

VI. INTERPRETATION ET ANALYSE DES DONNEES

- Résultats acquis

Les études antérieures sur le gisement de charbon de la Sakoa ont divisé celui-ci en quatre aires qui sont séparées du Nord au Sud par des rivières. Ces aires sont nommées Mines I, II, III et Extension Sud.

Les anciens forages effectués sur cette zone ont mis en évidence 3 couches intéressantes sur le plan de l'exploitation. Elles sont appelées de bas en haut couche V, couche IV et couche III.

La couche V couvre sporadiquement la couche IV, son épaisseur moyenne est de 1,33 m dans la mine III, 1,75 m dans la mine II et I et 7,67 m dans l'Extension Sud.

La couche IV est à peu près de même épaisseur dans les mines II, I mais épaisse dans l'Extension Sud. Dans la mine III, elle se sépare en couche IV supérieure et couche IV inférieure avec des intercalations de grès.

D'après la coupe géologique établie sur la zone d'étude et le pendage des couches données par les anciens forages, on conclut que, à partir des affleurements, les couches se prolongent vers l'Ouest. Mais le pendage général fait qu'elles se trouvent à des profondeurs de plus en plus élevées dans cette direction Ouest.

Il est évident que l'on ne rencontre plus de charbon à l'Est des affleurements.

- Problématique

Les résultats ci-dessus concernent uniquement la zone immédiatement juxtaposée aux affleurements, c'est à dire à l'Est de la rivière Sakoa. La réserve totale de charbon est estimée à 33,92 Mt dans cette zone appelée Grande Mine. Il semble que cette réserve soit insuffisante si l'on envisage dans l'avenir, des projets d'exploitation plus importants que ceux que l'on a l'habitude de discuter à présent.

C'est pourquoi nous pensons qu'il serait mieux d'étendre l'étude dans la zone située à l'Ouest de la rivière Sakoa, que nous appellerons désormais Extension Ouest.

- Recommandation

Notre recommandation pour la prospection de cette extension vers l'Ouest porte sur l'implantation de nouveaux points de forage et l'établissement d'un programme de campagne d'exécution.

CHAPITRE III : GENERALITES SUR LE FORAGE

I. DEFINITIONS, PROCEDES, ROLES

I.1. Définitions

Le forage désigne l'ensemble des travaux de réalisation dans le sous-sol d'un trou autant que possible rond et rectiligne.

Le forage peut être d'exploration s'il est destiné pour la recherche de gisement ou de développement pour la mise en production de gisement.

Par extension, le forage peut également désigner la construction minière généralement de forme cylindrique, de diamètre négligeable par rapport à la longueur qui résulte des travaux explicités auparavant. [10]

I.2. Procédés de forage

Les divers procédés de forage sont classifiés selon deux critères :

- le premier critère est le mouvement de l'outil de forage qui peut être par battage ou percussion, rotation et combiné ou roto-percussion
- le deuxième critère est le mode d'évacuation des débris qui peut se faire par voie sèche (ou curage) et par voie humide (ou circulation d'un fluide).

Les divers procédés qui résultent de la combinaison de ces critères sont résumés dans le tableau suivant :

Evacuation des débris		
Mouvement de l'outil	Voie humide	Voie sèche
Rotation	- forage rotary - carottage mécanique : ▪ au diamant ▪ aux grenailles - forage avec turbine	tarière
Battage	- battage rapide avec tiges creuses - battage rapide de type pneumatique	- câble ou procédé pennsylvanien - tige pleine ou procédé canadien - Benoto

Tableau7 : Divers procédés de forage

I.2.1. Le forage par battage

Dans ce procédé, un outil massif comparable au ciseau des sculpteurs est fixé au bout d'une tige lourde (masse-tige), elle-même suspendue à un balancier, tombe sous son propre poids, et débite la roche en éclats.

Le balancier est animé par l'action humaine ou animale dans les temps anciens. Il a profité au XIX^e Siècle de l'avènement de la machine à vapeur. Actuellement, il est mu soit par des moteurs électriques, soit par des moteurs à combustion.

