

E31- Les forages

8 février 2012



1) De quoi s'agit-il

D'une technique permettant le creusement de puits plus facilement, plus rapidement et à plus grande profondeur que les [puits creusés](#) à la main ou foncés (voir les fiches [e 29](#) et [e 30](#))

Un puits foré est un trou cylindrique creusé verticalement par percussion ou par l'action rotative d'un outil coupant (tarière, foreuse, trépan) tournant autour d'un axe vertical.

Le diamètre d'un [puits foré](#) peut varier de 5cm à 1,5 m.

Presque tous ces puits sont **généralement équipés d'une pompe à eau.**

Le choix de cette pompe (manuelle, motorisée, immergée) dépend de la profondeur du puits, du débit d'exploitation souhaité et des moyens (techniques, financiers, logistiques) potentiellement disponibles. (voir les fiches [e 35](#) à [e 43](#) sur les différents types de pompes)

2) Qui utilise surtout ce moyen et depuis quand ?

Le [forage](#) est une technique ancienne qui date de plus de 3000 ans. Elle est **originaire de chine** où des morceaux de bambous attachés à un poids lourd permettaient de forer des puits d'eau.

Aujourd'hui, il existe **deux grandes approches du forage** :

- le **forage manuel** réalisé avec des outils manuels pour des puits peu profonds **jusqu'à 40 m** de profondeur.

- le **forage mécanisé** avec l'aide d'équipements légers ou de plateforme de [forage](#) et d'équipements lourds grâce auxquels

il est possible d'atteindre de **grandes profondeurs.**

dans certains cas, ces forages mécanisés sont montés sur des **plateformes mobiles autotractées**, beaucoup plus rapides, faciles à

utiliser et permettant de forer dans des sols durs à grande profondeur, mais ils sont beaucoup plus onéreux.

Remarque : les forages mécanisés sont souvent trop coûteux les populations des zones rurales ou périurbaines les plus pauvres. **Il ne faut donc pas négliger**, même si elles sont moins rapides et un peu

plus fatigantes, les techniques de forage manuelles.

3) Pourquoi ?

Le **forage manuel** est une solution pratique qui, bien que fatigante, est intéressante et peu coûteuse pour les points d'eau de **moins de 40 mètres** de profondeur dans les sols meubles tels que l'argile et le sable et les formations de roches tendres telles que les grès et calcaires tendres. Si les caractéristiques du sol le permettent, le **prix d'un forage manuel** peut en effet se révéler **plus de 4 fois moins élevé qu'un forage mécanisé**.

Mais lorsque le sol est dur, ou lorsqu'on veut forer à une grande profondeur ou éviter des travaux pénibles ou aller plus vite et qu'on en a les moyens, les **forages mécanisés** constituent une **meilleure, voire indispensable** solution.

4) Qui est surtout concerné ?

Les forages manuels à moindre coût intéressent **les ONG et les pouvoirs publics** car ces techniques permettent de réaliser plus de puits, mais aussi **les villages, les petites communautés et les agriculteurs** des zones rurales à faibles ressources car **cela leur permet de prendre eux-mêmes en charge**, avec un minimum d'aide et de conseils, **la réalisation de petits forages**.



forage d'un puits à madagascar par la méthode dite du « jetting » Photo PS Eau

5) En quoi consiste ce procédé ? Comment est-il mis en œuvre ?

En fait, **il existe de nombreux procédés** entre lesquels il peut être d'ailleurs **assez difficile de se reconnaître**, tant leurs noms sont parfois curieux, et même souvent différents selon les ouvrages ou la langue utilisée (souvent l'anglais).

