

CHAPITRE III : REALISATION DE FORAGE

1- Installation du chantier de forage :

2-Organisation d'un chantier de forage et prévention des risques de pollution

2-1-Prévention des risques de pollution accidentelle

2-2-Précautions particulières pour la protection des eaux souterraines

3- Choix de la technique de forage

4-Choix du diamètre de tubages

5- Choix du diamètre de l'outil

6- Contrôle de la verticalité et le tubage

6-1-Prétubage

6-2-Tubage

6-3-Crépines

7- les fosses à boue

7-1-Volume du forage

7-2-Dimension des fosses pour un forage peu profond($\leq 30\text{m}$)

7-3-dimension des fosses pour un forage de plus de 30 m de profondeur

8-Préparation de la boue de forage

9-Prélèvement des échantillons

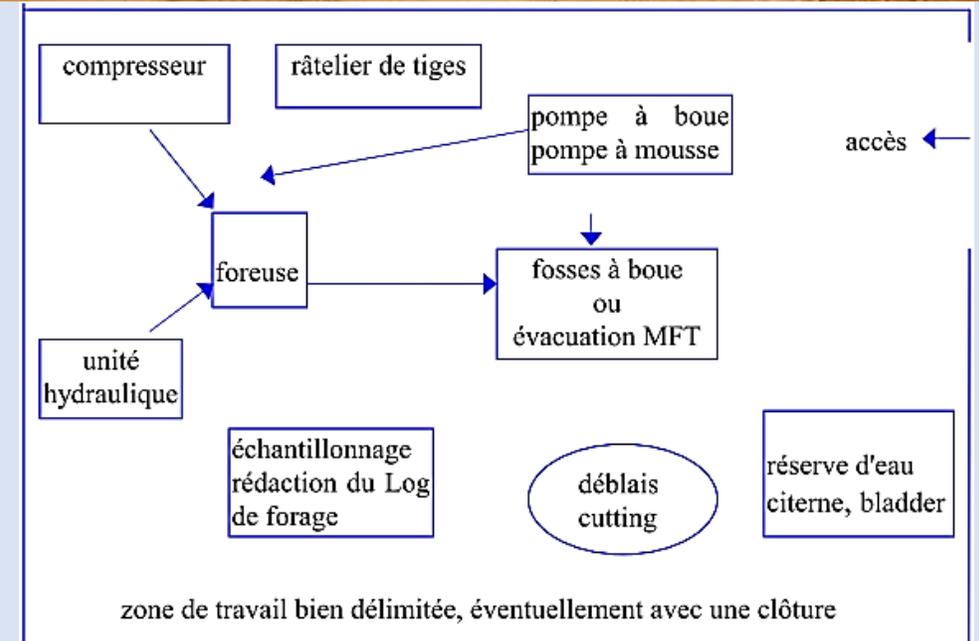
10-Les paramètres de la foration (acf_le_forage_2004)

CHAPITRE III REALISATION DE FORAGE

1- Installation du chantier de forage :

L'organisation de chantier de forage doit permettre au foreur d'intervenir rapidement en cas de problème. Les précautions à prendre doivent conduire à déterminer :

- un périmètre de sécurité autour du chantier.
- un accès pour les véhicules.
- un approvisionnement en eau (citernes)
- un accès facile pour le remplissage des fosses
- un endroit sec pour la rédaction (bureaux)
- une zone de déblais (cuttings)
- un terrain aplani pour faciliter le calage de la machine
- l'emplacement et le creusage des fosses à boue
- le positionnement du compresseur de façon à ce qu'il ne reçoive pas la poussière de forage
- l'installation de toutes les unités de pompage, de pression hydraulique et des moteurs sur un plan horizontal.
- l'outil de mesure de la pression hydraulique doit être protégée du soleil.



2-Organisation d'un chantier de forage et prévention des risques de pollution

2-1-Prévention des risques de pollution accidentelle

L'organisation du chantier de forage prend en compte la prévention des risques de pollution accidentelle : accès et stationnements de véhicules, stockage d'hydrocarbures et autres produits.

Par exemple, l'entreprise de forage disposera d'une bâche plastique sous la machine de forage afin de protéger le forage d'éventuelles fuites d'huile et de carburant.