Il faut périodiquement débarrasser le fond du trou des déblais. Le puits est alors rempli d'eau et la boue résultant du mélange de l'eau et des débris de roche, est vidée à l'aide d'un outil cylindrique muni d'un fond en forme de clapet, ouvert à la descente et fermé lors de la remontée. [11]

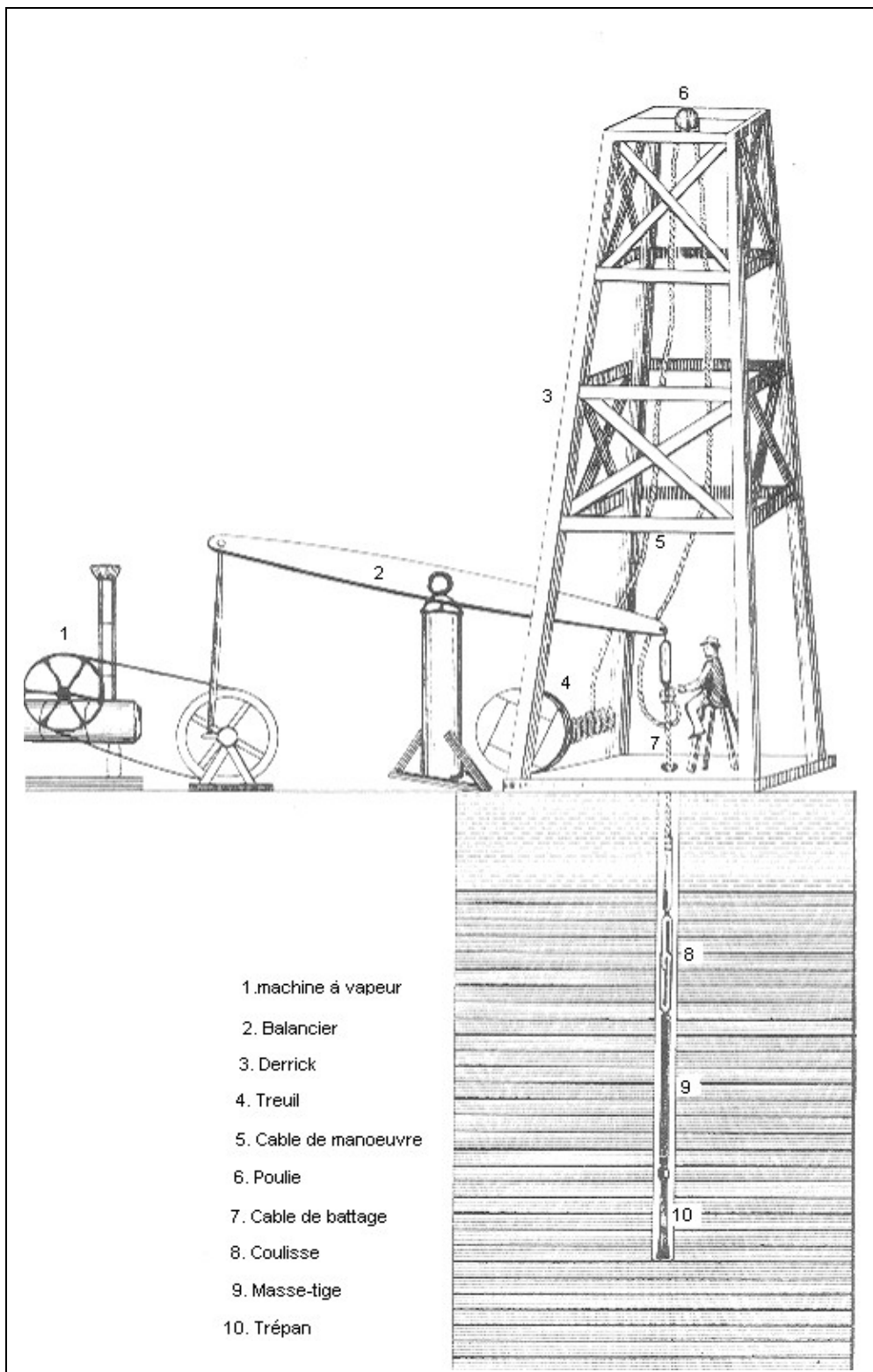


Figure 10 : Le forage par battage

I.2.2. Le forage rotary

C'est au début du XIX^e Siècle que James Antony Lucas démontra l'efficacité du forage rotary par la découverte du champ de Spindlstop au Texas. [11]

Comme nous avons vu sur le tableau mentionnant les différents procédés de forage, le forage rotary est le procédé dans lequel la désagrégation des roches à traverser est réalisée par voie mécanique rotative tandis que l'évacuation des débris de désagrégation est réalisée par voie hydraulique à l'aide d'un fluide circulé dans le trou.

