

ETUDE PRELIMINAIRE FORAGE DE DECOMPRESSION VJPB1



Table des matières

1-DESCRIPTION DU PROJET	3
1.1 Objectif de l'ouvrage	3
1.2 Implantation du forage.....	4
1.3 Schéma des galeries	5
1.4 Contexte géologique	5
2- ARCHITECTURE DU PUIITS.....	6
2.1 Choix 1.....	6
2.2 Choix 2.....	7
3- FORAGE EN EXPLOITATION	9
3.1 Sécurisation du site	9
3.2 Choix du matériel de mesure et pompage.....	9
3.2.1 Mesure du niveau.....	9
3.2.2 Type de pompe.....	9
4- CONCEPTION ET REALISATION DE L'OUVRAGE.....	10
4.1 Choix de l'entreprise de forage	10
4.2 Plate-forme.....	11
4.3 Avant-trou de 0 à 40 m.....	11
4.4 Installation du matériel de forage	11
5- FORAGE	11
5.1 Phase de 40 m à 340 m	11
5.1.1 Choix des profils possibles.....	12
5.1.2 Fluide de forage (boue)	15
5.1.3 Diagraphies.....	15
5.1.4 Cuvelage (tubage- casing)	15
5.1.5 Cimentation	16
5.1.6 Attente prise de cimentation (minimum 36 h)	17
5.1.7 BOP (Bloc Obturateur de Puits).....	17
5.2 Phase de 340 m à 540 m	18
5.2.1 Principe de fonctionnement du forage dirigé	18
5.2.2 Forage dirigé 9 ^{7/8} de 340 à 540 m.....	22
5.2.3 Diagraphies.....	22
5.2.4 Cuvelage (tubage -casing)	22
5.2.5 Cimentation.....	22
5.2.6 Attente prise de cimentation	23
5.3 Phase de 540 m à 554 m	23

5.3.1 Forage rotary 6''3/4	23
5.3.2 Diagraphies.....	23
5.3.3 Cuvelage (tubage fibre de verre).....	24
5.3.4 Dispositif d'étanchéité pour mise en œuvre cimentation	24
5.3.5 Cimentation	27
5.3.6 Attente de prise de cimentation	27
5.3.7 Reforage des équipements de cimentation	27
5.3.8 Repli matériel de forage et sécurisation du site.....	28
6- EVACUATIONS BOUES ET CUTTINGS.....	28
7- CHOIX DES MATERIAUX (TUBAGE).....	29
7.1 Phase 0 – 40 m	29
7.2 Phase 0 - 340 m	29
7.3 Phase 0-540 m	30
7.4 Phase 0-554 m	31
8- COUPE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE	32
9- COMPLETION FINALE	33
9.1 Equipement de pompage	33
9.2 Préconisations particulières	34
10- PLANNING PREVISIONNEL.....	35
11- BUDGET	36
12- CONCLUSIONS.....	36
Système de pompage	38
13- ANNEXES	39
13.1 Documentation tube fibre de verre FPI	39
13.2 Gamme de pompe PCM	43
13.3 Gamme de sonde de diagraphies.....	45

Cet ouvrage devra permettre à minima :

- délestage du stockage
- mesure du niveau statique
- prélèvement d'échantillons d'eau pour analyses
- pompage du fluide pour traitement en surface

Pour réaliser ce forage et afin d'éviter le maximum de courbure dans le profil du forage, MDPa acquière un terrain de 50m*50m à l'aplomb de la galerie à atteindre.

1.2 Implantation du forage

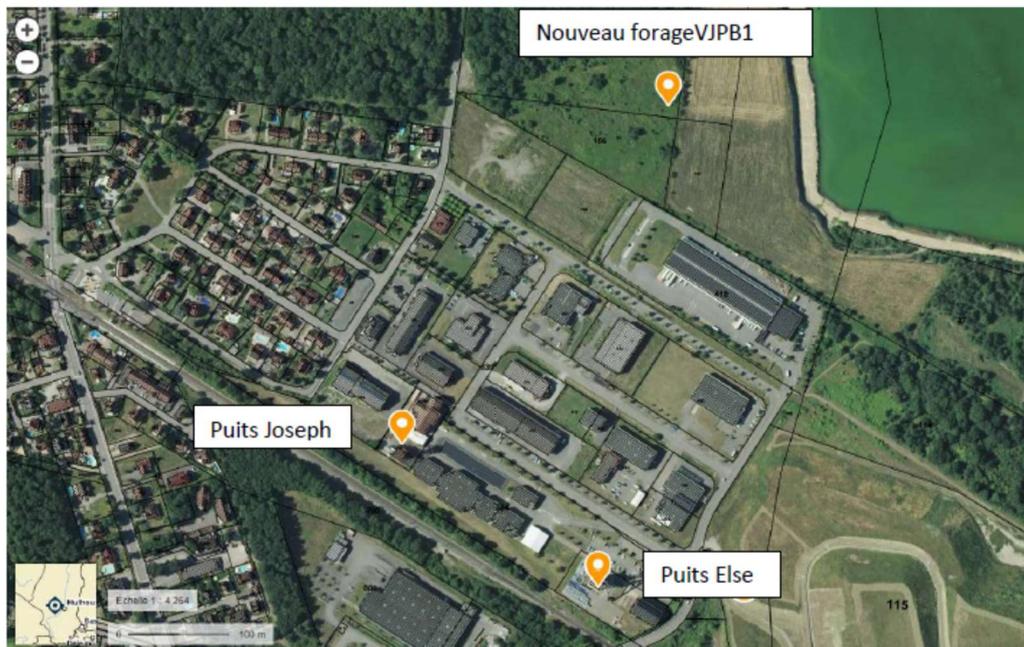
Les coordonnées Lambert 93 en surface sont : X 1016780.9
Y 6750996.6
Z environ 268 m NGF

Les galeries du fond sont géo-référencées par rapport au référentiel IGN de surface. Pour plus de précision, la cible rectangulaire sera levée géométriquement suite à son creusement.

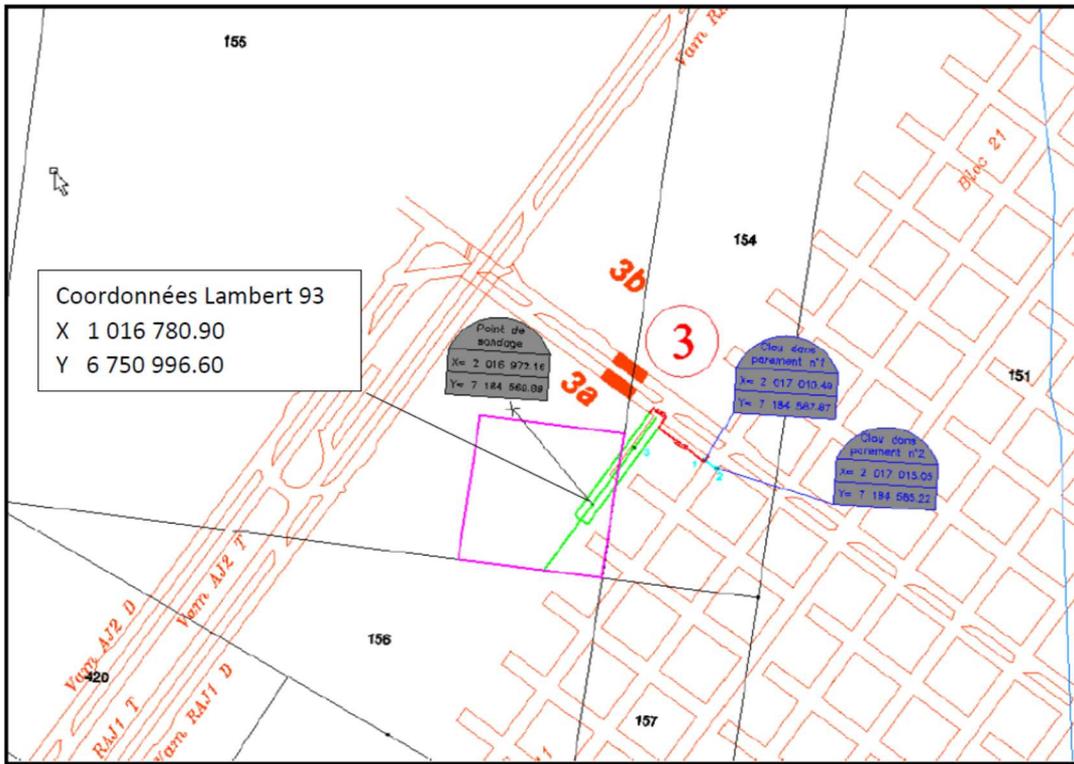
La galerie à atteindre mesure 5 m de large et 20 m de long.

La côte Z du haut de la galerie est à -286 m NGF, soit une profondeur de 554 m à forer.

La côte Z du bas de la galerie est à -289 m soit une galerie de 3 m de hauteur.



1.3 Schéma des galeries



1.4 Contexte géologique

Coupe stratigraphique des terrains du Bassin Potassique

QUATERNAIRE		50 m		Alluvions
TERTIAIRE	CHATTIEN	0 à 550 m		
		STAMPIEN	sup	110 m
	moyen		290 m	couches à meletta
	inf		15 m	c. à amphisiles
			10 m	c. à foraminifères
	SARZOISIEN	Zone salifère sup.	550 m	1 ^{er} sel gemme
		CS		Zone du gisement de potasse
		CI		
		Zone s. moy.		marnes à hydrabies
	Zone s. inf	300 m		
850 m			Grand banc de sel	
EOCENE	50 m			
SECONDAIRE	JURASSIQUE	Calla		
		Oxto	100 m	
	BATHONIEN			
	BAJOCIEN			

Les données du secteur sont bien connues, le puits Joseph relativement proche (450 m) sert de base de données pour créer la coupe technique de l'ouvrage.

Les pendages reconnus sur le puits Joseph sont compris entre 5 à 8° direction N20°W

Afin d'éviter toute contamination de la nappe phréatique lors de la traversée des alluvions de surface, il est conseillé de débiter le forage par la méthode havage avec tubes de soutènements forcés au fur et à mesure sur les premiers 40 m.

En dessous de 340 m, la présence de sel, de gypse et d'anhydrite nécessite de forer avec une boue salée saturée, un ajout de KCL pourra éventuellement avoir lieu à partir de 500 m.

Le suivi géologique ainsi que tous les paramètres de forage (nb tr/mn, poids sur l'outil, poids de l'ensemble de la garniture, débit et pression du fluide de forage, niveaux des bacs ...), sont suivis en continu 24h/24 à partir de 40 m par une société spécialisée "MUD LOGGING".

Cette société a également en charge la mise en place des capteurs CH₄, H₂S ..., les exercices et tests hebdomadaires.

2- ARCHITECTURE DU PUIITS

(Les côtes sont approximatives et seront affinées directement sur chantier en fonction de la géologie et de la longueur utile des tubes)

2.1 Choix 1

De 0 à 40 m Forage par havage en diamètre minimum 600 mm
Tubage 355 mm acier S 355 épaisseur 8 mm
cimentation de l'extrados par canne

De 40 à 340 m Forage rotary $\varnothing 12^{1/4}$ (311 mm) à la boue bentonitique avec inhibiteur pour argiles
Tubage 9^{5/8} (245 mm) acier K55 de 0 à 340 m
Cimentation sous pression avec ciment classe G

De 340 m à 540 m (arrêt entre 10 à 15 m avant le toit de la galerie)
Forage 8 1/2 (215 mm) en rotary à la boue saturée en NACL
Tubage 7" (178 mm) acier K55 de 0 à 540 m
Cimentation sous pression ciment CEM3 spécial sulfures

De 540 m à 555 m (débouchage dans la galerie)
Forage en 6^{1/8} (155 mm) en rotary à la boue
Tubage 4.5" (114 mm) de 0 à 548 m en fibre de verre
Crépine 4.5" (114 mm) perforée ou rainurée de 548 à 555 m avec bouchon de fond

2.2 Choix 2

- De 0 à 40 m Forage par havage en diamètre minimum 600 mm
Tubage 406 mm acier S 355 épaisseur 8 mm
cimentation de l'extrados par canne
- De 40 à 340 m Forage rotary $\varnothing 14^{3/4}$ (375 mm) à la boue bentonitique avec inhibiteur pour argiles
Tubage $10^{3/4}$ (273 mm) acier K55 de 0 à 340 m
Cimentation sous pression avec ciment classe G
- De 340 m à 540 m (arrêt entre 10 à 15 m avant le toit de la galerie)
Forage $9^{7/8}$ (251 mm) en rotary à la boue saturée en NACL
Tubage $7^{5/8}$ (194 mm) acier K55 de 0 à 540 m
Cimentation sous pression ciment CEM3 spécial sulfures
- De 540 m à 555 m (débouchage dans la galerie)
Forage en $6^{3/4}$ (171 mm) en rotary à la boue
Tubage 5'' (127 mm) de 0 à 548 m en fibre de verre
Crépine 5'' (127 mm) perforé ou rainuré de 548 à 555 m avec bouchon de fond

Le choix 2 permet d'avoir un peu plus d'espace en phase d'exploitation.

Les diamètres inscrits dans les différentes phases suivantes sont ceux du choix 2

3- FORAGE EN EXPLOITATION

3.1 Sécurisation du site

Le forage et sa tête de puits sont dans un regard étanche d'environ 1.50 m de diamètre et hauteur.

La tête de puits est de type pétrolier, tous les orifices seront sécurisés (vannes, plugs...).

Un caillebotis est mis en place à ras du sol pour éviter les chutes.

Des capteurs de mesure de gaz (pression, teneur) seront équipés à demeure dans la tête de puits.

Une dalle béton étanche d'environ 5 m x 5 m avec pente vers le forage évitera tout déversement accidentel dans la nature lors des différents pompages. La tête de puits sera recouverte par un local technique couvert ventilé qui préservera le regard de la pluie et abritera le matériel de monitoring.

Une clôture en grillage rigide de 2 m de hauteur entoure le site.



Vue d'un exemple de plateforme clôturée, avec exemple de local technique (VLPB2).

3.2 Choix du matériel de mesure et pompage

Afin de réaliser les mesures nécessaires sur du long terme : mesures de niveau, prélèvements et pompage, le choix du matériel à mettre en œuvre est primordial.

3.2.1 Mesure du niveau

Un transmetteur de niveau immergeable est descendu en même temps que la colonne d'exhaure de la pompe. Des clamps spécifiques permettent d'accrocher le câble de liaison autour de la colonne. Le capteur mesure la pression engendrée par la hauteur de liquide au-dessus de sa position selon un pas de temps défini préalablement, les données sont récupérables en surface via un PC. Suivant les modèles, il existe également la possibilité de transmettre les données par GSM. Ce capteur servira également à suivre le rabattement lors des pompages et à éviter le dénoyage de la pompe.

Il existe de nombreux fabricants.

(Solexperts fabrique des capteurs en titane résistant à des eaux agressives ainsi qu'à la pression possible en fond d'ouvrage).

3.2.2 Type de pompe

Une pompe type PCM (arbre à forme de queue de cochon licence Moineau) semble être la meilleure solution.

Principe de fonctionnement : un stator en élastomère adapté au fluide à extraire est descendu en fond d'ouvrage à l'extrémité de tubes diamètre 2''^{3/8} (60 mm). Ces tubes servant de colonne d'exhaure sont suspendus à la tête de puits par une bride et restent en place tant que le stator n'est pas usé.