Il faut :

- éloigner les produits polluants du forage
- évacuer les boues et déblais de forage
- évacuer l'eau des pompages d'essai

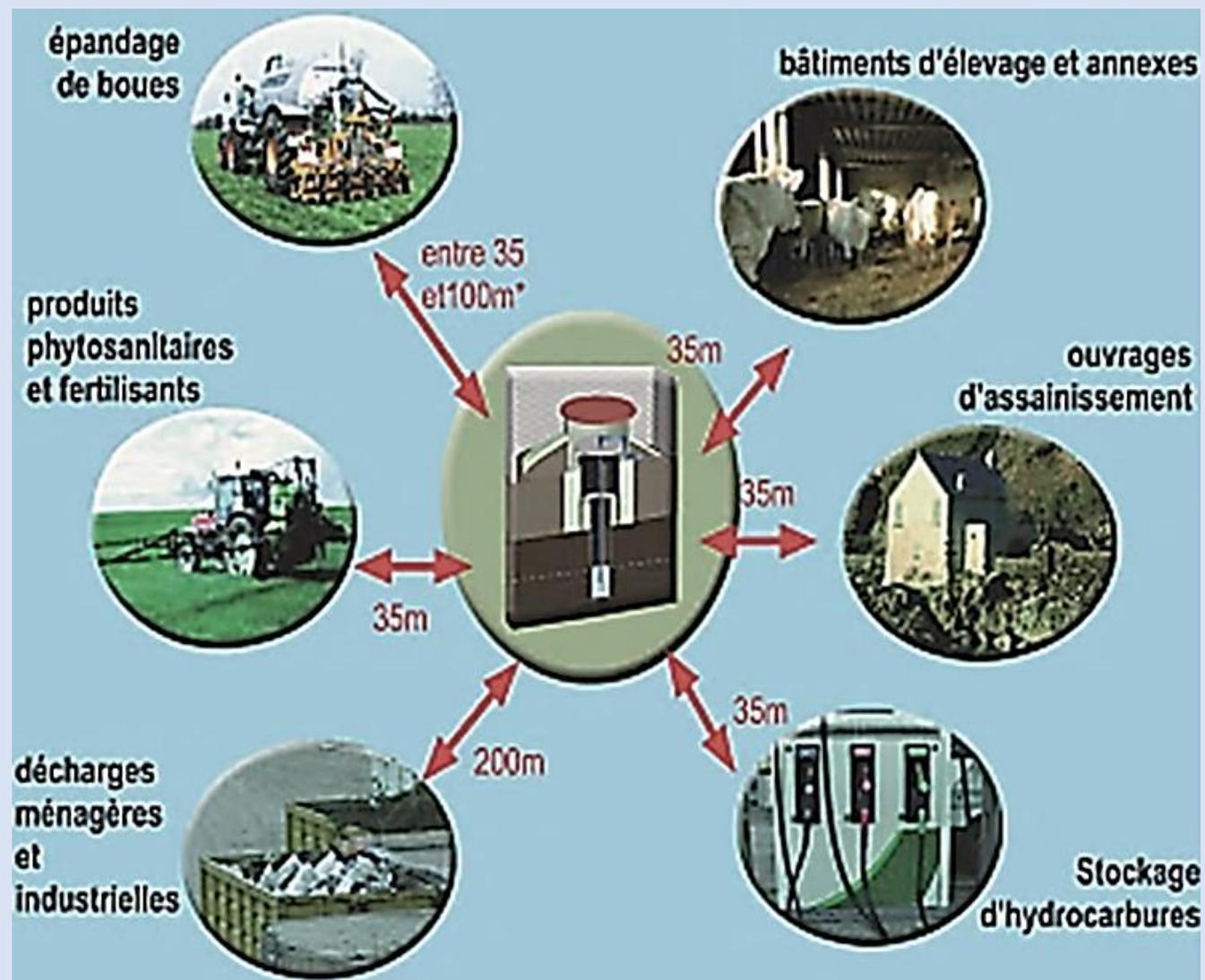
2-2-Précautions particulières pour la protection des eaux souterraines

Des précautions particulières sont à prendre lors de la réalisation d'un forage et, par la suite, au moment de son exploitation :

- à proximité des installations d'assainissement collectif et non collectif,
- dans les zones humides,
- dans les zones karstiques et les roches très solubles (sels, gypse...), en bordure du littoral marin ou à proximité des eaux salées, à proximité des ouvrages souterrains et sur les tracés des infrastructures souterraines (câbles, canalisations, tunnels...), à proximité des digues et barrages,
- dans les anciennes carrières ou mines à ciel ouvert remblayées et mines souterraines,
- à proximité des anciennes décharges et autres sites où le sol est pollué,
- dans les zones à risques de mouvement de terrain et les zones volcaniques à proximité des circulations d'eau ou de gaz exceptionnellement chauds ou chargés en éléments.

