

Norme
NF X10-999

Avril 2007

AFNOR

Association Française
de Normalisation

www.afnor.fr

1er tirage

X10-999

Forage d'eau et de géothermie

Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de
captage ou de surveillance des eaux
souterraines réalisés par forages

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent document, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées. La violation de ces dispositions impératives soumet le contrevenant et toutes personnes responsables aux poursuites pénales et civiles prévues par la loi.

Imprime par AFNOR le
24 avril 2007

pour

avec l'autorisation de l'Editeur

AFNOR

norme française

NF X 10-999

Avril 2007

Indice de classement : X 10-999

ICS : 13.060.10 ; 93.160

Forage d'eau et de géothermie

**Réalisation, suivi et abandon d'ouvrages
de captage ou de surveillance des eaux
souterraines réalisés par forages**E : Water wells and geothermal drilling — Construction, monitoring and dismantling
of catchworks and wells to tap into underground waterD : Wasserbohrung — Bau, Verfolgung und Aufgabe der Bewirtschaftung einer
Grundwassergewinnungs- bzw. -überwachungsanlage**Norme française homologuée**par décision du Directeur Général d'AFNOR le 20 mars 2007 pour prendre effet
le 20 avril 2007.**Correspondance**À la date de publication du présent document, il n'existe pas de travaux européens
ou internationaux traitant du même sujet.**Analyse**Le présent document décrit les bonnes pratiques de conception, de réalisation, de
suivi, de fermeture de forages d'eau et de géothermie et tient compte des exigences
réglementaires. Tous les types d'usages sont concernés ; de même ce document
s'adresse à tous les types d'acteurs (particuliers, professionnels, administrations)**Descripteurs****Thésaurus International Technique** : forage, puits d'eau, géothermie, ouvrage,
contrat, eau souterraine, sécurité, protection de l'environnement, matériel de
chantier, matériel de forage, tube de forage, crepine, injection, ciment, profondeur
contrôle, mise en œuvre, pompage, mesurage, niveau, eau, débit, essai des eaux
qualité, protection, réception, conditions d'exploitation, maintenance.**Modifications****Corrections**

Forages d'eau

AFNOR X10G

Membres de la commission de normalisation

Président : M COUDERC

Secrétariat : MME GUEGAN — AFNOR

MME	AUPERT	DIREN BRETAGNE
MME	BORNE	CALLIGEE
M	BRETTE	ANTEA
M	BRIES	BRIES ET FILS
M	BRULE	SARL BRULE LATHUS FORAGE
M	CALLIER	BRGM
M	COHEN-SKALI	HYDROMINES
M	COUDERC	SFE
M	DURAND	AQUASSYS DOL FORAGE
M	GOBICHON	AQUASSYS DOL FORAGE
M	GRIERE	GEOENERGIE
M	LE BIDEAU	TERRE ET HABITAT
MME	LEGRAND	MEDD-DIRECTION DE L'EAU
M	LEGROUX	AREF — CGGREF
M	MARGUET	CALLIGEE
M	MINO	FORACO MANAGEMENT
M	POINTET	BRGM
M	QUERBES	SFE
M	REMY	AFNOR
M	SQUARCIONI	HYDRO INVEST SA
M	VAN INGEN	VAN INGEN FORAGES

Et la contribution de :

MME LAMY et M LE FANIC (NESTLE WATERS), M VAUTHRIN (VAUTHRIN FORAGES), M ARCHAMBEAU (ARCHAMBEAU CONSEILS), M DUPUY (INSTITUT EGID UNIVERSITE DE BORDEAUX), M PRADURAT (PRADURAT FORAGES — A.S.E.F), M REYNAERT (FORAGES MASSE), M BLIGNY (DANONE EAUX FRANCE), M ESPINEL (SEDIF), M RICO (CONSEIL GENERAL DE SARTHE)

Sommaire

	Page
Avant-propos	5
1 Domaine d'application	5
2 Références normatives	5
3 Termes et définitions	6
4 Préparation contractuelle et administrative	19
4.1 Procédures administratives	19
4.2 Contrat/Marché	19
4.3 Revue de contrat	20
5 Installation de chantier	20
5.1 Sécurité et protection de l'environnement	20
5.2 Réception des matériaux	20
6 Forage	21
6.1 Techniques de forage	21
6.2 Fluides de forage	22
7 Matériaux et équipements	22
7.1 Tubes	22
7.2 Raccords des tubages	22
7.3 Crépine	23
7.4 Colonnes de tubes pleins	23
7.5 Colonne captante	23
7.6 Massif de graviers	23
7.7 Ciment	24
8 Cimentation	24
8.1 Objectif de la cimentation	25
8.2 Définition de la partie à cimenter	25
8.3 Le laitier	26
8.4 L'injection	26
9 Contrôles en cours de réalisation de l'ouvrage	27
9.1 Les différents contrôles	27
9.2 La mise en œuvre	28
10 Développement	29
10.1 Généralités	29
10.2 Méthodes de développement	29
11 Pompage d'essai	31
11.1 Généralités	31
11.2 La mise en œuvre	31
11.3 Protocole de suivi	32
11.4 Réalisation et interprétation des pompages d'essai	33
12 Protection	37
12.1 Protection vis à vis des eaux superficielles (ruissellement ou inondation)	38
12.2 Protection de la tête de forage	38
12.3 Protection physique de l'ouvrage	40
12.4 Protection contre les eaux de remontées artésiennes	40

Sommaire (fin)

	Page
13 Réception	40
14 Rapport de fin de travaux	41
14.1 Contenu du document de fin de forage remis par l'entreprise au maître d'ouvrage	41
14.2 Pièces à conserver par le maître d'ouvrage	41
14.3 Rapport de fin de travaux pour les forages abandonnés	42
15 Exploitation	43
15.1 Respect absolu du débit d'exploitation	43
15.2 La pompe immergée	43
15.3 Suivi des volumes prélevés	43
15.4 La colonne d'exhaure	43
16 Surveillance et maintenance de l'ouvrage d'exploitation	44
16.1 Généralités	44
16.2 Mesures spécifiques à certains ouvrages	45
17 Réhabilitation	45
17.1 Les contrôles préalables	45
17.2 La réhabilitation	46
18 Fermeture temporaire ou définitive (abandon)	47
18.1 Arrêt temporaire d'exploitation	47
18.2 Fermeture définitive (abandon)	47
Annexe A (informative) Liste non exhaustive des contrôles de l'ouvrage	49
A.1 Diagraphie CBL (Ciment Bond Logging)	49
A.2 Diagraphie thermique	49
A.3 Diagraphie gamma ray	49
A.4 Diagraphie de résistivité	49
A.5 Diagraphie de Polarisation Spontanée	49
A.6 Profil au micro-moulinet	49
A.7 Diagraphie à Neutrons	50
A.8 Diagraphie diamètreur	50
A.9 Diagraphies physico-chimiques	51
A.10 Diagraphie de verticalité ou sonde gyroskopique	52
A.11 Examen vidéo	52
Annexe B (informative) Exemple de feuille de pompage	53
Annexe C (informative) Exemple de formulaire de réception de travaux	54
Bibliographie	55

Avant-propos

Il s'agit de mettre à disposition des acteurs concernés : Maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, bureaux d'études et entreprises un référentiel sous forme d'une norme française homologuée.

Il est rappelé qu'un forage est envisagé pour répondre à certains objectifs et que sa conception commence donc par une réflexion préalable sur l'usage et la fonction dévolue à ce point d'eau (exploitation, échantillonnage pour une surveillance, piézométrie, etc.). Quel que soit l'usage du forage à réaliser, le maître d'ouvrage doit préciser ses besoins, lesquels conditionnent les caractéristiques de l'ouvrage

Les objectifs de ce référentiel sont :

- de faire en sorte que les ouvrages mis en place pour connaître ou exploiter les eaux souterraines y compris les ouvrages pour usage thermique soient réalisés dans les règles de l'art visant à la protection des eaux souterraines tant en terme de qualité que de quantité ;*
- d'afficher des spécifications en termes de performance ; à charge pour tous les acteurs de mettre en œuvre les moyens adéquats ;*

afin :

- d'énumérer les démarches administratives à suivre et les organismes à qui s'adresser ;*
- de rassembler les règles à appliquer pour réaliser un forage de qualité : spécifications, conception, réalisation ;*
- de donner les préconisations dans la phase de rédaction du marché ;*
- d'assurer l'exploitation et le maintien de l'ouvrage ;*
- de procéder à son abandon dans des conditions respectueuses de la qualité de la ressource.*

Ces objectifs pourront être référencés dans les pièces du marché pour décrire les besoins du maître d'ouvrage en terme de niveau de prestations liées à la réalisation d'un ouvrage, sans pour autant créer d'obstacles injustifiés à la concurrence entre les entreprises.

Le présent document vient en complément de la réglementation en vigueur.

1 Domaine d'application

Le présent document decline des préconisations techniques et des méthodes à employer pour la conception, la réalisation, l'exploitation, le suivi, la maintenance, la réhabilitation et l'abandon d'ouvrages de reconnaissance, d'exploitation et de surveillance (qualité et quantité) des eaux souterraines, réalisés par forage.

NOTE Il est accompagné d'un guide d'utilisation des ouvrages d'exploitation et de surveillance des eaux souterraines et d'un guide rappelant également les démarches administratives auxquelles il convient de se conformer.

Il s'applique à tous types d'ouvrages de reconnaissance, de surveillance et d'exploitation (captage ou ré-injection) des eaux souterraines, y compris, les captages thermiques verticaux tels que définis dans l'Article 3 et couvre tous les types d'usages (publics, Alimentation en Eau Potable (AEP), domestiques, agricoles et industriels).

Ce document est destiné aux maîtres d'ouvrage publics ou privés (particuliers, exploitants agricoles, industriels, collectivités locales/territoriales, etc.), aux maîtres d'œuvres, aux bureaux d'études, aux hydrogéologues, aux foreurs, aux fournisseurs de matériel et d'équipement de forage, aux associations de consommateurs et aux pouvoirs publics.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements)

FD X 31-614 1999, *Qualité du sol — Méthodes de détection et de caractérisation des pollutions — Réalisation d'un forage de contrôle de la qualité de l'eau souterraine au droit d'un site potentiellement pollué.*

FD X 31-615 2000, *Qualité du sol — Méthodes de détection et de caractérisation des pollutions — Prélèvements et échantillonnage des eaux souterraines dans un forage*

NF EN 60068-2-74, *Essais d'environnement — Partie 2 Essais — Essai Xc : Contamination par des fluides* (indice de classement : C 20-774)

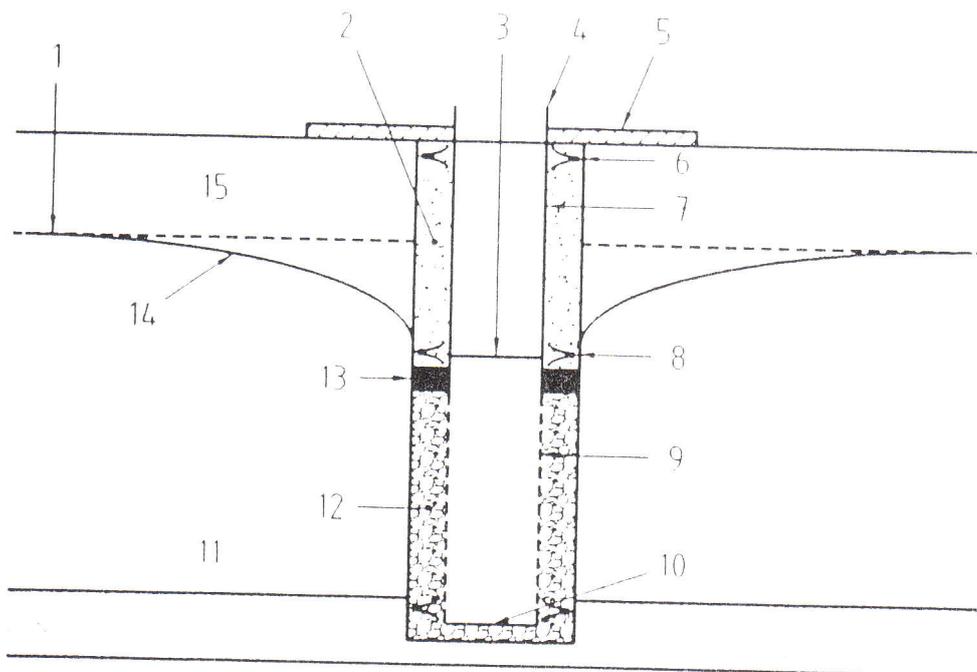
ISO 14951-13, *Systèmes spatiaux — Caractéristiques des fluides — Partie 13 : Air respirable*

ISO 14951-10, *Système spatiaux — Caractéristiques des fluides — Partie 10 : Eau*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

Les Figures sont uniquement données à titre indicatif.



Légende

- 1 Niveau de la nappe au repos
- 2 Ciment (injecté par la base)
- 3 Niveau de l'eau dans le forage
- 4 Tube dépassant du sol (50 cm au minimum)
- 5 Margelle en ciment en pente vers l'extérieur (hauteur de 30 cm minimum)
- 6 Centreur
- 7 Tubage de protection
- 8 Centreur (obligatoire)
- 9 Crépine adaptée à la formation aquifère et sous le niveau de l'eau en pompage
- 10 Tube plein à la base de la crépine
- 11 Aquifère
- 12 Massif filtrant (gravier calibré)
- 13 Joint d'étanchéité (argile) évite l'invasion de l'aquifère et du gravier par le ciment
- 14 Cône de rabattement du forage en production
- 15 Terrain dénuyé

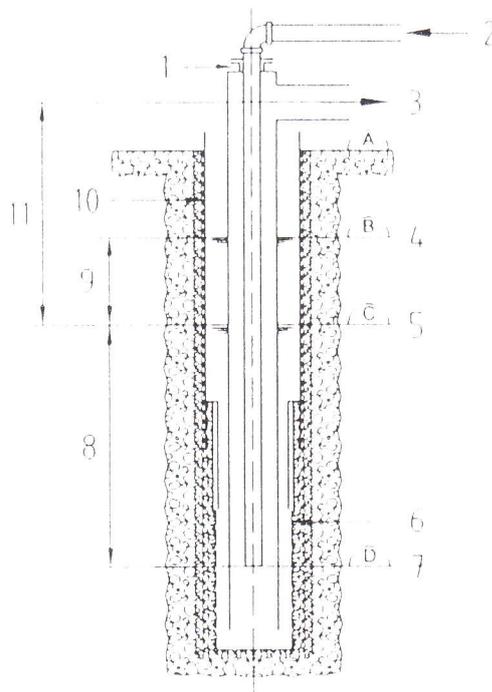
Figure 1 — Exemple de forage en nappe libre (réalisé en une étape, en un diamètre unique)
Source documentaire : BRGM

3.1**adjuvant**

additif modifiant les caractéristiques chimiques ou physiques d'un produit ou d'une substance

3.2**air lift**

méthode qui consiste à descendre un tube d'exhaure vertical immergé dans le forage puis à injecter de l'air comprimé par un second tube de plus faible diamètre. L'émulsion ainsi créée s'élève dans le tube d'exhaure vertical à partir duquel il se déverse en surface, entraînant avec elles les fines

**Légende**

- 1 Presse étoupe
- 2 Air
- 3 Eau
- 4 Niveau statique
- 5 Niveau pompage
- 6 Crépines
- 7 Pied du tube d'air
- 8 Longueur d'immersion
- 9 Rabattement
- 10 Casing
- 11 Hauteur de refoulement

Figure 2 — Exemple de schéma à l'air lift
(Source documentaire : BRGM)

3.3**atelier de forage**

ensemble du matériel permettant de réaliser les travaux

3.4**annulaire (espace)**

au niveau d'un forage équipé, l'annulaire concerne la zone située entre le tubage et le terrain naturel

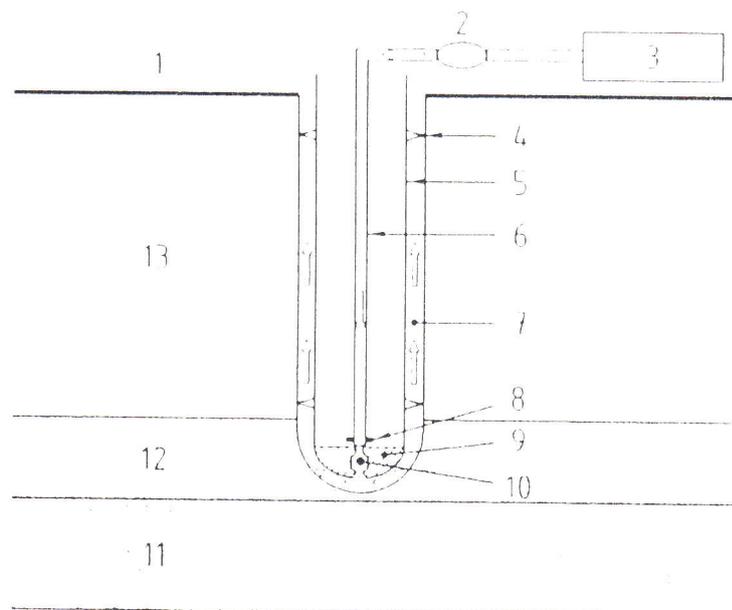
3.5
aquifère
milieu souterrain qui contient de l'eau en partie mobilisable par gravité. Ce milieu, constitué de roches perméables et/ou fissurées ou fracturées est suffisamment conducteur d'eau souterraine, pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables. Un aquifère comporte une zone saturée en eau et peut comporter une zone non saturée en eau (zone du sous-sol comprise entre la surface du sol et la surface de la zone saturée pour une nappe libre)

3.6
battage
consiste, par des mouvements alternatifs, à soulever un outil lourd (trépan) et le laisser retomber pour briser la roche. Consiste également à remonter les déblais avec une curette et à descendre de façon concomitante un tubage provisoire. La hauteur de chute et la fréquence des mouvements dépendent de la dureté de la roche

3.7
captage thermique vertical
forage équipé de sondes permettant d'extraire des calories du sous-sol

3.8
caractéristiques rhéologiques
dans le domaine des forages, il s'agit des propriétés liées à l'écoulement des boues de forage. Les caractéristiques mesurées couramment sont la viscosité, la densité, la teneur en sable

3.9
cimentation
opération consistant à remplir de coulis de ciment un espace déterminé