Le rotor (queue de cochon) est descendu à l'intérieur de la colonne d'exhaure à l'aide de tiges 3/4'' (sucker rod) et vient se glisser dans le stator. Un moteur électrique placé au-dessus de cet ensemble entraîne le rotor en rotation par l'intermédiaire des tiges 3/4''.

La vitesse de rotation donne le débit, le réglage peut se faire directement sur le site via un variateur de fréquence. Pour des cas plus simples (et plus fiables à long terme), le débit souhaité est donné au constructeur qui règle le nombre de tours/minute en ajustant les diamètres de poulies en usine.

Avec les débits relativement faibles prévus (environ 700L/an), la puissance du moteur est limitée à quelques kw.

Autre avantage de ce système, si le pompage doit uniquement avoir lieu tous les 2 à 3 ans, afin d'éviter un risque de "gommage" de la pompe, le rotor peut être sorti du stator très rapidement (2h avec un bras de grue). Il y a aussi la possibilité de sortir entièrement le rotor à la grue en quelques heures à 2 personnes avec peu de matériel. Dans ce cas, le rotor sorti permet de faire des contrôles de niveau en sécurité par l'intérieur des tubings 2''^{3/8} restés en place (voire des prélèvements avec une petite unité de wire-line).

4- CONCEPTION ET REALISATION DE L'OUVRAGE

4.1 Choix de l'entreprise de forage

Il existe 2 types de sociétés capables de réaliser ce type de forage

- Les sociétés qui font habituellement des forages d'eau
 - o Avantages :
 - Tarif journalier plus bas
 - Coût amenée et repli matériel plus bas
 - Plate-forme moins imposante
 - o Inconvénients :
 - Travaillent rarement en 3 postes
 - Foreuse moins puissante et moins adaptée en forage dirigé
 - Bacs à boue plus petits, pompe à boue moins puissante
 - Risque de coincement plus élevé à cause du manque de matériel
 - Très peu de références en forage dirigé
 - Le planning travaux peut se décaler très rapidement
- Les sociétés qui font habituellement des forages pétroliers ou de la géothermie profonde
 - o Avantages :
 - Bonne connaissance de ce type de forage
 - Matériel adapté
 - Réactivité en cas de difficulté, etc.
 - o Inconvénients :
 - Tarif journalier plus élevé
 - Coût amenée et repli plus élevé
 - Plate-forme plus imposante

L'atteinte de la cible sur cet ouvrage étant primordiale, il est fortement recommandé de travailler avec des sociétés ayant les équipes entraînées et le matériel adapté à ce type d'ouvrage. Les sociétés travaillant en milieu pétrolier ont cette maîtrise.

4.2 Plate-forme

De dimensions 50m par 50m environ, la réalisation de la plate-forme doit impérativement se faire en concertation avec le foreur tout en essayant de garder les coordonnées de forage les plus proches possibles de la verticale.

Une buse de 1.50 m de diamètre et de profondeur identique servira à récolter les éventuelles pertes de boues de surface, elle sera placée à l'axe du puits. La conception de la plate-forme sera réalisée de manière à être étanche et de résistance suffisante pour le passage des engins (environ 50 mpa). Un fossé périphérique captera les eaux de pluie et sera relié à un bac de décantation et déshuileur.

4.3 Avant-trou de 0 à 40 m

Cette prestation peut être sous-traitée à un foreur local

La méthode "Benoto" (creusement à la benne preneuse avec fonçage d'un tube de protection au fur et à mesure) est conseillée.

Creusement en diamètre 800 mm, pose du tube définitif diamètre 406 mm muni de centreurs.

Cimentation au coulis de ciment avec des cannes descendues dans l'espace annulaire avec arrache au fur et à mesure des tubes de soutènement.

En fonction de la géologie exacte, le forage peut être plus ou moins profond, l'idéal est de pénétrer de 1 m dans les argiles sous les alluvions.

4.4 Installation du matériel de forage

Le matériel de forage est composé de différents colis directement mis en place et assemblés sur le site, l'ensemble du matériel représente environ 30 semi-remorques.

Réception du matériel après installation (chek-list).

Contrôle des documents administratifs réglementaires.

Contrôle des documents et procédure type RGIE.

5- FORAGE

5.1 Phase de 40 m à 340 m

Forage 14 ¾ (375 mm).

Difficultés particulières de cette phase : rester le plus vertical possible.

Moyens à mettre en œuvre : garniture type pendulaire, limiter le poids sur l'outil à 70% du poids apparent des masse-tiges (DC) ou garniture de forage dirigée avec mesures de trajectoire (MWD).

Moyens de contrôle : Tocto à la sortie de l'avant trou et ensuite tous les 100 m (le Totco mesure l'inclinaison mais pas l'azimut), ou système de mesure intégré à la garniture de forage MWD.

Une mesure de déviation "gyroscope" est réalisée par une société de logging à la fin de la phase pour connaître exactement la position x et y.

- Nota : les documents du puits Joseph indiquent un pendage d'environ 8° N20°W, il est vraisemblable que l'outil aura une tendance à partir perpendiculairement à la couche soit vers S 20°E, une inclinaison de 3° en fin de phase ne serait pas surprenante. Un éloignement de 7 mètres n'est donc pas impossible malgré une garniture de type pendulaire.

5.1.1 Choix des profils possibles

- acceptation de ce décalage possible et correction par forage dirigé en phase 9^{7/8} (figure 1)
 - avantage : coût
 - inconvénient : profil du puits pouvant engendrer plus d'usure du matériel de pompage en exploitation
- décalage en surface d'une valeur anticipée de manière à limiter la correction lors de la partie forage dirigé (figure 2)
 - avantage : coût
 - inconvénient : le décalage de la trajectoire est hypothétique, beaucoup de paramètres entrent en jeu (poids sur l'outil, nb tr/mn, pendage des terrains ...).
- démarrage dès 40 m du forage en méthode forage dirigé (figure 3)
 - avantage : puits plus vertical
 - inconvénient : coût et certainement un plus de tortuosité engendrée par la correction plus fréquente de l'azimut.

Figure 1
 Profil du puits avec déviation engendrée par le pendage

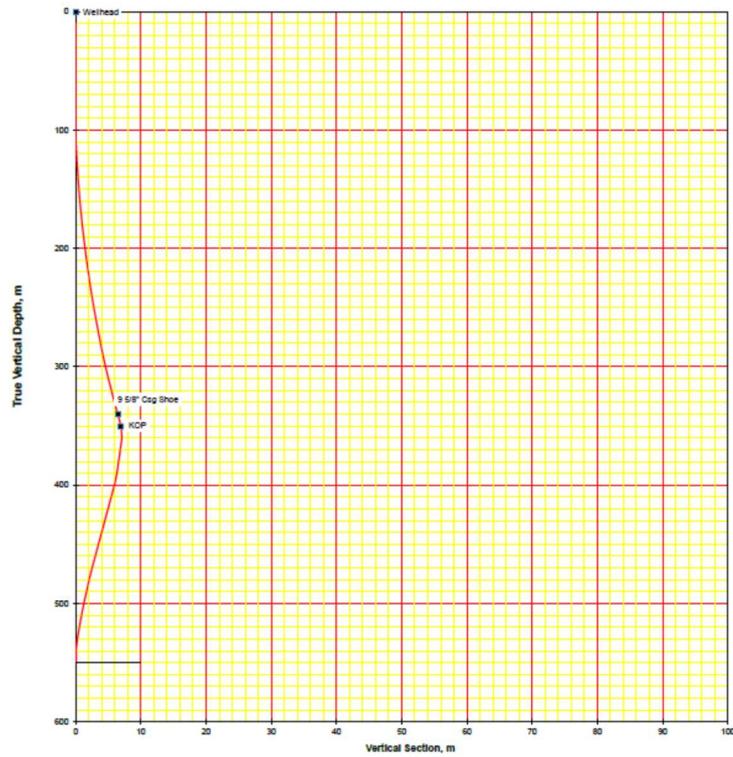


Figure 2
 Profil du puits avec décalage du point de départ en surface

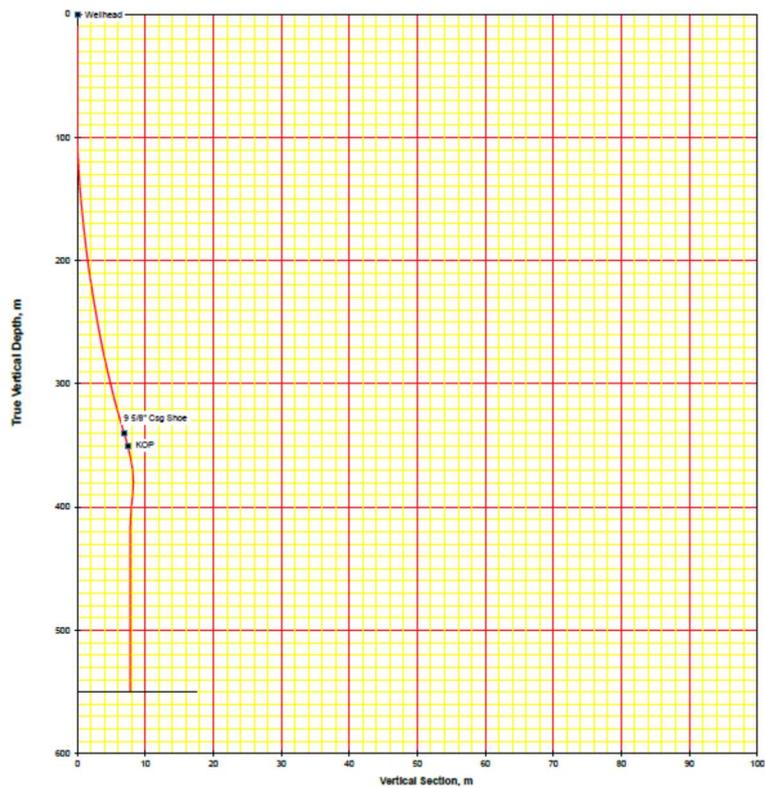
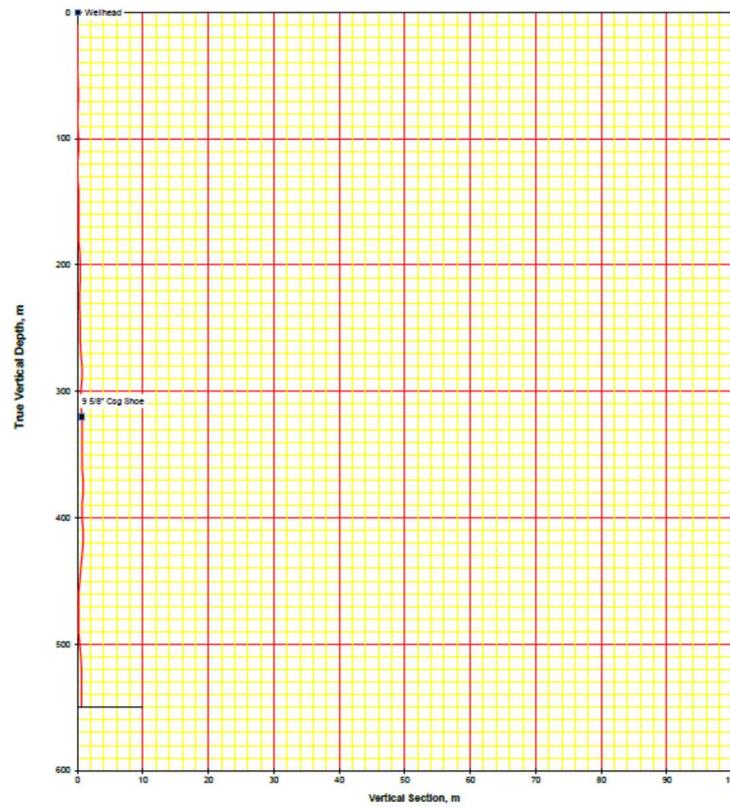


Figure 3
Profil avec tortuosité (correction fréquente de la trajectoire)



Les trois profils réalisés ci-dessus sont basés sur des expériences connues, en aucun cas ces hypothèses ne peuvent en incomber à l'auteur.

Une concertation avec les parties prenantes doit avoir lieu au moment de l'appel d'offres sur une des trois stratégies à adapter.

Le choix 3 a un coût supérieur mais il est beaucoup plus sécuritaire pour l'atteinte de la cible. C'est celui qui est préconisé.

Le choix du type de garniture de forage est fait en fonction du profil de puits retenu.

Choix 1 & 2

Garniture de type pendulaire (exemple).

Tricône 12 ¼ - 1 Drill-Collar 8'' - 1 stabilisateur 12 ¼ - 2 Drill-Collar 8'' - 1 stabilisateur 12 ¼ - XO - 6 Drill-Collar 6 ½ - x tiges 5''.

Choix 3

Toutes les sociétés spécialisées en forages déviés (Target, Mustang, Weatherford) fournissent le matériel de déviation : moteur de fond avec raccord coudé, MWD, Drill magnétique ... Ce sont elles qui décident de la garniture à mettre en place ainsi que les paramètres de forage à appliquer.

Exemple : tricône, moteur de fond, MDWD, 2 Drill magnétique, stabilisateur, ensuite Drill-Collar et tiges appartenant au foreur.

5.1.2 Fluide de forage (boue)

Dans les 3 choix de profil, il est nécessaire d'avoir une boue adaptée à la géologie, la présence d'argile et de marne nécessite une utilisation d'inhibiteur d'argiles afin d'éviter un gonflement de ces dernières. Une boue à base de Silicates pourrait également être un bon compromis. Le choix final revient aux sociétés spécialisées en boue (CHEMFOR, MPC LAVOISA...).

Lorsque la côte prévue est atteinte (340 m environ), l'outil est remonté au jour.

5.1.3 Diagraphies

Une entreprise spécialisée intervient pour réaliser des mesures dans le puits.

- Une mesure de gamma-ray sur toute la hauteur (détermination niveau sableux ou argileux)
- Un diamètreur/calliper (permet de calculer le volume exact du puits pour la cimentation)
- Un CBL (Cement Bond Log) vérification de l'adhérence du ciment au tubage et au terrain
- Une mesure de trajectoire et inclinaison avec coordonnées x et y. Cette mesure sera faite même dans le cas d'utilisation du MWD de manière à comparer les résultats.

Nota : certains outils permettent de réaliser plusieurs mesures en même temps.

5.1.4 Cuvelage (tubage- casing)

Après les diagraphies, un tubage en acier est descendu jusqu'à environ 1 m de la côte forée.

Ce tubage est de type casing 10³/₄ 32,75 # ou 40,50 #, acier type K55 filetage Butress de 0 à 340 m.

Un sabot à bille (float shoe) est vissé sur le premier tube et un anneau à bille (float collar) sur le 2^o ou 3^o tube.

L'anneau à bille arrête le wiper plug (décrit plus loin) et permet d'avoir un pied de tube parfaitement cimenté en limitant le risque d'avoir un mélange boue et ciment au niveau du sabot.