D'une façon générale, un projet de forage d'eau ne peut être bien conçu et bien réalisé que s'il s'appuie sur une **bonne connaissance du milieu**. Les considérations économiques ne doivent pas occulter la phase de collecte et d'analyse de l'information pour connaître :

- **le milieu physique** depuis la surface jusqu'à l'objectif en profondeur : état du site du forage, sol superficiel et remblais éventuels, couches géologiques, niveaux aquifères ;
- les **zones à risques** : zones inondables, zones d'instabilité du sous-sol (mouvements de terrain, carrières souterraines, dissolution et corrosion de la roche), zones de pollutions du sol... ;
- les **contraintes environnementales** : périmètres de protection des captages pour l'eau potable, nappes surexploitées, périmètre du GIRE (gestion intégrée de la ressource en eau) où les **prélèvements de l'ensemble de la nappe sont limités, contrat de rivière, zones de sauvegarde de la ressource pour l'approvisionnement en eau potable, sauvegarde des milieux aquatiques dont les zones humides...**



Les distances mentionnées dans le cas où la formation géologique superficielle est imperméable pour éviter en cas de fuite la propagation des polluants

3- Choix de la technique de forage:

Le choix d'une technique de forage se fait sur :

- la géologie des terrains à traversés;
formation sédimentaires +ou- consolidées,
Zones de socles +ou- fracturées.
- Donc l'avancement de l'outil de forage, la quantité d'eau à utiliser,
- La profondeur du forage,
- De l'accessibilité et du voisinage ainsi que l'emprise disponible (la surface que va occuper le forage donc l'autorisation d'occuper les lieux, de forer et d'exploiter, ainsi que les contraintes résultantes s'il y a lieu de l'établissement des périmètres de protection,
- la facilité d'assurer l'approvisionnement en eau du chantier, d'évacuer les déblais et les eaux de pompage.
- Les installations existantes (canalisations souterraines, égouts, câbles) dont la présence constituerait une gêne au déploiement du matériel et à l'exécution de l'ouvrage seront soigneusement repérées
- Diamètre de départ de tubage, diamètres intermédiaires et diamètre finale.
- Des moyens humains et matériels de l'entreprise.

Pour la réalisation d'un ouvrage on peut utiliser plusieurs méthodes de forage, en fait, chaque matériel possède des qualités et des défauts qui fixeront le choix :

		Type de formation								
Origine géologique		Ignées et métamorphiques			Sédimentaires					
Exemples		Granite Basalte	Quartzite Gneiss	Schiste	Calcaire	Grès	Marnes	Argile	Sable	Gravier
Dureté		Très dur à dur			Dur à tendre		Non consolidé			

Comme le montre l'organigramme il est possible de changer de technique de forage lorsqu'on rencontre par exemple un socle rocheux et on parlera d'un forage mixte