Cette fiche a ainsi **pour but de décrire et de clarifier les principaux procédés** en distinguant les forages manuels et les forages mécanisés, étant précisé que **les types de forages les plus utilisés ou cités sont** :

- **en mode manuel** : les forages « **à la tarière** » (appelés aussi « **hand auger drillings** ») pour les **communautés** disposant de faibles moyens, les forages « **à la percussion** » (appelés aussi « **au battage** ») et permettant de forer jusqu'à 25 m) et les forages « **rotatifs à la boue** » (appelés aussi « **par lancement** » ou « **rotary manuels** ») et permettant de forer jusqu'à environ 35 m).
- **en mode mécanisé** : les forages à percussion avec air comprimé « **au marteau fond de trou** » (appelés aussi « **rotary percussion drillings** »).

5.1 les forages manuels

Ils sont surtout utilisés pour leur faible prix de revient, pour de faibles profondeurs et pour le creusement

de terrains plutôt tendres, bien que certaines techniques, comme celle dite de la « percussion à l'air comprimé » ou encore « au marteau fond de trou », permettent de forer dans des terrains relativement durs.

Ils sont réalisés en utilisant des outils manuels bon marché (par exemple des vrilles appelées tarières que l'on fait tourner à la force des bras).

il existe différentes techniques. Les plus utilisées sont les suivantes :

a) Le forage à la tarière (hand-auger drilling en anglais) - (profondeur maxi de 25 mètres)

Le forage à la tarière consiste à **faire tourner une vrille appelée tarière avec une grande poignée.**

On rajoute des allonges en acier au fur et à mesure que la tarière s'enfonce dans le sol. Lorsque la tarière est remplie de débris du sol, on la remonte pour la vider puis on répète l'opération.

Généralement au-dessus du niveau de la nappe, le trou du forage reste ouvert et n'a pas besoin d'être consolidé. Lorsque l'on a atteint la nappe, un pré-tubage temporaire peut être utilisé pour empêcher l'effondrement des parois du trou du forage. Le forage se poursuit à l'intérieur de ce pré-tubage à l'aide d'une tarière de mise en eau jusqu'à ce que la profondeur désirée soit atteinte. Puis, on enlève le pré-tubage et on met en place le tubage permanent.

Le forage à la tarière **peut être utilisé jusqu'à une profondeur d'environ 15 à 25 mètres et dans des terrains souples (sables, limons, argiles).**



Forage à la tarière Photofondation practica

b) Le forage à la percussion (appelé aussi « battage », ou « percussion drilling », ou encore « stone hammer »)

(profondeur maxi : également 25 m)

Dans le forage à percussion, **un lourd outil coupant (le trépan) est attaché à une corde ou un câble puis projeté** à la force de son poids dans le trou du forage. Un trépied (ou chèvre ou tripode) est utilisé pour permettre le relevage de l'outil avec la corde ou le câble. En retombant, le trépan fragmente le sol.

De l'eau est ajoutée dans le trou pour qu'elle se mélange aux débris et qu'elle **se transforme en boue.** Cette boue consolide les parois du forage et soulève les débris de roche mais est aussi remontée à la surface avec une tarière de mise en eau.

Puis, le trépan est de **nouveau** remonté et relâché dans le trou autant de fois que nécessaire.

L'utilisation d'une **colonne de boue** et surtout d'un **pré-tubage**, en plastique ou mieux en acier, est souvent nécessaire pour éviter tout risque d'effondrement du trou, surtout si le sol est meuble.

La technique à la percussion (ou battage) est généralement utilisée jusqu'à des profondeurs de 25 mètres pour l'eau potable mais des forages plus profonds peuvent être réalisés.

Le forage à percussion peut être combiné à d'autres techniques de forage comme la tarière

manuelle. Cette dernière permet en effet de forer rapidement les premiers mètres du **forage** jusqu'à des terrains durs.



Photo fondation practica **forage** à la percussion 

c) Le forage par injection d'eau sous pression ou lançage à l'eau (ou jetting ou washbore)
(profondeur maxi de 35 à 45 m selon la technique)

Il existe deux techniques de lançage à l'eau :

- 1) le lançage rapide sous pression ou « lançage direct » (profondeur maxi : 35 m)


Cette technique est décrite dans la fiche sur les puits foncés. (**voir le fiche précédente e 30**)

La technique consiste à faire pénétrer un tuyau dans le sol grâce à l'injection sous pression d'une grande quantité d'eau avec une motopompe ou une pompe à pédale. Elle est utilisée pour **forer rapidement, le plus souvent en moins d'un jour**, des forages peu profonds à coût moyen.