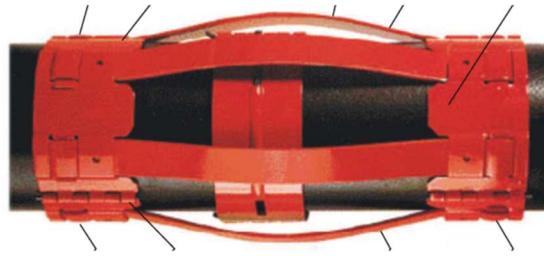


Sabot à bille



Anneau à bille

Des centreurs souples sont répartis uniformément tous les 2 ou 3 tubes (suivant le profil du puits).



Lorsque le casing est à la côte prévue, circulation 1 cycle minimum et préparation du matériel pour la cimentation.

5.1.5 Cimentation

Une société spécialisée en cimentation intervient pour réaliser cette phase.

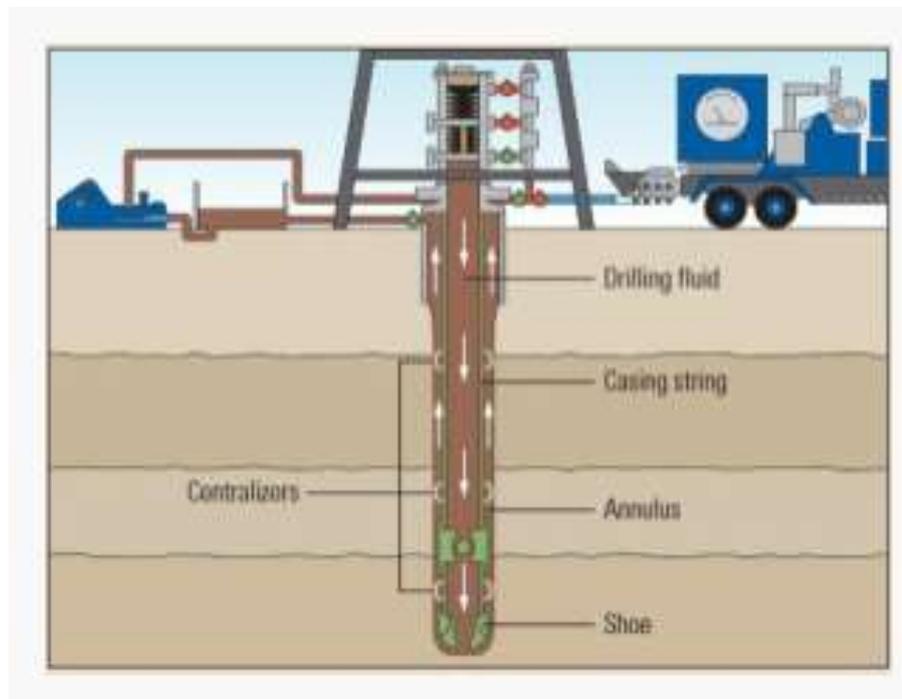
Un volume de coulis correspondant au volume donné préalablement par la diagrapie calliper majoré de 10% est fabriqué en continu par l'unité de cimentation.

Le coulis est réalisé en mélangeant de l'eau et du ciment classe G de manière à obtenir un mélange homogène de densité 1,90. Ce coulis est injecté au fur et à mesure à l'intérieur du casing.

Lorsque le volume du ciment est injecté, un bouchon séparateur (wiper plug) est mis en place dans le tubage (au-dessus du coulis), la boue de forage (chasse) est ensuite pompée sur le wiper plug de manière à ce que ce dernier chasse le ciment hors du tubage. Lorsque le plug arrive sur l'anneau à bille, il se produit une montée en pression qui signifie que le plug est à la côte, le pompage est immédiatement arrêté. En principe un excédent de ciment doit avoir fait surface au jour avant la fin de chasse car le volume a été calculé avec 10% d'excédent.



Wiper plug



5.1.6 Attente prise de cimentation (minimum 36 h)

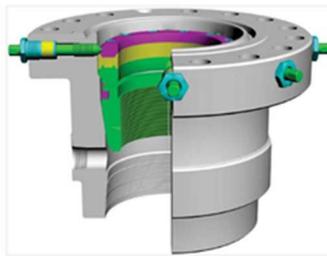
L'attente de prise du ciment est primordiale, elle permet de laisser sceller correctement le tubage au terrain. Durant l'attente de prise, il est formellement déconseillé de bouger le tubage y compris descendre l'outil avant 36 heures afin d'éviter les petites vibrations. Le montage des BOP (Bloc Obturateur de Puits) sur le casing est accepté.

Préparation du matériel de déviation pour la phase suivante, préparation de boue saturée en sel.

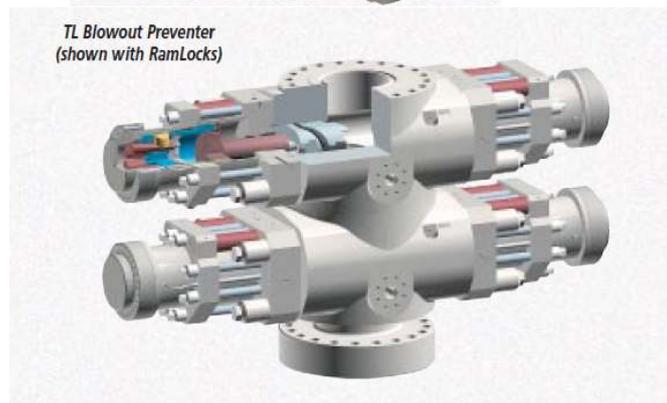
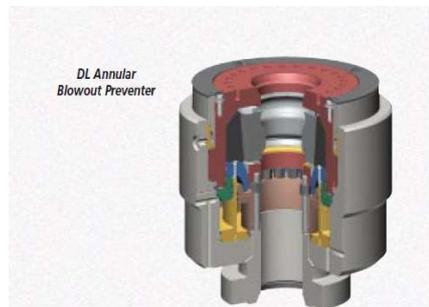
5.1.7 BOP (Bloc Obturateur de Puits)

Afin d'éviter tous risques d'éruptions lors du forage (présence de gaz possible), un BOP est installé sur le casing 10''3/4 .

Dans un premier temps, une casing head est vissé sur le tubage 10 3/4 posé en fond de cave.



Les BOP à rams et le BOP annulaire sont posés sur la casing head.



Des test en pression sont réalisés avant le reforage du sabot, ils ont pour but de contrôler la parfaite étanchéité du tubage, le fonctionnement des BOP et le "rodage" des équipes.

Un monitoring des gaz émis (CH₄ notamment) en tête de puits et dans le retour boue est effectué par le service mud-logging tout au long des phases de forage dans la zone salifère (sous la profondeur indicative de 340m).

5.2 Phase de 340 m à 540 m

5.2.1 Principe de fonctionnement du forage dirigé

Afin d'atteindre la cible, cette phase se fait impérativement avec une société spécialisée en forage dirigé.

En fonction des références X et Y à 340 m obtenues lors de la mesure de trajectoire réalisée précédemment, l'opérateur de déviation fera le choix technique de la garniture de forage et déterminera l'angle à donner au moteur de fond pour atteindre l'objectif tout en essayant de limiter la tortuosité.



2 Drill-amagnetique (pour ne pas perturber le MWD avec un champ magnétique)

MWD (Measurements While Drilling : mesures en cours de forage)

Stabilisateur

Moteur de fond

Réglage de l'angle du Bend en surface ou en usine
Bend (raccord coudé)

Tricône

Lors des montées en angles ou des changements de trajectoire, le tricône est orienté via le "Bend" vers la direction (cible) depuis la surface. La position du Bend est transmise en surface depuis le MWD par un système "Pulse" à l'aide de la boue de forage. Les impulsions sont décodées via un transmetteur en surface.

Lorsque le tricône est orienté dans la bonne direction via le "Bend", le foreur bloque le train de tiges en rotation, seul le tricône tourne grâce à la boue injectée dans le moteur de fond. Le foreur relâche le train de tiges de quelques tonnes et l'outil entame sa trajectoire. Au bout d'une dizaine de mètres, l'opérateur de déviation réalise une récupération de données.

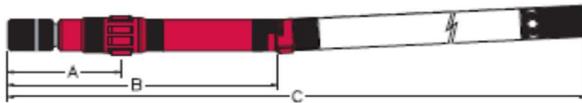
Si la trajectoire est conforme, le train de tiges est mis en rotation lente (20-30tr/mn) pour limiter l'influence du Bend, d'autres paramètres influent également sur la trajectoire ou sur l'inclinaison (vitesse de rotation, débit des pompes, poids sur l'outil ...)

Si la trajectoire n'est pas conforme ou insuffisante, l'opérateur peut faire une correction d'azimut en tournant légèrement le train de tiges du côté nécessaire ou faire poursuivre de quelques mètres avant de réaliser à nouveau une mesure.

Ces opérations sont réalisées jusqu'à atteindre l'objectif, en principe une mesure de trajectoire et inclinaison à chaque ajout de tiges (10 m).

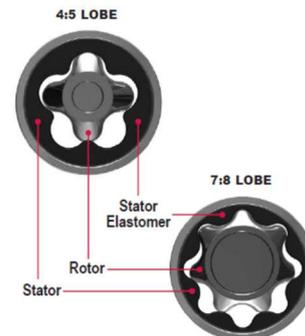
Exemple de moteur pouvant être utilisé

FrontLine™ 6-1/4" LE 7830 (7:8 Lobe, 3.0 Stage)



DIMENSIONAL DATA

Length to Stabilizer (A):	0.76 m	30 in
Length to Bend (B):	2.08 m	82 in
Over-all Length (C):	8.56 m	337 in
Maximum O.D.	184 mm	7.25 in
Recommended Hole Size		
Min:	200 mm	7 7/8 in
Max:	222 mm	8 3/4 in
Top Connection:		4 IF Box 4 1/2 XH Box
Bottom Connection:		4 1/2 Reg Box
Weight:	950 kg	2095 lbs



ESTIMATED BUILD RATES Degrees / 30m (100 ft.)

Adjustable Setting	Bend Angle	Slick			One Stabilizer			Two Stabilizers		
		200mm 7.875in	216mm 8.50in	222mm 8.75in	200mm 7.875in	216mm 8.50in	222mm 8.75in	200mm 7.875in	216mm 8.50in	222mm 8.75in
B	0.39	3	-	-	2	3	3	3	3	2
C	0.78	5	3	3	5	6	6	6	6	6
D	1.15	8	6	6	7	9	10	9	9	9
E	1.5	10	9	8	9	11	12	10	11	11
F	1.83	13	12	11	10	13	13	12	13	13
G	2.12	15	14	13	13	14	14	13	14	14
H	2.38	16	15	15	14	15	15	14	15	15
I	2.6	18	17	16	15	16	16	14	15	16
J	2.77	19	18	17	15	17	17	15	16	17
K	2.9	20	19	18	16	18	18	15	16	17
L	2.97	20	19	19	16	19	18	16	17	18
M	3	20	19	19	17	19	19	16	17	18



Weatherford

Drilling Services

MWD

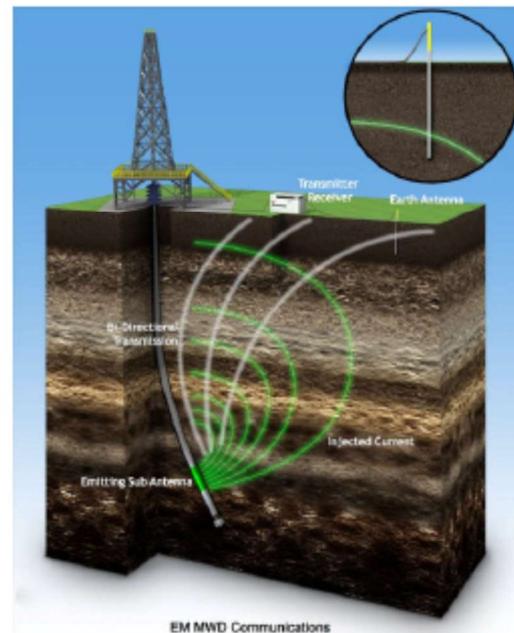
EMpulse™ MWD System

The Weatherford EMpulse electromagnetic (EM) measurement-while-drilling (MWD) system allows operators to drill and survey wells independently from rig hydraulics. With EM telemetry, rig pumps do not need to be cycled to receive a survey. Therefore, overall survey cycle time can be reduced and can add up to a significant rig time saving, especially on high rate-of-penetration (ROP) wells. EM MWD transmission can save significant rig time due to faster survey times and fewer limitations on hydraulics compared to mud pulse MWD and steering tools. Once the connection is made, drilling resumes immediately as tools are readily available.

The EMpulse system has no moving parts and is powered by electromagnetic long-life batteries instead of a mud-driven generator. The system broadcasts a wave along the drillstring to surface, where the signal is detected and data decoded by a surface transceiver. This method allows survey information to be transmitted regardless of drilling fluid properties.

The current generation EMpulse MWD system, when paired with certain configuration options, can transmit the following data in real-time from downhole to surface:

- directional surveys
- annulus pressure
- total gamma ray
- oriented gamma ray
- inclination closer to the bit
- inclination and gamma at bit



Applications

- In areas of total or partial loss of circulation, as the EMpulse system is unaffected by drilling hydraulics fluid loss
- Underbalanced drilling with two-phased flow drill pipe injection, as the EMpulse system does not require a homogenous fluid column for data transmission
- Can transmit in foam, mist, air, and aerated mud

**Weatherford**

Drilling Services

MWD

EMpulse™ MWD System

Features, Advantages, and Benefits

- Simple, rapid installation at the wellsite. Surface equipment can be installed in less than one hour without any modifications to rig equipment.
- Reduced tool inventory/mobilization. The EMpulse system is a sonde-based design configured for use in a full range of non-magnetic drillstring tubulars and hole sizes.
- Two-way communication with the MWD tool. The fundamental advantage of EMpulse system is the downlink ability that allows operators to communicate instructions to the downhole instrumentation while drilling proceeds. Uplink and downlink communications are completely independent of rig or drilling activity.
- Drillstring optimization. Survey data are taken in 15 seconds while the drillstring is stationary, which is less than the normal connection time. This reduces the possibility of differential sticking or hole sloughing that can result from extended periods without circulation or pipe movement.
- Reduced survey/connection times. Due to the system's independence from drilling hydraulics, there is no lag time or need to cycle the pumps for synchronization purposes when survey data is being transmitted.
- Reduced fishing/lost-in-hole cost. The latest generation of EM MWD allows, in certain bottomhole assembly (BHA) configurations, the ability to retrieve the EM MWD electronics.
- Improved reliability. The EMpulse system is built entirely with solid-state electronics designed to operate in harsh drilling environments, such as air/mist, foam, and multi-phase underbalanced drilling applications.

Options

- The EMpulse system can be equipped with a real-time gamma ray probe. Data is transmitted in real time and also recorded in memory.
- The EMpulse system also can be equipped with a real-time annular pressure sensor to measure downhole pressure conditions while drilling, circulating, monitoring lost circulation or during shut-in pressure conditions.
- The At-Bit Measurement system is a short sub that can be mounted directly above the bit to provide real-time inclination and gamma ray near the bit.
- The oriented gamma ray sensor provides real-time high-side and low-side gamma measurements while rotating, along with real-time total gamma ray.
- The inclination sonde measures inclination closer to the bit than other MWD tools and measures inclination-on-the-fly while sliding and rotating.
- Weatherford's CasingLink™ provides a surface antenna option that significantly increases signal detection. The system allows direct two-way communication and transmits data independently of wellbore hydraulics. It is particularly applicable to well profiles that include resistive formation strata inhibiting EM transmission, drilling permeable formations because it is unaffected by drilling fluid loss, and underbalanced drilling applications.
- The EMpulse system can be run with an extended range wireline antenna deployed in the drillstring of a standard configuration in highly resistive formations for improved communication.