Légende

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1 Sol | 8 Joint de décrochage des tiges |
| 2 Pompe | 9 Sabot de cimentation |
| 3 Coulis de ciment | 10 Bille anti-retour |
| 4 Centreur | 11 Formation aquifère |
| 5 Tubage de protection | 12 Banc imperméable |
| 6 Tige d'injection du ciment | 13 Formation à occulter |
| 7 Remontée de ciment dans l'espace annulaire | |

Figure 3 — Exemple de cimentation sous pression par le pied de tubage
(Source documentaire : BRGM)

3.10**circulation directe**

le fluide de forage injecté à l'intérieur des tiges remonte par l'espace annulaire

3.11**circulation inverse**

le fluide de forage, alimenté par l'annulaire, remonte les cuttings par l'intérieur des tiges ou du tube central

3.12**coefficient d'emmagasinement**

valeur sans dimension notée S qui représente le rapport du volume d'eau libéré par unité de surface de l'aquifère sous une charge hydraulique égale à l'unité. Il détermine, avec la porosité efficace, la fonction capacitive du réservoir

3.13**complétion**

opération de mise en place dans un forage des équipements destinés à assurer sa pérennité et la mise en production des niveaux aquifères souhaités (voir Article 7). Ces équipements sont d'une part le bouchon de fond et le tube décanteur de fond d'ouvrage, d'autre part les crépines, le gravier filtre et les tubes pleins. Dans certains cas particuliers, les parties captantes des ouvrages sont laissées en « trou nu », et exploitées telles quelles et ne font l'objet d'aucune complétion

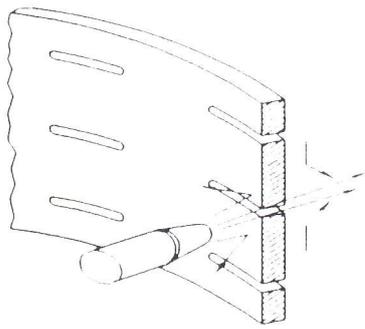
3.14**corrosion galvanique** (pile électrochimique)

une pile électrochimique est créée lorsque deux métaux de natures différentes sont mis en contact. Un des métaux s'oxyde et se dissout (anode), tandis que sur l'autre métal a lieu une réduction (cathode), et éventuellement formation d'une couche de produits de réaction (des espèces chimiques de la solution se réduisent et se déposent). On parle de corrosion galvanique. Pour avoir une corrosion galvanique, trois conditions sont nécessaires :

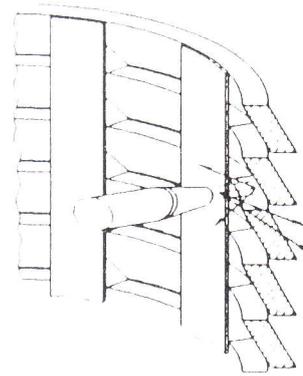
- des métaux de nature différente : c'est la différence de potentiel de dissolution entre les deux métaux qui provoque le phénomène. L'expérience montre qu'il faut une différence de potentiel de 100 mV pour voir apparaître la corrosion ;
- la présence d'un électrolyte en général aqueux : la présence d'ions dans le milieu aqueux (exemple : eau minéralisée), accélère le phénomène ;
- la continuité électrique entre les deux métaux : le phénomène diminue très rapidement en éloignant les deux métaux. Il faut qu'il y ait transfert de charges électriques pour avoir le phénomène de corrosion

3.15**crépine**

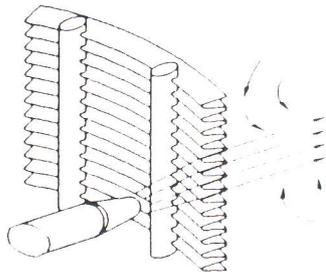
tube ajouré mis en place dans un forage lors des opérations de complétion. La crépine (ou tubage crépiné) permet le passage de l'eau tout en maintenant la formation productrice



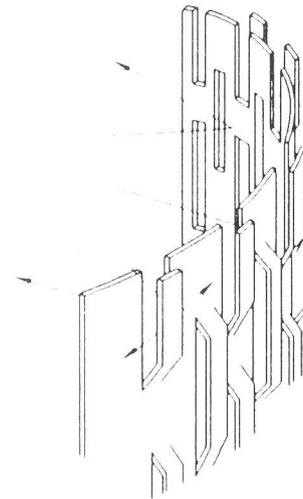
a) Crépines à fentes



b) Crépines à persiennes



c) Crépines à fentes continues



d) Crépines pontées

Figure 4 — Exemples d'ouverture de crépine
(Source documentaire : SFE)

3.16

cuvelage

revêtement généralement en tubes acier ou PVC ou PEHD (parfois en béton), constituant le soutènement des parois des forages en partie supérieure

3.17

débit critique

débit pompé au-delà duquel le rabattement n'augmente plus en fonction linéaire du débit

3.18

débit spécifique

le débit spécifique définit le débit pompé dans un ouvrage rapporté à la hauteur de rabattement dans celui-ci dans des conditions définies. Le calcul du débit spécifique est fait par réalisation d'un essai de débit relatif à un pompage de courte durée opéré dans un ouvrage (en général en fin d'exécution), avec mesure du rabattement final

NOTE Il convient d'être très prudent sur l'interprétation d'une mesure de débit spécifique. En effet, s'agissant d'une valeur obtenue sur un essai ponctuel très limité dans le temps, l'extrapolation à un comportement sur la longue durée est très délicate.

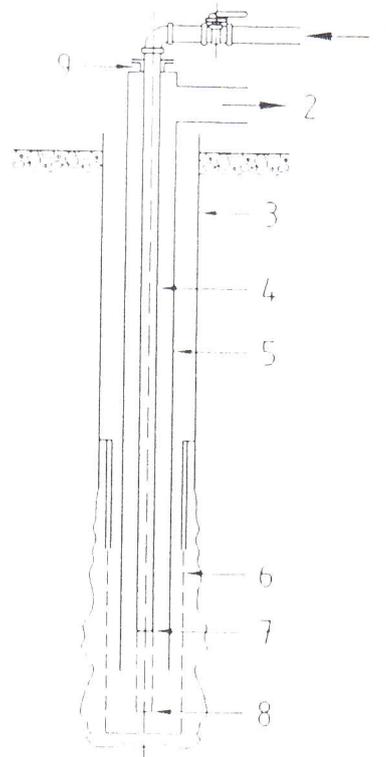
3.19

degré sexagésimal

unité de mesures scientifiques des angles, le terme sexagésimal est utilisé par opposition au degré centésimal (grade) ; 360° sexagésimal équivaut à 400° centésimal (grade)

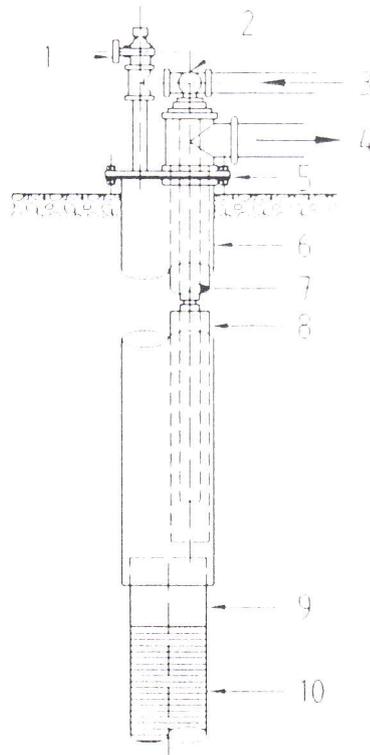
3.20**développement**

action de développer un forage, c'est-à-dire augmenter la perméabilité du milieu aquifère à proximité de la paroi de l'ouvrage par divers procédés appropriés (pistonage, etc.) en vue de réduire les pertes de charge et d'améliorer l'efficacité de l'ouvrage, en général avant sa mise en exploitation. Pratiquement le développement, réalisé pour des valeurs de débit supérieures au débit d'exploitation, permet par la mise en place des massifs de graviers et du terrain autour de l'ouvrage, avec évacuation des fines, d'assurer des conditions d'exploitation optimales. Dans le cas de l'acidification et de la fracturation, on parle également de stimulation de l'aquifère

**Légende**

- 1 Air
- 2 Eau
- 3 Casing
- 4 Tube d'air
- 5 Tube d'eau
- 6 Crépine
- 7 Position de pompage
- 8 Position de chasse d'air
- 9 Presse étoupe

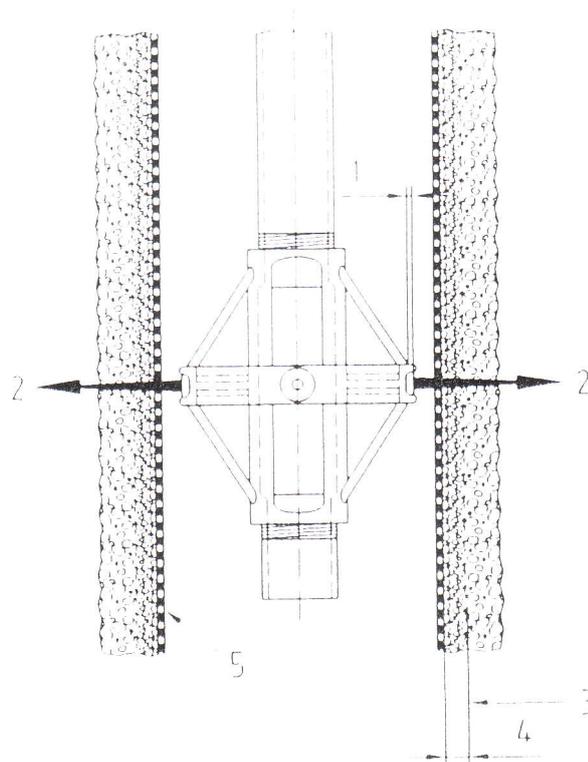
Figure 5 — Exemple de développement à «forage ouvert»
(Source documentaire : SFE)



Légende

- 1 Robinet de décharge
- 2 Robinet 3 voies
- 3 Air
- 4 Eau
- 5 Joint plein
- 6 Casing
- 7 Tube d'air
- 8 Tube d'eau
- 9 Extension
- 10 Crépine

Figure 6 — Exemple de développement à «forage fermé»
(Source documentaire : SFE)



Légende

- 1 Jeu : 20 mm maxi
- 2 Jet
- 3 Formations
- 4 Gravier additionnel
- 5 Crépine

Figure 7 — Exemple de développement par lavage au jet
(Source documentaire : SFE)

3.21

diagraphie

mesures de la distribution d'un paramètre sur le long et à l'intérieur d'un forage (équipé ou non). Le domaine d'application des diagraphies est très large :

- hydraulique (vitesse, etc.) ;
- physico-chimique (température, conductivité, oxygène, etc.) ;
- électrique (polarisation spontanée, image électrique, etc.) ;
- radioactivité (gamma-ray, neutron, etc.) ;
- acoustique (vitesse d'onde, imagerie acoustique, etc.) ;
- technique (diamètre, inclinaison, cimentation, vidéo, etc.) ;

Les mesures sont réalisées à l'aide de sondes descendues dans le forage.

Une liste non-exhaustive de diagraphie est donnée en Annexe B.

3.22**diamètre de foration/équipement**

diamètre du forage réalisé par la machine de forage et du tubage mis en place. Le choix du diamètre dépend de l'objectif fixé pour l'ouvrage à réaliser et des risques géologiques encourus lors de la foration. En effet, le diamètre de foration initial doit permettre la mise en place d'un tubage de maintien des niveaux fores en cas d'avarie (éboulement, etc.)

À titre indicatif les diamètres usuels employés pour des ouvrages n'excedant pas quelques centaines de mètres sont :

Diamètre de foration	Diamètre extérieur du tubage
17"3/8 = 441 mm	13"3/8 = 340 mm
12"1/8 = 308 mm	9"5/8 = 244 mm
8"1/2 = 216 mm	6"5/8 = 168 mm
6" = 152 mm	4"1/2 = 144 mm
3"7/8 = 96 mm	

3.23**équipement d'exploitation**

constitué de la pompe et de ses accessoires, de la colonne d'exhaure, des sondes thermiques, d'un tube guide sonde, etc.

3.24**forage**

ouvrage réalisé, c'est-à-dire le trou et son équipement

3.25**forage artésien**

forage captant une nappe dont le niveau d'eau est supérieur au niveau du sol

3.26**forage pour ré-injection**

forage destiné à ré-injecter l'eau prélevée dans un autre forage mais dans le même aquifère

3.27**foration**

action (stricte) de forer un trou avec un outil adapté, sans connotation avec l'ouvrage réalisé

3.28**havage**

méthode qui consiste à mener en parallèle, le creusement des terrains au moyen d'une benne preneuse ou d'un hammer-grab, et leur soutènement au fur et à mesure de l'avancement

Le soutènement peut être réalisé :

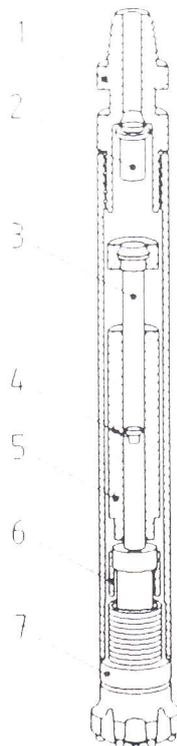
- soit au moyen de tubages acier descendus sous l'effet de leur propre poids ou par pression ou par louvoisement ;
- soit au moyen de cuvelages béton descendus par leur propre poids.

3.29**hammer-grab**

benne preneuse circulaire susceptible d'être utilisée avec battage (coquilles bloquées) pour foration en terrains alluvionnaires meubles ou compacts pouvant comporter des blocs

3.30**marteau Fond de Trou (MFT)**

méthode de foration à l'air qui utilise la percussion assortie d'une poussée sur l'outil qui se trouve lui-même en rotation ; le marteau étant placé à la base du train de tige

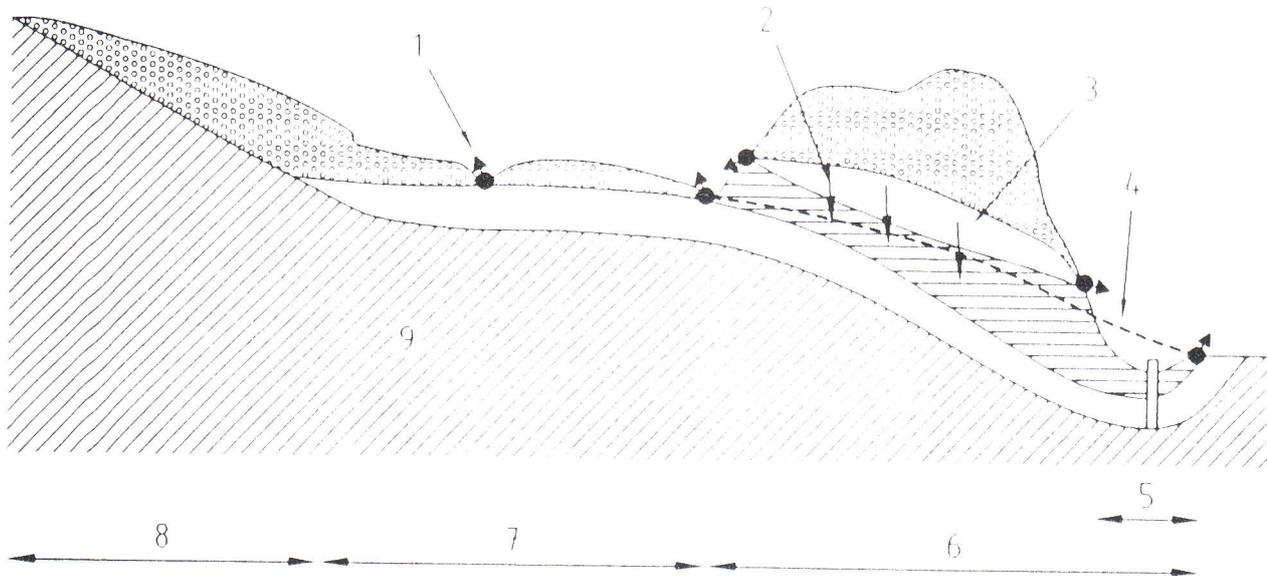
**Légende**

- 1 Embout supérieur
- 2 Clapet ant-retour
- 3 Tube central
- 4 Bouchon d'étranglement
- 5 Piston
- 6 Douille
- 7 Douille d'entraînement

Figure 8 — Exemple de marteau fond de trou
(Source documentaire : SFE)

3.31**nappe captive**

nappe ou partie d'une nappe soumise en tous points à une pression supérieure à la pression atmosphérique, et dont la surface piézométrique est supérieure à la cote du toit de l'aquifère, à couverture moins perméable, qui la contient

**Légende**

- | | | | |
|---|-----------------------|---|-----------------------|
| 1 | Source | 5 | Eaux artésiennes |
| 2 | Drainance descendante | 6 | Nappe captive |
| 3 | Nappe perchée | 7 | Nappe libre |
| 4 | Surface piézométrique | 8 | Écoulement souterrain |

Figure 9

(Source documentaire : SFE)

3.32**nappe libre**

nappe dont la surface piézométrique est à la pression atmosphérique (surface libre). Le niveau de cette nappe peut fluctuer et on distingue ainsi une zone saturée et une zone non saturée

3.33**nappe superficielle**

la notion de nappe superficielle ou nappe phréatique, imprécise au plan hydrogéologique, caractérise généralement une nappe peu profonde atteinte par les puits ordinaires. En pratique, il s'agit d'une nappe généralement libre à surface proche du sol dont l'alimentation et la qualité sont influencées par les activités de surface

3.34**niveau dynamique**

niveau piézométrique influence — rabattu ou relevé — par opposition au niveau naturel au même point ; plus particulièrement, plan d'eau rabattu ou relevé, stabilisé ou non, dans un puits de pompage ou un ouvrage d'injection

3.35**niveau piézométrique**

niveau libre de l'eau mesuré dans un ouvrage en communication avec un aquifère

3.36**niveau statique** (niveau naturel)

niveau piézométrique dans un forage non influencé par un prélèvement

3.37**numéro BSS**

le numéro de la Banque du Sous-Sol (BSS) est celui attribué par le BRGM qui gère la banque du sous-sol. Il permet de localiser l'ouvrage sur le fond topographique au 1/50000.

3.38**perméabilité** (coefficient de)

propriété d'un corps, d'un milieu solide — notamment un sol, une roche — à se laisser pénétrer et traverser par un fluide, notamment l'eau, sous l'effet d'un gradient de potentiel. Paramètre exprimant quantitativement cette propriété, relativement aux caractéristiques du fluide, notamment l'eau : flux pouvant passer à travers une section unitaire du milieu considéré, sous l'effet d'une unité de gradient de charge hydraulique, dans des conditions déterminées de pression et de température (grandeur homogène à une vitesse, notée K).

