rendant délicate la vidange du puits pour la réalisation de la jonction puits-forages avec des pompes pourtant puissantes mais conventionnelles (pompes FLYGT de capacité 13 m^3/h à 100 m) ;

- la maîtrise du diamètre de fonçage à l'explosif, dans des horizons de tenue variable et non homogène ;

- la rapidité et la sécurité de réalisation des dispositifs d'ancrage du cuvelage busé.

DESCRIPTION DE LA METHODE

La méthode conçue et mise au point par HYDRAFRIQUE pour réaliser les travaux du marché de puits et de contre-puits qui lui a été confié dans le cadre de l'ODEM est originale, tant par le choix du matériel roulant que par l'apparition d'outils peu conventionnels dans ce genre de travaux, quoique hérités d'autres secteurs de Travaux Publics.

Le matériel roulant

En effet, pour les experts habitués au matériel des ateliers de forage ou des ateliers conventionnels de fonçage de puits, le matériel roulant déployé par HYDRAFRIQUE est assez inhabituel :

- grue type Dragline, montée sur chenilles et transportée sur un porte-char,

- tracteurs agricoles, préférés aux camions 4x4, pour le transport et les approvisionnements,

- tracteurs type "Manitou", équipés de bras télescopique à fourche, pouvant être équipés de pelles ou de treuils, et servant à toutes sortes de travaux comme l'évacuation des déblais, la manoeuvre des tuyaux d'exhaure et des câbles des pompes, le déploiement de l'aspirateur à poussières, et même dans certains cas l'installation des buses dans les puits et la descente du personnel.

Le matériel roulant, indiqué dans le tableau suivant, donne une idée des moyens mis en oeuvre sur un seul chantier de fonçage.

Type	Nombre	Marque	Capacité ou Puissance
Grue	1	BUCYRUS ERIE	10 t au brin
Porte-char	1	RVI 384 CV 6x6	384 CV
+ remorque	1	KAISER	72 t
Engins Manitou	3	MANUSCOPIQUE MT 425	2,5 t
Tracteurs agricoles	2	Renault 133 4x4	133 CV
+ remorques	2	LEGRAS	14 t
Véhicules 4x4	4	NISSAN et TOYOTA	

Les tracteurs agricoles, équipés de pneumatiques basse pression, remplacent les conventionnels camions 6x4 d'approvisionnement, et représentent un choix judicieux en raison de leur robustesse, notamment dans les conditions de température rencontrées. Ils permettent en outre de progresser dans des zones où les pistes, sableuses, rocheuses et parfois argileuses, ne permettent pas le passage des camions conventionnels par tous les temps.

Les tracteurs de type "Manitou" permettent d'effectuer toutes les opérations connexes aux travaux de génie civil. Ils sont munis de différents outils interchangeables leur permettant d'effectuer les tâches suivantes :

- fourche pour les transports, manutentions et déplacements des buses, matériels, etc.

- enrouleurs pour la manoeuvre des câbles et flexibles et pompes,

- treuil pour l'aspirateur à poussières, la pose des buses préfabriquées, la descente du personnel, la remontée des déblais, ...

- pelle pour l'évacuation des déblais.

L'apparition de ces "Manitou" sur un chantier de puits représente une innovation intéressante : ils permettent en effet de réduire de façon optimale, par leur caractère mobile et modulaire, les délais de mise en place des outils nécessaires aux différentes phases des travaux.

Pour ce qui concerne la grue, pièce maîtresse du dispositif de fonçage, et qui se déplace de site à site sur le porte-char, le choix peut paraître à l'usage moins judicieux. Une autre méthode plus mobile est actuellement à l'étude.