5.2.2 Forage dirigé 9 7/8 de 340 à 540 m

Difficulté de cette phase (être en fin de phase à l'aplomb de la cible).

Les tests de fonctionnement et étanchéité des BOP sont réalisés impérativement avant de commencer à reforer les équipements de cimentation.

Descente garniture de reforage des équipements (anneau à bille et sabot à bille).

Au top ciment (anneau à bille), reforage du ciment à partir du wiper plug jusqu'à la côte d'arrêt de la phase précédente, remplacement de la boue précédente par une boue saturée en sel, poursuite forage sur une quinzaine de mètres de manière à pouvoir descendre le MWD sous le sabot du casing 10 3/4 (perturbation magnétique).

Remonter de la garniture de reforage et descente de la garniture de forage dirigé.

Forage dirigé de 355 m à 540 m avec contrôle des coordonnées X et Y au minimum tous les 10 m.

Circulation 1 cycle et remonter l'outil au jour.

5.2.3 Diagraphies.

Comme lors de la phase précédente un ensemble de mesures est réalisé avant la mise en place du tubage par une société spécialisée.

- Une mesure de gamma-ray de 340 à 540 m
- Un diamètreur/calliper de 340 m à 540 m
- Un CBL (Cement Bond Log) du tubage 10'' 3/4
- Une mesure de trajectoire et inclinaison avec coordonnées X et Y sert à confirmer les mesures du MWD
- D'autres mesures telles que porosité ou densité peuvent être ajoutées si besoin.

5.2.4 Cuvelage (tubage -casing)

Mise en place d'un casing 7 5/8 24 # ou 26,40#, acier type K55 filetage Butress de 0 à 540 m.

Un sabot à bille (float shoe) est vissé sur le premier tube et un anneau à bille (float collar) sur le 2^{ème} ou 3^{ème} tube.

Des centreurs souples sont répartis uniformément tous les 2 ou 3 tubes (suivant le profil du puits).

Lorsque le casing est à la côte prévue, circulation 1 cycle minimum et préparation pour la cimentation.

5.2.5 Cimentation

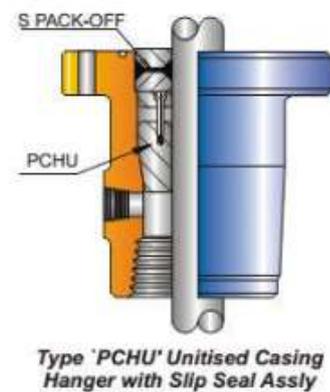
En raison de la géologie (sel, gypse, anhydrite), le ciment utilisé devra impérativement résister aux chlorures (CEM III).

La méthode de mise en œuvre de la cimentation reste identique à la phase précédente sauf que l'eau de gâchage est remplacée par une saumure saturée en NaCl.

5.2.6 Attente prise de cimentation

En raison du temps de prise plus long de ce type de ciment, le temps de séchage sera de 72 heures. Durant cette attente, pose du tubage 7 ^{5/8} sur casing Hanger (PCHU) dans la casing-head 11'', installation packer d'étanchéité (PACK-OFF) et préparation garniture de forage 6 ^{3/4}. La pose du tubage se fait aussitôt après la cimentation avant le début de la prise.

Casing-head 11''



5.3 Phase de 540 m à 554 m

Cette phase débouche dans la galerie

La galerie ayant été comblée avant la fermeture de la mine avec un gravier de drainage, le risque de chute brutale de l'outil de forage est limité, néanmoins la création de petits vides en toit de galerie reste envisageable.

Difficulté de cette phase (perte totale brutale du fluide de circulation lors du débouchage).

La phase précédente est réussie et se trouve dans l'axe de la galerie, une simple garniture de forage stabilisée est suffisante pour les 15 derniers mètres restants.

5.3.1 Forage rotary 6''3/4

Le forage est réalisé en forage rotary, le risque de dévier sur 15 m est quasi-nul, après avoir reforer le sabot de cimentation, la boue de la phase précédente est remplacée par une saumure saturée afin d'éviter de colmater le gravier de drainage lors de la traversée du plafond.

Lors de l'atteinte du plafond de la galerie, le sondeur doit être prêt à freiner la descente rapide de l'outil dans le gravier et à stopper la pompe à boue afin d'éviter d'envahir le gravier drainant par de la saumure. Néanmoins un volume d'environ 10m³ correspondant au volume intérieur du casing 7 ^{5/8} descendra dans le gravier drainant de la galerie.

La descente rapide de l'outil et la perte de fluide de circulation confirment que l'objectif est atteint.

Remonte de l'outil au jour. Contrôle attentif d'absence de venue de gaz sous pression. Le cas échéant, prévoir un mode opératoire spécifique de dégazage.

5.3.2 Diagraphies.

Comme lors de la phase précédente un ensemble de mesures est réalisée par une société spécialisée avant la mise en place du tubage.

- Une mesure de gamma-ray de 540 à 554 m
- Un diamètreur/calliper de 540 m à 554 m
- Un CBL (Cement Bond Log) du tubage 7''
- Une mesure de trajectoire et inclinaison avec coordonnées X et Y pour confirmer la position exacte dans la galerie.
- D'autres mesures telles que porosité ou densité peuvent être ajoutées si besoin

Vérifier la nécessité de travailler avec des outils atex en fonction des éventuelles venues de gaz.

5.3.3 Cuvelage (tubage fibre de verre)

Mise en place d'un tubage 5'' en fibre de verre de 0 à 554 m.

Les derniers mètres du fond sont crépinés (slot et % de vide à déterminer).

Un pourcentage de vide de 3% permet le passage de 1m³ de liquide par mètre de crépine.

Le type de packer à introduire à la colonne est décrit au chapitre suivant.

Choix 1 : pas d'ancrage, la colonne reste en suspension durant la cimentation.

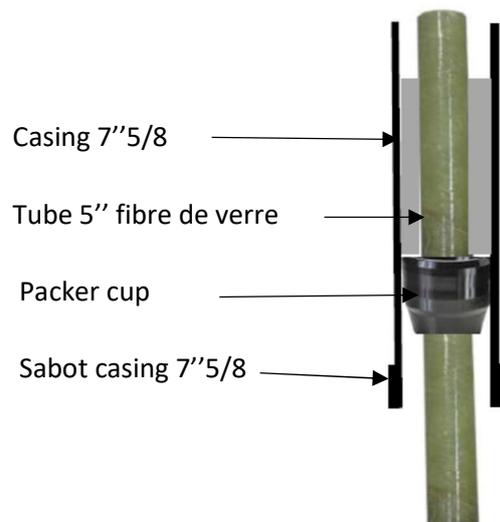
Choix 2 et 3 : ancrage du packer quand la colonne 5'' est à la côte prévue

5.3.4 Dispositif d'étanchéité pour mise en œuvre cimentation

Afin de pouvoir réaliser une cimentation annulaire 5'' à 7^{5/8}, il est nécessaire de mettre en place un packer cup sur la colonne en fibre de verre positionné 2 à 3 m au-dessus du sabot 7^{5/8}. Cet élément est incorporé lors de la descente de la colonne fibre de verre.

Si le puits est vide, la cimentation peut se faire en 2 passes directement par l'espace annulaire : la première passe d'une hauteur d'environ 50 m pour limiter la charge sur le packer cup et l'autre passe jusqu'en surface 24h plus tard.

Choix 1



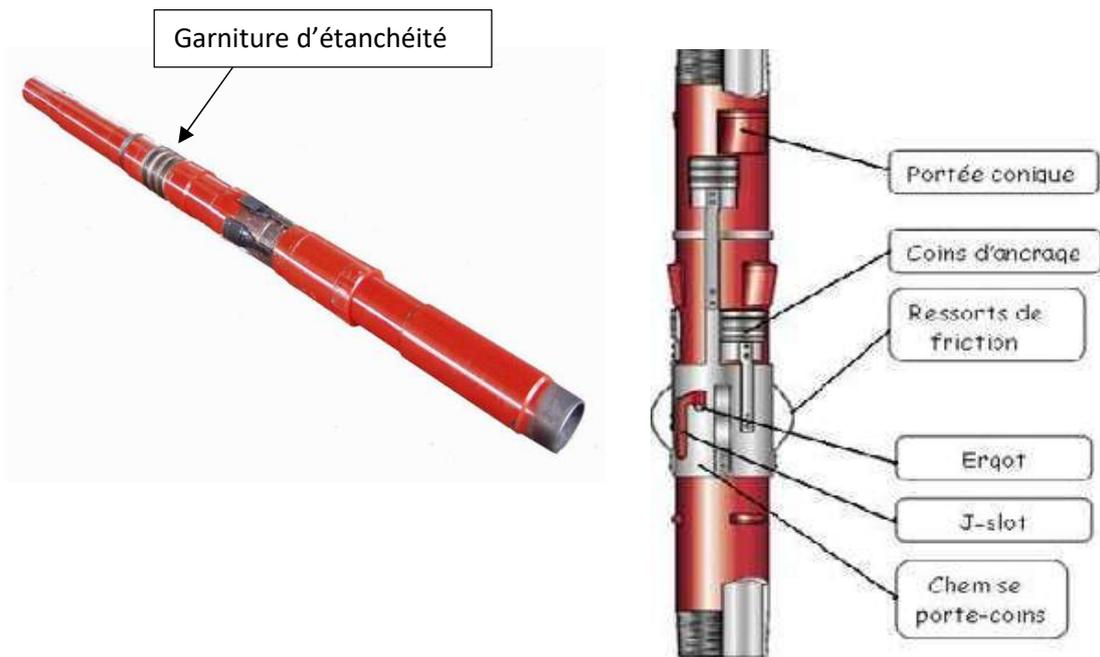
Si le puits n'est pas vide (travaux réalisés alors que les galeries sont déjà inondées), la cimentation peut toujours avoir lieu en modifiant le système de packer.

Choix 2

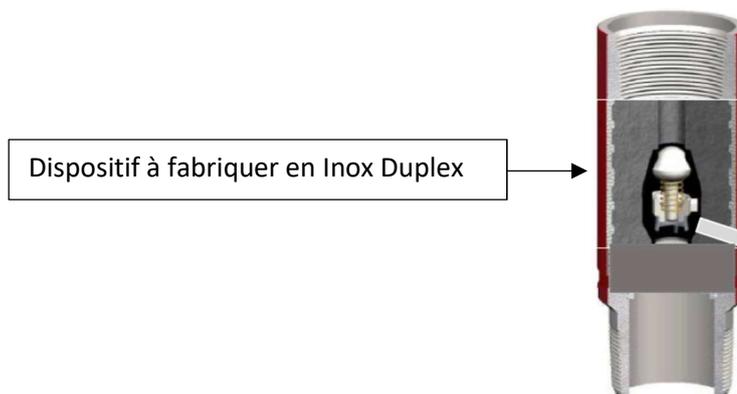
Le packer cup est remplacé par un packer hanger mécanique. En raison de la qualité d'eau et des phénomènes diélectriques, il est nécessaire de fabriquer ce packer en Inox Duplex. Cette solution est familière des fabricants de packer pétroliers (Haliburton, Weatherford...).

Dans un premier temps, le packer descendu avec la colonne 5'' est ancré dans le casing 7''^{5/8} via les coins d'ancrage, puis lors de l'application d'un poids supplémentaire (poids de la colonne 5''), la garniture d'étanchéité se gonfle jusqu'à étanchéité parfaite avec le 7''^{5/8}.

Ce packer permet de résister parfaitement à la pression exercée par la colonne de ciment avant séchage.



Un dispositif de cimentation placé en tête de packer disposant de haut en bas : clapet anti-retour, trou latéral et fond obstrué par une plaque en aluminium permet au ciment de remonter dans l'espace annulaire sans descendre dans la galerie.



Choix 3

Le packer est un système gonflable, en raison de son pouvoir de dilatation plus grand que le packer mécanique, il peut être ancré dans le terrain entre le sabot du 7''^{5/8} et le toit de la galerie.

Inconvénient : - le gonflage de la membrane se fait par une ligne ¼ descendue et accrochée au fur et à mesure de la descente de la colonne fibre de verre (descente plus longue)



*Swellpacker® Slip-On Isolation System
After Installation on Basepipe*

Il existe d'autres systèmes de packer ou hanger pétrolier notamment des packers hydrauliques qui se gonflent par l'intérieur du casing et non pas par une ligne extérieure. La conception interne est beaucoup plus sophistiquée et le risque de corrosions induites par contact diélectrique est augmenté par rapport au packer des solutions 2 et 3

Choix technique entre les solutions 2 et 3 :

La solution 2 ne permet pas de cimenter les tubes fibre de verre au contact du terrain mais c'est une solution fiable qui est réalisée fréquemment chez les pétroliers.

La solution 3 permet de cimenter les tubes fibre de verre au contact du terrain :

- avantage :

- pas de contact de liquide provenant de la galerie directement avec le casing 7''

- inconvénients :

- en cas de tassement limité des terrains au-dessus de la galerie, il y a une contrainte sur la colonne fibre de verre (mais il y a également la possibilité d'ancrer quelques mètres sous le sabot du 7'' pour limiter cette contrainte).
- risque (probabilité :1 sur 1000) : dégonflage ou éclatement de la membrane (1/1000) durant la cimentation.
- Par sa conception, le diamètre intérieur de passage sera réduit à environ 102 mm (le tube 5'' fait environ 109 mm intérieur).

5.3.5 Cimentation

Malgré la majorité de la cimentation réalisée entre 2 tubes, il est préférable de réaliser cette cimentation avec un ciment résistant aux chlorures (CEM III).

Choix 1 : la cimentation se fera en 2 passes directement dans l'espace annulaire avec séchage entre les 2 passes.

Pour le choix 2 et 3, en raison du tube 5'' en fibre de verre, il est préférable de réaliser la mise en œuvre de la cimentation avec la méthode stinger. (La cimentation se réalise à travers les tiges descendues et ancrées dans l'anneau de cimentation)

- avantages de cette méthode :

- La cimentation peut être arrêtée dès le retour de ciment en surface
- Le volume de chasse est limité au volume intérieur des tiges
- Après dégagement du stinger de 0.50 m circulation de l'excédent de ciment dans le tubage
- Reforage plus rapide donc moins de rotations dans la fibre de verre (pas de bouchon wiper plug à reforer)

- inconvénient :

- Mise en œuvre plus longue (descente et remontée des tiges)

5.3.6 Attente de prise de cimentation

Pose de la colonne 5'' sur casing hanger (principe identique à phase 7^{5/8})

La pose du tubage se fait aussitôt après la cimentation avant le début de la prise.

Attente de prise de cimentation 72 heures.

Choix 1 : il est inutile de descendre un outil dans le forage, la partie forage est terminée.

Le foreur démonte les BOP durant l'attente de prise et termine le montage de la tête de puits.

Réalisation d'une diagraphie CBL à la fin de l'attente de prise de cimentation.