On confond parfois puits foncé (ou puits instantané) et **puits foré** car ils utilisent des procédés relativement similaires.

Ce qui différencie surtout le puits foncé du puits foré, c'est que l'on y enfonce **directement** un tube équipé à son extrémité d'une crépine, alors que celle-ci n'est mise en place **qu'à la fin des opérations** pour un puits foré.



photo wedc 

- 2) le forage (ou lançage) à l'eau rotatif ou rotary manuel (rota sludge en anglais)

(profondeur maxi : une quarantaine de m)

Cette technique est **l'une des plus utilisées**. C'est une **évolution de celle du lancement direct**. Elle **permet des forages plus profonds**, mais **ne peut être utilisée que dans les terrains sédimentaires**.

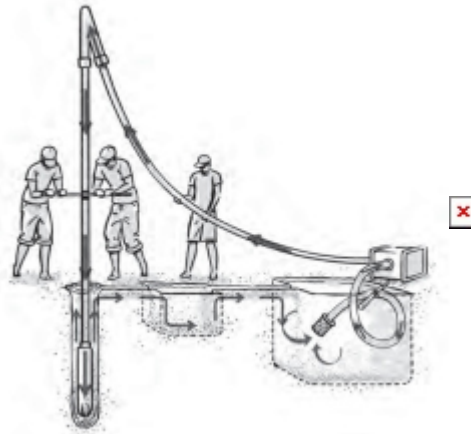
A noter cependant qu'une **autre technique** de type « rotary » appelée « **rotary drilling** » (voir plus loin en 5.2.b), de principe similaire mais mécanisée (usage d'un compresseur ou d'un petit moteur monté sur un bâti), permet d'atteindre de plus grandes profondeurs et de travailler en terrain dur.

Elle est également **basée sur la circulation et la pression de l'eau** et sur l'utilisation d'un **outil lourd perforant mais que l'on fait ici tourner**. L'eau est injectée à l'intérieur du train de tiges et la boue (eau et débris) remonte le long des parois du forage.

afin d'obtenir une pression d'eau suffisante, on utilise de préférence une **motopompe**. On peut laisser l'extrémité inférieure du tuyau de **forage** simplement ouverte, ou y rajouter, cas le plus fréquent, un outil de fonçage (trépan). L'abrasion du sol est réalisée par un trilame ou un **tricône mis en rotation manuellement depuis la surface** en utilisant un train de tiges.

Les débris, ou « cuttings » sont remontés à la surface par la circulation de la boue du forage. Celle-ci est introduite à l'intérieur des tiges, sort par l'outil de forage, remonte à la surface par l'espace annulaire entre les parois du **forage** et le train de tiges, va ensuite décanter dans des petites cavités creusées près du forage, puis est de **nouveau** pompée et injectée.

Un fluide de forage (additif) peut être mélangé à l'eau pour éviter l'effondrement des parois du trou et la perte incontrôlée de l'eau par infiltration. La technique du lancement à l'eau (avec rotation) peut être utilisée jusqu'à une profondeur d'environ 35 - 45 mètres.



lancement à l'eau rotatif documents de la fondation practica

d) Le forage à la boue (sludging) (profondeur maxi : 35 m)

Cette méthode a été développée et largement diffusée **au bangladesh** en utilisant des tubes faits de bambou.