figure 5 : vue générale du chantier et du parc des buses préfabriquées

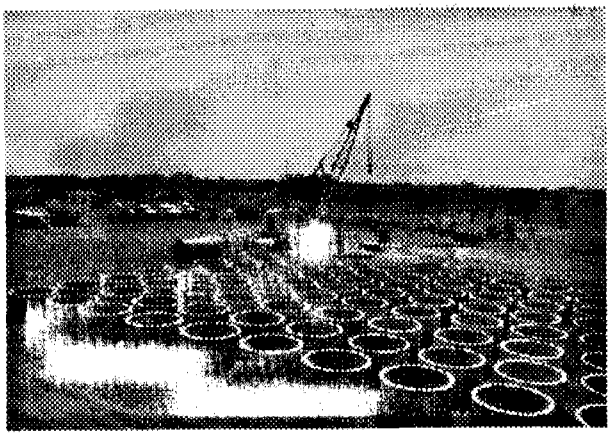


figure 6 : un Manitou portant l'aspirateur



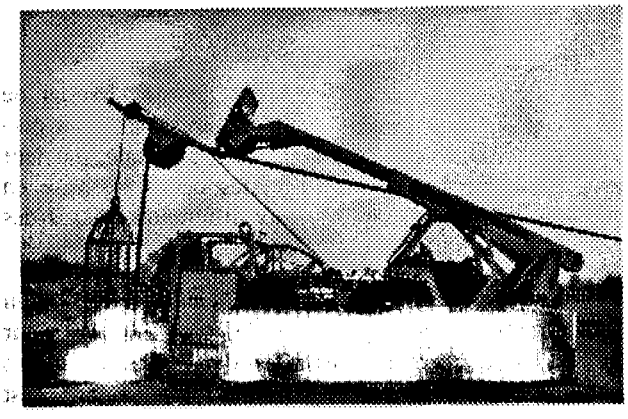
figure 7 : la tête de puits



figure 8 : modules de transport des moules à buses



figure 9 : un Manitou base de l'atelier de finition



En effet le poids de l'ensemble grue-tracteur-remorque ne permet pas facilement à l'ensemble de se déplacer dans des zones difficiles, et ne le permet pas du tout par temps de pluie. Ceci oblige à fermer les chantiers dès le début de la saison des pluies, surtout dans l'actuelle zone d'opérations, le Gondo, qui est une plaine argileuse très rapidement inondable. Par ailleurs, l'investissement représenté par le porte-char et sa remorque, justifié par le choix d'une grue de ce type, ne l'est plus si l'on considère uniquement les périodes de déplacement qu'il effectue en cours de campagne.

De plus, ce type de dispositif ne permet actuellement à HYDRAFRIQUE de disposer que d'une seule unité de fonçage mécanisé, ce qui s'est révélé dangereux en cas de panne, des avancements importants, cela a été dit plus haut, devant être assurés.

Pour l'avenir, désireuse de se placer sur le marché des puits au Mali et dans la sous-région, il semble qu'HYDRAFRIQUE veuille évoluer vers des unités de fonçage plus modulaires sinon plus autonomes, mais moins onéreuses, lui permettant de disposer de plusieurs unités de fonçage mécanisé en simultané. Il est également prévu de standardiser et d'homogénéiser l'ensemble des équipements, de façon à minimiser l'impact des défaillances du matériel sur l'avancement.

Le matériel de fonçage et de travaux

Le matériel de fonçage mécanisé était au départ du programme tout à fait conventionnel : grue équipée d'une benne preneuse de type CASAGRANDE, équipée d'une benne preneuse 1800-1400 mm, compresseurs et perforateurs manuels à air comprimé.

En cours de campagne, une nouvelle machine de perforation, la FCH 2000, héritée des perforatrices de carrières, a été conçue, réalisée, brevetée et rendue opérationnelle par HYDRAFRIQUE. Elle permet des avancements réguliers et plus rapides que les perforateurs conventionnels. Elle réduit également la pénibilité du travail des mineurs et accroît leur sécurité.

Des difficultés ont été cependant rencontrées en cours de perforation : la température de l'air ainsi que le diamètre des tuyaux d'air comprimé, conjugués à la grande profondeur des puits qui augmentait les pertes de charge, conduisaient à de faibles rendements de la percussion des outils. Des adaptations se sont révélées nécessaires, portant notamment sur l'élargissement des flexibles d'air utilisés.