3.39**piézomètre**

au sens strict, un piézomètre est un dispositif servant à mesurer la hauteur piézométrique en un point donné d'un système aquifère, qui indique la charge hydraulique en ce point, en permettant l'observation ou l'enregistrement d'un niveau d'eau libre ou d'une pression. Il sert entre autres à connaître l'état quantitatif de la ressource en eau souterraine.

3.40**point d'eau**

accès naturel (source) ou artificiel (forage, drain, puits, etc.) aux eaux souterraines.

3.41**pompage d'essai**

pompage opéré dans un ouvrage, avec contrôle de l'évolution du débit pompé et des rabattements déterminés dans l'aquifère, pendant et après le pompage, pour évaluer les paramètres de l'aquifère, d'après l'analyse de ces données.

3.42**qualitomètre**

point d'eau où l'on peut effectuer des mesures ou des prélèvements en vue de définir la qualité des eaux souterraines.

3.43**rabattement**

baisse du niveau d'eau dans un ouvrage sous l'effet d'un pompage dans la nappe (= niveau statique – niveau dynamique).

3.44**rechemisage**

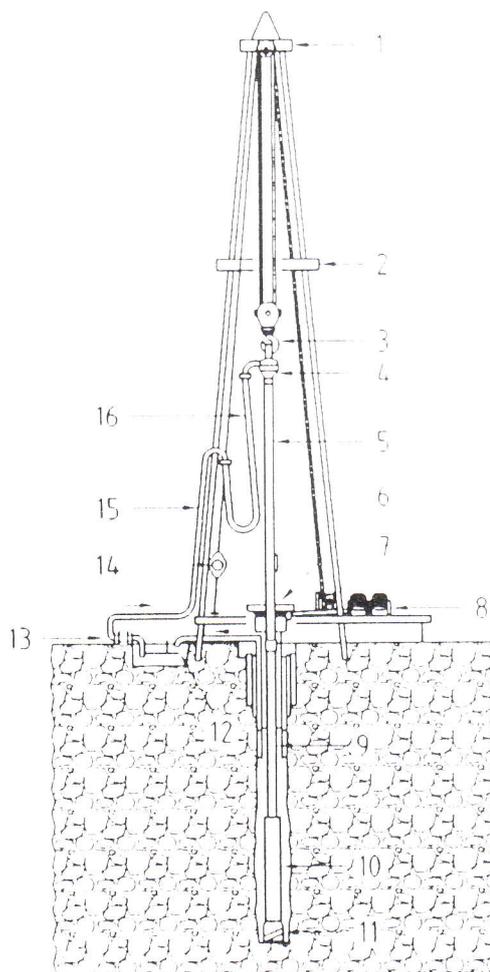
action de mettre en place un nouveau tubage à l'intérieur d'un ancien tubage qui reste en place.

3.45**réhabilitation**

action de redonner à l'ouvrage sa fonction initiale.

3.46**rotary**

méthode de foration qui utilise un outil (tricot), animé d'un mouvement de rotation par les tiges de forage et de translation verticale sous l'effet du poids de la garniture de forage (tiges et masses tiges).



Légende

1	Bloc de tête	9	Tiges
2	Plateforme d'accrochage	10	Masses-tiges
3	Moufle-crochet	11	Outil
4	Tête d'injection	12	Tamis vibrant
5	Tige carrée	13	Pompe à boue
6	Table de rotation	14	Dynamomètre
7	Treuil	15	Colonne montante
8	Moteurs	16	Flexible

Figure 10 — Exemple schématique d'un atelier de forage rotatif «grande profondeur»
(Source documentaire : SFE)

NOTE L'exemple proposé est une version avec table de rotation et tour pour manœuvre de tiges de grande longueur. Un modèle plus compact (sur camion) est utilisé pour des profondeurs moyennes. La disposition est alors la suivante :

- train de tiges actionné soit par table, soit par tête de rotation ;
- circuit boue avec pompe à l'amont et unité de séparation des cuttings à l'aval.

3.47

transmissivité

paramètre régissant le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur, L , d'un aquifère, sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique, i . Elle est le produit de la perméabilité par la hauteur mouillée de l'aquifère

3.48

tricône

outil de forage à trois molettes, à dents ou à picots, spécifique à la technique du rotatif

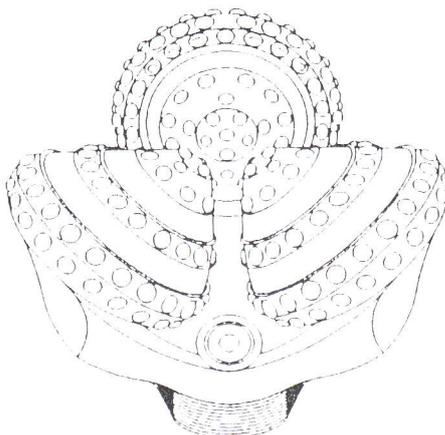


Figure 11 — Exemple de tricône
(Source documentaire : SFE)

3.49

tubage plein

tubage non ajouré (à l'opposé d'un tubage crépiné) mis en place dans un forage. Ce type de tubage peut permettre d'obtenir un niveau aquifère particulier non souhaité (avec cimentation de l'espace annulaire). Il peut être utilisé également pour maintenir la stabilité des terrains traversés

4 Préparation contractuelle et administrative

4.1 Procédures administratives

Tous les acteurs doivent se conformer à la réglementation en vigueur (tant nationale que locale) et en particulier aux obligations en matière de protection de l'environnement (nomenclature loi sur l'eau rubriques 1.1.1.0 pour le forage et 1.1.2.0 pour les prélèvements issus du forage) et de conditions de travail.

Avant la réalisation de tout forage, le maître d'ouvrage doit engager les démarches administratives en conformité avec la législation applicable en France.

Il doit s'assurer de la présence ou non de réseau(x) par l'intermédiaire d'une Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux (DICT). Un repérage des réseaux doit être fait avant l'engagement des travaux.

Le maître d'ouvrage doit veiller notamment à obtenir les autorisations nécessaires (le cas échéant) et à déclarer ces travaux conformément au Code Minier.

Le maître d'ouvrage doit se rapprocher du service en charge de la Police de l'Eau, ou du service qui gère son installation classée, pour connaître les démarches à entreprendre. Les services de la préfecture peuvent utilement être consultés pour préciser le service compétent.

En fin de travaux et pour les forages relevant de la Loi sur l'Eau, un rapport conformément aux textes en vigueur doit être transmis à la préfecture dans les deux mois (après la fin des travaux).

NOTE Une liste des obligations réglementaires est donnée à titre indicatif dans le fascicule de documentation FD X 10-980.

4.2 Contrat/Marché

Deux situations peuvent se présenter selon que le maître d'ouvrage dispose des compétences techniques ou pas en matière de travaux de forage.

- a) Dans le premier cas, un contrat doit être rédigé par le maître d'ouvrage précisant les modalités de réalisation de l'ouvrage. Ce contrat doit comprendre au minimum :
- un cahier de clauses techniques avec l'usage et la description des travaux à réaliser ;
 - un cahier des clauses administratives fixant les obligations, les contraintes environnementales, les délais et les relations contractuelles ;
 - un bordereau des prix et un détail estimatif.

Le contenu des prescriptions doit être conforme au présent document

- b) Dans le second cas, l'entreprise de forage sollicitée a une obligation de conseil et d'information. Elle doit impérativement proposer des travaux conformément aux règles de l'art et au présent document. Le devis doit comporter un descriptif des moyens que l'entreprise met en œuvre pour atteindre les objectifs assignés

4.3 Revue de contrat

La proposition de l'entreprise de forage est établie après avoir pris connaissance de la demande du client (*type d'utilisation, débit espéré, localisation du forage, etc.*) et/ou des conditions techniques du marché (*qualité des matériaux, délai, contraintes diverses techniques/environnementales, etc.*)

La proposition de l'entreprise de forage doit :

- prendre en considération le programme de forage et de pompage en vue de définir les conditions d'exploitation, ainsi que le détail des prestations comprises dans le contrat ;
- préciser les spécifications des matériaux entrant dans la composition du forage (nature, qualité et dimensionnement des crépines, tubages, ciment, massif filtrant, etc.) et en conséquence assurer les approvisionnements des matériaux répondant aux exigences. Le cas échéant, vérifier que la résistance à l'écrasement du tubage et des crépines a été prise en compte

Les différentes parties doivent se concerter en vue de réaliser les travaux et

- prévoir un moyen d'accès au chantier (passage, plate-forme) ;
- sélectionner le diamètre des outils de forage selon le diamètre des tubes, afin d'assurer l'espace annulaire de cimentation et gravillonnage (si nécessaire) suffisant et des équipements d'exploitation ;
- définir les moyens pour la mise en œuvre ;
- définir les conditions du devenir des déblais (par exemple : regalage, évacuation, etc.), du fluide de forage, de l'eau résultant de la foration quand celle-ci est réalisée au marteau fond de trou et du pompage d'essai ;
- prévoir des graisses et produits respectant l'environnement et la santé publique (par exemple : graisse biodégradable, etc.) ;
- prévoir du matériel adapté tant au cahier des charges, qu'au site

5 Installation de chantier

5.1 Sécurité et protection de l'environnement

Le chantier doit être clôturé ou balisé pour en interdire l'accès aux personnes extérieures.

Les consignes de sécurité en relation avec la Propreté, l'Hygiène et la Sécurité du chantier doivent être respectées, pour ce faire, mettre en place :

- une signalétique de chantier (entrée interdite, port du casque, consignes de sécurité, etc.) ;
- un dispositif de stockage, de protection et de collecte des éventuelles fuites d'hydrocarbures et autres produits potentiellement polluants ;
- un dispositif de neutralisation des additifs chimiques utilisés lors du développement du forage ;
- les moyens d'une évacuation éventuelle des déblais, des fluides de forage, des eaux des essais de pompage.

L'ouvrage doit être implanté à distance de toute source de pollution conformément à la réglementation en vigueur (cf. notamment à l'arrêté du 11 septembre 2003).

Du matériel conforme CE (ou mis en conformité) doit être utilisé, entretenu et en bon état de propreté.

Un cahier de chantier doit être ouvert pour consigner les événements et/ou incidents survenus pendant la durée des travaux.

5.2 Réception des matériaux

Les livraisons doivent être conformes aux besoins du chantier (bon de livraison conforme au bon de commande, vérification des dimensions, des quantités, etc.)

Les conditions de stockage doivent permettre d'éviter toute dégradation (*pollution, dommage par engin, etc.*).

6 Forage

La méthode de forage doit être adaptée à la nature géologique du terrain.

6.1 Techniques de forage

Le foreur a obligation de conseil dans le choix de la technique de forage.

NOTE Dans certains cas, il est possible d'associer plusieurs techniques de forage pour la réalisation d'un ouvrage en fonction de la nature géologique du terrain et/ou des compétences de l'entreprise.

L'entreprise de forage doit mettre en œuvre tous les moyens nécessaires et appliquer la méthode de forage adéquate afin que, pour chaque tranche de 30 m, la déviation de la colonne de tubes mesurée par rapport à la verticale ne dépasse pas un angle de 1° sexagesimal, sauf disposition particulière énoncée dans le cahier des charges pour respecter cette exigence.

- Un relevé des avancements, des arrivées d'eau, des incidents de forage (chute d'outils, perte de fluide, éboulement, etc.) et un relevé de la coupe géologique (foreur) avec prise d'échantillons tous les mètres et à chaque changement de facies doivent être effectués.
- Les déblais de forage ne doivent en aucun cas avoir un impact sur l'environnement ; en cas d'un quelconque risque, une évacuation des matériaux doit être entreprise conformément à la législation en vigueur.

6.1.1 Rotary

Le rotary est recommandé pour des terrains peu consolidés.

Le choix du tricône est fonction des formations géologiques (cf. classification IADC) et les tiges, les masses tiges ainsi que les stabilisateurs doivent être adaptés en conséquence.

6.1.2 Marteau fond de trou

Cette technique est recommandée pour les terrains durs, mais est à proscrire dans le cas de terrains non consolidés ou plastiques.

La pression d'air nécessaire au fonctionnement du marteau est de 10 bars au minimum ; une fois dans la nappe, il faut augmenter la pression d'air pour compenser le poids de la colonne d'eau.

6.1.2.1 Marteau fond de trou tubé à l'avancement

Cette technique est recommandée pour les terrains non cohérents.

Les mêmes indications que dans le cas précédent sont à appliquer ; mais jusqu'à une profondeur de l'ordre de 50 m (en général) en raison du frottement sur le tubage.

6.1.3 Battage et havage

6.1.3.1 Battage à paroi nue (trépan)

Pour forage en gros diamètre et n'excédant pas 100 m de profondeur. Méthode réservée à la traversée de terrains compacts ne nécessitant pas de soutènement en dehors de la tête de forage.

6.1.3.2 Havage (benne ou hammergrab)

Pour forage en gros diamètre exécuté en terrains alluvionnaires et nécessitant un soutènement des terrains soit provisoire (tubes acier récupérés), soit définitif (tubes acier ou cuvelages béton).

6.1.3.3 Havage/battage (bennes + trépan)

Pour forage de gros diamètre exécuté en terrains mixtes, meubles et compacts et nécessitant un soutènement provisoire ou définitif au droit des zones instables.

6.2 Fluides de forage

Les fluides (eau, air, boue, etc.) utilisés doivent répondre aux exigences de la sauvegarde et de la protection de l'environnement et également être conformes aux normes en vigueur.

6.2.1 Forage à la boue

La remontée des sédiments dans l'espace annulaire est assurée par la boue dont la vitesse préconisée est de l'ordre de 1 m/s.

De plus, la viscosité qui régit les conditions d'écoulement doit être maintenue à environ 60 s Marsh, par dessablage (pourcentage de fines inférieur à 1 %) et adjuvants en cas de dégradation des caractéristiques rhéologiques de la boue par le terrain.

L'utilisation des boues avec polymères ne doit pas induire de risques bactériologiques.

6.2.2 Forage à l'air

Afin d'évacuer les déblais dans l'espace annulaire, la vitesse ascensionnelle préconisée est de l'ordre de 15 m/s.

6.2.3 Forage à la mousse

En présence de cavités, de karst ou lorsque la remontée d'air est insuffisante (inférieure à 15 m/s).

6.2.4 Circulation directe ou inverse

En général, la circulation directe est utilisée.

Lorsque le diamètre du forage est important ou en terrain karstique, la circulation inverse permet de conserver une vitesse ascensionnelle suffisante, sans augmenter la puissance de la pompe à boue ou du compresseur.

7 Matériaux et équipements

Le matériel, les matériaux et les produits entrant dans la composition des ouvrages doivent être conformes aux normes françaises en vigueur et doivent répondre aux exigences du cahier des charges.

7.1 Tubes

La qualité (matériau compris) des tubages doit être appropriée à l'usage de l'ouvrage ainsi qu'au contexte où il est réalisé.

Le tubage provisoire ou définitif doit résister aux efforts thermiques et mécaniques :

- de traction lors de sa mise en place ; c'est l'élément le plus haut qui subit l'effort maximal dû au poids de l'ensemble de la colonne ;
- d'écrasement ;
- de flexion ;
- et au flambage.

7.2 Raccords des tubages

Les raccords des tubages doivent répondre aux exigences suivantes :

- **étanchéité** lors de la cimentation ;
- le **raccord** entre deux tubes de même diamètre ne doit pas être constitué par un manchon intérieur ;
- la **résistance** à la rupture du raccord doit être au moins égale à celle du corps des tubes ;
- pour les tubes PVC, seuls sont admis les raccords filetés.
- pour les tubes en inox, il est recommandé de prévoir une technique spécifique pour la soudure.

7.3 Crépine

Le type de crépine, la forme et la dimension des fentes doivent être adaptés au terrain pour permettre le passage de l'eau sans entraînement de particules fines du terrain après développement du forage. La dimension des ouvertures peut être utilement déterminée par interprétation de l'analyse granulométrique du terrain.

La mise en place d'arceaux de centrage le long des crépines est obligatoire dans le cas de massif de graviers sauf dans le cas de tubage à l'avancement. L'écartement entre deux centreurs doit être au maximum de 10 m.

7.4 Colonnes de tubes pleins

Le diamètre intérieur des tubes doit être fonction du débit d'exploitation et de la vitesse de circulation d'eau autour du moteur de la pompe immergée (cf. les données constructeur).

7.5 Colonne captante

Dans le cas où une colonne captante est requise, celle-ci comprend un ensemble composé de :

- une crépine, continue ou discontinue lorsqu'elle alterne avec un ou plusieurs éléments de tube plein, sous réserve de ne mobiliser qu'un seul et même aquifère ;
- une colonne de tubes pleins ;
- un bouchon de fond (sauf en cas de tube suspendu) ;
- un massif de graviers éventuellement.

Le massif de graviers constitue un massif filtrant autour de la crépine et/ou un massif de soutènement autour du tube.

7.6 Massif de graviers

7.6.1 Massif filtrant autour de la crépine

Sa mise en place est indispensable dans le cas de terrain non consolidé, voire dans certains cas de terrains consolidés.

Le massif filtrant doit être constitué de graviers (de préférence siliceux roulés), calibrés, lavés et de plus désinfectés pour les usages alimentaires et le thermalisme.

La dimension des grains est définie en tenant compte de l'analyse granulométrique du terrain et de l'ouverture des crépines. Le volume théorique de gravier nécessaire doit être calculé et affiché dans le cahier des charges.

Pour être efficace, l'épaisseur du massif filtrant ne doit pas être inférieure à 75 mm. Dans le cas des piézomètres et des tubages inférieurs à 160 mm de diamètre extérieur, l'épaisseur du massif filtrant peut être réduite à 50 mm.

La mise en œuvre du massif doit garantir une répartition homogène du gravier sur le périmètre et sur toute la hauteur de la colonne captante, en maintenant une circulation de fluide constante et en contrôlant la remontée du gravier à la sonde.

Le massif doit être placé de telle manière que son niveau supérieur soit nettement au-dessus du toit de la couche aquifère exploitée (plusieurs mètres).

Le volume réel du gravier mis en place doit être comparé au volume théorique ; il ne doit pas être inférieur à 5 % du volume théorique.

7.6.2 Massif de soutènement autour des tubes

Le massif de soutènement doit être constitué de graviers, calibrés, lavés et de plus désinfectés pour les usages alimentaires et le thermalisme.