Elle consiste à utiliser **un train de tiges de forage que l'on enfonce** manuellement et progressivement **à l'aide d'un bras de levier** dans le sol **ainsi qu'à faire circuler de l'eau** pour faire remonter à la surface du sol les débris des matériaux broyés par l'outil de **forage** (cuttings).

le train de tiges de **forage** est actionné manuellement de haut en bas à l'aide d'une sorte de perche pour pouvoir le relever. dans certains cas, un opérateur fait aussi tourner manuellement ce train de tiges pour qu'il descende plus facilement.

Pendant la descente des tiges, le choc créé sur le sol par le trépan fixé au bout du train de tiges ameublissent le sol et surtout fragmente les matériaux.

Pour faire remonter ces débris à la surface, **l'opérateur obstrue avec sa main** l'extrémité supérieure du train de tiges pendant qu'un autre le fait remonter afin de créer (**effet de soupape**) une aspiration de l'eau et des débris qu'elle contient jusqu'à la surface. Au cours du mouvement de descente suivant, la main est retirée du train de tiges et la boue gicle dans un petit bassin préalablement creusé à côté du

forage où les débris se déposent et où l'eau décantée est ensuite à **nouveau** utilisée pour être réinjectée dans le trou du forage. La pression de l'eau sur les parois du **forage** et la boue évitent l'effondrement de ces dernières.

Ce type de **forage** à boue (**avec ou sans rotation**) peut être utilisé jusqu'à une profondeur **d'environ 35 mètres**.



forage à la boue. Documents de la fondation practica

5-2) les forages mécanisés

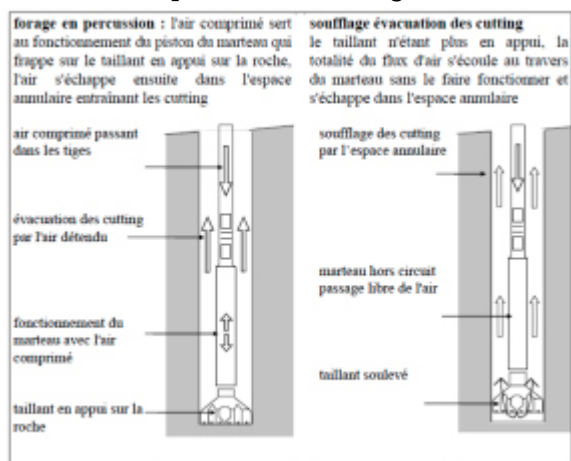
Ils sont réalisés :

- Soit en utilisant des moyens motorisés légers (pompes, compresseurs) pour creuser le terrain
 - Forage mft dit « au marteau fond de trou » (rotary-percussion drilling en anglais)
 - Forage rotatif ou à la technique rotary (rotary drilling en anglais)
- Soit en utilisant des moyens mécanisés lourds de percement qui permettent d'atteindre de grandes profondeurs **forage** réalisé à partir d'une plateforme de **forage** mobile

A) le **forage** mft « au marteau fond de trou » (ou « rotary-percussion drilling »)

Cette technique combine l'action d'un marteau piqueur pneumatique et d'une foreuse munie de barres de **forage** à l'extrémité desquelles se trouve un outil taillant. Cet équipement alimenté par un compresseur d'air sert à la frappe du marteau dans le trou de **forage** pour casser et broyer le terrain (phase de percussion) et à l'évacuation des débris du terrain (appelés cutting) vers

L'extérieur (phase de soufflage/évacuation).



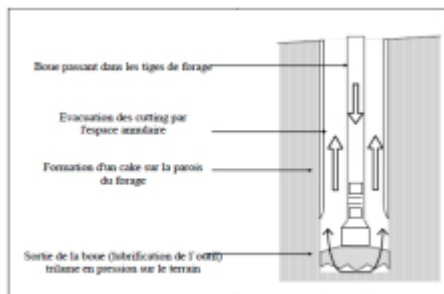
principe du **forage** au marteau fond de trou . Document ps eau

B) le **forage** rotatif ou la technique rotary (rotary drilling)

le **forage** rotatif se réalise au moyen d'une foreuse qui entraîne un train de tiges creuses tournant rapidement avec à l'extrémité basse un outil tranchant (appelé tricône ou trilame) qui perce le terrain et s'enfonce sous l'effet conjugué de la poussée de la foreuse et du poids du train de tiges. A l'intérieur des tiges est injectée une boue sous pression. La boue de **forage** évite aux parois de s'effondrer, consolide celles-ci (on parle de cake) et remonte les déblais (appelés cutting) en surface où ils se déposent dans un

bassin de décantation. La boue recyclée est réinjectée dans le train de tiges.