Les pompes puissantes utilisées pour l'exhaure (de marque FLYGT et de 13 m^3/h de capacité à 100 mètres de profondeur) ont cependant révélé de nombreuses défaillances. Ces défaillances, malgré la bonne renommée de la marque, ont provoqué des arrêts de chantier et semblent être dues à la température élevée, mais aussi aux nombreuses manipulations qui entraînent des défauts d'étanchéité. Les pompes, leurs câbles électriques et les tuyaux d'exhaure sont manoeuvrés par un treuil et un enrouleur actionnés par le moteur d'un Manitou.

La liste du matériel employé figure au tableau suivant :

Type	Nbre	Marque	Capacité
Benne	1	CASAGRANDE	
FCH 2000	1	HYDRAFRIQUE	
Pompes	2	FLYGT	13 m^3/h à 120 m
Compresseurs	2	ATLAS COPCO	11 m^3/mn 10 bars
	1	INGERSOLL	6 bars
Groupes	1	DEUTZ	130 KVA
	1	"	60 KVA
	2	"	45 KVA
Enrouleurs	2		120 m
Aspirateur	1		300 m^3/mn

Le procédé de fonçage

L'atelier de fonçage, unique, travaille en deux équipes pendant environ 22 heures par jour.

L'équipement de fonçage principal est constitué par une grue type Dragline BUCYRUS ERIE de capacité 10 tonnes au brin.

Deux procédés différents sont utilisés, selon que le fonçage s'effectue en terrains tendres ou en terrains durs :

Le fonçage en terrains tendres et le déblai en tous terrains se font à la benne preneuse, de type CASAGRANDE, actionnée par la grue. La benne est descendue dans le puits et se plante dans le terrain après une chute de quelques mètres.

La benne permet une ouverture maximum de 1800 mm et une ouverture minimum de 1400 mm.

En terrains meubles, les avancements en fonçage à la benne sont de l'ordre de 10 à 30 m/j, selon la tenue des terrains.

Après la mise en place du cuvelage, qui est constitué de buses préfabriquées, la benne peut en outre coulisser librement à l'intérieur du cuvelage. Celui-ci est protégé par une gaine métallique spéciale, la "chaussette", recouvrant la benne qui l'entraîne, et allant s'adapter au fond du puits à un tubage provisoire en acier, dans lequel la benne descend pour récupérer les déblais.

Cette gaine métallique de 1700 mm de diamètre sert particulièrement à foncer en terrains instables.

En terrains mi-durs et durs le fonçage s'effectue à l'explosif, après foration des trous de mines. Cette foration se fait actuellement grâce à une foreuse, la FCH 2000, conçue par CAUCE ARMETAL pour HYDRAFRIQUE. Cette perforatrice fore par l'intermédiaire de marteaux perforateurs disposés en doublons de chaque côté d'un même diamètre et recevant chacun un fleuret. Le diamètre entre les deux marteaux est ajustable de 2500 mm à 1400 mm, ainsi que l'inclinaison des fleurets qui peut varier de 0 à 20° de la verticale.

Les passes effectuées par des fleurets de 1,60 m, ont une profondeur efficace de 1 à 1,3 mètre et un diamètre de 30 à 60 mm. Une fois le premier trou de mine central effectué, une barre à mine y est installée et sert de pivot vertical à l'ensemble de la machine.

Les deux premiers trous de mines du premier diamètre sont alors forés, et après leur foration on fait effectuer une rotation à la perforatrice, qui entame alors la perforation de deux autres passes.

Le procédé est poursuivi jusqu'à foration de tous les trous de mines, sur tous les diamètres prévus. Les charges explosives sont ensuite placées et le tir déclenché.