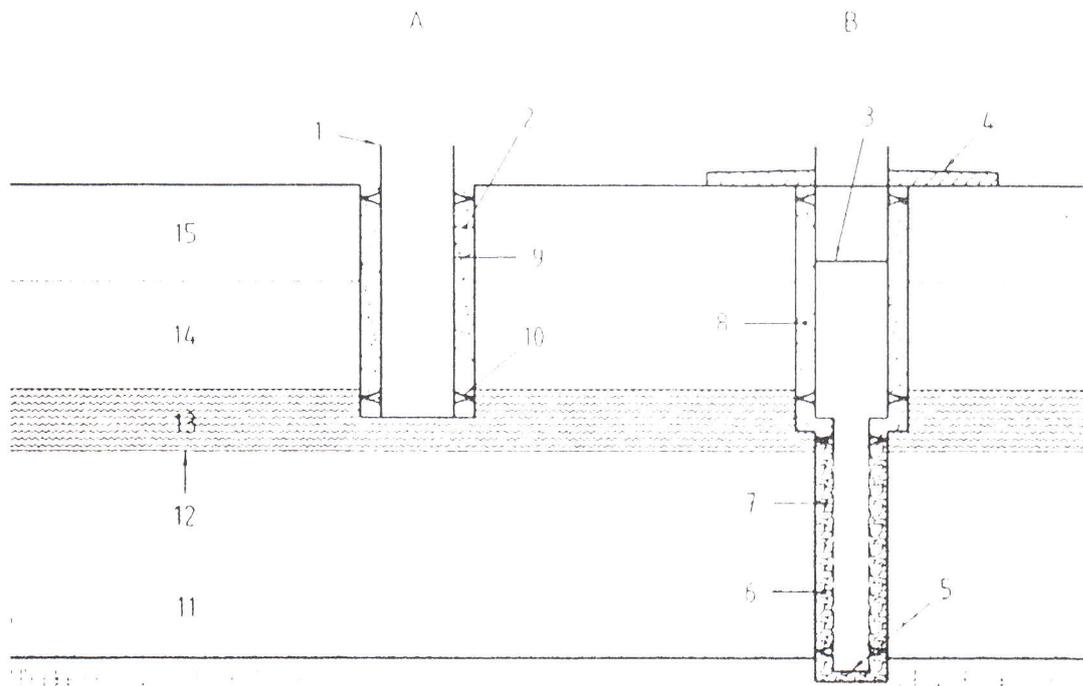
Sa mise en place est indispensable lorsqu'il y a des risques d'éboulement.

7.7 Ciment

Les ciments commercialisés sont de nature et d'aptitude très variables selon leur utilisation.

Les ciments doivent être choisis en fonction de leurs aptitudes à résister aux éventuelles agressions tant chimiques que mécanique du terrain et des formations des eaux souterraines traversées, tout en assurant la meilleure étanchéité annulaire du tubage.

8 Cimentation



Légende

- A 1^{re} étape
- B 2^e étape
- 1 Tube dépassant du sol
- 2 Ciment (injecté sous pression par le bas), il assure l'étanchéité entre les deux aquifères
- 3 Niveau de la nappe au repos
- 4 Margelle en pente vers l'extérieur
- 5 Tube plein à la base de la crépine
- 6 Massif filtrant (gravier calibré si nécessaire)
- 7 Crépine (adaptée à la formation aquifère)
- 8 Espace annulaire ≥ 5 cm
- 9 Tubage de protection
- 10 Centreur (obligatoire)
- 11 Nappe inférieure captive à capter
- 12 Toit de l'aquifère captif
- 13 Formation imperméable
- 14 Nappe supérieure à occulter (par exemple eau polluée)
- 15 Terrain dénoyé

Figure 12 — Schéma type en présence de deux nappes
(Source documentaire : BRGM)

La cimentation consiste à remplir l'espace annulaire entre le tubage et le terrain fore, avec un laitier de ciment, sur toute la partie supérieure du forage et jusqu'au niveau du terrain naturel. Elle est obligatoire pour tous les ouvrages couverts par le présent document.

8.1 Objectif de la cimentation

La cimentation a pour objectif :

- de préserver la qualité des eaux de la nappe en empêchant :
 - les infiltrations des eaux de ruissellement de surface vers la nappe ;
 - les communications entre nappes d'eau de qualités différentes ;
- d'assurer la stabilité du forage par le scellement du tubage au terrain ;
- d'assurer la durée de vie du forage en le protégeant des eaux agressives.

8.2 Définition de la partie à cimenter

La hauteur à cimenter est définie par les conditions rencontrées, nature et état des terrains traversés, qualité des différentes arrivées d'eau.

Un avant-tubage, en tête de forage, est mis en place sur au moins 5 m afin d'éviter les risques d'éboulement ou de cavitation par les fluides de forages. Il convient de prévoir une cimentation à l'extrados de ce tubage pour éviter toute percolation des eaux de surface, excepté lorsque cet avant-tubage est mis en place par battage. Lors de la conception de l'ouvrage, il convient de tenir compte de cet avant tubage et de sa cimentation dans le choix des diamètres.

L'espace annulaire doit avoir une épaisseur minimale de 5 cm afin de permettre la mise en oeuvre de la cimentation, la colonne de laitier doit reposer au-dessus du toit de la nappe captée soit :

- sur un bouchon d'étanchéité en argile gonflante au-dessus du massif de gravier filtre ;
- sur une ombrelle en l'absence de gravier filtre.

Les forages doivent être cimentés à partir du toit de la nappe captée sur toute la hauteur jusqu'au niveau du sol . En région de socle, où parfois le toit de la nappe ne peut être déterminé avec précision, il faut cimenter sur toute la hauteur altérée, pour éviter toute percolation des eaux de surface et afin d'occulter les arrivées d'eau de mauvaise qualité ; la hauteur minimum est de 10 m. En cas de présence de nappes intermédiaires captives ou de qualité différente ou polluée, il est indispensable de les isoler en général en procédant à un ou plusieurs télescopages de diamètre avec cimentations successives.

Ces dispositions sont complétées pour les cas suivants.

8.2.1 Captage de la première nappe libre

Il convient de prévoir une cimentation au minimum de 2 m (plus en fonction de la nature géologique du terrain).

8.2.2 Captage d'une nappe captive

Il est indispensable d'isoler par cimentation la partie supérieure depuis le toit de la nappe captive jusqu'en surface ou jusqu'au chevauchement entre tubages.

Si un tubage est descendu il devra s'arrêter avant le toit de l'aquifère captif afin de permettre une cimentation remontant au sommet du chevauchement.

En présence d'aquifère(s) au dessus de la nappe captive, il(s) devra(ont) être isolé(s) correctement par cimentation afin d'interdire tout mélange.

8.2.3 Nappe libre en présence d'un aquifère superficiel ou d'arrivées d'eau de mauvaise qualité au droit de failles supérieures dans le socle

Il est nécessaire d'isoler par cimentation l'aquifère à capter de l'aquifère superficiel (ou de la dernière arrivée d'eau de mauvaise qualité), soit par :

- a) pose d'un tubage descendu légèrement en dessous du mur de l'aquifère superficiel, et cimentation à l'extrados de ce tubage avant poursuite de la foration (télescopage) ;
- b) par cimentation à l'extrados du tubage (forage mono-diamètre) après pose du massif de gravier et du bouchon d'étanchéité, ou sur ombrelle.

Cette solution nécessite de disposer de suffisamment de place pour descendre les cannes de cimentation à la profondeur voulue (dans la pratique cette solution est limitée aux ouvrages peu profonds).

8.2.4 Utilisation de la technique du tubage à l'avancement

a) En vue du captage d'une nappe captive :

Le sabot du tubage de soutènement ne sera pas descendu jusqu'au mur de l'aquifère, afin de permettre ainsi une isolation par cimentation.

b) En vue du captage d'une nappe libre :

Il est alors nécessaire de retirer le tubage de soutènement de façon concomitante à la mise en place du gravier, du bouchon en argile gonflante ou de l'ombrelle, et de la cimentation de la partie supérieure.

REMARQUE : L'utilisation de la technique du tubage à l'avancement, lorsqu'il existe plusieurs niveaux aquifères, nécessite la mise en place de cimentations successives pour interdire tout mélange d'eau. Dans ce cas il est alors nécessaire de procéder par télescopage.

8.2.5 Cas des capteurs thermiques verticaux

Le forage doit être correctement isolé par :

- du sable et/ou du gravier roulé sur toute la hauteur des zones aquifères ;
- un mélange bentonite-ciment sur tout le reste y compris entre deux couches aquifères, le coulis étant injecté sous pression par la base en remontant le tube d'injection au fur et à mesure que le coulis remplit l'annulaire et enveloppe les sondes thermiques et obligatoirement sur les 10 m supérieurs.

8.3 Le laitier

Le laitier est composé d'eau et de ciment soigneusement mélangés. La densité est supérieure à 1,7, sauf pour le cas particulier des forages profonds.

Exemple pour obtenir une densité de 1,8 : 100 kg de ciment et 50 l d'eau et peut être complété d'éventuels adjuvants neutres par rapport à l'eau ; donne 80 l de laitier.

L'utilisation du ciment à «prise rapide» est déconseillée.

Les mélanges ciment-bentonite peuvent être utilisés, sous réserve d'utiliser des produits commercialisés prévus à cet effet. La bentonite doit être hydratée 24 h avant la cimentation et dans le but d'assurer une bonne fluidité de la cimentation. La proportion de bentonite ne doit pas dépasser 5 % de la masse de ciment. Dans le cas des piézomètres, la proportion de bentonite peut atteindre 10 % de la masse de ciment.

Le volume du laitier à fabriquer est calculé en ajoutant un coefficient minimum de 30 % par rapport au volume théorique. Ce coefficient doit être modulé suivant la connaissance des terrains plus ou moins failles.

8.4 L'injection

L'injection est à effectuer sous pression par le bas dès l'achèvement de la mise en place du tubage définitif et en continu.

Le temps de prise est de 24 h minimum, avec contrôle de la dureté du ciment sur un échantillon de laitier prélevé à l'injection ; un temps d'au moins 48 h est souhaitable avant de continuer les travaux.

Afin d'éviter tout mélange d'eau entre les différentes formations aquifères rencontrées, lorsqu'un forage, puits, sondage ou ouvrage souterrain traverse plusieurs formations aquifères superposées, sa réalisation doit être accompagnée d'un aveuglement successif de chaque formation aquifère non exploitée par cuvelage et cimentation.

8.4.1 Pour une profondeur de cimentation ≤ 40 m :

- a) avec des cannes de 1" à 2" voire plus suivant l'annulaire : elles sont placées de chaque côté du tube et descendues à la cote requise pour l'injection et retirées par tranche de 5 m à 6 m. Ce procédé ne peut pas excéder 40 m sans pompe.
- b) sur collerette : la collerette étanche est posée soit sur gravier, soit sous tube de complétion. Assurer l'étanchéité avec des produits appropriés (argile gonflante, etc.) et exécuter l'injection avec des cannes dans l'annulaire par volumes successifs avec un temps de prise de 2 h minimum entre chaque injection.

8.4.2 Pour une profondeur de cimentation ≥ 40 m :

- a) Par bouchon de laitier : profondeur ≤ 100 m. Prévoir un bouchon de 2 m de hauteur au fond du forage déposé par des cannes de diamètre adapté puis planter le tube de soutènement d'une profondeur d'au moins 1 m dans le laitier. Attendre la prise et le complément est fait suivant la méthode décrite au 8.4.1 a).
- b) Par l'intérieur du tube avec bouchon destructible : tubage étanche avec une tête d'injection (amovible) munie d'une vanne et d'un manomètre (coté forage). Pose du tubage en suspension d'environ 1 m du fond. Injecter dans le tube le volume de laitier calculé auparavant puis envoyer le bouchon destructible. Poser la tête étanche. Injecter le volume d'eau correspondant au volume intérieur et à la nature du tube et à sa longueur avec une pompe à pression. Bloquer la vanne et vérifier la pression du manomètre qui ne doit pas chuter de 15 % en 1 h. Attendre la prise du laitier au moins 24 h. Cette méthode peut être employée pour des volumes moyens et une profondeur ≤ 100 m. Si le laitier n'est pas remonté à la cote souhaitée, il est conseillé de compléter par gravité avec des cannes d'injection descendues dans l'espace annulaire.
- c) Injection avec pose sur sabot de cimentation à bille : souder ou visser au bout du tube de soutènement un sabot à bille approprié au diamètre du tube. Descendre le tubage à la cote désirée. Descendre et poser sur sabot la canne d'injection (tige de forage) en continuité. Confectionner et injecter le laitier en continu le plus rapidement possible. Assurer l'étanchéité du sabot et sortir la canne. Attendre la prise du laitier au moins 24 h. Cette méthode est recommandée pour les grands volumes et les grandes profondeurs (au-delà de 100 m). Si le laitier n'est pas remonté à la cote souhaitée, il est conseillé de compléter par gravité avec des cannes d'injection descendues dans l'espace annulaire.

8.4.3 Pour une profondeur de cimentation au-delà de 500 m

Pour des cimentations d'un forage à très grande profondeur, il convient d'employer les techniques pétrolières.

9 Contrôles en cours de réalisation de l'ouvrage

Le maître d'ouvrage, ou son représentant, est tenu de signaler au préfet dans les meilleurs délais tout incident ou accident survenu lors du chantier susceptible de porter atteinte à la qualité des eaux souterraines, et de lui préciser les mesures mises en œuvre pour y remédier.

Il convient de distinguer les contrôles en cours de réalisation effectués en continu, de ceux spécifiquement effectués à certaines phases de la réalisation.

Les données mesurées sont portées sur le rapport journalier de chantier et dans le rapport de forage.

9.1 Les différents contrôles

Les principaux points nécessitant un contrôle portent sur :

- l'appareillage de forage et matériel annexe qui doivent être en adéquation avec les objectifs prévus ainsi qu'avec la proposition élaborée par l'entreprise de forage ;
- la nature des terrains traversés ;
- les profondeurs forées ;
- la conformité des équipements (tubes pleins, crépines, etc.) ;
- l'exécution et la nature du développement ;
- l'exécution et les résultats des pompages d'essai.

a) Contrôles en continu de la réalisation de l'ouvrage :

- la profondeur ;
- le diamètre de foration ;
- le prélèvement d'échantillon des terrains ;
- la vitesse d'avancement ;
- la rhéologie des boues ;
- les pertes ;
- les arrivées d'eau, débit cumulé.

b) Contrôles spécifiques réalisés lors de certaines phases d'exécution de l'ouvrage, lors :

- de la pose des tubages : longueur et diamètre des tubes, qualité des soudures, ouverture des crepines, certificat des fournisseurs. Voir 7.1 ;
- de la cimentation : Contrôle des volumes, prise d'échantillon de laitier. Voir article 8 ;
- du développement. Voir article 10 ;
- du pompage d'essai. Voir article 11 ;
- de la réception des travaux. Voir article 13.

c) Contrôles supplémentaires éventuels :

Il est possible de prévoir des contrôles supplémentaires portant sur :

- la verticalité du forage et des colonnes de tubes ;
- l'étanchéité des tubages pleins ;
- la qualité de la ou des cimentations ;
- l'analyse qualitative (in-situ) de l'eau (par exemple : conductivité, température, nitrates, fer, etc.) ;
- des diagraphies.

d) Cas des capteurs thermiques verticaux :

Une épreuve de pression est réalisée suivant les recommandations du constructeur ou au minimum pendant 1 h, avant la cimentation, sous la pression de 6 bar. Un contrôle du débit est effectué à titre complémentaire.

9.2 La mise en œuvre

En matière de forage d'eau, la direction des travaux nécessite une parfaite connaissance des techniques de forage, d'équipement ainsi que des connaissances hydrogéologiques et géologiques. De plus, des adaptations en cours de forage peuvent se révéler nécessaires notamment d'un point de vue géologique.

Un suivi continu des travaux est souhaitable ; en cas d'impossibilité, il est néanmoins nécessaire de suivre les phases importantes telles que pose des tubages et des crepines (après vérification du calage géologique), cimentation, développement.

Pendant les travaux de forage :

NOTE En cas de forage à la boue, il convient de contrôler les caractéristiques rhéologiques de la boue (viscosité, densité, teneur en sable, etc.) et de noter les pertes partielles ou totales (profondeur et volume)

Des échantillons des terrains traversés doivent être prélevés, avant passage dans un éventuel dessilteur ou dessableur, à chaque mètre de forage et à chaque changement de terrain.

Le volume de chaque échantillon sera, sauf spécifications mentionnées dans le cahier des charges, de l'ordre de 0,5 dm³ à 1 dm³.

Ces échantillons doivent être entreposés sans avoir été préalablement lavés, à l'abri des intempéries soit dans des sacs étanches ou des casiers fermés portant l'indication des profondeurs forées et des références du forage (ces indications doivent être indélébiles)

L'entrepreneur est responsable de ces échantillons jusqu'à la remise de ceux-ci au maître d'ouvrage.

L'entrepreneur doit consigner dans un rapport journalier les avancements, les outils utilisés ainsi que leurs caractéristiques dimensionnelles et tout fait significatif, tels que

- la cote de la perte de circulation et son importance ;
- la ou les venue(s) d'eau avec une estimation des débits et de la qualité, en particulier de la teneur en nitrates ;
- les tubages mis en place : nature, diamètre intérieur et extérieur ;
- les cimentations : volume, densité, méthode de mise en place ;
- la compléation (colonne captante : crépines, massif filtrant, etc.) ;
- les travaux de développement ;
- les pompages d'essai, type de pompe, profondeur d'installation, point de rejet, méthode de contrôle des débits et des niveaux d'eau.

10 Développement

10.1 Généralités

Le développement a pour objet de :

- stimuler voire améliorer la perméabilité naturelle de la formation en accentuant la capacité spécifique ;
- éliminer le restant des fluides de forage (cake) et les éléments fins et, si besoin après contrôle, compléter le massif de gravier ;
- produire une eau exempte de matières solides avec un débit optimal. En fin de développement, la teneur en sédiment ne doit pas dépasser 10 mg/l en cas d'usage pour consommation humaine.

Pour les forages à la boue, le développement d'un forage ne peut être réalisé qu'une fois l'ouvrage équipé de sa crépine et de son massif de gravier.

Pour les autres forages en terrain consolidés, le développement peut être réalisé avant l'équipement des forages.

Le gain de chaque phase de développement doit être calculé à partir du débit et du rabattement dans des conditions expérimentales identiques entre chaque phase.