Une caméra de réception de l'ouvrage peut éventuellement être réalisée.

5.3.7 Reforage des équipements de cimentation

Pour le choix 2 ou 3, il est nécessaire de reforer l'anneau de cimentation.

Descente d'un outil (fraise) avec moteur de fond de manière à éviter de tourner les tiges dans le tube en fibre de verre. L'outil est impérativement lisse sur sa partie extérieure pour éviter d'endommager la fibre de verre. Lorsque l'anneau est reforé, le volume de saumure présent dans le casing 5'' partira dans la galerie, ce sera le signe de la fin du reforage. Poursuite en descente de contrôle jusqu'au bouchon de la colonne 5'' sans pompage. Remonter de la fraise et diagraphies identiques à la solution 1.

(En 2015, Entrepose Drilling en présence de FuturePipeIndustrie, a réalisé des tests de reforage dans des tubes fibre de verre avec de nombreuses contraintes : forage à sec, forte poussée latérale. Le but de ces tests était de vérifier la tenue de la fibre de verre à l'abrasion. Ces tests ont donné de très bon résultats).

Les opérations de forage sont considérées terminées, la caméra et les autres logs font office de réception provisoire du forage.

Les BOP sont démontés, toutes les sorties de la tête de puits sont fermées avec brides boulonnées ou plugs vissés.

5.3.8 Repli matériel de forage et sécurisation du site

L'appareil de forage est démonté.

La plate-forme est nettoyée puis réduite en dimension.

Une dalle béton est créée autour de la buse tête de puits.

L'accès à la tête de puits est sécurisé par des caillebotis. Un local technique abrite la tête de puits et les différents équipements de monitoring installés à demeure (mesure niveau statique, pression tête de puits...).

Le restant du site est clôturé avec un grillage rigide de 2 m de haut.



Exemple de local technique sur tête de puits de surveillance avec treuil et capteurs de mesure (puits VLPB2)

6- EVACUATIONS BOUES ET CUTTINGS

Durant toute la réalisation du forage, des boues sont fabriquées et évacuées.

Le chantier limite au maximum les rejets liquides en traitant les boues par centrifugation.

Le chantier est doté de plusieurs bacs étanches de manière à être capable de pouvoir stocker de la boue usagée lors des changements de boue (boue douce à saumurée).

Les rejets dans la nature étant totalement interdits, certaines sociétés de traitement de déchets se sont spécialisées en boue de forage et en recyclent une grande partie en essorant les boues et les cuttings dans des filtres-presses. Lors de chantiers traitants d'énormes volumes de boue, les filtres presses sont installés sur site mais dans le cas de ce forage, les boues et cuttings seront évacués par camions citernes ou bennes étanches jusqu'au lieu de traitement.

7- CHOIX DES MATERIAUX (TUBAGE)

7.1 Phase 0 – 40 m

Cette phase ne nécessite pas de précaution particulière, un tubage en acier de type S355 (ancienne dénomination E36) convient parfaitement.

Caractéristiques Mécaniques				Composition Chimique				
Matériel	Min. Limite D'élasticité	Min. Résistance à la Traction	Élongation	C	Si	Mn	P	S
	Mpa	Mpa	%	%	%	%	%	%
Norme européenne EN10249								
S235	235	340	26	0.25	-	1.4	0.035	0.035
S275	275	410	22	0.27	-	1.5	0.035	0.035
S355	355	480	22	0.27	0.55	1.6	0.035	0.035

7.2 Phase 0 - 340 m

Cette phase est identique à la précédente mais sa profondeur nécessite l'emploi de tubage utilisé fréquemment en forage. La norme fréquemment utilisée dans le monde pétrolier est l'API 5CT, les tubes nuance K55 sont parfaitement adaptés à cette phase. Afin de privilégier la durée de vie de l'ouvrage, l'épaisseur choisie est le maximum possible permettant de descendre un outil $9^{7/8}$ (250,8 mm) soit un tubage $10^{3/4}$ 40,50# \varnothing extérieur (273,1 mm) épaisseur 8,9 mm, drift 251,3 mm.

Le choix le plus fréquent du type de connexion est le Butress mais un API STC peut convenir également.

Codes standards	Modèles de tubes en acier	Force de tensite (MPa)	Limite d'élasticité (MPa)	Élongation (%)	Dureté
API SPEC 5CT	J55	≥517	379 ~ 552	consultez le tableau	
	K55	≥517	≥655		
	N80	≥689	552 ~ 758		
	L80(13Cr)	≥655	552 ~ 655		≤241H B
	P110	≥862	758 ~ 965		

Composition chimique :

Codes standards	Modèles de tubes en acier	Compositions chimiques (%)										
		C	Si	Mn	P	S	CR	Ni	Cu	Mo	V	ALS
API SPEC 5CT	J55K55 (37Mn5)	0.34 ~ 0.39	0.20 ~ 0.35	1.25 ~ 1.50	≤0.020	≤0.015	≤0.15	≤0.20	≤0.20			≤0.020
	N80 (36 Mn2V)	0.34 ~ 0.38	0.20 ~ 0.35	1.45 ~ 1.70	≤0.020	≤0.015	≤0.15				0.11 ~ 0.16	≤0.020
	L80(13Cr)	0.15 ~ 0.22	≤1.00	0.25 ~ 1.00	≤0.020	≤0.010	12.0 ~ 14.0	≤0.20	≤0.20			≤0.020
	P110 (30CrMo)	0.26 ~ 0.35	0.17 ~ 0.37	0.40 ~ 0.70	≤0.020	≤0.010	0.80 ~ 1.10	≤0.20	≤0.20	0.15 ~ 0.25	≤0.08	≤0.020

7.3 Phase 0-540 m

Cette phase traverse des zones de sel, gypse, anhydrite ..., néanmoins la cimentation protège le tubage de la corrosion extérieure, la partie intérieure est également protégée par la cimentation du tubage suivant. La nuance K55 est utilisée sur de nombreux forages y compris sur les forages de stockage en cavités salines et en géothermie profonde Dogger avec PH 6, H₂S, sulfures, ...

Tubage 7^{5/8} 26,40# Ø extérieur (193,7 mm) épaisseur 8,3 mm, drift 173,8 mm.

7.4 Phase 0-554 m

Cette phase est soumise directement aux différents fluides pouvant provenir des galeries. Afin de résister à un fluide saturé en sel le choix de ce dernier tubage peut être un Inox type Duplex ou Fibre de verre.

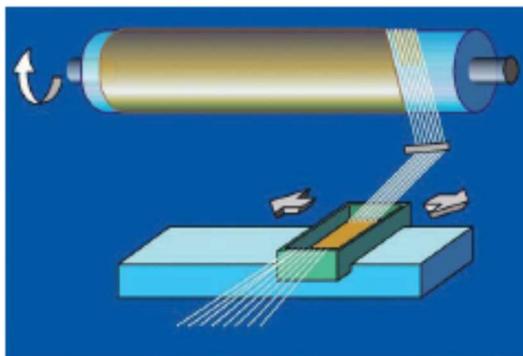
Le tube en Fibre de Verre élimine tous les problèmes liés au phénomène de corrosion galvanique.

Expérience : un forage géothermique de Melun (Ile de France) est en exploitation avec une colonne en fibre de verre depuis 1995, suite à ce retour d'expérience d'autres forages géothermiques fortement corrodés ont été rechemisés en fibre de verre en 2015.

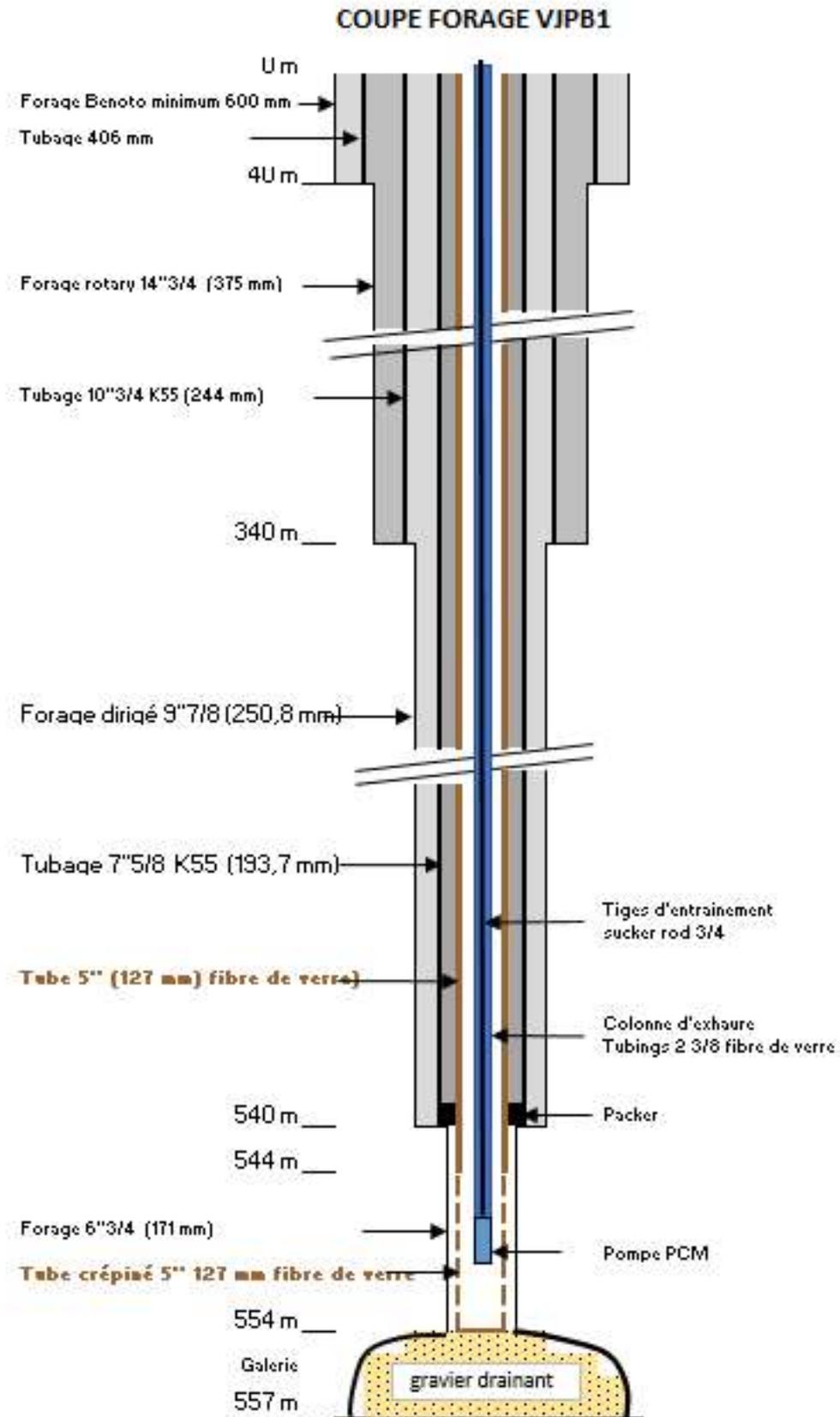
Document



Principe de fabrication



8- COUPE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE



9- COMPLETION FINALE

9.1 Equipement de pompage

Afin d'éviter des soucis de corrosion, la colonne d'exhaure 2''3/8 est en fibre de verre, cette colonne sert également de suspension à la pompe PCM

Le stator de la pompe PCM est vissé sur le premier tube 2''3/8 (tubing) à descendre, un capteur de pression est fixé juste au-dessus du stator, son câble de liaison est fixé régulièrement sur l'extérieur des tubings, des centreurs posés régulièrement évite au câble de se coincer entre la colonne 2''3/8 et le tubage fibre de verre 5''.

Le but de ce capteur de pression est de connaître le niveau d'eau (ou de saumure) dans l'espace annulaire 2''3/8 et 5''.

(Solexperts a une gamme de capteurs en titane de diamètre 16 et 22 mm résistant à une pression supérieure à 50 bars, il existe également d'autre fournisseurs).

Lorsque la pompe est descendue à la côte souhaitée (vers 545 m), une bride de suspension est vissée sur le dernier tubing et l'ensemble est posé sur la tête de puits

Un dispositif IBOP est installé au-dessus de la bride de suspension, ce dispositif a deux fonctions :

- Il permet d'évacuer le fluide pompé par une sortie latérale
- Il permet de sécuriser le puits avec une fermeture étanche sur les tiges d'entraînement lorsque le forage n'est pas utilisé ou en cas d'arrivée de gaz en pompage.



IBOP

Etanchéité



The Integrated Blow-Out Preventer (IBOP) is one of the surface equipment that ensures safe operation and production of your progressing cavity pump system.

IBOP is connected between wellhead and PCP drivehead. It is equipped with ram's seats to be able to close on polished rods to secure well bore. It also integrates a flow tee to connect the tubing string to the flow line production.

To be adapted to your wellhead and fit your operation conditions, IBOP are available:

- Standard or Flanged Bottom & Top connection
- Standard temperature or High temperature
- Single or Dual RAMs



IBOP

Le stator est descendu à l'aide de tiges $\frac{3}{4}$ " (sucker-rod), des centreurs tournants sont incorporés suivant le profil du puits afin d'éviter une usure prématurée de la colonne d'exhaure en fibre de verre, en fin de descente le rotor est emboîté dans le stator (le poids des tiges est supérieur à la force nécessaire à l'emboîtement).

Le châssis d'entraînement de la pompe comportant l'ensemble moteur/poulies/courroies ainsi que le dispositif d'étanchéité entre les sucker-rod et la colonne d'exhaure est installé directement sur le IBOP. Un coffret électrique placé à proximité permet la mise en route et l'arrêt de la pompe, le système peut être également prévu avec un variateur de fréquence pour ajuster le débit.

Le capteur de pression peut éventuellement asservir la pompe, mais dans ce cas il sera nécessaire de le prévoir dans le système.

En raison du nombre d'heures très limité de pompage, le système le plus simple reste le plus fiable. Un variateur nécessite à minima une ventilation permanente ainsi qu'un petit chauffage pour éviter la condensation ; ce qui implique l'amenée de l'électricité sur site, dans le cas d'un montage basique, un groupe électrogène est suffisant lors des pompages.