Déroulement du fonçage avec la foreuse FCH 2000 (figures 11 à 14)

figure 9 : les éléments spécifiques de la méthode

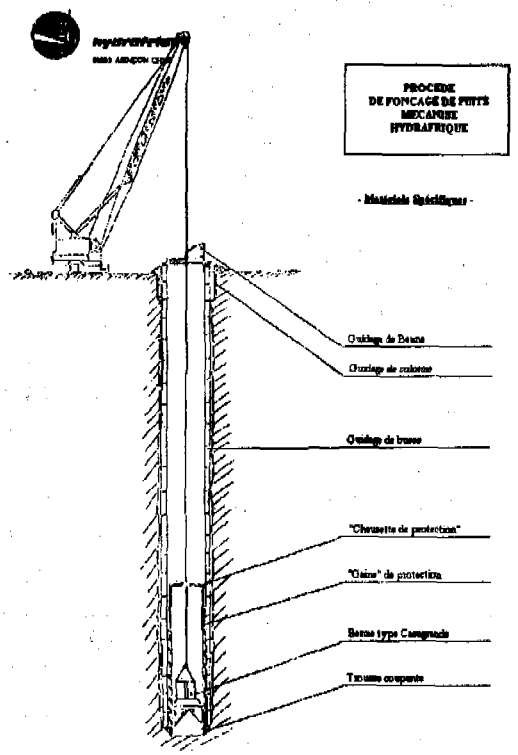


figure 10 : mise en poste de la foreuse

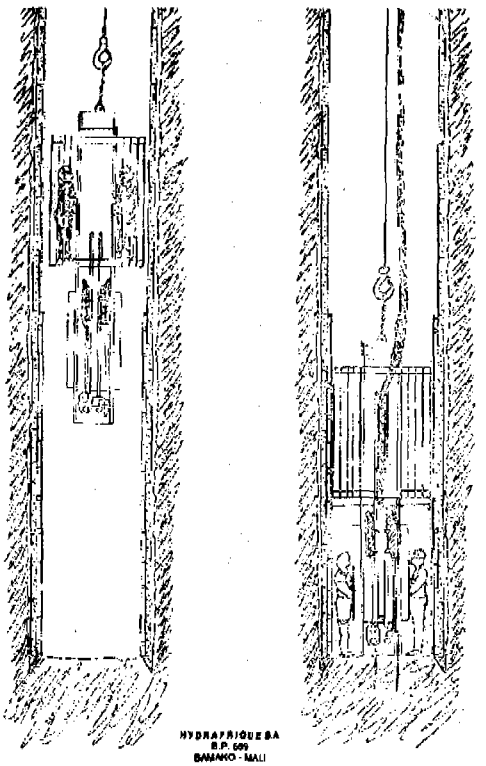


figure 11 : foration

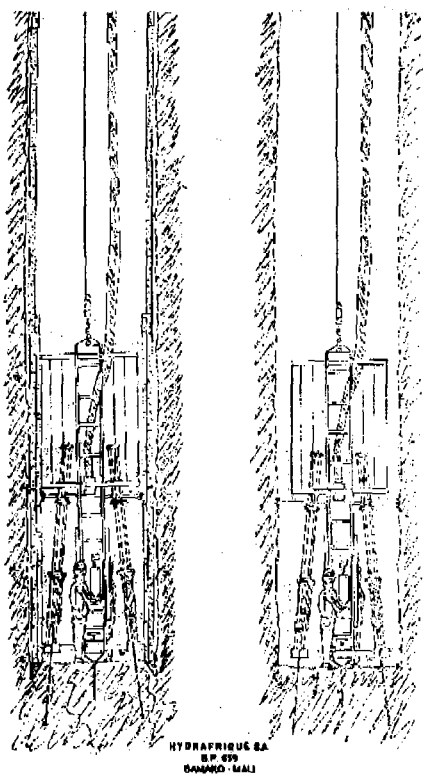


figure 12 : dynamitage et ventilation

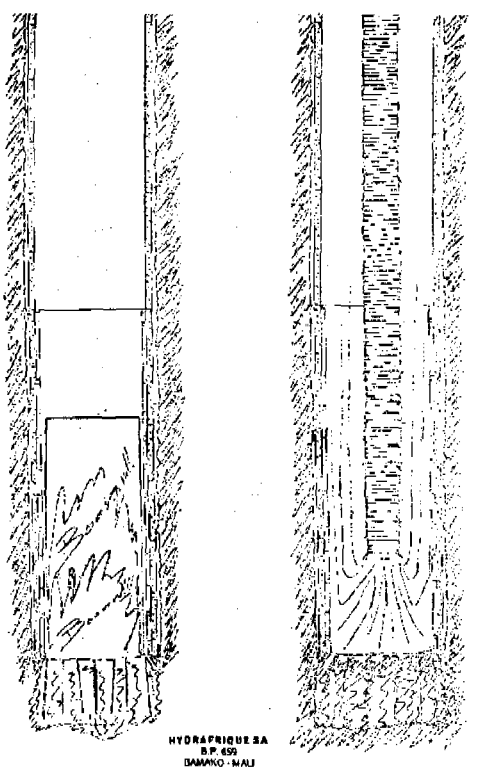


figure 13 : descente de la benne preneuse

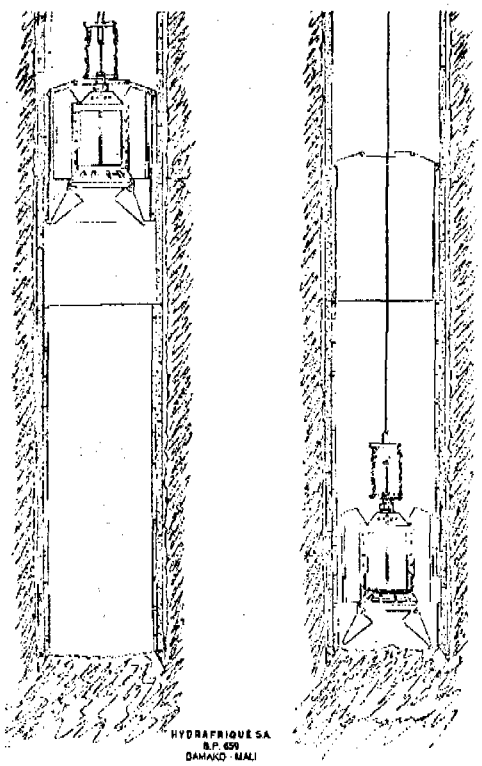
