

1 : Les paramètres de la foration

Les paramètres qui contrôlent l'avancement du forage sont spécifiques à la technique utilisée (rotary ou MFT) : rotation et poussée sur l'outil, vitesse ascensionnelle et pression du fluide (boue ou air). Ils s'influencent de manière différente en technique rotary ou marteau fond de trou sur l'avancement. Le contrôle de ces paramètres est essentiel pour travailler dans de bonnes conditions : avancement, évacuation régulière des cuttings, stabilisation des parois.

En forage Rotary, pour une vitesse de rotation donnée le paramètre essentiel d'avancement d'un forage est le poids appliqué sur l'outil. La vitesse de rotation est la plus régulière possible et en fonction du diamètre de l'outil d'une part et de la nature des terrains d'autre part. En règle générale la vitesse de rotation doit être plus lente pour les terrains durs.

En forage MFT, la poussée n'est plus le facteur déterminant mais la percussion du taillant sur la roche donnée par la pression de l'air comprimé injectée dans le marteau. Toutefois, un défaut de poussée peut induire des frappes à vides qui sont très néfastes pour le matériel (marteau et tête de forage). Une poussée trop forte endommage les boutons du taillant. En pratique, avec l'expérience la poussée est réglée à l'oreille (son de la frappe lourde = marteau travaillant correctement) de façon à obtenir une vitesse de rotation régulière et à éviter les vibrations excessives du bâti de la machine.