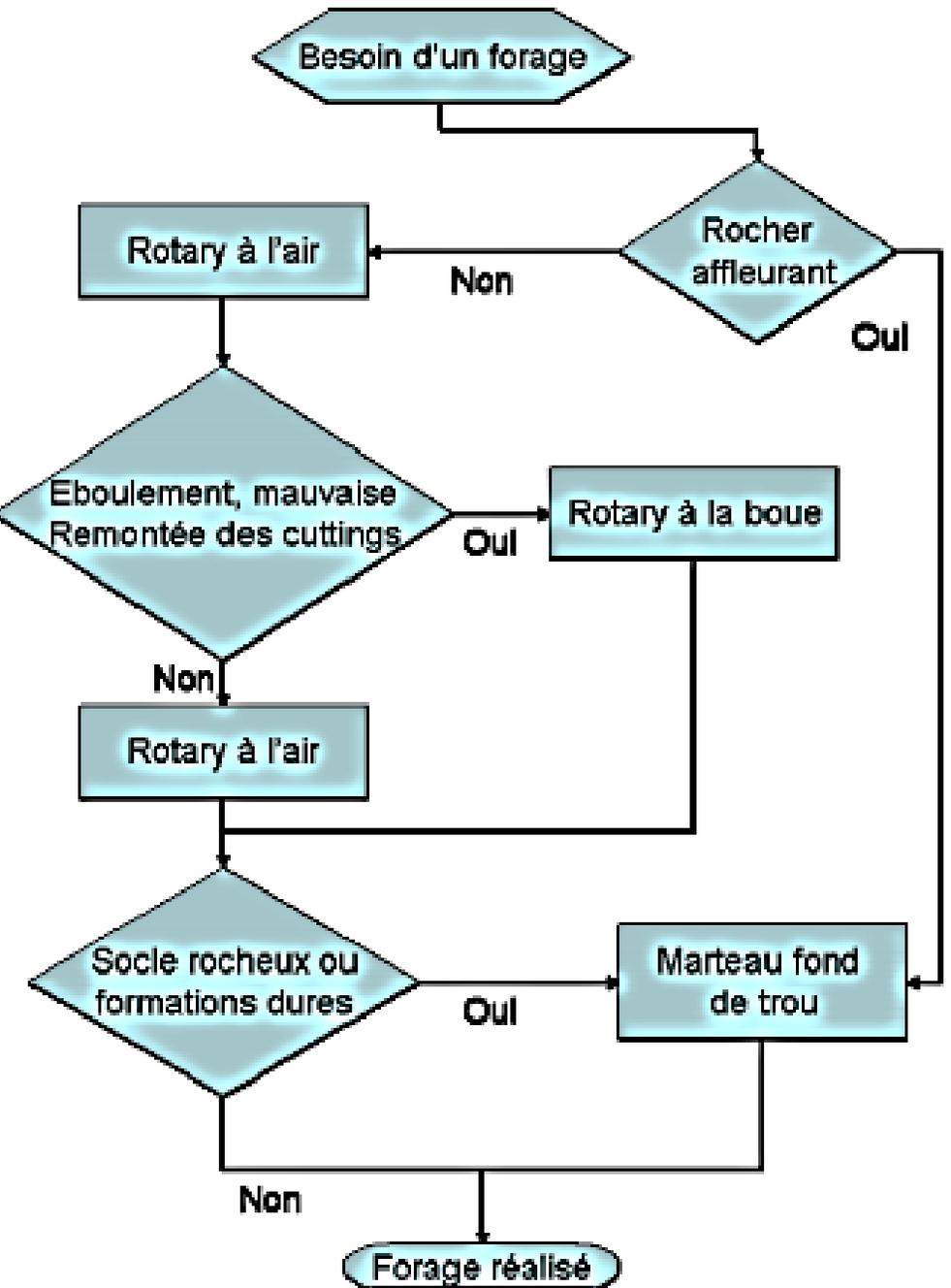


Figure 5 - Organigramme de choix de technique de forage

4-Choix du diamètre de tubages :

En règle générale, le diamètre est déterminé en fonction du débit désiré. Toutefois, pour les pompes à motricité humaine, il sera généralement de 4". Pour les autres forages, il dépendra du diamètre extérieur des pompes(lui-même imposé par les débits désirés) **avec 1 à 2" de jeu autour de la pompe elle-même pour permettre son refroidissement.**

Tableau 1 : Diamètres de tubage en fonction des gammes de débit et/ou des diamètres extérieurs de pompes

Diamètre extérieur des pompes (pouces)	Diamètre de tubage recommandé (pouces)	Gamme des débits prévus (m ³ /h)
3"	4" à 5" (il existe du 4"1/2)	1 à 3 m ³ /h
4"	5" ou 6"	3 à 10 m ³ /h
6"	8"	10 à 50 m ³ /h
8"	9" ou 9" 5/8	50 à 150 m ³ /h

5- Choix du diamètre de l'outil:

Le choix dépendra du diamètre extérieur du tubage nécessaire à la pompe. Généralement, pour des pompes à motricité humaine, on utilise des diamètres de 4"(110mm). Le tableau ci-dessous récapitule les diamètres de l'outil ;

Tableau 2: Diamètres d'outil à utiliser en fonction des diamètres de tubage prévus

Diamètre extérieur du tubage (pouces – mm)	Diamètre minimal de l'outil à utiliser
4" – 110 mm	6" – 150 mm
4" ½ – 125 mm	6" ½ – 165 mm
6" – 165 mm	8" – 200 mm
6" ½ – 180 mm	8" ½ – 215 mm
7" – 195 mm	9" 5/8 – 245 mm

A retenir: quelque soit le diamètre de tubage prévu, **l'outil devra au strict minimum avoir un diamètre de 2" plus grand que le diamètre du tubage.**

6- Contrôle de la verticalité et le tubage:

On mesure la verticalité par les appareils suivants : l'inclinomètre thermique, l'inclinomètre mécanique et l'inclinomètre optique, pour la mise en place d'une colonne rigide de tubes dans un trou rectiligne et vertical et un bon fonctionnement de la pompe;

Un trou incliné, rendra cette mise en place impossible, et risque d'être compromis par l'augmentation des pertes de charge linéaires; On reconnaît qu'une déviation de 0,25% insignifiante, mais à partir de 0,5% commence d'être sérieuse bien sûr tout dépend de la profondeur prévue.