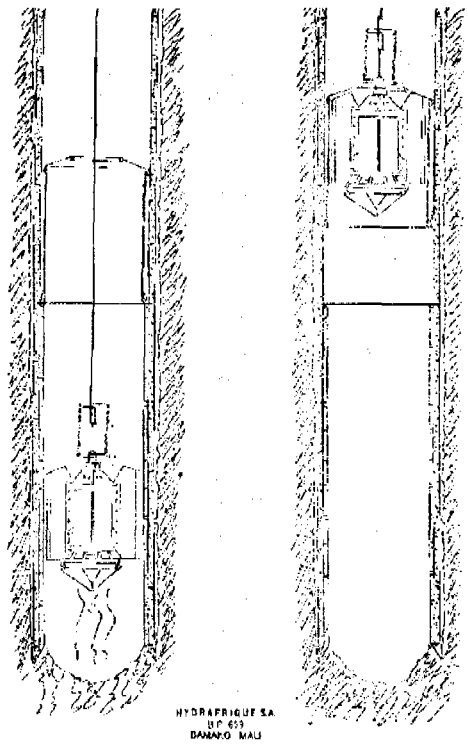


figure 14 : remontée des déblais



Les deux perforateurs sont couplés à des avanceurs à poussoirs jumelés, pneumatiques, qui libèrent les ouvriers de la tâche pénible de maintenir l'outil, et permettent ainsi des cadences plus régulières et plus élevées. Ces avanceurs sont en fait des pistons à air comprimé insérés dans des glissières verticales qui appliquent une force descendante sur les marteaux en cours de foration et ascendante pour dégager les fleurets.