Le **forage** rotatif peut être mis en place avec des moyens mécanisés légers, à savoir un moteur monté sur un bâti, un petit compresseur et une pompe à boue ;



principe du **forage** rotatif ou technique rotary. Document ps eau

Annexe 5. Progression d'un forage



5.3 les plateformes de **forage** mobiles

C'est la technique du **forage** rotatif mise en œuvre avec des moyens mécanisés lourds de percement qui permettent d'atteindre de grandes profondeurs.

Ces moyens de **forage** sont embarqués sur des gros camions porteurs ou montés sur des chenilles. Ils utilisent des outils de **forage** rotatif qui percent, mâchent ou brisent les roches, ou, si le sol est mou, des grandes vrilles appelées tarières. Les forages peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres de profondeur. Souvent, une pompe est placée au bas du **forage** pour pomper l'eau jusqu'à la surface.



plateforme de **forage** sur camion. Photo afd

Il existe plusieurs modèles de tels équipements. Ils sont très coûteux et seules d'importantes entreprises peuvent

En avoir et éventuellement les louer.

Il convient cependant de signaler que certains organismes ou **ong ont également mis au point ou**

adapté avec des industriels des machines de forage mécanisé également **mobiles mais beaucoup plus légères et adaptées à certains types de forage.**

Ainsi **acf** (action contre la faim) a mis au point pour ses forages de type rotary ou mft 3 kits de machines (acf-pat 201, 301 et 401) développées initialement par l'entreprise thaïlandaise patet adaptées (voir document acf signalé en fin de fiche)

6) Difficultés particulières et remèdes

Le choix technique entre les différents procédés de fonçage dépend de plusieurs paramètres :

- Les caractéristiques géologiques des terrains à creuser : roches dures, roches tendres et friables, terre sableuse,...

- La profondeur à atteindre (en fonction de la profondeur de la nappe phréatique)

- Le débit demandé

- Le diamètre du forage :

o De 50 à 140 mm pour les forages manuels

o De 100 à 160 mm pour les forages mécanisés avec des moyens légers

o Jusqu'à plus de 1500 mm pour les forages mécanisés avec des moyens lourds

7) Principaux avantages et inconvénients

La fondation practica a élaboré un tableau comparatif des principales techniques de **forage** manuel :

Méthodes	Techniques	Profondeur moyenne	Géologie	Avantages	Inconvénients	Durée d'exécution
Tarère	tarère manuelle	10 à 15 m	Sables, limons, argile (faible épaisseur), graviers (< 4 mm)	facile à utiliser	Coverage difficile à effectuer en présence d'une couche d'argile épaisse	1 jour
A la boue	manètil, rotary manuel, enroul, soda sledge	20 à 30 m	Sables, limons, argile (faible épaisseur), formations consolidées tendres (siltite)	facile à utiliser	Consommation d'eau importante dans les roches généralement de sables grossiers	2 à 4 jours
Lavage à l'eau	jettag, washdown	6 à 15 m	Sables et limons	rapide	Un volume important d'eau sur une courte durée est nécessaire	moins d'un jour
Battage	percussion, stone hammer	15 à 25 m	Formations consolidées moyennes et dures (latérite, roche)	adaptés aux formations dures	Long et coûteux des équipements élevés	1 semaine à 10 jours
Tarère manuelle	Pat drill 201, rotary manuel	35 à 45 m	Tout type de formations consolidées moyennes dispersées de roches	rapide dans les roches dures	Consommation d'eau importante, coût des équipements et de matériel élevé	1 à 5 jours

Source: Inventory Drill Study manual drilling, Practica Foundation/ICR, 2008

Quant aux forages mécanisés avec des moyens légers ou lourds, ils exigent des opérateurs professionnels, des équipements et un gros budget à financer. Par conséquent, ils ne sont pas appropriés pour les zones rurales des pays en voie de développement.