6-1-Prétubage:

Lorsque les terrains de surface sont peu consolidés, il est nécessaire:

- d'installer un prétubage (tube guide) pour les stabiliser et s'assurer de la rectitude du forage au futur,
- de cimenter la base du prétubage par un coulis de ciment bien dosé pour éviter;
 - Les problèmes d'érosion tout au tour du trou
 - Les problèmes d'éboulement(le flux d'air peut, au fur et à mesure de creuser une cavité peut se former à la base de ce dernier) ou les infiltrations de pollution de surface(nappe superficielle polluée que l'on veut isoler).

L'érosion est moindre pour les forage au rotary à boue et aux profondeurs sup à 100m car la boue formant le cake stabilise les parois de forage; personnellement je vous le conseil quelque soit le type de terrains ou de la technique; le tableau ci-dessous donne des exemples de tailles d'outils pour un prétubage, tubage, et les outils adéquats avec les techniques qu'il faut et dans les terrains qu'il faut.

Contexte géologique	Technique à utiliser	Prétubage (mm)	Outil (mm)	Tubage (mm)	Outil (mm)	Taillant (mm)
Sédimentaire	Rotary	167 – 180	215	110	150	
Sédimentaire	Rotary	178 – 195	244	125	165	
Consolidé	MFT	167 – 180	215	110		150
Consolidé	MFT	178 – 195	244	125		165

6-2-Tubage:

Un tubage en PVC ou en acier inoxydable est un choix économique, il faut veiller à ce qu'il soit bien résistant à la corrosion, et que tous les éléments du forage soient réalisés dans le même type d'acier pour éviter les effets de pile qui dégradent le matériel, **l'espace minimum entre le diamètre du forage et le tubage d'équipement est 12,5 mm de chaque côté.**

6-3-Crépines :

Schématiquement la crépine est un tube ajouré laissant le passage à l'eau tout en maintenant la formation. La crépine est l'interface avec la ressource, est l'élément principal de l'équipement d'un forage.

Sa longueur, son type, sa nature sont directement fonction de l'épaisseur de la formation à capter, du niveau de rabattement maximal, et de la nature de l'aquifère (on verra cela en détail prochainement).

La crépine doit répondre aux critères suivants;

- Permettre la production de fluide sans particules fines,
- Rester inerte vis-à-vis du fluide à capter (interaction de matériaux et turbulence),
- Résister à la pression d'écrasement exercée par la formation aquifère en cours d'exploitation,
- Ne pas risquer un vieillissement prématuré,
- Induire des pertes de charge minimales.

7- les fosses à boue : les fosses à boue sont en fonction du volume du forage programmé ;

7-1-Volume du forage:

Le volume du forage est calculé en fonction du diamètre du forage, et de la profondeur que l'on souhaite atteindre

$$V = \pi * r^2 * h$$

Où r = rayon de l'outil utilisé ,h = la profondeur du forage atteinte avec cet outil, le tout en mètre.