Le trépan utilisé pour la méthode de forage rotary est de type tricône ou trépan monobloc. Sur ce trépan est appliquée une force axiale verticale procurée par un poids et un moment de rotation qui le fait tourner.

Ce sont les masses-tiges qui, vissées au-dessus de l'outil, appuient sur celui-ci. Ces masses tiges, prolongées par des tiges plus légères constituent la garniture de forage.

Celle-ci est mise en rotation par l'intermédiaire de la tige d'entraînement.

La totalité de la garniture de forage est percée en son centre afin de canaliser le fluide de forage dans l'outil.

La tête d'injection couronne la tige d'entraînement et permet la liaison entre la conduite de refoulement des pompes de forage et l'intérieur de la garniture.

Un appareil de levage est nécessaire pour soutenir le poids de la garniture et manœuvrer celle-ci : c'est le rôle du derrick, du crochet de forage et du treuil.

Au cours du forage, le puits est régulièrement tubé. Un premier tube est posé dès que l'outil a foré les terrains de surface et il est scellé dans le trou par du ciment. Le forage est poursuivi ensuite avec un outil dont le diamètre est inférieur au précédent.

Dans la page suivante, nous donnons la figure qui illustre le forage rotary (figure 11).

I.2.3. La tarière et le Benoto

La tarière est utilisée uniquement pour le sondage de reconnaissance. Son domaine d'application est très restreint étant limité aux terrains tendres et meubles.

Le Benoto est un appareil qui fonctionne en creusant comme une bêche, et en remontant vers la surface des morceaux de terrain.

I.2.4. Les autres procédés

Les autres procédés comme les turbines et le battage très rapide sont encore peu répandus et sont probablement appelés à se développer largement après mise au point.

Le carottage mécanique est utilisé pour obtenir des carottes sous l'action de l'outil sur la roche traversée. Il donne des renseignements plus précis sur les roches traversées.

Parmi ces différents procédés, le plus répandu est le forage rotary, puisqu'il permet de traverser n'importe quel type de roches, avec une vitesse acceptable.