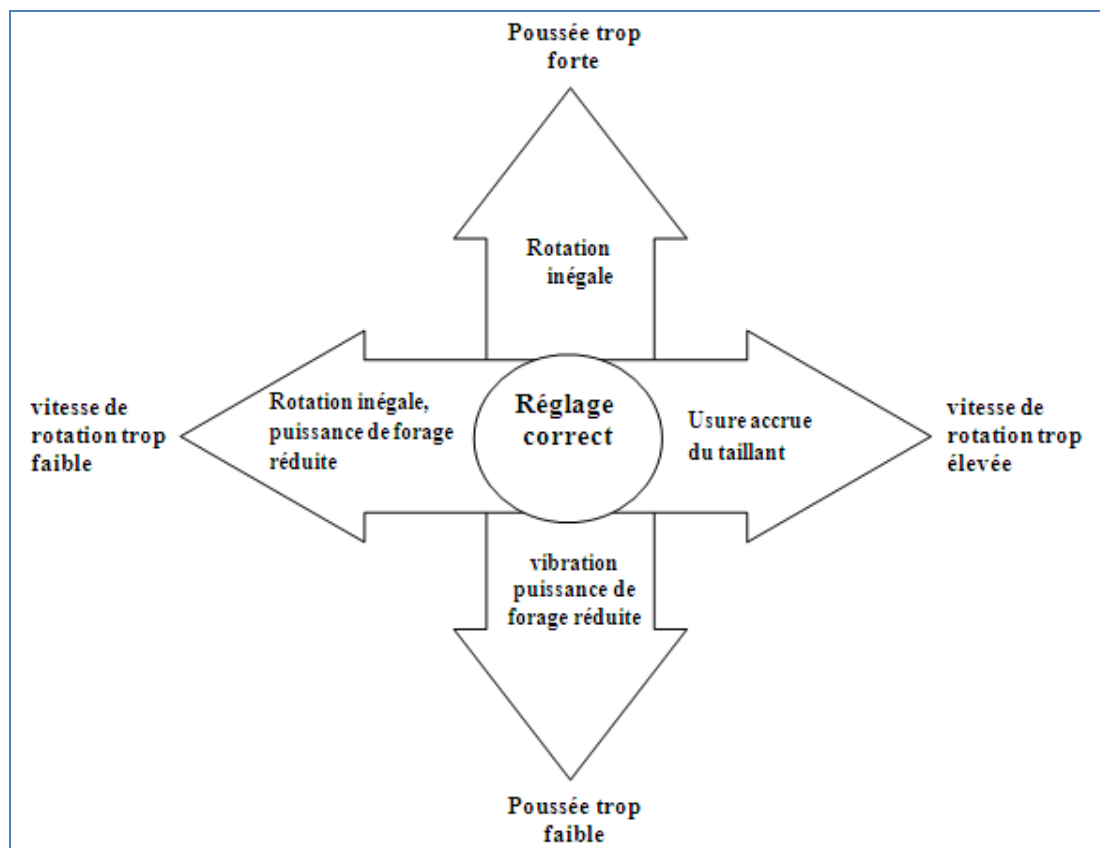


Schéma de principe- réglage de la poussée/rotation

Calcul de la poussée et de la vitesse de rotation en rotary et MFT

•**Poussée sur l'outils** : Pour un Rotary, la poussée théorique minimum sur un tricône est de l'ordre de 450 kg par pouce du diamètre de l'outils et de 225 kg pour un trilame. Soit pour un trilame de 6'' (150 mm), une poussée minimum de 1350 kg et de 2700 kg pour un tricône de même taille. Pour un marteau fond de trou, la poussée usuelle est de 100 à 200 kg par pouce d'outils en général. Soit pour un taillant de 6'' (150 mm) une poussée comprise entre 600 et 1200 kg.

•**Vitesse de rotation** : La vitesse que nous calculons, c'est la vitesse d'un point situé sur la périphérie de l'outil (vitesse tangentielle), c'est à dire le temps que met ce point à parcourir une certaine distance.

Pour calculer le nombre de tours par minute la formule est la suivante:

$$\text{Distance par minute} / (\pi \times d) = \text{rotation par minutes (tours/mn)}$$

, avec $\pi = 3,14$ et d = diamètre de l'outil en mètres

En forage rotary, la vitesse tangentielle minimum doit être de 60 mètres par minutes et de 10 mètres par minute pour le Marteau Fond de Trou soit pour un outil de 150 mm:

- en rotary, 127 tours/minutes
- au MFT, 21 tours/minutes

•**Couple** : Pour un forage Rotary et MFT, le couple minimum conseillé est de 2000 N-m (Newton metre) par pouce de diamètre d'outil utilisé. Un coefficient de sécurité de 1,33 est appliqué. Soit pour un outil de 150 mm (6'') un couple de 16 kN-mètre.

2 : La boue de forage au forage rotary

La boue joue un rôle essentiel dans la mise en œuvre du forage : remontée des cutting, stabilisation des parois, lubrification de l'outil. Les caractéristiques intrinsèques de cette boue (densité, viscosité) sont contrôlées régulièrement et modifiées si besoin (allègement ou épaississement de la boue par exemple) en cours de forage :

- La densité de la boue, influe sur la remontée des cutting et la stabilisation des parois. Une boue lourde a une meilleure portance et les cutting flotteront mieux.
- La température de la boue permet de refroidir l'outil de forage
- La viscosité influe sur la lubrification de l'outil
- Les paramètres hydrodynamiques de ce fluide (débit, pression) jouent aussi un rôle fondamental. Le débit de la pompe influe sur la vitesse de circulation de la boue (vitesse ascensionnelle) et directement sur la remontée des cutting. En effet pour que ces cutting remontent dans l'espace annulaire il s'agit de conserver une vitesse minimale adaptée à la densité du fluide. A débit constant la vitesse du fluide (m/s) diminue si l'espace annulaire augmente.
- La pression de la boue permet de faire face aux pertes de charges dans le train de tige car le circuit est équilibré (circuit en U ouvert à l'air libre) et donc aucune pression n'est nécessaire théoriquement pour assurer la remontée de la boue. Une forte pression est néanmoins très utile en cas de bouchon dans l'espace annulaire.

Calcul de la vitesse ascensionnelle du fluide

Pour calculer la vitesse annulaire (cas de l'eau, densité 1), il suffit de prendre le débit de la pompe divisé par la section de l'espace. Soit pour une pompe débitant 19 l/s, un trou de 150 mm et des tiges de 76 mm:

$$Q / (\pi \cdot d^2/4 - \pi \cdot D^2/4) = V \text{ (m/s)}$$

$$0,019 / (3,14 \times 0,150^2/4 - 3,14 \times 0,076^2/4) = 1,4 \text{ m/s.}$$

Raymond Bowles dans son manuel définit les vitesses annulaires minimales requises en fonction de la nature du fluide : 0,6 m/s pour de l'eau, 0,35 m/s pour une boue de forage (eau + bentonite), et de 15 m/s pour de l'air pure (sans mousse).