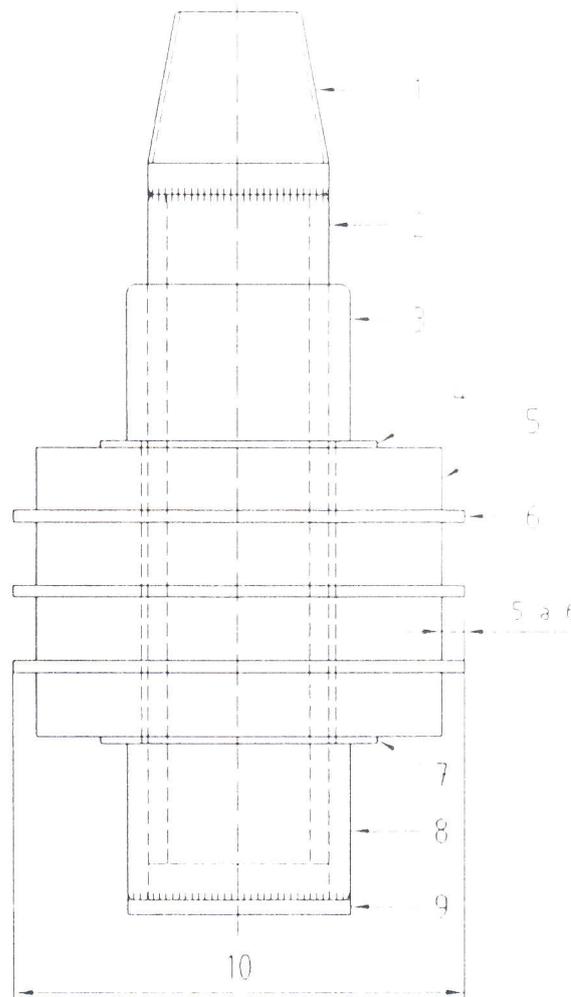
10.2 Méthodes de développement

Préalablement, la mise en eau claire est nécessaire.

De très nombreux protocoles techniques permettent de procéder au développement d'un forage. Le choix du protocole suppose une bonne connaissance du contexte hydrogéologique et technique du forage.

- a) AIR LIFT.
- b) DÉVELOPPEMENT À LA POMPE : une des méthodes courantes consiste à réaliser des paliers de pompage à débit constant jusqu'à l'obtention d'eau claire ; démarrer impérativement à petit débit puis augmenter progressivement le débit jusqu'à une valeur légèrement supérieure au débit d'exploitation envisagé.
- c) POMPAGE ALTERNÉ : différentes méthodologies peuvent être mises en œuvre pour obtenir de brefs et puissants chocs de pression.
- d) PISTONNAGE : création d'un mouvement de « va et vient » par l'emploi d'un piston actionné verticalement.

Dimensions en millimètres

**Légende**

- | | | | |
|---|---------------|----|---|
| 1 | Filetage API | 6 | Plaque en caoutchouc (épaisseur 6-8 mm) |
| 2 | Tube ou tige | 7 | Rondelle |
| 3 | Manchon | 8 | Manchon |
| 4 | Rondelle | 9 | Disque soudé |
| 5 | Corps en bois | 10 | Diamètre intérieur du casing |

Figure 13 — Exemple de piston de développement
(Source documentaire : SFE)

- e) **JETTING** : projection d'un puissant jet d'eau (éventuellement d'air) horizontal à travers la crépine, généralement associé à l'Air Lift.
- f) **SURPOMPAGE** : à utiliser par tranche successive de crépines ou pour des débits d'exploitation beaucoup plus faibles que le débit de surpompage
- g) **AGENTS CHIMIQUES** : utilisation de différents agents chimiques (acide, polyphosphates etc.) sélectionnés en fonction des caractéristiques lithologiques des formations
- h) **SURFRACTURATION** : dans le cas de forage en terrain consolidé (granite, calcaire, grès, etc.) — hydrofracturation, fracturation à l'explosif.

Chaque développement doit donner lieu au contrôle régulier de trois paramètres :

- la teneur en fines ;
- le contrôle du débit spécifique ;
- la comparaison des rabattements pour un même débit avant et après développement.

11 Pompage d'essai

11.1 Généralités

Le pompage d'essai concerne tous les ouvrages en vue d'une exploitation des eaux souterraines et notamment ceux nécessitant la connaissance des paramètres hydrodynamiques ; il consiste en deux phases :

- essai de puits ;
- essai de nappe.

Les objectifs des pompages d'essai sont les suivants :

- établir la fiche d'identité de l'ouvrage et évaluer ses capacités de production : par un pompage par paliers de débit ;
- évaluer la capacité de production de l'ouvrage et évaluer l'influence des prélèvements sur les ressources en eau : par un pompage longue durée ;
- apprécier la qualité de l'eau ; par une analyse appropriée selon le lieu et l'usage.

11.2 La mise en œuvre

11.2.1 Équipement minimum de l'ouvrage à soumettre à essai

- Chambre de pompage tubée pour sécuriser la pompe en cas d'éboulement de terrain ;
- tube(s) guide sonde (de diamètre approprié aux outils de mesure et de préférence solidaire(s) de la colonne d'exhaure).

11.2.2 Dispositif de pompage

Le dispositif de pompage comporte :

- une pompe adaptée au débit d'exploitation souhaité avec un clapet anti-retour si nécessaire. Elle doit prendre en compte les pertes de charges liées au refoulement, à la profondeur du niveau statique sous le sol et au rabattement dans le forage ;
- une colonne d'exhaure devant être adaptée au débit, à la profondeur et au refoulement ;
- une vanne de réglage du débit.

Par ailleurs, il faut veiller à :

- conserver, si besoin, une marge par rapport au fond de l'ouvrage lors de mise en place de la pompe ;
- positionner l'aspiration de la pompe au-dessus de la cote à ne pas dénoyer ; par exemple le toit d'un aquifère captif, ou conserver 1/3 de l'épaisseur mouillée pour une nappe libre, etc. ;
- nettoyer voire désinfecter tout équipement descendu dans le forage ;
- rejeter les eaux pompées à une distance suffisante en aval hydraulique de la nappe et hors du cône d'appel du forage pour éviter tout recyclage de l'eau ;
- éviter toute nuisance par les rejets de l'eau pompée (température, turbidité, pollution) en prévoyant un dispositif adapté ;
- éviter, si l'alimentation de la pompe se fait par un groupe électrogène, toute pollution par déversement d'hydrocarbures. Il faut mettre en place une cuve de rétention sous le groupe, permettant de confiner en cas d'incident l'ensemble du carburant contenu dans le groupe et le réservoir associé. A titre de précaution, il est recommandé de placer le groupe en aval topographique du forage.

11.2.3 Matériel

- Sonde graduée lumineuse et/ou sonore pour le suivi des niveaux piézométriques
- Si besoin, centrale d'acquisition automatique et capteurs de niveaux adaptés aux rabattements escomptes et contrôle périodique de la fiabilité des mesures à la sonde manuelle
- Échelle limnimétrique pour les eaux de surface proches du pompage et susceptibles de participer à l'alimentation du forage.
- Principaux dispositifs utilisables pour la mesure du débit :
 - bac étalonné et chronomètre : adapter le volume du réservoir pour obtenir un débit précis, soit un temps de remplissage > 15 s et conserver une hauteur de refoulement constante pour l'alimentation du réservoir ;
 - compteur volumétrique, débitmètre électromagnétique ou tube de Pitot en veillant à ce que l'écoulement soit laminaire selon les prescriptions du fabricant du compteur. S'assurer de la validité des mesures à l'aide d'une capacité jaugée ;
 - bac de jaugeage avec déversoir en V ou rectangulaire ;
 - dans le cas de forage artésien pour la mesure de pression : rehausse si $P < 0,2$ bar, manomètre si $P > 0,2$ bar

11.3 Protocole de suivi

La profondeur du niveau d'eau dans le forage sera mesurée au centimètre près par rapport à un repère fixe, référencé par rapport au sol.

- Niveau statique à mesurer sur tous les points à suivre avant le démarrage du pompage (forage, éventuels piézomètres et repères en eau de surface).
- Mesures de niveaux en cours de pompage sur l'ouvrage pompe suivant la cadence précisée au Tableau 1 :

Tableau 1

Temps (t) écoulé depuis le début du pompage ou de la remontée	Fréquence des mesures
de 0 min à 15 min	1 min
de 15 min à 30 min	5 min
de 30 min à 60 min	10 min
de 1 h à 2 h	15 min
de 2 h à 4 h	30 min
de 4 h à 8 h	1 h
> 8 h	2 h

La remontée de l'eau dans le forage après l'arrêt du pompage est également suivie avec la même cadence.

NOTE En cas d'utilisation d'enregistreur, le pas de temps d'acquisition peut être réduit. Le débit est contrôlé régulièrement en cours de pompage à la même fréquence que les mesures de niveaux pour $t > 15$ min. Si le dispositif de mesure consiste en une simple lecture (compteur volumétrique, débitmètre électromagnétique ou tube de Pitot, bac jaugé), on adopte les mêmes fréquences que pour les mesures de niveau dès le début du pompage.

Des caractéristiques physiques sont observées visuellement (turbidité, venue de sable, etc.) par exemple par prélèvements dans des bouteilles transparentes, que l'on comparera à un échantillon témoin (eau potable), puis que l'on quantifie après décantation (taille des grains et mesure de la taille de la pastille résultant d'un vortex appliqué dans la bouteille).

Suivant le type de nappe, une surveillance chimique peut être demandée dans le protocole de pompage (conductivité, nitrate, fer, turbidité, etc.).

Les cadences des suivis des piézomètres et des eaux de surface seront adaptées en fonction du type de nappe (une nappe libre réagit par exemple moins vite qu'une nappe captive) et de la distance forage-pompe. Elles sont indiquées selon le modèle présenté au Tableau 2 à titre indicatif.

Tableau 2

Distance du piézomètre par rapport au forage pompé	Temps (t) écoulé depuis le début du pompage ou de la remontée	Fréquence des mesures
Nappe libre < 25 m Nappe captive < 500 m	de 0 min à 10 min de 10 min à 30 min de 30 min à 60 min de 1 h à 4 h > 4 h	2 min 5 min 10 min 20 min idem forage
Nappe libre 25 m — 100 m Nappe captive 500 m — 1 000 m	de 0 min à 60 min de 1 h à 4 h > 4 h	15 min 30 min idem forage
Nappe libre > 100 m Nappe captive > 1 000 m	de 0 min à 60 min de 1 h à 4 h > 4 h	30 min 1 h idem forage

11.4 Réalisation et interprétation des pompages d'essai

Les pompages d'essais doivent être réalisés une fois le forage correctement développé, de préférence en basses eaux, et après une période de repos minimale de 12 h.

Le contenu des essais est fonction du débit d'exploitation. Les menus types sont définis dans le Tableau 3. Les limites des classes s'appuient sur la Loi sur l'eau.

Le pompage longue durée doit être réalisé à un débit supérieur ou égal au débit de prélèvement envisagé.

Selon les contextes régionaux spécifiques (par exemple : socle), des modalités d'essais en termes de durée doivent être adaptées.

Tableau 3

Classe de débits	Essai par paliers ^{a)}	Essai longue durée	Nombre de piézomètres à suivre s'ils existent (à titre indicatif)	Suivi de la remontée à l'issue du pompage de longue durée
> 80 m ³ /h	≥ 4 paliers de 2 h	> 72 h	3	≥ 24 h
de 8 m ³ /h à 80 m ³ /h	≥ 4 paliers de 1 h	> 24 h	2	≥ 8 h
de 0 m ³ /h à 8 m ³ /h à usage professionnel	≥ 4 paliers de 1 h	> 12 h	1	≥ 6 h
< 1 000 m ³ /an (usage domestique)	≥ 3 paliers de 1 h (enchaînés sans remontée)	> 3 h enchaîné	—	≥ 3 h

a) Les paliers seront non enchaînés sauf stipulation contraire au cahier des charges.

11.4.1 Avant le démarrage des essais pour les forages non domestiques

- Réaliser un inventaire des ouvrages, déclarés ou connus du maître de l'ouvrage à une distance dans un rayon de 500 m en nappe libre, de 1 km en nappe captive, pour sélectionner les paramètres à suivre dans le suivi en précisant si ce ou ces points d'eau sont utilisés.
- Préparer un programme de pompage en fixant les débits à tester en fonction des réserves obtenus en fin de développement, en s'appuyant sur les menus type définis dans le Tableau 3.
- En présence d'autres ouvrages exploitants la même ressource, il convient de tenir compte de l'agencement d'exploitation de chacun de ces ouvrages notamment pendant la durée de l'essai. Pour permettre le passage à l'exploitation du forage soumis à essai, il convient de tenir compte des débits des forages existants pour estimer l'incidence sur la nappe.

11.4.2 Au démarrage

Un réglage du débit est admis pendant les cinq premières minutes du pompage.

Ensuite, le débit baisse naturellement en fonction du rabattement croissant. Il faut corriger le débit pour coller au débit théorique du programme de pompage. La pompe doit être choisie afin de limiter cette chute de débit inhérente à l'augmentation de la hauteur manométrique totale (HMT).

11.4.3 En cours d'essai

Le débit et les niveaux sont suivis à la fréquence précisée aux Tableaux 1 et 2 et notes sur une feuille de pompage prévue à cet effet dont on trouve un modèle en annexe.

Il convient d'y consigner également toute modification survenue en cours de pompage (manipulation de vanne de réglage du débit, pluie importante, qualité de l'eau, pompage sur un ouvrage voisin, etc.).

Si les niveaux sont stabilisés, on s'assurera que le niveau dynamique n'est pas rabattu à la cote d'aspiration de la pompe. Si tel est le cas, il convient de modifier le programme d'essai avec un débit plus faible, ou de descendre la pompe en respectant les cotes à ne pas dépasser (voir 11.2.2).

11.4.4 À la fin de l'essai

Suivre la remontée des niveaux selon le programme défini dans les Tableaux 1 et 2.

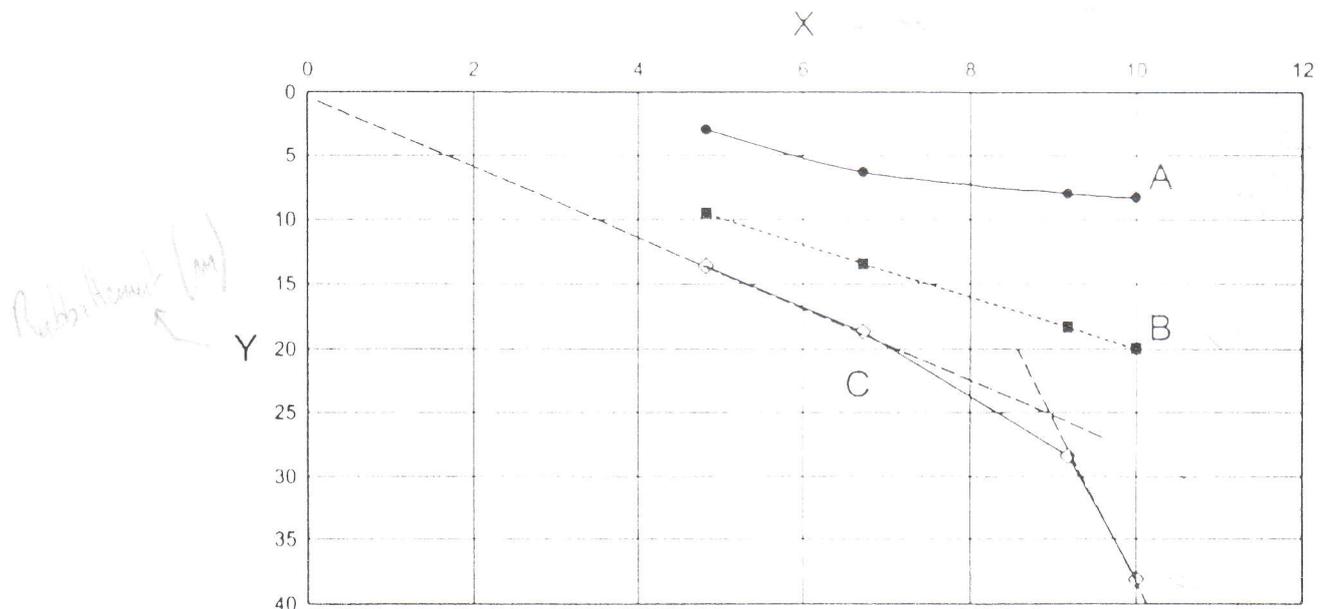
11.4.5 Les essais par paliers ou essai de puits

L'essai par paliers constitue une véritable fiche d'identité de l'ouvrage, qui atteste de ses performances et qu'il est recommandé de renouveler tous les ans pour apprécier le vieillissement de l'ouvrage.

Un palier constitue une phase de pompage, à débit constant, limitée dans le temps. Chaque palier est suivi d'une phase d'arrêt de durée identique (essai par paliers non enchaînés). Dans le cas où le niveau statique initial est recouvert, on peut passer au palier suivant.

Les pompages seront réalisés à débits constants (avec une tolérance de 10 % pour les débits inférieurs à 8 m³/h ou avec une tolérance de 5 % pour les débits supérieurs à 8 m³/h) par paliers croissants de durée constante, espacés d'un temps d'arrêt de durée identique. Les débits de l'essai seront fixés en fonction des résultats obtenus en fin de développement, avec au moins 2 paliers réalisés à un débit inférieur et 1 à 2 paliers à un débit identique ou supérieur.

Les essais par paliers permettent de dessiner la courbe caractéristique du forage en reportant sur du papier arithmétique le débit moyen de chaque palier en abscisses et le rabattement final de chaque palier en ordonnées (voir exemple de graphique ci-après).

**Légende**X Débit en m³/h

Y Rabattement en m

A Débit d'exploitation non calculable Courbe concave : développement en cours d'essai (à recommencer)

B Débit d'exploitation > 10 m³/h Courbe linéaire : débit critique non dépasséC Débit critique 9 m³/h — Débit d'exploitation 8 m³/h Courbe convexe : débit critique dépassé**Figure 14 — Exemple de courbes caractéristiques**

- Si on obtient une courbe caractéristique concave, l'ouvrage est en cours de développement, et l'essai par paliers n'est pas recevable. Il convient de le recommencer, après avoir mené à son terme le développement.
- Si la courbe est linéaire, le débit d'exploitation pourra être pris comme étant égal au débit maximal testé.
- Si la courbe est convexe, le débit critique est dépassé. Il est alors déterminé graphiquement comme étant l'intersection des tangentes de la première et de la seconde partie de la courbe (point d'inflexion).
Il est recommandé d'exploiter l'ouvrage à un débit inférieur ou égal au débit critique.