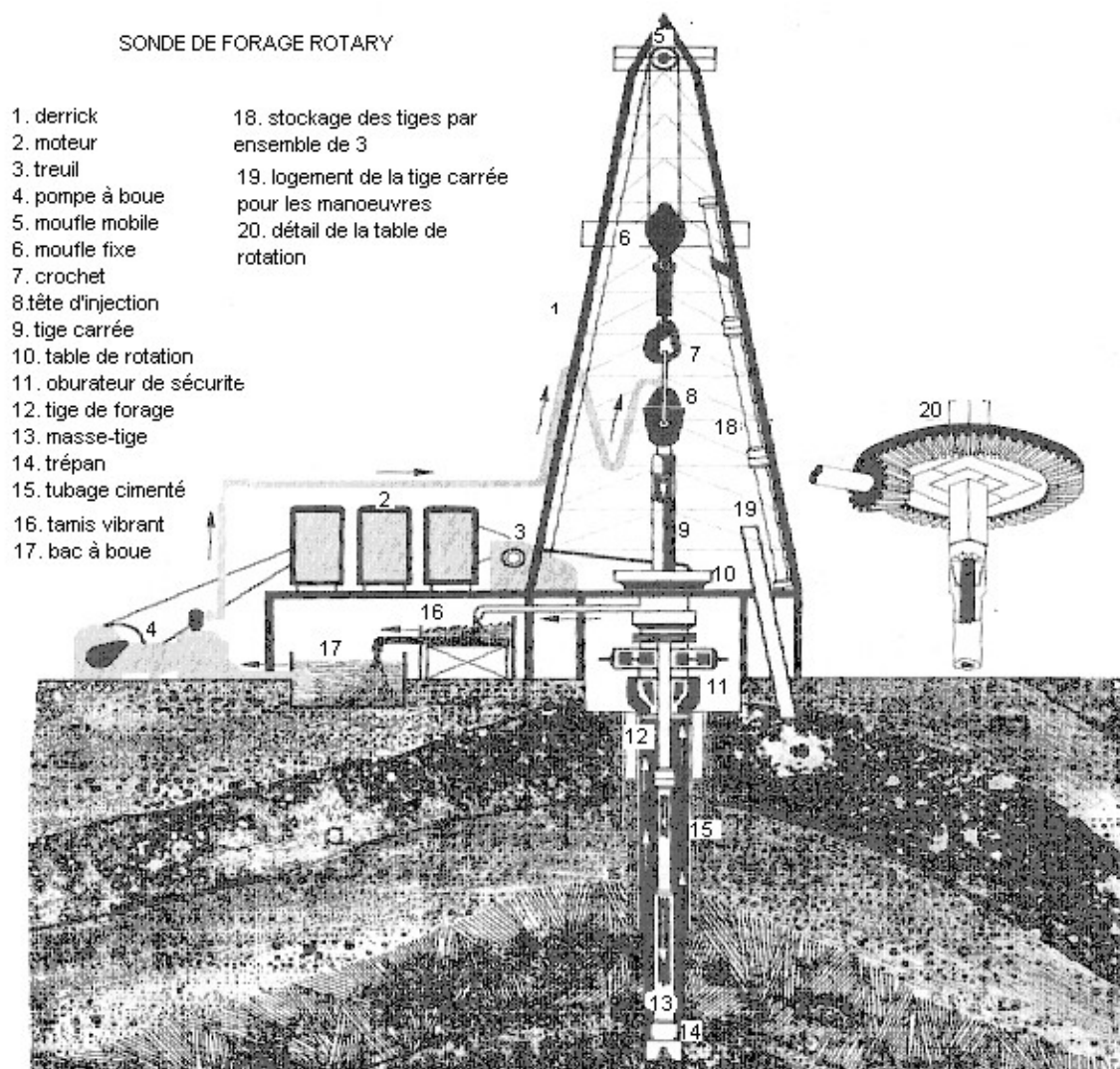


Figure 11 : Le forage rotary

I.3. Rôles du forage

Plusieurs secteurs industriels font appel aux travaux de forage. Le plus souvent, les ingénieurs les utilisent pour l'exploration et l'exploitation du sous-sol ainsi que les études géotechniques. Les principales applications sont les suivantes :

- la recherche et l'exploitation du pétrole
- l'établissement des fondations des bâtiments et des complexes agro-industriels,
- les études géotechniques des axes routiers, sites portuaires, sites de barrage, pieux des ponts, centrales hydroélectriques
- la prospection et l'exploitation minière [9]

II. APPAREILS DE FORAGE

Ce sont des ensembles de machines, outillages et accessoires qui servent à la réalisation des travaux de forage.

Généralement, les appareils de forage comprennent les systèmes fonctionnels suivants :

- Le train de sonde,
- Le système de levage,
- Le système de rotation,
- Le système de circulation

II.1. Le train de sonde

Le train de sonde est l'ensemble des pièces qui assurent au cours du forage, la liaison permanente entre l'appareil de forage qui est monté en surface et l'outil de forage qui travaille au fond du trou.

Cette liaison assure l'application du poids sur l'outil, la transmission du moment de dislocation et l'injection de la boue au fond du trou.

Le train de sonde est composé de bas en haut, des principaux éléments ci-dessous :

- l'outil de forage,
- les masses-tiges,
- les tiges de forage,
- la tige d'entraînement [10]

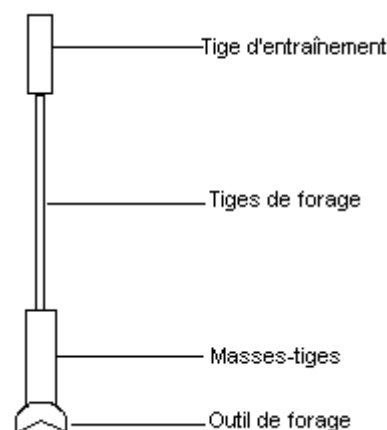


Figure 12 : Schéma simplifié d'un train de sonde

II.2. Le système de levage

Le système de levage est l'ensemble des machines, outillages et accessoires qui servent à la manipulation des différentes charges résultant notamment de la descente ou de la remontée du train de sonde, du contrôle du poids sur l'outil, du dégagement du train de sonde coincé, de la descente du tubage...etc.)