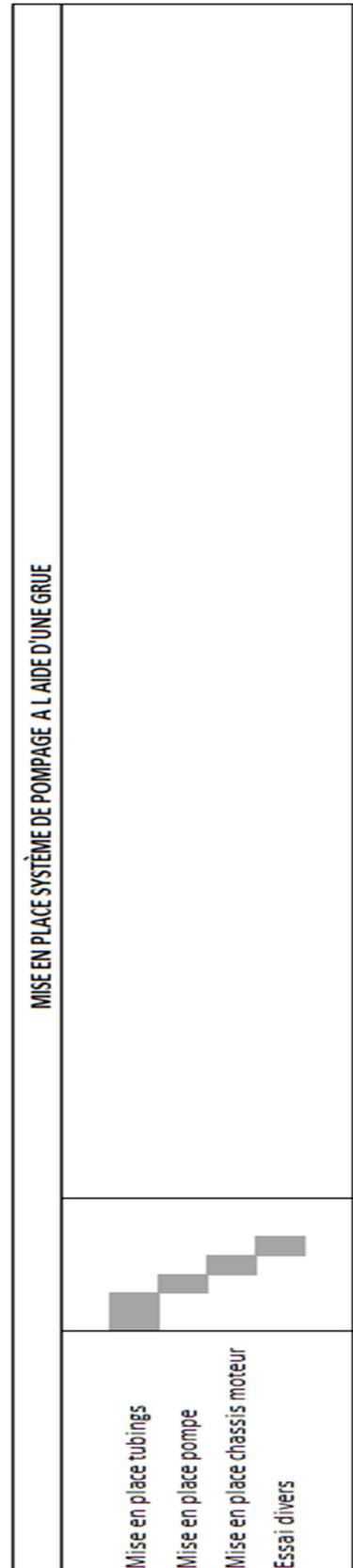
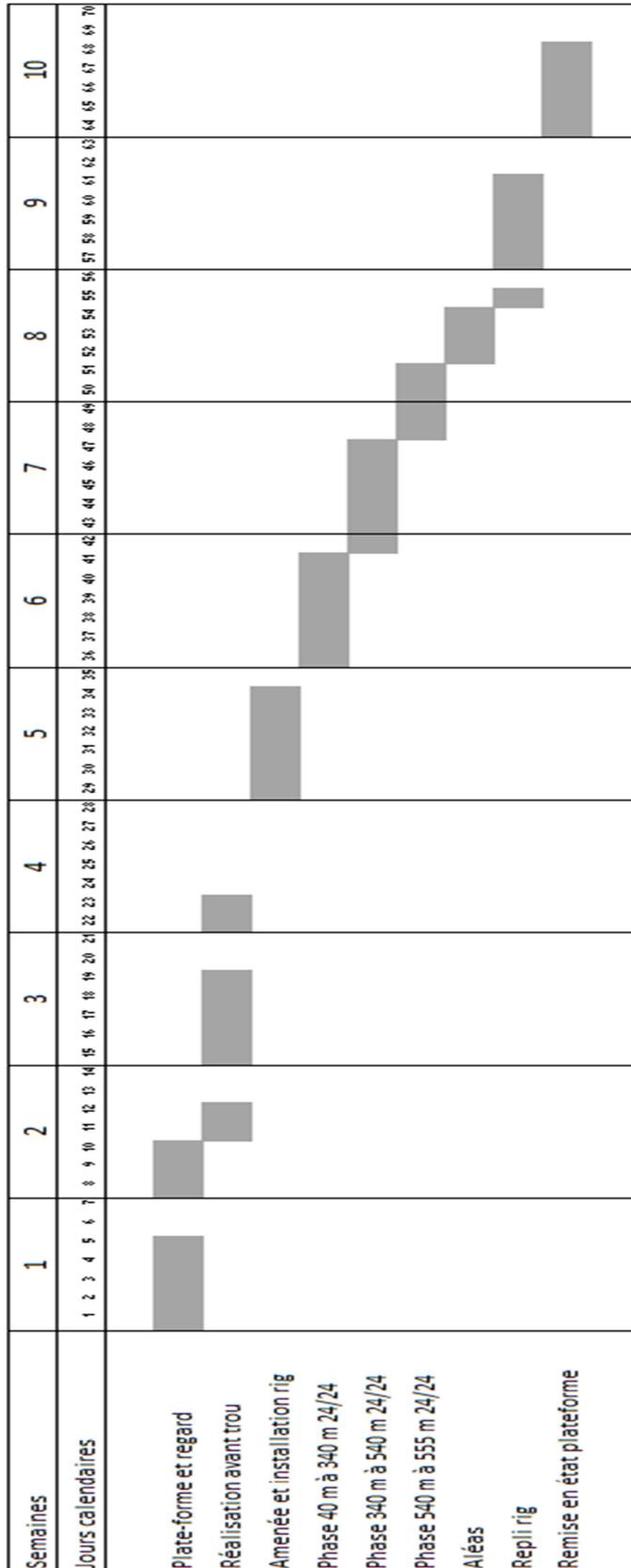
9.2 Préconisations particulières

Recommandations du constructeur de pompe PCM :

- Eviter de dénoyer la pompe, une marche à sec endommage très rapidement le stator. L'idéal est de garder un minimum de 10 m de hauteur d'eau sur la pompe
- Mise en route de la pompe une fois par semaine pour éviter un gommage du rotor avec les eaux salées.
- Autre possibilité :
 - o En cas de pompage beaucoup moins fréquent (tous les 3 à 4 mois) : sortir le rotor du stator (cette opération prend environ 1 h avec bras de grue)
 - o En cas de pompage encore moins fréquent (tous les 1 à 2 ans) : sortir entièrement le rotor avec toutes les sucker-rods (environ 4 heures avec une grue)
- Avantage de la dernière solution, les tubings sont libres et permettent de réaliser des mesures de pression (étalonnage avec capteur placé dans l'espace annulaire) ou de faire des prélèvements (jusqu'au niveau du stator)

10- PLANNING PREVISIONNEL

PLANNING REALISATION FORAGE VIPB1



11- BUDGET

DESCRIPTION	COUT UNITAIRE	NOMBRE	COUT TOTAL HT €
Réalisation plateforme forage	60 000	1	60 000
Démantèlement et aménagement site	40 000	1	40 000
Réalisation avant trou Benoto	40 000	1	40 000
Amenée et repli matériel de forage	260 000	1	260 000
Jours d'opération rig	19 000	20	380 000
Carburant 2500l/j	1	50 000	50 000
Mud Logging	2400	20	48 000
Fabrication boue et traitement	122 000	1	122 000
Tubage, accessoires et vissage	1	254 000	254 000
Cimentation	22 000	3	66 000
Forage dirigé	180 000	1	180 000
Diagraphies	30 000	1	30 000
Tête de puits	15 000	1	15 000
Evacuation et mise en décharge	150 000	1	150 000
Système de pompage PCM et pose	90 000	1	90 000
Supervision	50 000	1	50 000
		TOTAL	1 835 000

12- CONCLUSIONS

Emplacement forage

Le géo-référencement des galeries du fond dans le système Lambert 93 CC48 a permis d'implanter le secteur cible du forage avec une précision de l'ordre de 20cm. Un levé définitif de la cible est à prévoir juste après son creusement en 2021. L'acquisition, par les MDPA, de la parcelle communale située à l'aplomb de la cible facilite considérablement l'opération de forage.

Les opérations de forage ne comportent pas de difficultés majeures, elles sont fortement comparables à celles des ouvrages de surveillance profonds VA et VLPB2, à la différence qu'il n'y a pas de vieux travaux à traverser, la cible se trouvant en un secteur où les couches sont vierges.

Plateforme

La plateforme nécessaire à la mise en place du matériel de forage sera construite de manière à respecter les spécifications de la DREAL :

- Plateforme étanche, fossé drainant étanche en périphérie avec bac de décantation et déshuileur.
- Regard pour le forage avec fond étanche.

En fin de forage, la plateforme sera démantelée, une partie autour du forage sera conservée pour les besoins d'exploitation.

Une dalle béton sera réalisée autour du forage avec une pente vers le puits de manière à récupérer un débordement accidentel lors des pompages.

Un caillebotis sécurisera le regard tête de puits

Un abri démontable à la grue sera posé sur la tête de puits

Une clôture de 2 m de haut en grillage rigide fermera le site.

Forage

Plusieurs solutions techniques sont évoquées dans ce rapport.

Afin de réaliser l'ouvrage dans de bonnes conditions, la partie technique est prioritaire sur le prix

Il est préférable de choisir les diamètres de forage correspondant à la solution 2
(Coût solution 1 environ -10%)

De 0 à 40 m Forage par havage en diamètre minimum 600 mm
Tubage 406 mm acier S 355 épaisseur 8 mm

De 40 à 340 m Forage rotary $\varnothing 14^{3/4}$ (375 mm) à la boue bentonitique
Tubage $10^{3/4}$ (273 mm) acier K55 de 0 à 340 m

De 340 m à 540 m (arrêt entre 10 à 15 m avant le toit de la galerie)
Forage $9^{7/8}$ (251 mm) en rotary à la boue saturée en NACL
Tubage $7^{5/8}$ (194 mm) acier K55 de 0 à 540 m

De 540 m à 555 m (débouchage dans la galerie)
Forage en $6^{3/4}$ (171 mm) en rotary à la boue
Tubage 5'' (127 mm) de 0 à 548 m en fibre de verre
Crépine 5'' (127 mm) perforé ou rainuré de 548 à 555 m avec bouchon de fond

Méthode

La partie forage rotary se fera entièrement en méthode forage dirigé avec suivi de trajectoire par MWD dès 40 m.

A cette profondeur, en forage dirigé vertical l'atteinte de la cible ne pose pas de problème, la trajectoire peut dévier de maximum + ou - 2 m (la galerie a une largeur de 5 m). Par expérience, la précision de la mesure du MWD est comprise entre 0.5 et 1 m.

Le contrôle à chaque phase par diagraphies de type gyroscope donne une précision de l'ordre du décimètre à cette profondeur et permet de corréliser les mesures avec le MWD.

Le profil choisi correspondra à la figure 3, le déviateur évitera de corriger la trajectoire trop souvent pour limiter la tortuosité (en forage vertical l'azimut peut très vite passer de 360°N à 180° N sans aucune incidence si l'inclinaison est faible).

La galerie ayant été comblée avec un gravier drainant avant la fermeture du puits d'accès, nous considérons que les tassements de terrain en plafond de galerie seront stabilisés.

La colonne 5'' fibre de verre sera donc cimentée uniquement inter-tube, le système de packer à mettre en place correspondra au choix 2 (packer mécanique en acier Duplex), cette version est la plus simple à mettre en œuvre et la plus sécurisante.

Système de pompage

En raison de la qualité d'eau, du faible débit à pomper et de la hauteur manométrique importante, le choix d'une pompe de type "queue de cochon" est le meilleur compromis.

PCM a une gamme de pompe qui convient parfaitement à ce type d'ouvrage.

Afin de limiter la corrosion, la colonne d'exhaure sera en fibre de verre (pour limiter les coûts, il est souhaitable de commander cette colonne chez le même fournisseur en même temps que la colonne 5" du forage)

Les tiges d'entraînement (sucker-rods) en fibre de verre peuvent éventuellement être fournies par le fournisseur de la pompe.

L'enveloppe contenant le stator de la pompe PCM devra être en Duplex (option chez PCM).

Grace au système IBOP, le puits reste parfaitement étanche même lors des phases arrêts.

Le suivi du niveau se fera par un capteur descendu dans l'espace annulaire 2''^{3/8} x 5''.

Ce type de matériel est facile à mettre en œuvre : inutile de mettre en œuvre un atelier de forage, une simple grue télescopique est suffisante.

La puissance électrique est inférieure à 10kw.

Un groupe électrogène sera amené lors de chaque intervention de pompage.

Elimination des fluides

Lors des pompages et compte tenu des faibles débits et volumes attendus, le fluide sera récupéré dans des containers de 1000 litres et acheminé vers un centre de traitement agréé. Des prélèvements de fluide seront exécutés durant le pompage et envoyés en laboratoire afin de déterminer le meilleur centre de traitement en fonction des analyses.

13- ANNEXES

13.1 Documentation tube fibre de verre FPI



RED BOX® and BLUE BOX®
General Product Catalogue

3. QUALITY ASSURANCE, CERTIFICATIONS & RELEVANT STANDARDS

Future Pipe Industries' quality management system is ISO-9001 certified.

Tubing & Casing manufacturing facilities are also Certified to be in compliance with ISO/TS 29001 and API Specification Q1 for their quality management systems.

To ensure RED BOX® and BLUE BOX® long term performance, the design basis is verified using long term testing and regression analysis as per ASTM D2992, at the required design temperature or higher.

Future Pipe Industries enforces strict and meticulous quality control policy, in-line with leading international standards. This enables optimum performance of our pipe systems over their entire service life when installed correctly as per the recommendations in our Installation Manual.

Tubing & Casing conforms to the following ASTM specifications:

ASTM D 2310 – 06

RED BOX® Designation: RTRP-11AX

BLUE BOX® Designation: RTRP-11FX

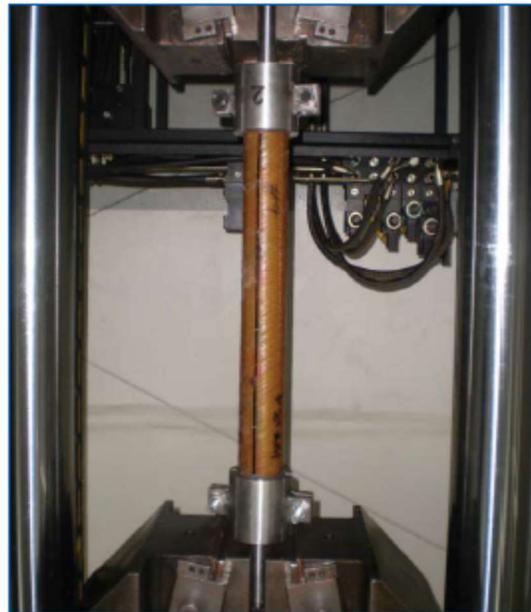
ASTM D 2996 – 06

RED BOX® size (2-3/8" - 10-3/4") Designation: RTRP-11AX1-2331

RED BOX® size (11-3/4" - 24") Designation: RTRP-11AX1-2111

BLUE BOX® size (2-3/8" - 10-3/4") Designation: RTRP-11AX1-2331

BLUE BOX® size (11-3/4" - 24") Designation: RTRP-11FX1-2111



8. TYPICAL MECHANICAL & HYDROSTATIC PROPERTIES OF PIPE

The below mechanical properties have been measured at a standard lab temperature of 73.5°F (23°C), unless specified otherwise.

Property	Test method	Size 2-3/8" to 10-3/4"			
		Units	Value	Units	Value
Hoop tensile stress (hydrostatic at weep, bi-axial)	ASTM D1599	PSI	31,300	N/mm ²	216
Axial tensile stress (mechanical, uni-axial)	ASTM D2105	PSI	30,000	N/mm ²	207
Axial tensile modulus	ASTM D2105	PSI (X10 ⁶)	3.0	N/mm ²	20,685

Property	Test method	Size 11-3/4" to 24"			
		Units	Value	Units	Value
Hoop tensile stress (hydrostatic at weep, bi-axial)	ASTM D1599	PSI	36,250	N/mm ²	250
Axial tensile stress (mechanical, uni-axial)	ASTM D2105	PSI	9,400	N/mm ²	65
Axial tensile modulus	ASTM D2105	PSI (X10 ⁶)	1.52	N/mm ²	10,500

Future Pipe Industries has produced this catalogue for general information only, and it is not intended for design purposes. Although every effort has been made to maintain the accuracy and reliability of its contents, Future Pipe Industries in no way assumes responsibility for liability for any loss, damage, injury resulting from the use of information and data herein nor is any warranty expressed or implied.