Le **forage** au marteau fond de trou permet de traverser des terrains durs comme le granit ou sédimentaires consolidées (grès, calcaires).

La technique rotary avec des équipements légers est utilisée dans les terrains sédimentaires tandis que les équipements lourds des plateformes permettent de forer des terrains durs et d'atteindre de grandes profondeurs.

8) Coût

Le coût de la construction de **forage** dépend sensiblement des matériaux et équipements utilisés pour la construction, de la structure du terrain, de la profondeur du puits à atteindre (c'est-à-dire celle de la nappe d'eau) et du débit nécessaire. Il est donc difficile de donner un coût précis pour construire un forage, coût qui varie aussi en fonction du pays et selon que la population fournit bénévolement ou non une partie de la main d'œuvre..

A titre indicatif, le coût d'un **forage** réalisé à **une trentaine de mètres** avec les techniques **manuelles** varie **de 200 €** (cas rare comme au cambodge) à **3 000 €**.

La fabrication, le transport et la maintenance des équipements de **forage** manuel peuvent être souvent réalisés localement.

Pour un forage réalisé avec des équipements mécanisés à environ 60 m de profondeur, la fourchette des coûts se situe **entre 4 000 € et 13 000 €** (exemples relevés par caritas : 6 500€ en ethiopie, 8 700 € au burkina, 12 000 € au togo - exemples relevés par acf : 4000 € en guinée, 13 000 € au sud soudan), mais ces machines permettent de forer jusqu'à 120 m.

9) Observations, recommandations et suggestions

Il existe de nombreuses techniques hybrides associant celles qui sont présentées. Elles permettent d'améliorer les performances de creusement des puits forés en combinant les avantages de ces différentes méthodes.

Il est recommandé :

- de **réaliser un prétubage** des forages, au moins sur les premiers mètres en cas de terrain meuble, pour permettre la finition sans risque des travaux et éviter que les parois ne se déforment ou ne s'effondrent quand le sol n'est pas stable ou lorsqu'on utilise certaines machines à percussion comme le mft (marteau fond de trou).
- de **prévoir rapidement à la fin du forage son tubage** (souvent en pvc) **en principe sur toute sa longueur**, y compris lorsqu'il traverse des roches. Si le tubage ne peut pas descendre tout à fait jusqu'en bas (cas par exemple d'un petit effondrement ou de dépôt de cuttings), il convient que son extrémité soit constituée d'un tube plein bouché à sa base et que sa longueur soit réduite de 50 cm à 1 m par rapport à la profondeur totale du forage.
- de **réaliser au bas des forages**, ce qui est d'ailleurs impératif en l'absence de tubage jusqu'au fond, **un « massif filtrant » constitué de graviers** que l'on fait descendre le long de l'espace annulaire du tubage, ce qui permet, tout en fixant la colonne de captage, de filtrer l'eau entrant dans la crépine en arrêtant les particules fines de sable ou autres.
- **la crépine** est un tube perforé mis en place à l'extrémité du tubage pour capter l'eau de l'aquifère exempte de particules. Le choix du degré d'ouverture de la crépine dépend de la granulométrie du captage. Le **massif filtrant** permet d'utiliser des crépines à perforations plus larges et d'augmenter ainsi le débit et la pérennité du forage.
- de réaliser **une margelle** dès la fin des travaux du **forage** afin de pouvoir y fixer une pompe, même si celle-ci n'est achetée qu'ultérieurement.
- de réaliser tous les **autres équipements annexes** permettant la meilleure utilisation possible du **forage** et sa sécurité (plateforme en béton ferrailé, rigole d'évacuation en légère pente d'au moins 5 m, sécurisation du périmètre...).
- **la boue** jouant un **rôle essentiel** dans la plupart des techniques de forage, il convient de **contrôler régulièrement** en cours de **forage** sa densité et sa viscosité, lesquelles influent sur la remontée des cuttings et la consolidation des parois (préférer une boue lourde), et sa température, laquelle permet de baisser celle de l'outil de forage. Des additifs comme le polycol permettent de modifier certains de ces paramètres.