II.3. Le système de rotation

Le système de rotation est le système fonctionnel qui fournit le moment de dislocation, c'est-à-dire la composante rotative de la force de désagrégation mécanique qui permet de briser les roches à forer.

II.4. Le système de circulation

C'est l'ensemble des machines et outillages qui servent à circuler le fluide de forage. La circulation vise la réalisation des principaux objectifs suivants :

- Nettoyer le trou des débris de dislocation afin que l'outil de forage puisse travailler en permanence sur un fond d'attaque vierge.
- Eviter l'accumulation des débris dans le trou, sinon le train de tiges peut se coincer.
- Fournir des échantillons de roches à soumettre à des analyses géochimiques en vue de l'établissement du profil lithologique des roches traversées.

III. OBJECTIF ET PARAMETRES DE FORAGE

III.1. Objectif

Le principal objectif du forage est celui d'exécuter le travail le plus vite possible et avec les moyens les plus économiques.

Pour atteindre cet objectif, il faut bien maîtriser les paramètres qui influent sur la vitesse d'avancement du trépan et sur son travail au fond du trou. [12]

III.2. Paramètres

On appelle paramètres de forage, les différents facteurs qui conditionnent la vitesse d'approfondissement d'un forage.

On les classe aux deux catégories suivantes:

- les paramètres mécaniques qui englobent le type et la forme de l'outil, le poids sur l'outil et la vitesse de rotation du train de tiges
- les paramètres hydrauliques qui sont la nature et les caractéristiques du fluide de forage, le débit et la pression d'injection

III.2.1. Les paramètres mécaniques

- Le choix de l'outil de forage dépend de la variété de dureté des formations à traverser. Il est aisé de comprendre que la performance d'un outil dépend de son adaptation aux roches pour lesquelles il est destiné. Un outil inadéquat s'use très rapidement et ne réalise qu'un métrage très court.
- Le poids sur l'outil et la vitesse de rotation conditionnent la vitesse d'avancement des forages. Mais on ne peut augmenter indéfiniment et simultanément ces deux paramètres sans provoquer un travail extrêmement dur pour le train de sonde et l'outil de forage. En règle générale, les considérations ci-dessous doivent être tenues en compte :
 - La vitesse d'avancement du forage augmente avec le poids appliqué sur l'outil si la vitesse de rotation est constante.
Cette augmentation varie à peu près en proportion directe avec le poids sur l'outil si le nettoyage de l'outil par la boue est suffisant ;
La règle de base sur le poids sur l'outil est d'une tonne par pouce de diamètre d'outil dans les terrains tendres et trois tonnes dans les terrains durs. [11]
 - La vitesse de pénétration croît en proportion directe avec la vitesse de rotation dans les terrains tendres mais pas dans les terrains durs. Pour ces derniers, il existe une vitesse optimale au-delà de laquelle, la vitesse d'avancement reste constante : cette vitesse maximale de rotation décroît à mesure que la dureté de la formation augmente. Et la vitesse optimale de rotation décroît quand on augmente le poids sur l'outil.

III.2.2. Les paramètres hydrauliques

- La nature et les caractéristiques du fluide de forage influent sur la vitesse d'avancement du trépan
 - Des essais en laboratoires ont confirmé que l'augmentation de la densité ralentit l'avancement. En effet, on conçoit que la dislocation de la roche est plus difficile lorsque la pression hydrostatique agissant sur elle augmente. Or la pression hydrostatique est proportionnelle à la densité.
 - Pour la viscosité, plus un liquide est visqueux, plus il a des difficultés à pénétrer dans les porosités ou les petites fractures produites par l'outil. L'augmentation de la viscosité réduit alors la vitesse d'avancement du trépan.
 - Comme l'huile peut couler facilement, le pourcentage d'huile fait augmenter la vitesse d'avancement du forage. De plus, la lubrification par l'huile prolonge la durée de vie des roulements de l'outil
- L'influence du débit et de la pression d'injection se traduit par les suivantes
 - Pour un débit donné, si on augmente progressivement le poids sur l'outil, il peut arriver un moment où l'avancement ne croît plus proportionnellement au poids et peut même diminuer si on continue à augmenter le poids.

- Les jets sont la forme de sortie de la boue de forage par les orifices appelés duses et dont est muni le trépan. Les jets de boue ont pour rôle de débarrasser le fond du puits des débris de désagrégation et d'induire une turbulence suffisante pour laver la denture de l'outil.
On considère que la vitesse minimale doit être de l'ordre de 80 m/s, la fourchette étant généralement de 80 à 150 m /s.