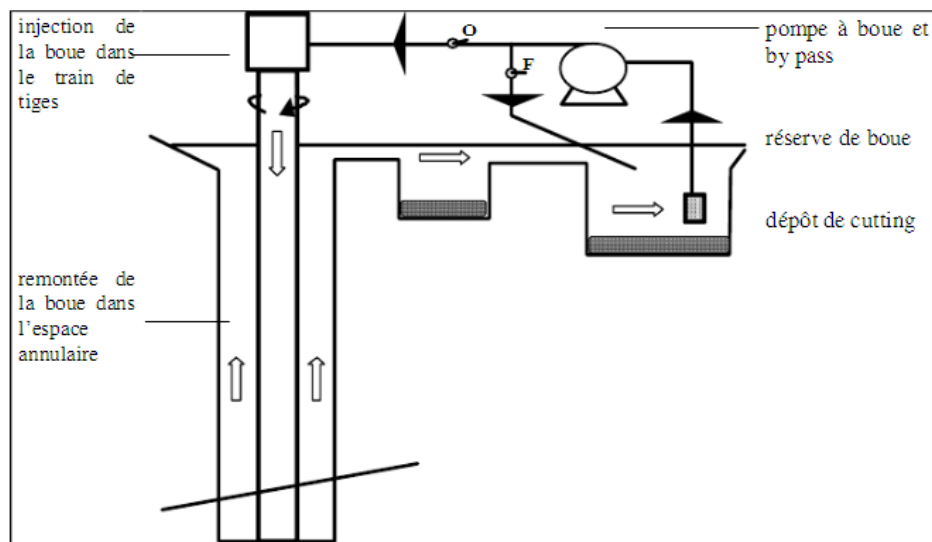
Il définit aussi des vitesses maximales à ne pas dépasser qui sont de 1,5 m/s pour de l'eau et de 25 m/s pour de l'air. Au delà, des phénomènes d'érosion des parois du forage risquent d'apparaître, au risque de perdre le forage.

Résumé des paramètres de forage.

Paramètres de forage	Valeurs guides	
	Rotary	MFT
Poussée sur l'outil trilame tricône taillant	par pouce de ϕ d'outil 225 kg min. 450 kg min.	100-200 kg
Rotation (en rotation/minute)	10-150 rpm	25-50 rpm
Couple	2000 N-m par pouce de ϕ d'outil coefficient de 1,33 en plus à appliquer	
Vitesse du fluide min. max.	boue de forage 0,35 m/s 1,5 m/s	air (pure) 15 m/s 25 m/s
Pression du fluide (en bars) min. pour un forage de 4'' max.	boue 1 bar fonction du ϕ	air 12 bars fonction du ϕ

3 : La préparation des fosses à boue

Les fosses à boue constituent une réserve de fluide de forage, et permettent le recyclage de la boue par décantation. Pour des forages peu profonds (20/30 mètres) dans des terrains non consolidés, les dimensions suivantes peuvent être utilisées. Un premier canal de 2 mètres de longueur et de 0.20 x 0.20 m. de section est creusé à partir de l'emplacement choisi pour le forage. Il se jette dans la première fosse. Il doit être assez long pour que la fosse soit en dehors du trottoir du futur point d'eau pour éviter un tassement différentiel sous la dalle. La première fosse (fosse de décantation) facilite la sédimentation amorcée dans le canal. Son volume est de 0.20 m³. (0.60 x 0.60 x 0.60 m). Le second canal doit être décalé de l'axe du premier afin de former une chicane qui ralentit le flux et favorise la décantation. La seconde fosse (fosse de pompage) est une réserve où est pompée la boue pour être injectée dans le train de tige. Son volume est environ de 1 m³. Les fosses et canaux sont régulièrement curés et nettoyés des sédiments déposés en cours de forage.



Circulation de la boue

Dimensionnement des fosses

Le dimensionnement des fosses à boue se fait en fonction de la profondeur du forage à réaliser : idéalement, le volume total des fosses doit être égal à 3 fois le volume du forage avec :

- le volume de la fosse de décantation égal à:

Largeur = racine cubique (volume du forage en gallon x 2/ (2.125 x 7.5))

Longueur = 2.5 x largeur.