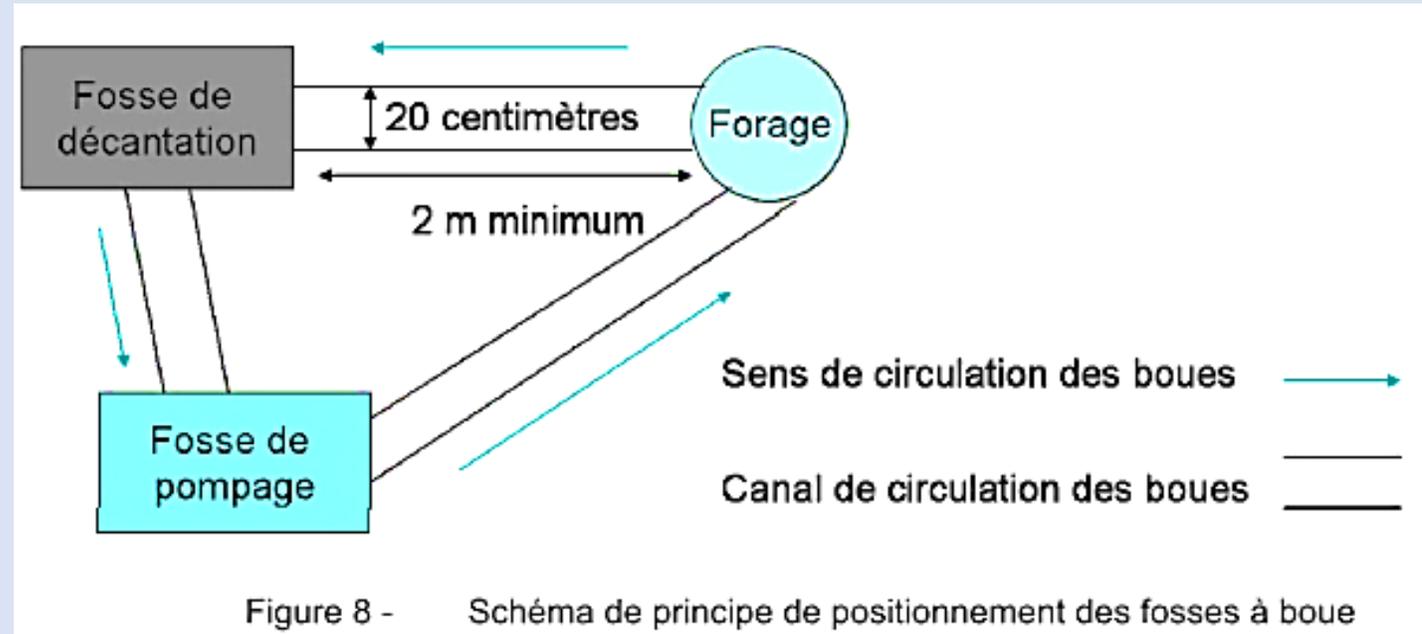
Le volume sera davantage exprimé en litres qu'en décimètres cube.

Tableau 5 : Tableau de volumes pour des forages type en 4", 6" et 8" d'une profondeur de 35, 45 et 60 m compte non tenu d'un prêtubage.

Diamètre de l'outil en pouces	Profondeur du forage en mètres		
	35	45	60
4	1,14	1,46	1,95
6	2,55	3,28	4,38
8	4,54	5,84	7,78
Volume du forage en mètres cube			

7-2-Dimension des fosses pour un forage peu profond($\leq 30\text{m}$)

Dans des terrains non consolidés, on peut organiser les fosses comme suit; une fosse de décantation, une fosse de pompage et des canaux.



- Le premier canal de 2 m de longueur et de section de $0,2 \times 0,2$ m est creusé à partir de l'emplacement du trou de forage, il se jette dans une 1^{ère} fosse de décantation de $0,2 \text{ m}^3$ soit $(0,6 * 0,6 * 0,6)$,
- Le second canal de $0,2 \times 0,2$ m, doit être décalé de l'axe du premier afin de former une chicane qui ralentit le flux et favorise la décantation,
- La seconde fosse de pompage est une réserve où est pompée la boue pour être injecter dans le train de tige, de volume de 1 m^3 ,
- Les fosses et les canaux sont régulièrement curés et nettoyés des sédiments déposés en cours de forage.
- Les fosses à boue constituent une réserve de fluide de forage, et permettent son recyclage par décantation.

7-3-dimension des fosses pour un forage de plus de 30 m de profondeur:

- Une méthode approximative de dimensionnement est avancée par E. Drouart et J.M. Vouillamoz : [1.2.1 DIT3 Conception et réalisation de forages.pdf](#)

$$l = \sqrt[3]{V * \frac{2}{60,4}}$$

Où l est la largeur en décimètre, et V le volume du forage en litres

Le volume de la fosse de décantation égal à:

Largeur=l

Longueur=2,5*l

Profondeur=0,85*l

Le volume de la fosse de pompage égale à:

Largeur=l

Longueur=1025*l

Profondeur=0,85*l

- Une autre méthode pratique où le volume total des fosses = 3.volume du forage.