IV. PROGRAMME DE CONSTRUCTION DES PUITES

Ce que l'on entend généralement par programme de construction d'un puits, c'est la détermination des différentes dimensions géométriques du puits en terme de profondeurs et de diamètres des sections. Pour le cas général d'un forage pétrolier, le puits comporte au moins quatre types de section, à savoir :

- une section guide tout au début,
- une section de surface ensuite,
- une ou plusieurs sections techniques,
- une section de production à la fin

IV.1. Les profondeurs

Les profondeurs jusqu'où vont les sections dépendent des conditions géologiques rencontrées. En règle générale, pour les puits profonds :

- la section guide va jusqu'à la dizaine ou rarement la centaine de mètres
- la section de surface suivante dépasse rarement le millier de mètres
- les sections techniques ont des profondeurs variables, selon les difficultés rencontrées
- la section de production va jusqu'à l'objectif final

IV.2. Les diamètres

On conçoit très facilement que les diamètres de forage diminuent progressivement d'une section à la suivante. En effet, chaque section est tubée et cimentée une fois forée. Et pour forer la section suivante, le trépan doit pouvoir passer à l'intérieur du tubage de la section terminée, donc être de diamètre inférieur.

Cette logique aboutit à un puits d'aspect télescopique avec les sections supérieures forées au plus grand diamètre que les sections inférieures.

Les diamètres de forage, de tubage et de trépan sont alors déterminés de façon très rigoureuse. Ce qui importe le plus, c'est de respecter les marges de cimentation et les marges de passage.

- pour une section donnée, la marge de cimentation est l'espace nécessaire entre les parois de la section et les parois externes de son tubage, pour que la cimentation ultérieure du tubage se fasse dans la limite acceptable, en égard aux pertes de charge résultant du pompage des différents fluides présents.
- la marge de passage est l'espace nécessaire entre le diamètre intérieur d'un tubage en place, et le diamètre du trépan nécessaire au forage de la section suivante et ce, afin que le trépan puisse passer librement à l'intérieur du tubage.

CHAPITRE IV: LE FORAGE MINIER

Le forage minier est une technologie spéciale de forage. On comprend facilement la simplicité du forage minier par rapport à celui pétrolier compte tenu de la profondeur, de la construction du puits et du tubage.

I. SPECIFICITES DU FORAGE MINIER

I.1. La profondeur

La profondeur d'un forage minier est minime par rapport à celle d'un forage pétrolier. Ce dernier peut atteindre jusqu'à 3000 m et plus alors qu'en forage minier, la profondeur dépasse rarement le millier de mètres.

En d'autre terme, le forage minier est un forage peu profond.

I.2. La construction du puits

Au contraire du forage pétrolier exposé dans le chapitre précédent, le forage minier a également la spécificité d'être de construction très simple. D'habitude, il ne comporte que deux sections :

- un avant-trou qui correspond à la couverture stérile et qui est foré en destructif. Cette section s'appelle section de surface
- une seconde section qui se rapporte aux couches minéralisées sous-jacentes. Celles-ci sont généralement carottées en continu. Cette section s'appelle section technique.

I.3. Le tubage

En ce qui concerne le programme de tubage, seule la section de surface est tubée. Il n'est pas toujours nécessaire de tuber la section technique. Le tubage de la section de surface est destiné à éviter l'éboulement des parois au niveau des formations superficielles instables. Mais il n'y a pas lieu de cimenter le tubage, afin de pouvoir l'utiliser dans d'autres puits.

II. LES ROLES DU FORAGE DANS LA PROSPECTION MINIERE

Au stade actuel de la technique, les travaux géologiques et géophysiques ne peuvent apporter que des probabilités. Seul le forage peut apporter des informations précises, étant donné qu'il touche directement l'objectif visé.

En particulier, le forage permet de réaliser les objectifs ci- dessous:

- Déterminer l'épaisseur des différentes couches stériles et minéralisées
- Etablir la stratigraphie et la lithologie du terrain prospecté
- Déterminer le pendage et le plongement des couches
- Déterminer la dureté et la porosité des roches
- Obtenir des échantillons à soumettre à des analyses géochimiques