9. TYPICAL PHYSICAL PROPERTIES OF PIPE

Property	Test method	Units	Value	Units	Value
Coefficient of linear thermal expansion	ASTM D696	in/in/°F (X10 ⁻⁵)	1.1 – 1.2	mm/mm/°C (X10 ⁻⁵)	2.0 – 2.2
Thermal conductivity	ASTM C177	BTU/ft/hour/°F	0.17	W/m/K	0.29
Specific heat	-	BTU/lb/°F	0.22	J/kg/K	921
Glass content (by mass)	ASTM D2584	%	75 ± 5 (for pipe) 70 ± 5 (for fittings)	%	75 ± 5 (for pipe) 70 ± 5 (for fittings)
Glass content (by volume)	ASTM D2584	%	58 ± 7 (for pipe) 52 ± 6 (for fittings)	%	58 ± 7 (for pipe) 52 ± 6 (for fittings)
Density of the laminate	ASTM D792	lb/in ³	0.07	kg/m ³	1,850
Specific gravity	ASTM D792	-	1.85	-	1.85
Barcol hardness	ASTM D2583	-	35	-	35
Absolute pipe wall roughness	-	inch	0.0004	mm	0.01
Minimum flow coefficient (C)	Hazen Williams	-	150	-	150
Surface Roughness parameter (e)	AWWA M45	ft (X10 ⁻⁵)	1.7	m (X10 ⁻⁶)	5.18
Roughness coefficient (n)	Manning	-	0.009	-	0.009

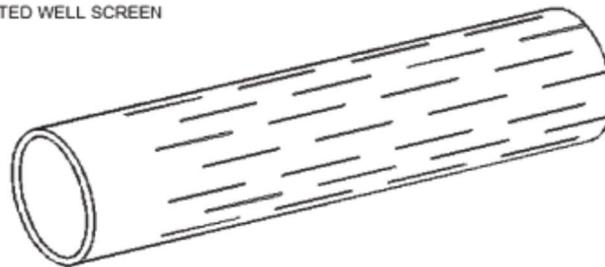
Future Pipe Industries has produced this catalogue for general information only, and it is not intended for design purposes. Although every effort has been made to maintain the accuracy and reliability of its contents, Future Pipe Industries in no way assumes responsibility for liability for any loss, damage, injury resulting from the use of information and data herein nor is any warranty expressed or implied.

15. SPECIAL PRODUCTS, FEATURES AND SERVICES

15.1 Special Products

- **Down-hole Crossover Joints:** In addition to the typical fitting type crossover, full or partial length crossover joints are available for mixed string down-hole applications. The connections on these crossovers are as per tubing or casing of the same size and all performance capabilities of the main string are maintained.
- **Test Coupons:** Test coupons are available for chemical resistance monitoring and testing. The coupons are typically perforated for handling and are epoxy coated on all exposed saw cut edges.
- **Flange Gaskets, Bolts, Nuts, and Washers:** Spiral wound Flexitallic style gaskets together with studs, nuts, and washers for each size and ratings of flange are available. Note that the bolt length for fiberglass flanges differs from that required for steel.
Customers with special requirements should feel free to propose any new or different products to be manufactured. Our business is to provide working solution to application problems with fiberglass products, be they standard or unique.
- **Slotted Well Screens:** Well screens in all tubing and casing sizes slotted to customer specified slot opening dimensions are available. Further details on this product are included on the drawing provided in this section.

SLOTTED WELL SCREEN



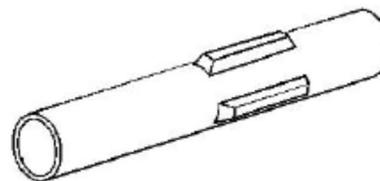
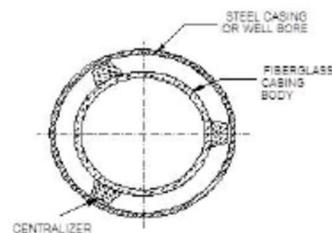
Slots per liner foot based on a minimum of 2.5% open area for 0.020" slot width and 3% open area for all other slot width

Slot Width (Inches)	Slot Length on the ID (Inches)	Tubing / Casing Size									
		3-1/2	4	4-1/2	5-1/2	6-5/8	7, 7-5/8	9-5/8	10-3/4	11-3/4	13-3/8
0.020	3.00	34	42	52	58	69	77	95	109	138	157
0.025		33	41	50	55	66	74	91	105	133	151
0.028		29	36	44	49	59	66	81	93	119	135
0.038		22	27	33	37	44	49	60	69	87	99
0.058		14	18	22	24	29	32	39	45	57	65
0.125		7	9	10	11	14	15	19	21	27	31
0.250		4	5	5	6	7	8	10	11	14	16

Please Contact Future Pipe Industries for other tubing and casing diameters slotted well screen not listed

Centralizers. Molded epoxy casing and tubing centralizers are available for all sizes

CASING CENTRALIZER



CENTRALIZERS CAN BE INSTALLED AT ANY GIVEN POSITION ON THE CASING BODY AND WITH ANY GIVEN QUANTITY PER JOINT. THE CENTRALIZERS ARE DURABLE AND OF CLOSE TOLERANCE DIMENSIONS.

FUTURE PIPE INDUSTRIES, INC. CENTRALIZERS ARE COMPOSED OF MOLDED EPOXY GROUT AND ARE AVAILABLE AT CUSTOMER SPECIFIED CLEARANCE DIAMETERS.

Mise en œuvre sur chantier

Picture 8: Application of thread sealant



Picture 9: Application of thread sealant



Picture 10: Application of strap wrench



Picture 11 Application of power tong



13.2 Gamme de pompe PCM

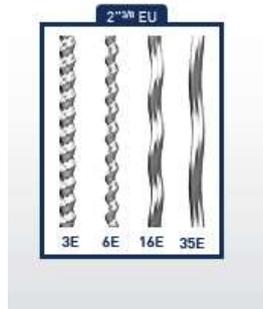
PROGRESSING CAVITY PUMP RANGE

THE WIDEST RANGE OF ARTIFICIAL LIFT
PCP TECHNOLOGIES

keep it moving

MODEL	DISPLACEMENT		HEAD		STATOR				ROTOR						
	m ³ /d/RPM	bpd/RPM	m	ft	Connection	OD mm	OD inch	LENGTH m	LENGTH ft	Connection	OD mm	OD inch	LENGTH m	LENGTH ft	Sluggers
PCM MOINEAU™ 2" 3/8 SERIES															
3E600	0,03	0,2	600	1970	2"3/8 EU	71	2,80	0,90	2,8	3/4"	40,0	1,57	1,40	4,7	
3E1200	0,03	0,2	1200	3940	2"3/8 EU	71	2,80	1,80	5,9	3/4"	40,0	1,57	2,30	7,6	X
3E2400	0,03	0,2	2400	7880	2"3/8 EU	71	2,80	3,60	11,8	3/4"	40,0	1,57	4,10	13,5	X
6E600	0,05	0,3	600	1970	2"3/8 EU	71	2,80	1,30	4,3	3/4"	38,0	1,50	1,79	5,9	
6E1300	0,05	0,3	1300	4270	2"3/8 EU	71	2,80	2,61	8,6	3/4"	40,0	1,57	3,09	10,1	X
6E2000	0,05	0,3	2000	6570	2"3/8 EU	71	2,80	3,91	12,8	3/4"	40,0	1,57	4,44	14,6	X
6E2600	0,05	0,3	2600	8540	2"3/8 EU	71	2,80	5,22	17,1	3/4"	40,0	1,57	5,71	18,7	X
16E800	0,17	1,1	800	2630	2"3/8 EU	71	2,80	3,60	11,9	3/4"	38,0	1,50	4,10	13,5	
16E1200	0,17	1,1	1200	3940	2"3/8 EU	71	2,80	5,40	17,7	3/4"	38,0	1,50	5,90	19,4	X
16E1600	0,17	1,1	1600	5250	2"3/8 EU	71	2,80	7,21	23,6	3/4"	38,0	1,50	7,71	25,3	X
35E600	0,35	2,26	600	1970	2"3/8 EU	71	2,80	5,64	18,5	3/4"	40	1,57	6,01	19,7	
35E800	0,35	2,26	800	2630	2"3/8 EU	71	2,80	7,44	24,4	3/4"	40	1,57	7,81	25,6	
35E1000	0,35	2,26	1000	3290	2"3/8 EU	71	2,80	9,24	30,3	3/4"	40	1,57	9,62	31,6	

Le modèle 3E1200 convient



Sucker rod et système de centrage tournant

Fiberglass Sucker rod

- The Fiberglass rod gives the rod string more elasticity, providing over travel of the pump, therefore providing more production.
- The 2 FG rods weigh less than 3 steel rods, this allows the operator to use a smaller pump jack
- The FG rod is corrosion resistant due to its make up

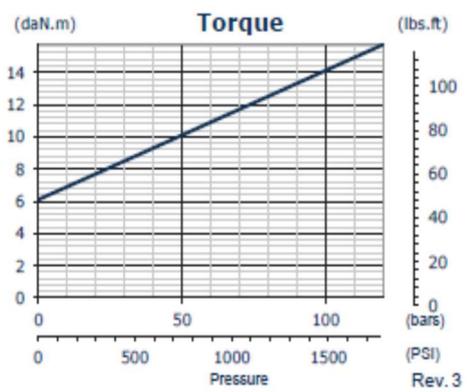
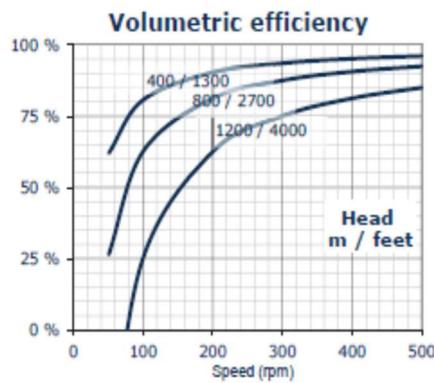
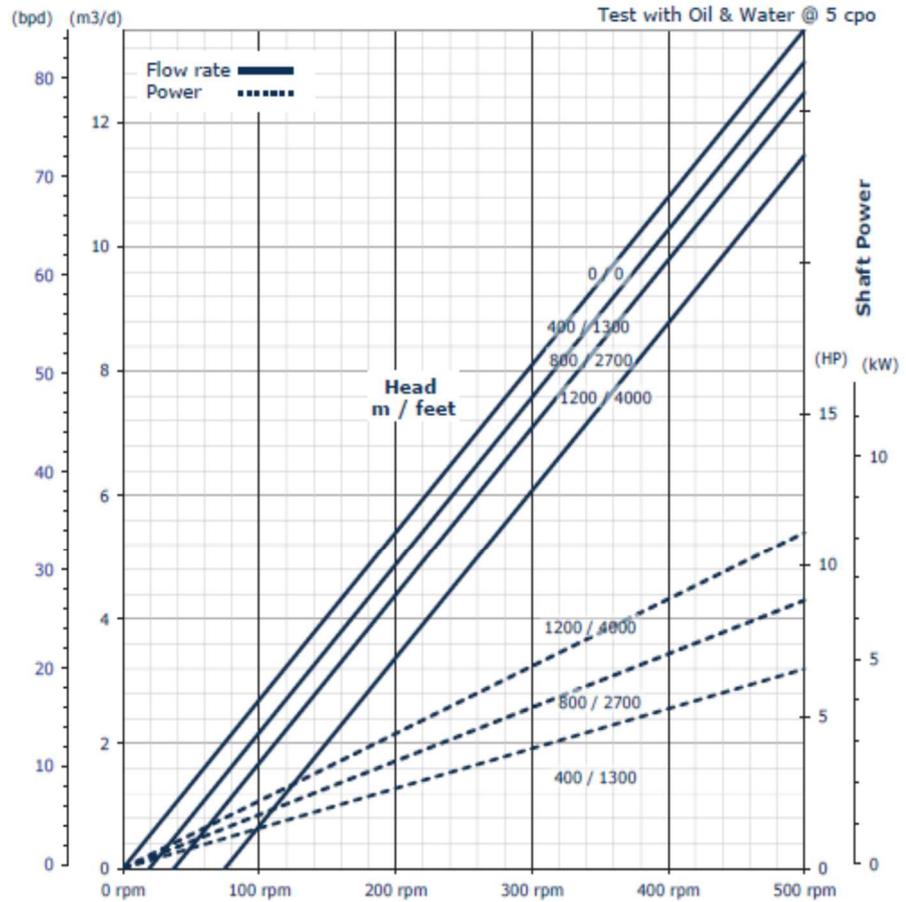


PCM 6, boulevard Bineau
92300 LEVALLOIS-PERRET - FRANCE
keep it moving Email : contact@pcm.eu
www.pcm.eu