10) Exemple de réalisation

- une étude de cas a été réalisée au Tchad par la fondation practica, l'unicef et entreprise works/vita. Elle est disponible sur le site internet :

<http://www.unicef.org/wash/files/CH...>

Cette étude examine l'importance des interventions de forages manuels sur l'amélioration du taux d'accès à l'eau potable au Tchad car la seule utilisation des techniques coûteuses de **forage** conventionnelles (mécanisées) ne peut pas satisfaire la demande en eau sur l'ensemble du territoire tchadien.

11) Où trouver davantage d'informations ?

a) Sites internet

1) Publications en français :

- oms/who : manuel du technicien sanitaire

<http://whqlibdoc.who.int/publicatio...>

- acf (action contre la faim) : extrait du livre très documenté de 743 pages « eau-assainissement-hygiène

pour les populations à risques » publié sur le site du pseau. Celui-ci, relatif aux « modes de réalisation et d'équipement des forages » (pages 253 à 312) est un véritable guide pratique, illustré de schémas et de nombreux exemples, d'initiation aux diverses techniques de dimensionnement, de réalisation, d'équipement et de développement des forages <http://www.pseau.org/outils/ouvrage...>

- afd : guide méthodologique pour la réalisation et gestion des forages équipés d'une pompe à motricité humaine en afrique subsaharienne :

<http://www.afd.fr/webdav/site/afd/s...>

- wikipedia : chapitre relatif au forage, disponible, en ligne, sur :

<http://fr.wikipedia.org/wiki/forage>

- ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales de l'ontario : « les puits d'eau en milieu rural ».

<http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/15-048.htm>

- fondation practica : elle a réalisé une série de manuels de formation très détaillés et pédagogiques sur les principales techniques de forage manuel :

<http://www.practica.org/products/dr...>

* La tarière manuelle

<http://www.unicef.org/wash/files/05...>

o Le lancement à l'eau

<http://www.practica.org/wp-content/...>

o Le forage à la percussion

<http://www.practica.org/wp-content/...>

o Connaissances des méthodes de captage des eaux souterraines appliquées aux forages manuels'

<http://www.unicef.org/wash/files/04...>

2) Publications en anglais :

- wedc, (centre de ressources eau, assainissement et environnement de l'université de loughborough, leicestershire (uk) a aussi publié un grand nombre de fiches techniques illustrées intéressantes eau et assainissement parmi lesquelles figure la fiche n° 43 « simple drilling methods ». Disponible en ligne, sur :

<https://www.lboro.ac.uk/orgs/well/resources/technical-briefs/43-simple-drilling-methods.pdf>

- wateraid, ong anglaise a publié une quinzaine de « technology notes » sur divers sujets, fiches techniques illustrées intéressantes et précisant les avantages et inconvénients respectifs de chaque méthode, dont la 6ème (pages 11 à 14) concerne les puits creusés à la main et la 7ème (pages 15 à 20) les puits forés. Disponible, en ligne, sur ;

<http://www.wateraid.org/what-we-do/...>

b) Vidéo

- Bushproof sur you tube : réalisation d'un forage par pression à madagascar

www.bushproof-madagascar.com/products/boreholes/

- Emplacement : Accueil > fr > WikiWater > Les fiches > Faciliter l'accès à l'eau > Distribuer >
- Adresse de cet article : <https://wikiwater.fr/E31-Les-forages>