Profondeur = 0.85 x largeur.

- et celle de la fosse de pompage égale à:

Largeur = idem à celle de la fosse de décantation

Longueur = 1.25 x largeur. **Profondeur** = 0.85 x largeur.

4: Résistance des tubes à l'écrasement

Dans le domaine du forage d'eau, la principale caractéristique mécanique à considérer pour un tubage est la résistance à l'écrasement. Elle est parfois donnée par les fournisseurs sinon il faut la calculer. Le calcul des contraintes exercées sur un tubage mis en place dans un forage est beaucoup plus approximatif.

La formule simplifiée pour calculer la résistance du tube à l'écrasement est sous la forme:

$$Re = K.E.(e/D)^3$$

- Re = Résistance en bars
- K = coefficient sans unité, pour le PVC K=2,43 (Tubafor) et pour les aciers K=2,2
- E = Module d'élasticité du matériau à 20° en bar, pour le PVC 3.10^4 et les aciers 2.10^6
- e = épaisseur du tube
- D = diamètre extérieur

Pour les tubes crépinés, il faut multiplier les valeurs calculées par ces formules par le coefficient **(1-F)** avec F = pourcentage des vides. Pour les cas particuliers, il faut se référer au fournisseur (crépines Johnson etc..).

Le calcul des contraintes, c'est à dire *la pression latérale* exercée sur le tubage est estimée généralement par:

- *le poids spécifique des terrains*, avec une composante horizontale du tenseur des forces égale à la moitié de la composante verticale qui est égale au poids des terrains meubles, secs ou saturés (poids spécifique de 2 à 2,5). On considère alors que les terrains durs n'exercent pas de pression latérale.
- *la pression due à la présence d'eau ou de boue* dans le forage (la pression hydrostatique en bar est égale à $P = H d/10$).

Par exemple, si le niveau statique est proche du sol, et les formations meubles la contrainte horizontale serait alors de 20 bars pour 100 mètres de profondeur (poids des sols divisé par 2 + 10 bars de pression hydrostatique).

Mais compte tenu de la faible section des forages, l'équilibre des parois est difficile à étudier car il faudrait faire intervenir l'effet de voûte. **En règle pratique**, seul la pression hydrostatique statique et dynamique sera prise en compte : laitier de ciment, descente de tubage fermée, fort rabattement au développement.

Pour *les forages à faible profondeur* dans les *terrains durs du socle*, l'expérience montre qu'il suffit de considérer une contrainte horizontale de 0,75 bars par tranche de 10 mètres. Un tubage de résistance de 7,5 bars peut être mis en place dans un forage de 100 mètres.

5 : Volume du massif filtrant

Le gravier filtre doit être assez uniforme, calibré, propre, rond et siliceux de préférence. Il ne doit pas être calcaire, latéritique ni concassé. Dans la pratique, la granulométrie du gravier filtre est définie par l'ouverture de la crépine : le gravier doit être le plus fin possible sans pour autant passer au travers de la crépine. A titre d'exemple, pour une ouverture de crépine de 0.8 mm, la taille des plus petits graviers doit être de 1 mm et celle des plus gros 3 mm.

Le volume nécessaire de gravier peut être défini théoriquement (volume du trou foré moins volume du tubage) ou de manière empirique, mais est toujours inférieur au volume réel mis en place (trou non rectiligne, cavitation).

La table ci dessous donne les volumes indicatifs en fonction du diamètre.

DIAMETRE DE FORAGE	DIAMETRE DU TUBAGE	VOLUME DE GRAVIER (en litre par mètre linéaire)	
		THEORIQUE (formule empirique)	PREVISIBLE
3"3/4	1"1/2	9.45	16
3"3/4	2"	8.05	15
5"3/4	4"	13.65	20
6"1/2	4"	21	30
6"1/2	4"1/2	17.6	25

Volume du gravier

Calcul du volume du massif de gravier, d'après la formule empirique:

$$V = h \times 0.8 \times (D^2 - d^2)$$

avec :

- V = Volume de gravier, en litres
- h = hauteur du massif de gravier, en mètres
- D = Diamètre du trou, en pouces
- d = diamètre des tubes, en pouces