<https://www.scribd.com/document/76866779/Acf-Le-Forage-2004>

Le volume de la fosse de décantation égal à: 1 gallon=3,785411784 litre

largeur (m) = racine cubique (volume du forage en gallon*2/(2,125*7,5))

longueur (m) = 2,5*largeur

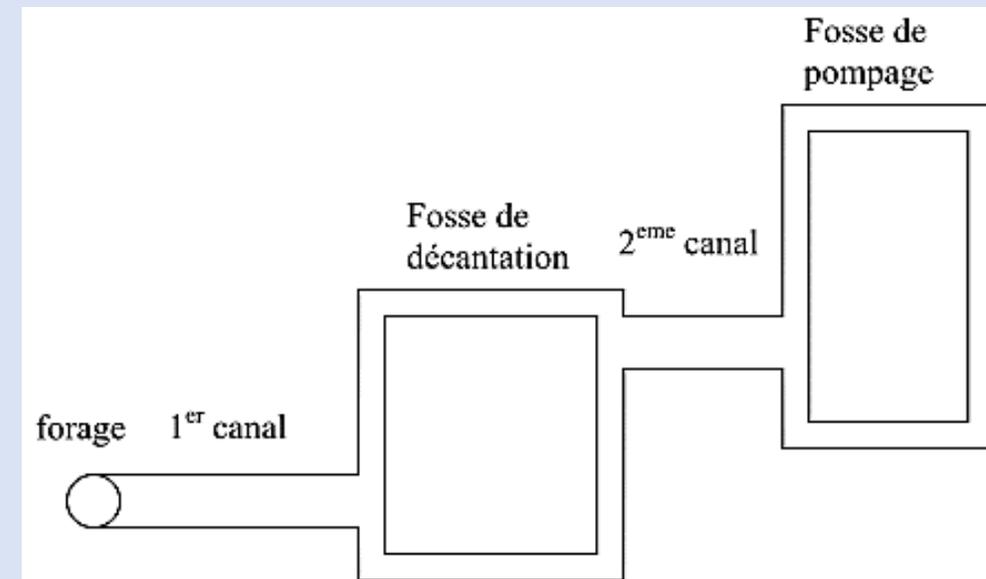
profondeur (m) = 0,85*largeur

Le volume de la fosse de pompage égale à:

largeur = idem à celle de la fosse de décantation

longueur = 1,25* largeur

profondeur = 0,85*largeur.



8-Préparation de la boue de forage :

Dans les terrains argileux, on utilise de l'eau qui se chargera peu à peu en argile au fur et à mesure du forage sinon on utilise le mélange de boue qu'on peut alléger ou épaissir selon nos besoins; il est possible d'utiliser deux produits:

- **La polycol:** un produit polymère très répandu en forage rotary, qu'il faut doser entre 2,5 et 5 kg par m³ d'eau. Il existe plusieurs types de polycol avec des caractéristiques différentes en fonction des contextes où l'on fore (milieu salin, anti-colloïdes, climats, polycol biodégradable etc...).
- **La bentonite:** une argile en poudre qu'il faut doser entre 15 et 30 kg par m³ d'eau, malgré son risque de colmater l'aquifère, son avantage est très important dans les terrains très perméables (graviers, sables, etc..) où les risques d'effondrements sont importants.

Pour s'assurer de l'homogénéité de la polycol ou la bentonite avec l'eau on doit saupoudrer sur le jet d'eau pendant le remplissage de la fosse. Un mélangeur à l'aide de quelques fitting peut être fabriqué : il s'agit de faire un venturi que l'on branche au refoulement du by pass. La boue est mise en circulation de fosse à fosse pour qu'elle reste homogène avant le démarrage effectif du forage. Figure 15.