Cette perforatrice est l'un des éléments conçus par l'Entreprise en cours de campagne, après de grosses difficultés dues à la dureté de la roche calcaire, qui diminuaient considérablement les rendements des mineurs. Elle permet, grâce à l'utilisation des avanceurs à poussoir, de résoudre la perforation en terrains très durs sur lesquels butaient les perforateurs conventionnels utilisés jusqu'alors.

Cet appareil, dont le diamètre est en outre rétractable pour la descente et la remontée dans le puits, contribue à la sécurité des mineurs, en particulier en leur évitant une fatigue excessive.

Les avancements de fonçage à la perforatrice sont à peu près les suivants :

en roche mi-dure, de l'ordre de 10 à 12 m/j.

en roche dure, de l'ordre de 5 à 7 m/j.

en roche très dure, de l'ordre de 2 à 3 m/j.

Après la pose des explosifs et le tir de mines, une gaine reliée à un aspirateur puissant (300 m^3/mn) est descendue dans le puits et permet l'évacuation des fumées et de l'air vicié en quelques minutes. Ce procédé permet aux mineurs de reprendre leur travail au fond du puits dès l'évacuation des déblais par la benne.

Les dispositifs de sécurité

Pendant le tir de mine, un lourd chapeau en acier recouvre la tête de puits et assure une protection efficace contre les chutes de pierres. Il permet en outre de fermer provisoirement le puits en cas d'arrêt momentané des travaux.

Le personnel est descendu dans le puits à l'aide de cages de sécurité en acier, treuillé par la grue ou par un Manitou. Les mineurs sont en permanence en communication radio avec la surface.

Les différents chantiers (un chantier de fonçage, un chantier de prébusage et un chantier de finition), les véhicules, ainsi que la base avancée de Douentza et le siège de Bamako sont munis de radios permettant des liaisons 24 heures sur 24.

LES PROGRES DE LA METHODE REALISES DEPUIS 1991

Depuis 1991, les améliorations de la méthode HYDRAFRIQUE ont porté :

- sur la conception d'une "chaussette", qui est une gaine mobile qui entoure la benne preneuse et permet de travailler avec celle-ci sans abîmer le cuvelage. L'amélioration de cette chaussette a principalement porté sur le système de guidage dans le puits et de calage avec la gaine métallique.
- sur la gaine métallique, tube de protection de la base du cuvelage, en acier, qui a été entièrement reconçue et qui est beaucoup plus rigide.
- sur la conception de l'aspirateur, qui permet d'assurer sécurité et confort aux puisatiers travaillant au fond et diminue le temps de reprise de travail après les tirs de mines.
- sur la fabrication d'un chapeau en acier, permettant le dynamitage en pleine agglomération sans risques pour les habitants.
- sur la conception d'un plate-forme de tête de puits qui permet un travail efficace et accroît les conditions de sécurité des ouvriers.

LES AMELIORATIONS A APPORTER

Pendant la dernière campagne il est apparu que certaines modifications devaient être trouvées pour améliorer le prócédé et éviter certains arrêts de chantier. Ils portent sur le matériel et sur les méthodes de mise en oeuvre. Les modifications à apporter au matériel

La gaine métallique : elle devrait être démontable, plutôt que d'un seul tenant. Cela permettrait d'éviter d'avoir à la découper au chalumeau en cas de coincement (ce qui est déjà arrivé), ce qui représente une perte de temps. Le chantier de fonçage devrait pouvoir en disposer en plus grande quantité (il n'y en a actuellement que 6 mètres au total).

La plate-forme de tête de puits : qui est actuellement au stade de prototype et devrait être optimisée.

La benne preneuse : il n'existe actuellement qu'une seule benne de 1800 mm, qui peut être réglée à 1400 mm. Mais le réglage pour en diminuer l'ouverture diminue très nettement son rendement. En cas de détérioration de cette benne, qui est cependant très robuste, le chantier serait immobilisé. Il apparaît que l'acquisition d'une benne de plus petit diamètre serait souhaitable.