PCM Moineau™

Performance chart

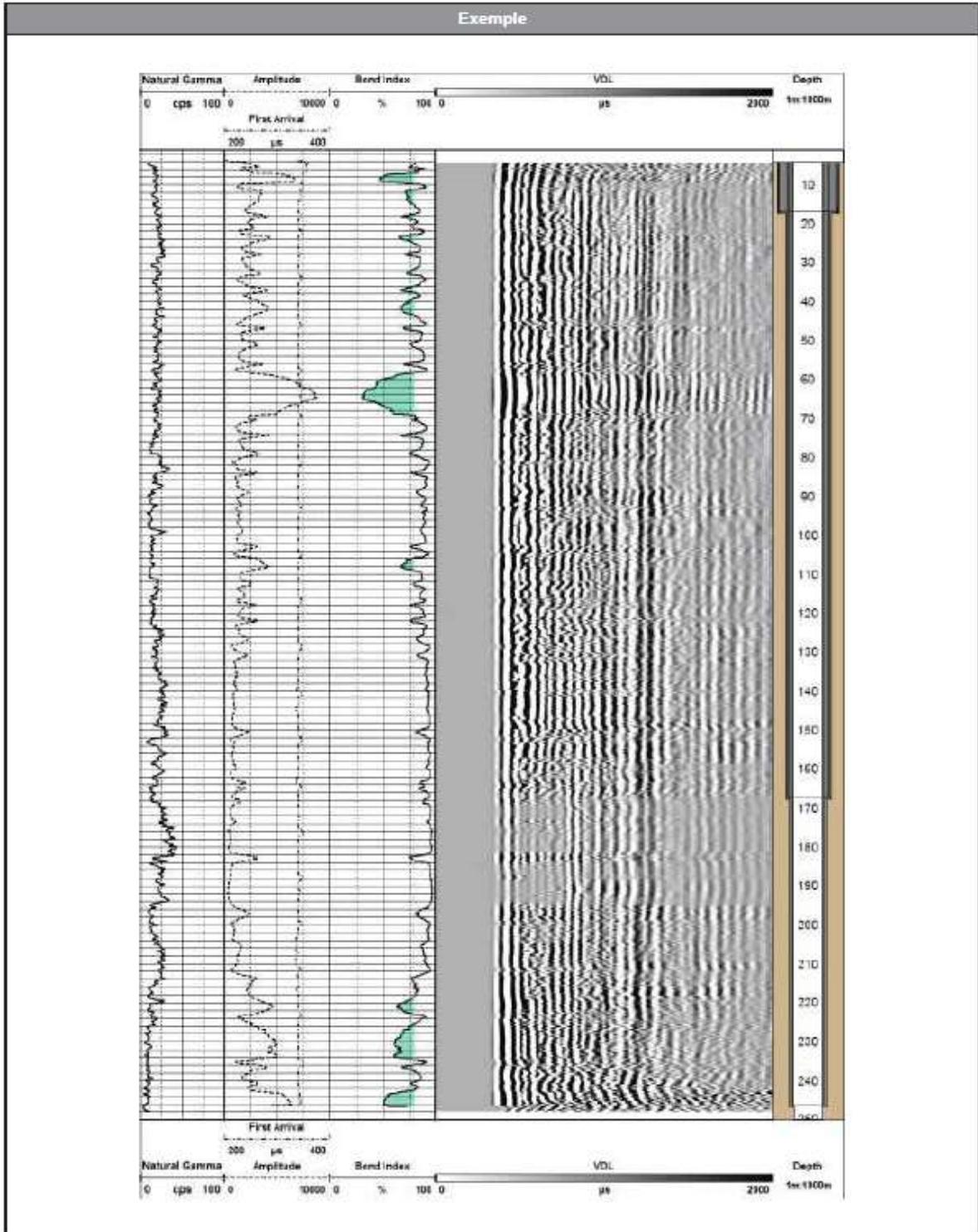
3E1200

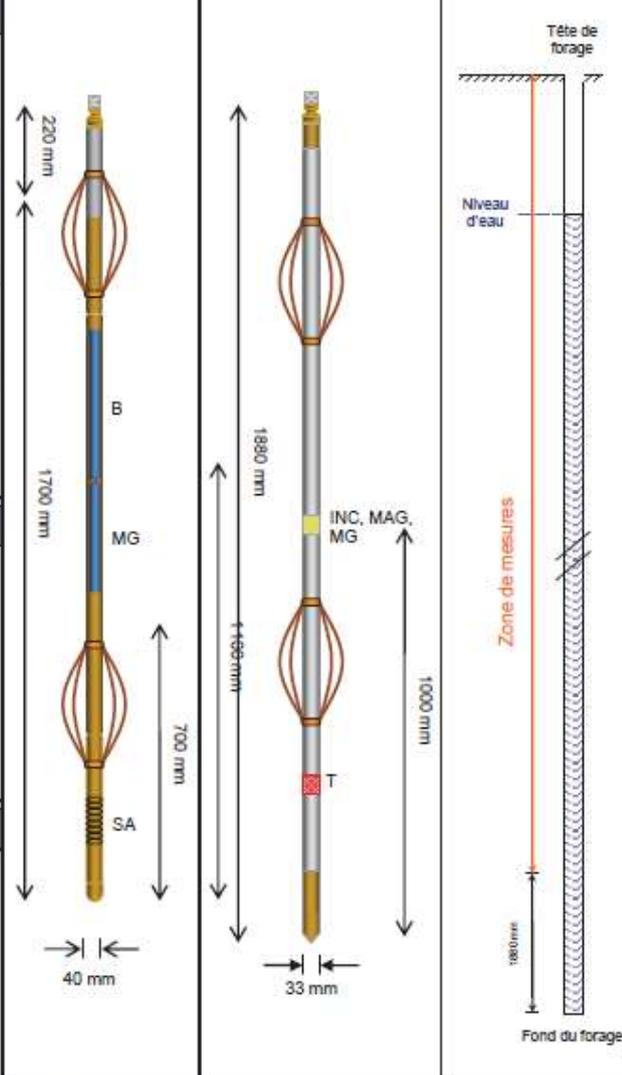


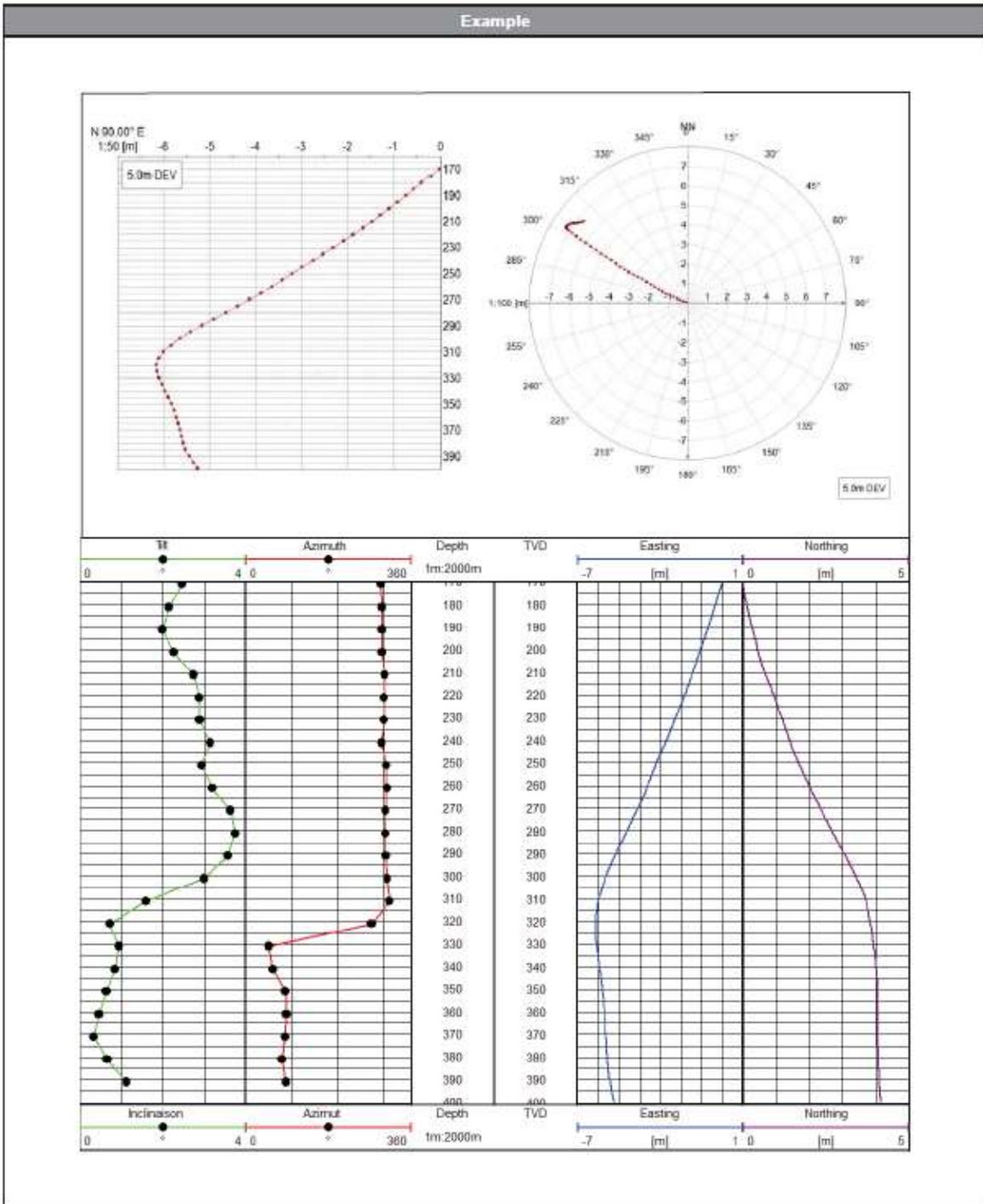
13.3 Gamme de sonde de diagraphies



FICHE TECHNIQUE		
ACOUSTIQUE	CIMENTATION CBL	FWS
<p align="center">Généralités</p> <p><i>Grandeurs mesurées</i> Enregistrement d'un train d'ondes.</p> <p><i>Principe</i> Emission d'une onde sonore à l'aide d'un émetteur piézo-électrique situé sur la sonde. Mesure du temps d'arrivée de l'onde de compression (P) de l'acier et de son amplitude à l'aide d'un récepteur piézo-électrique situé sur la sonde.</p> <p><i>Résultat</i> VDL, courbe d'indice de bonne cimentation (BI), temps de trajet de l'arrivée de l'acier.</p> <p><i>Intérêt</i> Etude de la qualité de cimentation d'un tubage acier.</p> <p><i>Option</i> Détecteur gamma naturel.</p>		
<p align="center">Contraintes / trou de forage</p> <p>remplissage : <input checked="" type="checkbox"/> en eau <input checked="" type="checkbox"/> en boue <input type="checkbox"/> sec tubage : <input type="checkbox"/> PVC <input checked="" type="checkbox"/> acier <input type="checkbox"/> nu forage : <input checked="" type="checkbox"/> carotté <input checked="" type="checkbox"/> destructif</p> <p>profondeur max : 2000 m diamètre utile : 70 mm – 600 mm température : 0 °C – 70 °C pression max : 200 bars</p>		
<p align="center">Caractéristiques de la sonde</p> <p><i>Dimensions</i></p> <ul style="list-style-type: none"> longueur : 3350 mm diamètre : 58 mm poids : 25 Kg <p><i>Eléments</i></p> <ul style="list-style-type: none"> 1 émetteur (14 kHz) : E 3 récepteurs (2 ft, 3 ft et 4 ft) : RC₁, RC₂, RC₃ 1 capteur gamma ray : GR 		
<p align="center">Enregistrements / Mesures</p> <p><i>Enregistrement</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Sonde : <input checked="" type="checkbox"/> centrée <input type="checkbox"/> excentrée Mesure : <input checked="" type="checkbox"/> descente <input checked="" type="checkbox"/> remontée Pas échant. : 5 cm (spatial) ; 4 μs (temporel) Vitesse enreg. : 8 m/min <p><i>Mesures</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Gamme BI : 0 - 100 % Résolution : 0,1 % de la mesure Résolution vert. : 5 cm Précision : 1 % de la mesure 		

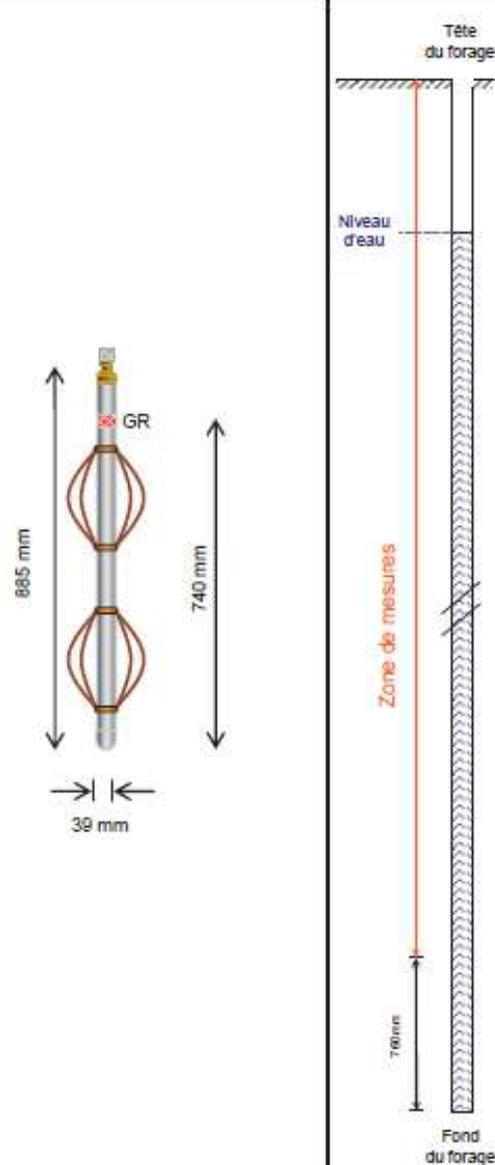


FICHE TECHNIQUE		
TRAJECTOMETRIE	GYRO MEMS	GYR
<p align="center">Généralités</p> <p><i>Grandeurs mesurées</i> Inclinaison et azimut du forage.</p> <p><i>Principe</i> L'outil est doté de plusieurs gyroscopes MEMS mesurant l'azimut du forage, ainsi que d'un inclinomètre triaxial pour la mesure d'inclinaison du forage. Il permet de suivre la trajectoire du forage.</p> <p><i>Résultat</i> Trajectométrie du sondage, calcul des déports et déviations en tout point du sondage.</p> <p><i>Intérêt</i> Positionnement précis de forages verticaux ou horizontaux, vérification de la conformité du forage au cahier des charges.</p> <p><i>Option</i> Magnétomètre pour mesure de l'azimut magnétique</p>		
<p align="center">Contraintes / trou de forage</p> <p>remplissage : <input checked="" type="checkbox"/> en eau <input checked="" type="checkbox"/> en boue <input checked="" type="checkbox"/> sec tubage : <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input checked="" type="checkbox"/> acier <input checked="" type="checkbox"/> nu forage : <input checked="" type="checkbox"/> carotté <input checked="" type="checkbox"/> destructif</p> <p>profondeur max : 3500 m diamètre utile : 45 mm - 300 mm</p> <p>température : -30°C à 85°C pression max : 350 bars</p>		
<p align="center">Caractéristiques de la sonde</p> <p><i>Dimensions</i></p> <ul style="list-style-type: none"> longueur : 1880 ; 1920mm diamètre : 33 mm ; 40 mm poids : ± 9 kg <p><i>Elements</i></p> <ul style="list-style-type: none"> 3 micro-gyros : MG 1 magnétomètre : MAG (optionnel) 1 batterie : B 1 absorbeur de choc : SA 1 capteur temp. : T (optionnel) 		
		
<p align="center">Enregistrements / Mesures</p> <p><i>Enregistrement</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Sonde : <input checked="" type="checkbox"/> centrée <input checked="" type="checkbox"/> excentrée en incliné Mesure : <input checked="" type="checkbox"/> descente <input checked="" type="checkbox"/> remontée Vitesse enreg. : 1 tir/10 m, adaptable si besoin <p><i>Mesures</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Précision azimut : ± 1.0 Dépend aussi de la précision de la référence azimutale. Précision inclinaison : ± 0.2° 		



sonde gamma



FICHE TECHNIQUE		
NUCLEAIRE	GAMMA RAY	NGAM
<p align="center">Généralités</p> <p><i>Grandeur mesurée</i> Radioactivité naturelle des formations.</p> <p><i>Principe</i> Mesure des rayonnements gamma, émis spontanément par les éléments radioactifs contenus dans les terrains traversés par le forage.</p> <p><i>Résultat</i> Courbes de variation du rayonnement naturel gamma en fonction de la profondeur.</p> <p><i>Intérêt</i> • En zone sédimentaire : Reconnaissance des lithologies en fonction de leur argilosité.</p>		
<p align="center">Contraintes / trou de forage</p> <p>remplissage : <input checked="" type="checkbox"/> en eau <input checked="" type="checkbox"/> en boue <input checked="" type="checkbox"/> sec tubage : <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input checked="" type="checkbox"/> acier <input checked="" type="checkbox"/> nu forage : <input checked="" type="checkbox"/> carotté <input checked="" type="checkbox"/> destructif</p> <p>profondeur max : 2000 m diamètre utile : 50 mm – 800 mm température : 0 °C – 85 °C pression max : 200 bars</p>		
<p align="center">Caractéristiques de la sonde</p> <p><i>Dimensions</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • longueur : 885 mm • diamètre : 39 mm • poids : 5 Kg <p><i>Eléments</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 détecteur gamma naturel : GR (scintillateur NaI) 		
		
<p align="center">Enregistrements / Mesures</p>		
<p><i>Enregistrement</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Sonde : <input checked="" type="checkbox"/> centrée <input checked="" type="checkbox"/> excentrée • Mesure : <input checked="" type="checkbox"/> descente <input checked="" type="checkbox"/> remontée • Vitesse d'enreg. : 5 m/min 		<p><i>Mesures</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Résolution : 1 API • Résolution vert. : 5 cm