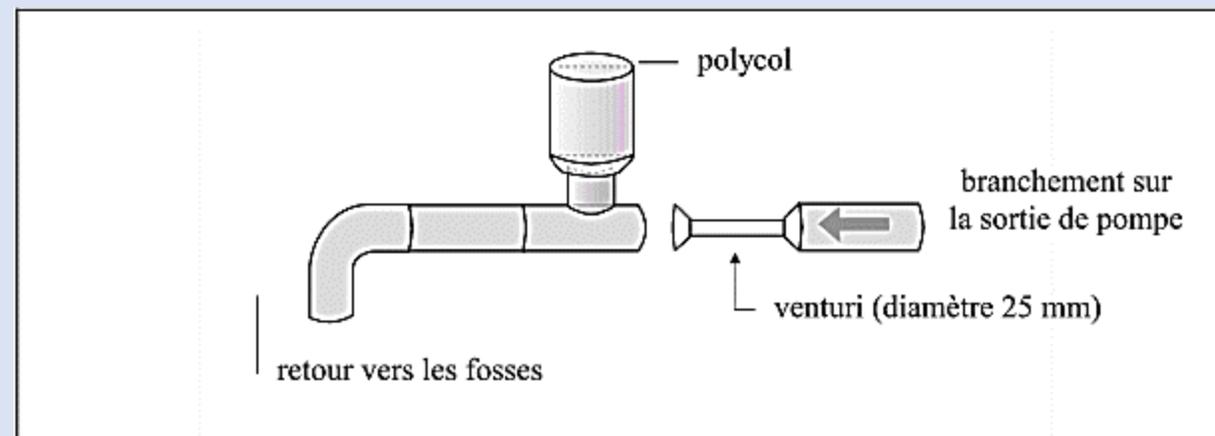


Figure 15: mélangeur venturi fabriqué avec des fitting PVC

9-Prélèvement des échantillons :

S'il s'agit de forage au rotary, ces échantillons contiennent une forte portion de la boue de circulation à leur passage dans le tamis, ils sont lavés, séchés et analysés pour l'établissement de la courbe granulométrique qui définit les caractéristiques des crépines et du gravier additionnel et qui permet la mise à jour des terrains traversés par l'établissement d'un log lithostratigraphique.

Si par contre la technique est MFT, l'évacuation des cuttings et de l'eau (soufflage de l'air comprimé) sera canalisée pour permettre un échantillonnage.

Si le forage est au battage, il procure un échantillonnage nettement plus représentatif de la formation mais nécessite des interruptions de l'avancement, la sortie du trépan et l'extraction à la cuillère du sol de fond, tandis qu'au rotary et au MFT, ces interruptions ne sont pas nécessaires.

Généralement : on prend un échantillon dès que l'on rencontre une formation aquifère, et à chaque fois qu'il y a un changement de formation. Autrement, on prend un échantillon tous les deux mètres ou chaque mètre foré.

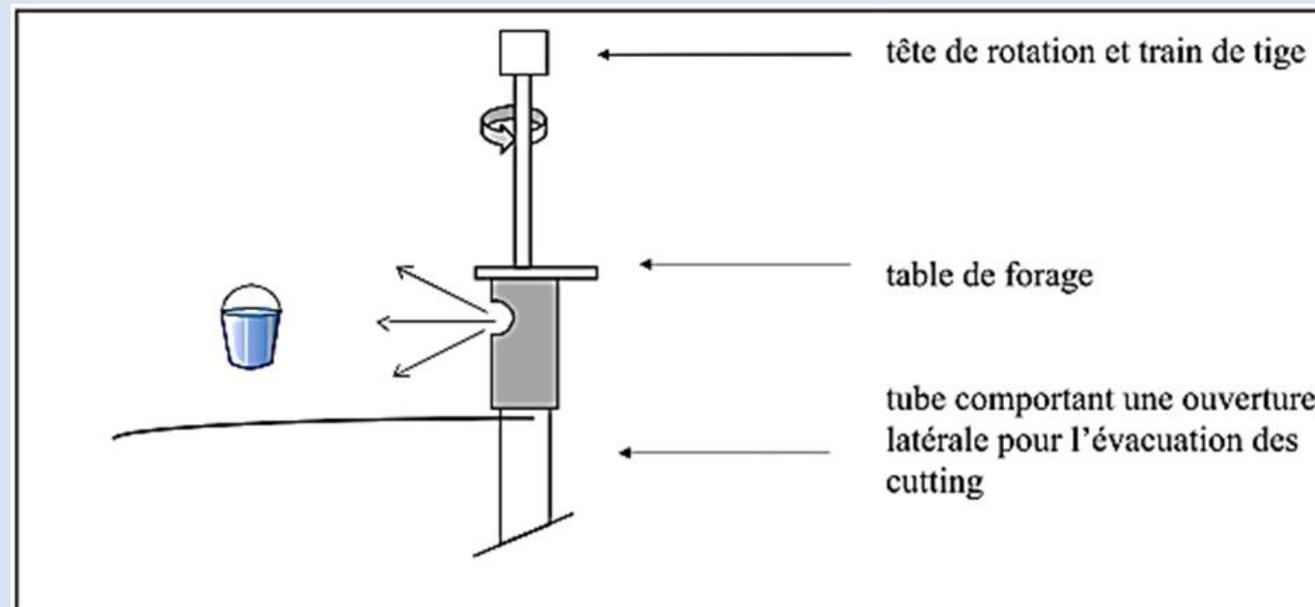


Figure 14: évacuation des cutting