Le treuil et l'enrouleur de pompage : les contraintes supportées par les tuyaux et les câbles des pompes sont très importantes aux profondeurs où ces pompes sont appelées à travailler. La durée de vie des câbles, des tuyaux, et même des pompes est compromise par le poids de l'ensemble. Des adaptations sont nécessaires pour permettre au système de fonctionner :

- recherche d'un matériau, adapté au poids de la colonne et à l'enrouleur, pour les tuyaux d'exhaure ;
- détermination des raisons des nombreuses pertes d'étanchéité des pompes.

Les pompes : les débits rencontrés dépassant parfois 20 m^3/heure et le cahier des charges ne prévoyant que 4 m^3/heure pour la réception des puits, l'entreprise avec des pompes de 13 m^3/h à 100 m de HMT, répond parfaitement aux spécifications demandées mais ne peut pas toujours assécher les puits pour travailler. Des pompes plus puissantes (au minimum une pompe) sont nécessaires, mais ceci demande un investissement supplémentaire.

Outil de forration pour la jonction puits-forage : il serait intéressant de concevoir une perforatrice pouvant travailler à l'horizontale au niveau de la jonction puits-forage, pour l'exécuter. Elle devrait pouvoir être installée dans un diamètre de 1400 mm et pouvoir effectuer des forages horizontaux d'un maximum de 3 à 4 mètres.

Les améliorations à apporter à la méthode

A la suite des difficultés qui ont été rencontrées au cours du programme, il faut reconnaître que le procédé, tel qu'il existe, soit n'a pas toujours permis d'apporter des solutions à certains problèmes d'exécution technique, soit nécessite l'amélioration de la mise en oeuvre de certaines phases des travaux :

En zone aquifère sableuse ou très meuble, avec des caractéristiques de débit importantes, le procédé ne semble pas convenir, le sable entraîné vers le puits par le débit important ne permettant pas de progres-ser, même en havage. Un puits est actuellement dans ce cas. Il est nécessaire d'étudier et d'utiliser un outil étanche pour effectuer le havage et obtenir des avancements importants.

Etude des systèmes d'ancrage : dans la méthode utilisée, les ancrages du cuvelage sont réalisés en enfonçant des barres d'acier dans le terrain encais-sant, à travers les étriers des buses, puis en soudant ces barres aux étriers. L'emplacement des étriers est ensuite cimenté.

Les barres d'acier ont un diamètre de 25 mm et une longueur d'un mètre. Les barres sont disposées à 120° les unes des autres dans un plan horizontal, puisqu'il y a trois étriers par buse. Les ancrages sont réalisés tous les dix mètres.

Les inconvénients de cette méthode sont de plusieurs ordres :

- la structure de l'encaissant ne permet pas toujours de réaliser des ancrages de bonne tenue. C'est le cas des encaissants constitués de roche meuble, et même de ceux constitués de roche dure mais très fracturée où les tirs de mines ont exagérément élargi le diamètre du fonçage. Dans ce dernier cas les fers peuvent subir des efforts dont les effets sur la solidité de l'ancrage sont difficilement prévisibles.
- Si l'ancrage est réalisé en dessous du niveau statique, ce qui est parfois le cas, les barres sont amenés à se corroder, étant donné l'agressivité des eaux.

Jonctions : la réalisation des puits-citernes de ce programme nécessite l'exécution d'une jonction entre le fonds des puits et le forage, sous le niveau statique. Dans le cas où le forage est dévié, et c'est presque le cas général, il est important de connaître avant d'implanter le puits la déviation du forage en distance et en azimut, à la cote de jonction prévue. Au cours du programme ODEM, il a fallu l'inter-vention d'une société de services pétroliers, GEOSERVICES, pour effectuer cette opération, ceci à la suite d'une tentative de jonction infructueuse.

L'entreprise n'est évidemment nullement responsable de ces déviations mais il faut retenir que les futurs programmes de contre-puits devront prévoir à leur bordereau des prix un poste pour le calcul réel de cette déviation.

La méthode de jonction, dans son développement futur, devra prévoir l'obturation effective du forage par packer au dessous de la cote de jonction, pour permettre aux mineurs de l'exécuter sans risques, ce qui n'est pas le cas actuellement. Le cahier des charges devra le prévoir.