11.4.6 Le pompage longue durée ou essai de nappe

Le pompage est réalisé à débit constant. Ce débit est la plus petite des deux valeurs :

- débit maximal des installations de pompage à mettre en place (et non en fonction des capacités maximales de production de l'ouvrage) ;
- 90 % du débit critique.

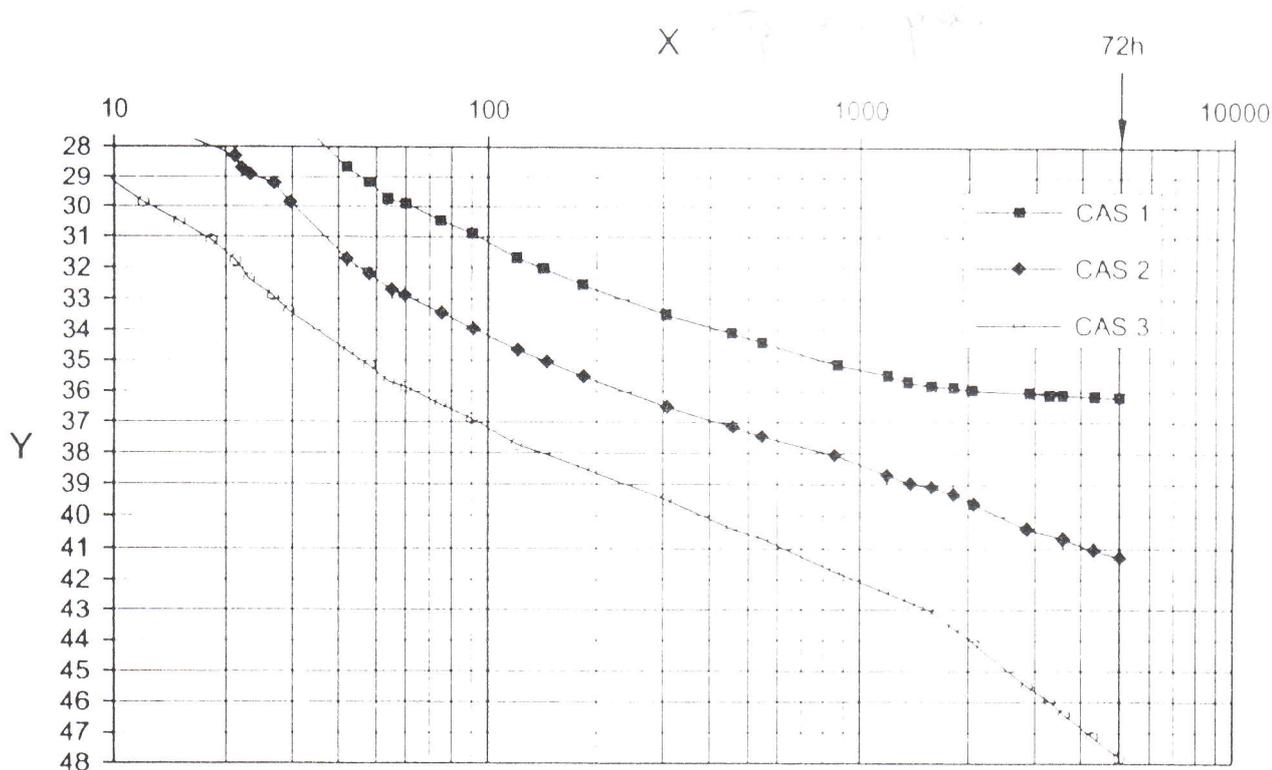
NOTE 1 Pour les forages non domestiques (prélèvement > 1 000 m³/an), l'arrête d'autorisation ou le récépissé de déclaration fixe un débit d'exploitation donné et toute modification doit faire l'objet au préalable d'une nouvelle demande de déclaration ou d'autorisation.

Cet essai permet entre autres de quantifier l'influence réelle du nouveau forage sur la ressource en eau, en observant directement la baisse des niveaux sur les points d'eau avoisinants.

En cas de baisse significative, il convient d'apprécier l'incidence du nouveau forage sur l'utilisation normale des ouvrages alentours (eau de surface également).

Enfin, le pompage d'essai de longue durée permet également de s'assurer, dans les conditions de l'essai, de la présence d'une réserve en eau suffisante pour couvrir les besoins demandés. L'interprétation des données permet de déterminer le débit d'exploitation, voir l'exemple de graphique ci-dessous.

NOTE 2 Il est conseillé de reporter les valeurs (rabattement, temps de pompage) sur un graphique semi logarithmique pour attester d'une évolution satisfaisante des niveaux (voir l'exemple de graphique ci-dessous)



Légende

- X Temps de pompage, en min
- Y Rabattement, en ???

Figure 15 — Exemples de courbes caractéristiques

- Si les niveaux se stabilisent (cas 1) ou si la pente est constante (cas 2), le forage peut être exploité au débit souhaité, sous réserve que l'interférence générée sur les autres ouvrages reste compatible avec leur utilisation usuelle.
- Si la pente augmente en cours de pompage (cas 3), la ressource est limitée. Dans ce cas, il faut adapter le débit d'exploitation en tenant compte des rabattements plus importants générés par la présence d'une ou plusieurs limites étanches ou ne pas dépasser la durée de pompage correspondant à l'apparition de la rupture de pente.
- Le calcul des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère à partir d'un pompage d'essai n'est pas développé ici (transmissivité et coefficient d'emmagasinement, etc.).

NOTE 3 Il n'existe pas de méthode d'interprétation universelle pour les déterminer et les données pourront toujours être interprétées ultérieurement par un hydrogéologue si besoin est (interférence avec des ouvrages voisins notamment).

11.4.7 Prélèvements d'eau et analyses

L'objectif des prélèvements d'eau et de leurs analyses est de vérifier la compatibilité de l'eau avec l'usage prévu. Les eaux destinées à la consommation humaine telle que définie par le Code de la Santé Publique sont soumises à des analyses réglementaires.

NOTE Il est recommandé de procéder à l'analyse minimum suivante : Conductivité, pH.

Le Tableau 4 préconise une liste indicative et non exhaustive d'analyses.

Tableau 4 — Types d'analyses en fonction de l'usage

Usage de l'eau	Analyse recommandée ou obligatoire	
	Recommandée	Obligatoire
Jardin, lavage voirie, etc	Conductivité, pH	
Chasse d'eau, machine à laver, etc	Conductivité, pH, Fe, Mn, dureté	
Piscine à usage familial	Conductivité, pH, Fe, Mn, matières organiques, nitrate	
Pompe à chaleur	Conductivité, pH, Fe, Mn, dureté	
Alimentation en eau potable pour l'usage personnel d'une famille		Code de la Santé Publique
Agroalimentaire		Code de la Santé Publique
Alimentation en eau potable collectif		Code de la Santé Publique
Irrigation	Bilan ionique (Peu de sels dissous)	
Maraîchage	Bilan ionique (Peu de sels dissous), organismes pathogènes et parasites nuisibles pour les humains.	
Pisciculture		Code de l'environnement
Usage industriel	Différent suivant l'activité (à minima se conformer à l'arrêté du 2 février 1998 modifié relatif aux installations classées pour la protection de l'environnement ou à l'arrêté ministériel relatif à l'activité concernée)	
Élevage	Microbiologie, nitrates	
Diagnostic de site potentiellement pollué	Analyses spécifiques selon les activités actuelles et passées du site	

12 Protection

La protection d'un forage concerne quatre objectifs principaux :

- 1) empêcher les eaux de surface, de ruissellement ou d'inondation, éventuellement polluées, de s'infiltrer le long de la face extérieure du tube ou de pénétrer à l'intérieur du tubage et d'entrer ainsi en contact avec la nappe ;
- 2) dissuader le vandalisme, en évitant l'introduction d'objets divers ou de substances dans le tube intérieur ;
- 3) protéger physiquement l'ouvrage pour éviter sa destruction et ainsi garantir, notamment, l'intégrité du tube intérieur ;
- 4) contenir les phénomènes d'artésianisme, le cas échéant.

NOTE La protection peut aussi servir à repérer le forage.

Quelle que soit la protection retenue, il faut veiller à ce qu'elle soit compatible avec le type d'usage envisagé pour le forage et notamment que la tête du forage soit adaptée à l'outil d'exploitation ou de prélèvement ou de mesure envisagé des eaux souterraines (pompes mobiles, préleveur automatique à poste fixe, sonde piézométrique électrique ou sonde à air avec manomètre, etc.).

12.1 Protection vis à vis des eaux superficielles (ruissellement ou inondation)

Il s'agit ici d'empêcher les eaux superficielles de rejoindre la nappe, soit par le tube lui-même, soit par l'espace annulaire. Il faut donc veiller à ce que la tête du forage ne constitue pas un point bas de la topographie où les eaux de ruissellement pourraient se rassembler. Cet aspect doit être pris en compte dès l'implantation de l'ouvrage, qui ne sera pas placé dans un creux topographique, sauf si sa protection de tête est prévue en fonction de cette implantation (tube dépassant, etc.).

Dans tous les cas, le tube devra être correctement étanche et cimenté.

12.1.1 Cas général :

Le tubage du forage doit être étanche, et scellé correctement dans une margelle bétonnée (dalle de propreté étanche). Cette dalle a une dimension de 3 m² minimum et une hauteur minimum de 30 cm au-dessus du terrain naturel. La dalle doit être sans fissure et présenter des faces dont les pentes permettent d'évacuer l'eau de pluie vers l'extérieur du tubage.

La hauteur du tubage au-dessus du sol est telle que la tête de forage ne pourra se trouver sous le niveau d'une lame d'eau superficielle due à un orage ou à une inondation (plus hautes eaux connues). La tête de forage est au moins de 50 cm au-dessus du terrain naturel et le capot en tête de forage est alors constitué d'un bouchon étanche.

Dans le cas de forage dont la tête de forage est située dans un local, la margelle en béton reste nécessaire. L'accès au local est cadenassé. Les autres recommandations présentées en 12.1.1 sont applicables.

12.1.2 Cas des ouvrages domestiques :

Les têtes de forage peuvent être installées dans un regard de pompage dont le couvercle est au ras du sol.

La tête du forage sera à 0,20 m au-dessus du fond de la chambre dans laquelle elle débouche. La protection des eaux souterraines repose à la fois sur la qualité du regard, sur l'étanchéité du forage (bouchon d'argile, cimentation) et de sa tête qui doivent être particulièrement soignées.

12.2 Protection de la tête de forage

Afin d'éviter l'introduction d'objets divers, de substances ou des actes de vandalisme, il est indispensable de verrouiller les protections en tête de forage de telle sorte qu'elles ne puissent être ouvertes sans l'aide d'une clé ou d'un outil spécial.

Lorsque des cadenas sont utilisés pour la fermeture des capots métalliques, il faut retenir les cadenas de type «artilleur», mais aussi prévoir le même type de cadenas pour l'ensemble des forages et piezomètres implantés sur un même site. Les cadenas à molettes ou à codes sont fragiles et peu fiables.

Pour les forages en phase d'exploitation, la totalité de la tête de forage doit être recouverte par un dispositif de protection étanche et équipé des passages nécessaires (colonne d'exhaure, câble électrique, etc.) munis de presse-étoupe. Une ouverture doit être prévue pour le passage du guide sonde et munie d'un bouchon vissé.

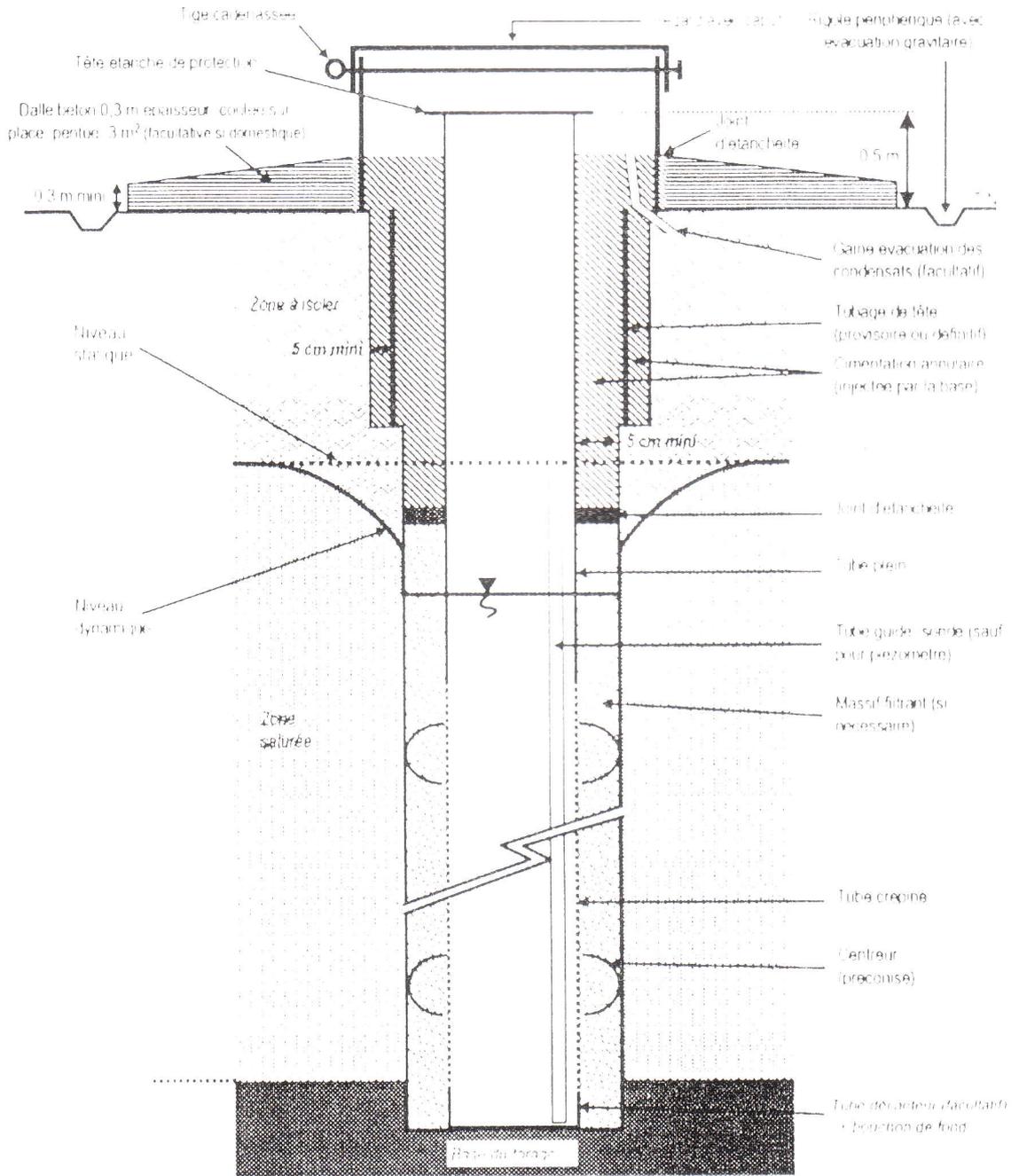


Figure 16 — Exemple de protection de la tête de forage
(Source documentaire : BRGM)

12.3 Protection physique de l'ouvrage

Le but est d'éviter que le tube ne soit endommagé lors d'un choc. Cela peut provenir notamment de l'implantation du forage, et de la possibilité d'accès au site. En règle générale, on ne peut se satisfaire de laisser simplement le tube du forage dépasser du sol, car même un tube métallique robuste et soigneusement ancré dans le sol peut s'avérer insuffisant.

Les solutions suivantes peuvent être retenues, selon le contexte de l'implantation du forage :

- a) Tube métallique scelle, à l'intérieur duquel se trouve la tête de forage. Il doit être d'un diamètre largement supérieur au tube du forage et doit être ancré profondément dans le sol sur une profondeur au moins égale à 50 % de sa hauteur hors sol.
- b) Barrières de protection : il est souhaitable d'entourer la tête de l'ouvrage d'une barrière de protection, surtout si elle dépasse de la surface du sol ; cela implique de prévoir suffisamment de place autour du forage pour ce faire. On implante alors solidement dans le sol, à une distance de 2 m de la tête de l'ouvrage, une barrière en tube métallique robuste ou tout autre dispositif équivalent inextinguible, signalant l'existence d'un forage. Ce type de protection se rajoute à une protection décrite précédemment (point a), mais ne s'y substitue pas. Il convient aussi d'empêcher l'accès au bétail.

Ces protections doivent être désolidarisées au maximum de la tête du forage. Elles doivent être scellées dans un massif en béton qui n'a pas de liaison rigide avec le tube, afin que le forage ne soit pas déformé en cas de choc contre les protections périphériques.

12.4 Protection contre les eaux de remontées artésiennes

En cas d'artésianisme, le tubage de tête sera équipé d'un capot étanche sur brides comprenant un manomètre et une vanne de décharge, ainsi qu'un guide sonde.

Dans tous les cas, les recommandations décrites en 12.1, 12.2 et 12.3 sont applicables.

13 Réception

La réception de l'ouvrage est un acte impératif car elle marque le transfert de propriété de l'ouvrage réalisé du foreur au maître d'ouvrage.

Il convient donc au terme des travaux tel que prévu dans le contrat que la réception soit prononcée et enregistrée par écrit après avoir vérifié la concordance des travaux avec le programme initial.

L'entreprise doit remettre un descriptif des travaux réalisés (voir article 14) avec notamment l'origine :

- des tubages mis en place ;
- du massif de graviers (si existant).

Il peut être procédé à un examen de l'état du forage par caméra immergée, dans le cas où cela est prévu dans le contrat.

Il convient au moins de vérifier :

- la cote de fond de l'ouvrage ;
- la cote du sommet du massif de graviers (si accessible) ;
- le diamètre intérieur et extérieur du tubage de tête (et sa nature) ;
- que le terrain a été remis en état conformément au contrat ;
- que le forage est équipé d'un système de fermeture empêchant tout acte malveillant et empêchant l'introduction d'objets divers ou de substances.

Dans le cas de forages destinés à la production d'eau, la clarté de l'eau (teneur en sable) doit être vérifiée lors du pompage d'essai et consignée dans le rapport.

Un modèle de formulaire de réception de travaux est donné en Annexe C. Ce formulaire ne se substitue pas au rapport de fin de travaux. Néanmoins, selon le type de forage, ce formulaire peut être cumulatif avec le rapport de fin de travaux.

14 Rapport de fin de travaux

Un compte rendu circonstancié des travaux effectués et un descriptif de l'ouvrage réalisés doivent être formalisés pour formaliser la fin des travaux et de réceptionner les ouvrages.

Les informations à produire par le foreur ou par le bureau d'étude conseil doivent être au moins les suivantes dans les paragraphes suivants. Par ailleurs, un compte rendu de travaux de comblement d'un forage existant doit aussi être réalisé.

14.1 Contenu du document de fin de forage remis par l'entreprise au maître d'ouvrage

Les informations du dossier à produire obligatoirement doivent être au moins celles ci-dessous (points a à f) sauf défaut d'un format imposé par le maître d'ouvrage.

Le maître d'ouvrage doit demander à l'entreprise de forage de préparer une deuxième copie de ce dossier et de le faire pour l'envoyer directement à l'administration compétente.

- a** - Identification et adresse de l'entreprise de forage, du maître d'ouvrage, et du maître d'œuvre, le cas échéant.
- b** - Adresse de l'ouvrage, plan de localisation général sur carte topographique IGN à 1:25 000 (en projection Lambert, Lambert (en précisant le système retenu), altitude appréciée selon le plan disponible (en précisant également la mesure : IGN à 1:25000 ou nivellement par un géomètre) et références cadastrales de la parcelle de l'implantation de l'ouvrage.
- c** - Un compte rendu du déroulement des opérations, comportant notamment :
 - c1 - les dates de début et fin du chantier ;
 - c2 - la méthode de forage ;
 - c3 - l'organisation du chantier, notamment celles relatives aux précautions mises en œuvre pour éviter d'éventuelles pollutions ;
 - c4 - le rapport d'avancement des travaux précisant les dates de chaque phase importante des travaux, les éventuels incidents survenus et les solutions engagées pour y remédier ;
 - c5 - les caractéristiques techniques du forage : avant trou, tubage provisoire, diamètre de foration, diamètre, volume, dimensions et caractéristiques physico-chimiques des matériaux utilisés pour l'équipement de la colonne de captage (tubages, crépines, massif filtrant, cimentation, etc.), leur mode de mise en place et contrôles réalisés à chaque étape, etc. (pour les forages géothermiques, la colonne de captage est remplacée par «une boucle thermique de captage») ;
 - c6 - le mode de développement du forage (mise à l'eau claire, type de pompage, éventuels traitements à l'acide ou à l'hexamétophosphate, etc.) ;
 - c7 - les modes de gestion des déblais, des boues et fluides usages et des eaux pompées.
- d** - Une coupe technique du forage réalisée, ainsi que la coupe terrain foreur associée, les profondeurs ou cotes NG (si possible) des venues d'eau et des pertes de fluides, les cotes des différents équipements dans le forage et la profondeur totale.
- e** - En cas d'absence de bureau d'étude conseil pour interpréter les données des pompages d'essais, par exemple pour les usages domestiques : une note du foreur préconisant les conditions d'exploitation du forage.
- f** - Le système de protection et de repérage adopté s'il y en a un.

Pour les ouvrages spécifiques tels que les usages de thermalisme, les installations classées, les ouvrages de surveillance : Les types et références des machines mis en œuvre sur le chantier (foreuse, pompes, outils divers, compresseur, etc.), nature et caractéristiques physico-chimiques des fluides utilisés (eau de ville ou autre, boues, carburants, huiles hydrauliques, lubrifiants, etc.) peuvent être également indiqués.

14.2 Pièces à conserver par le maître d'ouvrage

Le maître d'ouvrage doit conserver, pour toutes éventuelles interventions ultérieures relatives au forage (expertise, maintenance, réhabilitation, intervention sur pollution éventuelle, contentieux, abandon, etc.), tous les documents ci-après, pendant toute la vie de l'ouvrage jusqu'à son abandon déclaré (voir article 18).

Tous les éléments du rapport du foreur (points a à f) présente en 14.1, ainsi que tout ce qui peut permettre d'apprécier la pertinence des travaux engagés en fonction de l'objectif du forage, et d'interpréter les résultats des analyses doivent figurer dans le dossier à conserver.

Outre le dossier remis par le foreur, la liste des informations à conserver et/ou à produire en complément des points **a à f** précédents, doit être la suivante :

- g** - les factures de tous les intervenants sur l'ouvrage ;
- h** - l'historique des pompes d'exploitation, des colonnes d'exhaure et des interventions successives sur l'ouvrage ;
- i** - les objectifs de l'ouvrage réalisé et l'usage envisagé de l'eau (exploitation agricole, industrielle, AEP collectif ou privatif, surveillance, etc.) ;
- j** - le cahier des charges défini par le bureau conseil et/ou le maître d'ouvrage, ainsi que l'argumentaire justifiant les ajustements, modifications en cours de chantier et les choix retenus *in fine* ;
- k** - une fiche signalétique comportant : numéro d'identification du forage, cote NG (NGF ou autre référentiel local pour les DOM-TOM) du rebord du tube repère et du sol, ainsi que le forage a fait l'objet d'un nivellement ;
- l** - le dossier administratif préalable à la réalisation des travaux de forage et de pompage ;
- m** - pour les forages sur sites relevant de la réglementation des DPE, un plan de localisation précis à grande échelle (type cadastre par exemple), prenant en compte les atelles et tous les aspects d'occupation du sol et du sous-sol dans l'environnement proche de l'ouvrage ;
- n** - les éventuelles mesures de déviations du forage si elles ont été souhaitées et réalisées ;
- o** - le profil géologique, lorsqu'il a été établi par un géologue, associé à la coupe technique, ainsi que le(s) type(s) d'aquifère(s) traversé(s) ;
- p** - les profils de productivité au micro-moulinet et des éventuelles diagrammes instantanées ou différées, si elles ont été réalisées (voir Annexe B) ;
- q** - les mesures des pompages d'essais (selon le type d'ouvrage) et leurs interprétations et l'évaluation de l'incidence du nouveau forage sur la ressource des eaux souterraines et sur la productivité des forages les plus proches ;
- r** - si elle a été établie par un bureau d'étude conseil du maître d'ouvrage, une note argumentée précisant les conditions à respecter pour l'exploitation du forage ;
- s** - les résultats d'une éventuelle inspection par vidéo camera, si elle a été réalisée ;
- t** - la liste des substances et paramètres analysés et les résultats analytiques faisant état de la qualité des eaux souterraines lors de la remise du forage ;
- u** - toutes autres informations qui pourraient être utiles.

14.3 Rapport de fin de travaux pour les forages abandonnés

Un rapport de fin de travaux relatif à l'abandon définitif (article 18) d'un forage existant devant être abandonné est communiqué au préfet, pour chaque ouvrage concerné, deux mois maximum après les travaux de comblement. La liste des informations à produire par le maître d'ouvrage est la suivante :

- la référence de l'ouvrage abandonné (numéro BSS fourni par le BRGM et sa date de création) et sa localisation précise ;
- la date de la réalisation des travaux de comblement ;
- le ou les aquifères précédemment exploités ou surveillés, ainsi qu'une coupe géologique des formations lithologiques traversées par le forage ;
- une coupe technique du forage et des informations sur l'état des cuvelages, tubages, crépines, cimentation, etc., avant son abandon ;
- les techniques et les méthodes qui ont été utilisées pour le comblement ainsi que l'argumentaire des choix retenus ;
- une coupe technique montrant le forage après comblement

Les forages qui ne sont pas conservés immédiatement après les travaux de foration et donc non équipés, doivent être comblés dès la fin de travaux. Les modalités de comblement figurent cependant dans le rapport de fin de travaux.

15 Exploitation

Le propriétaire de l'ouvrage ou son exploitant doit veiller à :

- conserver les documents caractérisant l'ouvrage (carte et des charges, rapport de réception, de fin de travaux, etc.) et rendant compte de son mode d'exploitation (registre, cahier de bord) ;
- exploiter l'ouvrage conformément aux préconisations (débit, rabattement, etc.) déterminées à l'issue des pompages d'essai ;
- positionner la pompe en dessous du rabattement final, en tenant une marge de sécurité tenant compte des variations pluriannuelles de la nappe ;
- maintenir l'aspiration au-dessus de la cote a ne pas dépasser ;
- éviter la création de courant de corrosion par mise en contact d'alliages différents entre le forage et les équipements de pompage ; à cet effet, un joint d'étanchéité doit être placé dans les zones à risque de contact ;
- éviter les utilisations « saccadées » en privilégiant des cycles de pompage plus étendus (débit moindre sur un temps plus long).

15.1 Respect absolu du débit d'exploitation

Chaque forage est livré avec un débit d'exploitation qui ne faut jamais dépasser, même très temporairement. Il y a risque de détérioration à la fois de la pompe et de la colonne d'exhaure, mais aussi des crépines et du forage lui-même.

Il convient de tenir compte de ce débit d'exploitation pour la position et le dimensionnement de la pompe. Si les conditions d'exploitation de la nappe changent de façon significative, soit naturellement soit à la suite de prélèvements au voisinage, le débit d'exploitation peut être revu à la baisse.

15.2 La pompe immergée

Il est impératif de respecter les préconisations du constructeur, notamment :

- ne pas dépasser le nombre maximal de démarrages par heure ;
- ne pas chercher à se placer sous le débit minimal de fonctionnement préconisé ni, bien sûr, au-delà du débit maximal ;
- ne pas faire fonctionner en eau trop chargée de particules.

Il est préconisé également d'effectuer les contrôles suivants :

- bon fonctionnement du clapet anti-retour de la pompe, au moins une fois par an ;
- paramètres électriques de la pompe, qui sont de bons indicateurs indirects de dysfonctionnements (consommation électrique, puissance, tension, intensité absorbée, résistance entre phases, fréquence en sortie de variateur, isolation électrique du câble et du moteur), au moins tous les trimestres ;
- bon fonctionnement des électrodes de niveau (basse et haute), au moins annuellement.

NOTE Dans le cas où la pompe est raccordée à un réservoir de pression (anti-bélier), il convient de vérifier le volume d'air, au moins tous les trimestres.

15.3 Suivi des volumes prélevés

L'exploitant doit noter sur un registre les volumes mensuels et annuels prélevés. Le suivi des volumes prélevés doit respecter les prescriptions du 16.1.

15.4 La colonne d'exhaure

L'exploitant doit contrôler visuellement l'état de la tête de colonne et à chaque remontée de pompe l'état des tubages (traces de corrosion, de dépôts intérieurs ou extérieurs, des brides ou des filetages). Le contrôle régulier de la pression en tête de forage peut permettre de détecter d'éventuels percements de la colonne d'exhaure.

16 Surveillance et maintenance de l'ouvrage d'exploitation

La surveillance de l'ouvrage appartient au maître d'ouvrage.

Les forages et sondages, qu'ils soient utilisés pour des prélèvements d'eau ou de chaleur ou pour effectuer la surveillance des eaux souterraines (en termes de qualité et de quantité) doivent être régulièrement surveillés et maintenus en bon état.

16.1 Généralités

L'ouvrage doit être surveillé et entretenu pour :

- garantir la protection de la ressource en eau souterraine vis à vis du risque de pollution par les eaux de surface ;
- empêcher le mélange des eaux de différents aquifères ;
- éviter tout gaspillage d'eau.

L'ouvrage doit être équipé d'un compteur volumétrique, ne disposant pas de possibilité de remise à zéro. Le gestionnaire de l'ouvrage doit consigner dans un registre, les données suivantes :

- les périodes d'exploitation si les prélèvements n'ont pas lieu en continu (dates de début et de fin pour chaque période d'exploitation) ;
- les volumes prélevés mensuellement et annuellement, ainsi que le relevé de l'index du compteur volumétrique.

Ce compteur doit être régulièrement entretenu, contrôlé et si nécessaire, remplacé, de façon à fournir en permanence une information fiable.

Chaque ouvrage d'exploitation doit faire l'objet de contrôles périodiques, portant sur les points suivants :

a) Le contrôle de la productivité du forage :

Effectuer régulièrement une mesure du débit et du niveau d'eau en pompage (ou pression lue sur un manomètre placé en tête du forage), dans des conditions de test identiques (même durée de pompage, même durée d'arrêt préalable). La fréquence est à adapter si une diminution de la productivité est constatée.

Si la ressource diminue, naturellement ou à cause de prélèvements au voisinage, l'exploitant doit en tenir compte dans la gestion de son installation.

Dans le cas où la baisse de productivité est imputable à l'ouvrage, il doit être effectué des opérations réparatrices.

b) Le pompage d'essai par paliers annuellement et comparaison avec l'ensemble des essais antérieurs.

c) Le contrôle du sommet du gravier :

Si la configuration du forage le permet, effectuer au moins une fois par semestre le contrôle du sommet du gravier additionnel. Si ce niveau diminue régulièrement cela traduit soit la création de cavités dans le terrain, soit un entraînement de particules du terrain et/ou du massif filtrant.

d) Le contrôle de l'intégrité de la tête de forage :

Il est recommandé de vérifier tous les ans l'état, la stabilité, l'étanchéité de la tête du forage ou de la cave de la tête du forage.

e) Le contrôle du fond du forage :

À l'occasion de chaque remontée de pompe ; il est recommandé d'effectuer ce contrôle au moins tous les trois ans. Un comblement brutal ou progressif du forage traduit un dysfonctionnement qu'il faudra traiter. Le contrôle se fait généralement avec une sonde lestée.

Le gestionnaire de l'ouvrage doit tenir à jour un cahier de bord précisant pour chaque opération de contrôle : la date d'intervention, le type de contrôle effectué et les constats réalisés. Pour les interventions confiées à un tiers, il doit consigner en plus la raison sociale de l'entreprise.

Dans le cas où le contrôle révèle la nécessité d'effectuer une opération d'entretien, le cahier de bord doit également comporter les informations suivantes : la date d'intervention pour l'entretien, le type d'intervention.

Ce cahier doit également faire état de toute anomalie survenue en phase d'exploitation.

16.2 Mesures spécifiques à certains ouvrages

Cas particulier des forages inclus dans un périmètre de protection d'un captage servant à l'alimentation en eau potable ou de forages traversant plusieurs aquifères superposés

Le contrôle de l'état intérieur du forage se fait par une inspection par caméra immergée et/ou par toute autre méthode adaptée. Il porte en particulier sur l'état et la corrosion des matériaux tubulaires. La périodicité du contrôle dépend de la situation et du type d'ouvrage. Elle est au minimum de 10 ans pour les forages situés dans un périmètre de protection de captage AEP ainsi que pour les forages traversant plusieurs aquifères superposés. Le préfet peut imposer d'autres périodicités.

Ces inspections doivent être enregistrées dans le cahier de bord.

Conformément à l'Article 11 de l'arrêté du 11 septembre 2003, un compte rendu de chaque inspection doit être adressé au préfet dans un délai de trois mois à compter de la date d'intervention.

17 Réhabilitation

17.1 Les contrôles préalables

Avant toute intervention de réhabilitation de forage, il convient de définir précisément l'état de l'ouvrage, les problèmes dont il souffre et leurs causes.

Les rapports de chantier, les coupes géologiques et techniques, comme tout autre document pouvant apporter de précieux renseignements doivent être consultés et analysés.

Plusieurs techniques de diagraphe permettent de réaliser une fiche signalétique d'un forage existant.

17.1.1 Le contrôle par caméra (obligatoire)

Le contrôle du forage par caméra immergée couleur représente l'étape préliminaire indispensable à toute intervention de réhabilitation.

Cette intervention permet de :

- définir l'état général du forage ;
- relever les cotes précises des différents éléments constitutifs de l'ouvrage ;
- repérer les zones fragilisées ou posant problème ;
- observer un développement de micro-organismes ;
- vérifier l'absence d'obstruction et/ou d'écrasement du tubage.

17.1.2 Les autres diagraphies (non systématiques)

De nombreux contrôles peuvent être effectués afin de connaître la structure d'un forage existant. Ces diagraphies doivent être effectuées lorsqu'elles permettent de lever un doute concernant l'origine de problèmes rencontrés sur un ouvrage.

Le contrôle de flux en pompage peut s'avérer utile notamment dans les régions à aquifères superposés.

Notons, de façon non exhaustive, les éléments contrôlables sur un forage existant

- le diamètre intérieur de l'ouvrage ;
- la qualité et les cotes de la (ou des) cimentation(s) ;
- la nature des terrains traversés ;
- la position des différentes arrivées d'eau ;
- le débit et la qualité de chaque arrivée d'eau ;
- etc.

17.2 La réhabilitation

Suivant l'état et la conception d'origine du forage, plusieurs types de réhabilitation peuvent être proposés

17.2.1 Réhabilitation sans modification de la structure du forage

Au cours du temps, différents phénomènes peuvent engendrer des problèmes sanitaires ou/et des baisses de débits sur des forages :

- développement de micro-organismes et de gels bactériens
- encroûtement des tubes (crépines et pleins) par dépôt de matière telle que les hydroxydes de Fer et/ou de manganèse, etc. ;
- obturation des crépines par dépôts ;
- corrosion légère des tubages ;
- etc.

Traités à temps, ces problèmes peuvent être résolus avant que la structure du forage ne soit en danger

Dans cette situation, la démarche de réhabilitation consiste en un traitement chimique, adapté à chaque cas, associé à un traitement mécanique (brossage et curage air lift)

L'efficacité des opérations devra être contrôlée par un test de pompage comparatif avant et après traitement, avec analyse d'eau pour le cas d'un développement de micro-organismes. La réception des travaux par caméra immergée couleur est recommandée.

17.2.2 Réhabilitation avec modification de la structure du forage

a) Rechemisage

Certains problèmes graves peuvent subvenir sur des forages mal conçus, mal entretenus, ou vieillissants :

- corrosion importante des tubages ;
- perforation de tubages pleins ou crépines ;
- défaut de cimentation ;
- nécessité de séparer les aquifères mis en relation ;
- etc.

La résolution de ces problèmes nécessite la modification de la structure du forage.

Dans ce cas de figure, la démarche de réhabilitation peut consister (notamment lors de dépôts corrosifs) dans un premier temps à traiter la cause du problème avec un traitement chimique adapté à chaque cas, associé à un traitement mécanique (brossage et curage air lift).

En général, la réhabilitation proprement dite consiste à effectuer le rechemisage de l'ouvrage avec des tubages pleins et crépinés de diamètre inférieur à ceux existants. Ces nouveaux équipements permettront notamment la mise en place de nouveaux massifs de gravier et la réalisation de nouvelles cimentations

L'efficacité des opérations peut être utilement contrôlée par caméra immergée couleur et par diagraphies, notamment de flux.

b) Rééquipement

Dans certains cas extrêmes l'ensemble de la structure du forage doit être remplacé, notamment lors

- d'une impossibilité de réduire le diamètre utile du forage existant ;
- d'un état général trop critique ;
- etc.