Diamètre de fonçage : le plus souvent, les puits sont foncés en deux diamètres différents. Un diamè-tre de 2000 à 2500 mm dans la partie supérieure correspondant au cuvelage de 1800 mm, et un diamètre inférieur de fonçage en 1800 mm pour la partie du captage en 1400 mm.

Il est prévu que la base du cuvelage doive reposer sur le saillant correspondant à la réduction de diamètre de fonçage. En fait, le fonçage à l'explosif n'a généralement jamais permis de faire reposer le cuvelage, le diamètre de fonçage de la partie inférieure (captage) étant la plupart plus large que le diamètre extérieur de la colonne du cuvelage.

Celle-ci se trouve donc suspendue. Pour terminer le puits, il est donc souvent nécessaire de buser en remontant, en commençant par la colonne de captage en 1400 mm. Un remblai est installé entre cette colonne et le fonçage en 1800 mm. La colonne du cuvelage est ensuite installée mais repose sur le remblai de colonne de captage.

L'amélioration de la méthode utilisée devrait permettre de mieux maîtriser ces diamètres de fonçage à l'explosif, peut être en utilisant dans les premiers mètres du fonçage de la zone de captage des explosifs aux effets de cisaillement plus nets ou des outils de type trépan.

LES CONCLUSIONS TIREES DE L'EXPERIENCE

Bien que cette technique puisse et doive être améliorée, elle constitue une innovation dans ce domaine et les modifications encore nécessaires doivent être encouragées.

Le procédé permet des avancements généralement rapides et autorise la foration dans des terrains très durs (calcaires et marbres du Gondo notamment) au niveau desquels les anciens programmes "conventionnels" devaient interrompre le fonçage.

Les résultats d'avancement suivants prennent en compte tous les travaux annexes rapportés à 24 heures :

Type de terrain	vitesse d'avancement en m/j	profondeur	
		< 50 m	> 50 m
havage dans les alluvions	40	-	
terrain tendre	12	7	
terrain mi-dur	6	4-5	
terrain dur	3	3	

Les coûts moyens sur le projet en cours sont de l'ordre de 400.000 FCFA/ml, pour une profondeur moyenne de l'ordre de 70 mètres. Ces coûts ne prétendent donc pas être moins élevés que par les méthodes traditionnelles.

En revanche le procédé, cela a été constaté sur le terrain, permet déjà des avancements incomparablement plus rapides que par ces méthodes conventionnelles.

Il a cependant ses limites qu'il est possible de résumer ainsi :

- à plus de 100 mètres de profondeur, le seul procédé efficace et économiquement intéressant reste le forage.

- à moins de 50 mètres de profondeur, la technique est bonne mais pas nettement supérieure à d'autres procédés mécanisés, à l'exception de celui de la CALDWELL, celui ci restant limité à 30 mètres de profondeur et à des diamètres de 1200-1500 mm uniquement en terrains tendres.

- entre 50 et 100 mètres de profondeur, la méthode n'a actuellement pas d'équivalent et c'est dans cette tranche de profondeur qu'elle se révèle intéressante. Dans une première approche quatre pays de la sous-région ont un contexte hydrogéologique permettant d'utiliser de façon rentable cette méthode : la Mauritanie, le Mali, le Niger et le Tchad, mais il est possible que d'autres pays puissent être amenés à l'utiliser en fonction des besoins qui pourront se révéler. L'Entreprise qui a investi dans cette recher-che est consciente par ailleurs que cette méthodolo-gie doit être maîtrisée localement. Elle est à la recherche de partenaires africains, mais ceux-ci doivent avoir les capacités techniques et financières suffisantes.

En effet de tels ateliers et de tels chantiers ne sont pas aussi aisés à gérer que des ateliers de forage conventionnels de type marteau fond de trou.

Une fois les matériels et la technique définitivement mis au point, les responsables actuels de l'Entreprise sont évidement prêts à assurer un appui méthodologique aux partenaires nationaux.