Après avoir mis en sécurité le forage (protection de l'aquifère et assurer la stabilité du forage), on procède alors au surforage et/ou au fraisage et/ou à l'extraction du ou des tubages

Le forage trou nu est ensuite reconditionné pour être rééquipé avec de nouveaux tubages

Dans ce cas de figure, le contrôle des travaux s'effectue à chaque étape de façon similaire aux contrôles réalisés lors d'un nouveau forage

18 Fermeture temporaire ou définitive (abandon)

Tout forage d'eau est un axe potentiel de pollution creusé dans le sol vers une nappe.

Au fil du temps, la structure d'un ouvrage abandonné va se détruire notamment par corrosion des tubages et mettre en communication toutes les formations géologiques au droit du forage. Il y a donc des mélanges d'eaux de qualités différentes ainsi que des apports d'eaux de surface potentiellement polluées.

Lorsqu'un forage cesse d'être utilisé (arrêt du pompage pour les forages de prélèvement, arrêt d'exploitation des sondes géothermiques verticales, arrêt de la surveillance pour les piezomètres ou les jaugemètres) que ce soit pour des raisons techniques ou économiques, il doit être mis en sécurité.

18.1 Arrêt temporaire d'exploitation

18.1.1 Si l'arrêt temporaire d'exploitation est inférieur à deux ans

La fermeture consiste à étancher et à sécuriser la tête de l'ouvrage, après si possible un retrait de la pompe et des accessoires placés dans le forage. Les carburants nécessaires au pompage et autres produits susceptibles d'altérer la qualité des eaux sont évacués du site ou stockés dans un local étanche.

Le dispositif est conservatoire et permet la reprise ultérieure de l'exploitation et/ou la pose ou l'utilisation d'appareils de mesures (piezomètres) ou de contrôle (prélèvements d'échantillons d'eau).

18.1.2 Si l'arrêt temporaire d'exploitation est supérieur à deux ans

Après s'être conforme aux prescriptions du 18.1.1, l'intégrité de l'ouvrage devra être vérifiée par des moyens appropriés. En cas d'anomalie, le maître d'ouvrage devra procéder à la mise en conformité de son ouvrage. En cas d'arrêt supérieur à cette nouvelle période, l'intégrité de l'ouvrage devra être vérifiée au moins tous les 10 ans.

L'arrêt temporaire d'exploitation ne peut pas être envisagé si

- l'ouvrage est endommagé (perforations du tubage par corrosion, écrasement des crépines, etc.) ;
- l'ouvrage n'est pas conforme à la réglementation : infiltration d'eaux de surface, mélange de deux nappes distinctes.

Dans ces deux cas, soit les ouvrages seront réhabilités, soit ils feront l'objet d'une fermeture définitive.

Le compte rendu de fin de travaux relatif à la fermeture temporaire d'un forage est à conserver par le maître d'ouvrage.

18.2 Fermeture définitive (abandon)

Si l'arrêt est définitif (abandon) ou si le forage est non conforme à la réglementation, son propriétaire doit le faire combler par des techniques appropriées, dont l'efficacité n'est pas remise en cause avec le temps et qui permettent de garantir l'absence de circulation d'eau et l'absence de transfert de pollution.

Le comblement vise à pérenniser l'étanchéité initiale entre les différents aquifères traversés ainsi qu'à prévenir toute pollution de ces aquifères à partir de la surface.

Les modalités de comblement varient avec la géométrie (profondeur, diamètre) et le type de forage, y compris les forages/sondages de reconnaissance.

18.2.1 Dispositions communes

Dans tous les cas, les pompes et tous accessoires situés dans le forage sont définitivement évacués du site, ainsi que tous les carburants et autres produits situés près de la tête du forage, susceptibles d'altérer la qualité des eaux.

Lorsque des présomptions existent sur des dégradations existantes de l'ouvrage ou sur la présence de produits ou matériaux potentiellement polluants dans le forage, il est préconisé d'effectuer des contrôles :

- contrôle du fond afin de vérifier dépôts et éboulements ;
- contrôle vidéo afin de vérifier l'état des tubages et crépines, ainsi que la présence éventuelle d'objets dans le forage ;
- vérification de la qualité de la cimentation annulaire par radiographie (de type CBL).

Si des objets sont tombés dans le forage, ils doivent être extraits. Le même pour les dépôts, sans pouvoir présenter un risque environnemental.

Le ciment doit être compatible avec la qualité chimique de l'eau.

L'exploitant informe le préfet et l'agence de l'eau concernée (le BRGM) le plus tard dans le mois suivant la décision de cessation définitive des prélèvements.

Pour les forages situés à l'intérieur d'un périmètre de protection pour captage d'eau potable, les travaux prévus pour la remise en état des lieux sont portés à la connaissance du préfet au moins avant leur démarrage.

Pour tous les forages, un rapport de travaux est adressé au préfet dans un délai de deux mois suivant la fin des travaux de comblement, avec les références de l'ouvrage non plus surveillé ou précédemment surveillé ou exploité à partir de cet ouvrage, les travaux de comblement effectués. Cette dernière met fin aux obligations d'entretien et de surveillance de l'ouvrage.

Il faut néanmoins conserver un repérage de la localisation de l'ouvrage et son tonne.

18.2.2 Comblement d'ouvrages conformes au présent document

Les ouvrages réalisés selon les prescriptions du présent document doivent être comblés sur toute la hauteur aquifère avec des sables et graviers siliceux, désinfectés, surmontés d'un bouchon d'argile gonflante ou d'un lit de sable puis d'une cimentation jusqu'à au moins 1 m de la surface.

La hauteur du bouchon de cimentation ne doit pas être inférieure à 5 m ou à la hauteur du tube plein s'il fait moins de 5 m.

18.2.3 Comblement d'ouvrages non conformes au présent document

Dans ce cas, leur comblement doit permettre de respecter la protection de la ressource et éviter toute pollution ; par exemple pour séparer durablement les aquifères entre eux pour les ouvrages captant plusieurs nappes.

Le programme d'abandon sera défini selon les résultats du diagnostic (voir 18.2.1).

18.2.4 Comblement d'un captage thermique vertical

Le captage thermique vertical doit dans un premier temps être purgé. Le fluide doit être évacué par une filière adaptée et il doit être remplacé par de l'eau.

Ensuite, il faut obturer les sondes et les condamner définitivement.

Annexe A (informative)

Liste non exhaustive des contrôles de l'ouvrage

A.1 Diagraphie CBL (Ciment Bond Logging)

Celle-ci permet de préciser l'état de la cimentation. Elle peut être réalisée plusieurs jours après la cimentation. Pour fonctionner, cet outil doit être dans un fluide (eau ou boue) et dans un tubage acier ne dépassant pas 13"3/8 de diamètre.

A.2 Diagraphie thermique

Le principe consiste à réaliser un profil thermique dans les 24 h suivant une phase de cimentation. Pour fonctionner le forage doit être en eau ou en boue. La cimentation étant une réaction exothermique, les mesures permettent de localiser le sommet de la zone cimentée.

Cette diagraphie permet également de localiser des venues d'eau si la différence de température est significative.

A.3 Diagraphie gamma ray

L'outil utilise les propriétés des roches en matière de radioactivité naturelle. Cette diagraphie peut être réalisée en trou nu, tubé, sec ou en eau. Il permet de déterminer les zones argileuses et de réaliser des corrélations avec d'autres forages (calage stratigraphique).

L'utilisation de cette diagraphie peut se révéler nécessaire pour un calage fin avant mise en place des tubages par exemple.

A.4 Diagraphie de résistivité

L'outil mesure les différences de potentiel créées par un courant continu injecté dans les formations. Cette diagraphie ne peut être réalisée qu'en trou nu et en eau.

Elle permet la délimitation des couches ainsi que la détermination approximative de la porosité.

A.5 Diagraphie de Polarisation Spontanée :

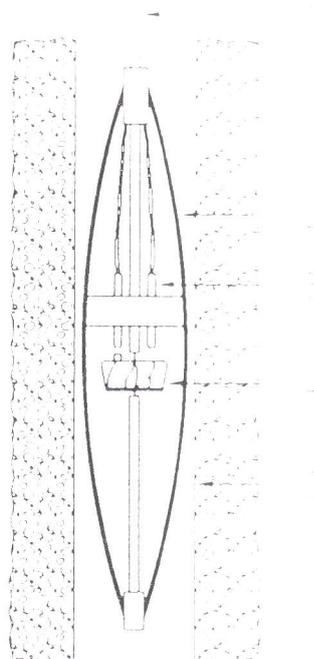
L'outil mesure des différences de potentiel. Cette diagraphie ne peut être réalisée qu'en trou nu et en eau.

Elle permet la délimitation des couches.

A.6 Profil au micro-moulinet

Cet outil mesure la vitesse verticale de l'eau à l'intérieur du forage. Cette diagraphie peut être réalisée en trou nu ou bien tubé (dans ce cas, la localisation des venues d'eau peut être faussée).

Elle permet de localiser les venues d'eau. Généralement, cette diagraphie est réalisée sous pompage.



Légende

- 1 Fil électrique auto-porteur
- 2 Carcasse en acier
- 3 Électrodes de mesures
- 4 Hélice
- 5 Paroi du forage

Figure A.1 — Exemple de micro-moulinet
(Source documentaire : SFE)

A.7 Diagraphie à Neutrons

Cet outil détermine l'activité gamma issue de l'absorption de neutrons (créés par l'outil) par les noyaux d'hydrogène. Cette diagraphie peut être réalisée en trou nu ou tube mais uniquement sur la partie en eau.

Elle permet la détermination de la porosité totale des formations investiguées.

Il convient de noter que cet outil utilise une source radioactive. Son utilisation peut s'avérer délicate notamment en cas de perte dans l'ouvrage.

A.8 Diagraphie diamètre

Il s'agit d'un outil disposant au minimum d'un bras. Ce bras s'ouvre au diamètre du forage.



Légende

- 1 Câble électrique auto-porteur
- 2 Forage
- 3 Palpeur électrique
- 4 3 lames ressort
- 5 Partie coulissante

Figure A.2 — Exemple de diamètre
(Source documentaire : SFE)

Cette diagraphie permet donc de vérifier les diamètres de l'ouvrage soit en trou nu ou tube

Son utilisation peut être recommandée pour :

- vérifier les diamètres intérieurs des tubages mis en place ;
- vérifier l'intégrité des tubages (absence d'écrasement par exemple) ;
- caler les mesures de micro moulinet

A.9 Diagraphies physico-chimiques

Il existe différentes sondes permettant de mesurer différents paramètres physico-chimiques. Il s'agit par exemple de la conductivité, le pH, le potentiel d'oxydo-réduction, l'oxygène dissous ainsi que de certains éléments tels les nitrates

La réalisation de profils au repos et en pompage peut être utile pour comprendre les circulations d'eau et localiser différentes venues d'eau pouvant avoir des caractéristiques différentes

A.10 Diagraphie de verticalité ou sonde gyroscopique

Cet outil permet de mesurer la déviation du forage. La mesure peut être réalisée en trou nu ou tubé. Elle permet de vérifier la verticalité de l'ouvrage.

A.11 Examen vidéo

Il s'agit d'une caméra immergée descendue dans le forage. Généralement, la tête de la caméra est orientable. Les images sont retransmises sur une rigie. Cet examen permet de vérifier la conformité de l'ouvrage et de déceler d'éventuelles anomalies (perçement du tubage, présence de défauts, etc.).

La réalisation d'un examen vidéo est souhaitable à la réception de l'ouvrage. Au cours du temps, une nouvelle inspection peut être réalisée pour vérifier l'intégrité de l'ouvrage.

Annexe B

Norme NF S 20 200

Exemple de feuille de pompage

POMPAGE D'ESSAI : FICHE DE DESCENTE

FEUILLE N°

Entreprise	Service de pompage
Nom du forage ou du client	Forage n° 1234
Lieu du forage	123 rue de l'Association
Commune	45678 Village

	Ouvrage pompé	Piezometre 1	Piezometre 2	Dispositif de mesure du débit
Nature du repere				
Hauteur du repere/sol	m			
Niveau statique/repere	m			
Distance ouvrage pompe				

Date et heure	Tps pompage		Niveau repere	Testé	Piezometre 1	Piezometre 2	Observation
		en minute					
		0					
		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
		7					
		8					
		9					
		10					
		11					
		12					
		13					
		14					
		15					
		20					
		25					
		30					
		40					
		50					
		60					
		1h15 = 75					
		1h30 = 90					
		1h45 = 105					
		2h = 120					
		2h30 = 150					
		3h = 180					
		3h30 = 210					
		4h = 240					
		5h = 300					
		6h = 360					
		7h = 420					
		8h = 480					
		10h = 600					
		12h = 720					
		14h = 840					
		16h = 960					
		18h = 1080					
		20h = 1200					
		22h = 1320					
		24h = 1440					

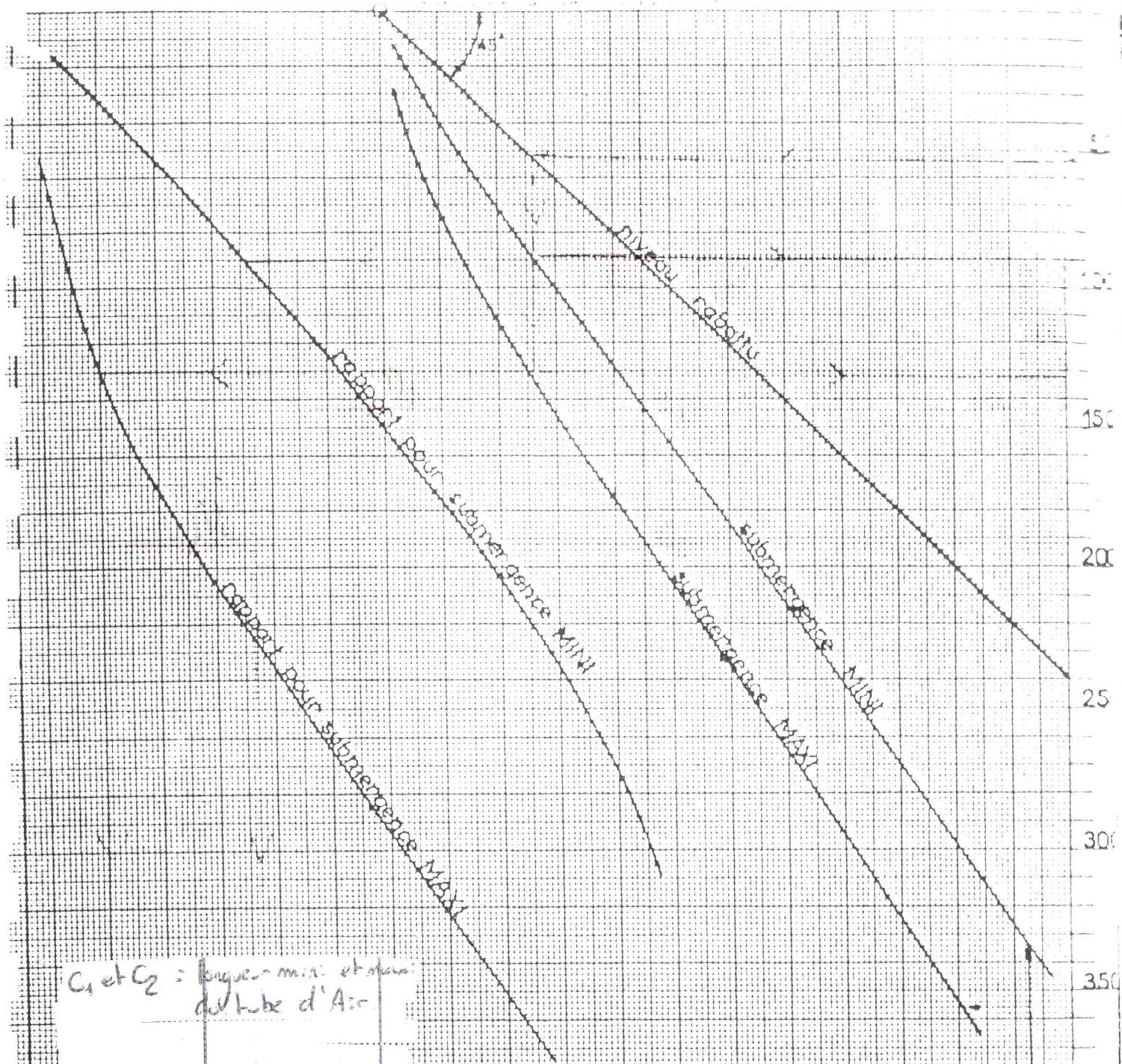
Annexe C

Informative

Exemple de formulaire de reception de travaux

DÉNOMINATION ENTREPRISE ADRESSE Code Postal — Ville COORDONNÉES	FORAGE ou SONDAGE BON DE RÉCEPTION TRAVAUX				N° BSS	
	Réalisé pour le compte de :				Adresse de l'ouvrage	
	Nom et adresse complete du Maître d'ouvrage					
Date de réalisation — debut						
Date de réalisation — fin						
DESCRIPTIF TECHNIQUE DE L'OUVRAGE						
Utilisation prévue :			Profondeur totale m		Chef de chantier	
Besoins estimés : m ³ /j			Fluides utilisés		Référence foreuse	
Débit : m ³ /h			Autres outillages		Référence compresseur	
Préforage 1	φ = mm	Méthode	Pre tubage 1	L = m	Int Ext = mm	Nature
Préforage 2	φ = mm	Méthode	Pre tubage 2	L = m	Int Ext = mm	Nature
Forage	φ = mm	Méthode	Tubage 1	L = m	Int Ext = mm	Nature
Position Plein		Observations		Position Crepines		Observations
de à m				de à m		
de à m				de à m		
de à m				de à m		Niveau statique (m)
de à m				de à m		
de à m				de à m		
Cimentation		H m		Volume injecté		Méthode
				Densité		Nature
Gravier		H m		Volume injecté		Méthode
						Nature
GÉOLOGIE Terrains rencontrés (profondeur, nature, couleur, observations)						
Profondeur		Nature/couleur		Observations		Profondeur
de à m						de à m
de à m						de à m
de à m						de à m
de à m						de à m
HYDROGÉOLOGIE Terrains rencontrés (profondeur, débit total, observation de NO3-)						
Profondeur		Débit total		Observation NO3-		Profondeur
de à m						de à m
de à m						de à m
de à m						de à m
de à m						de à m

BON DE RÉCEPTION DES TRAVAUX DE FORAGE		
Observations particulières		Représentant Maître d'ouvrage
		Signature
		Nom : Prenom : Date :
		Précède en manuscrit «Bon pour reception»



C_1 et C_2 = longueurs min. et max. du tube d'air

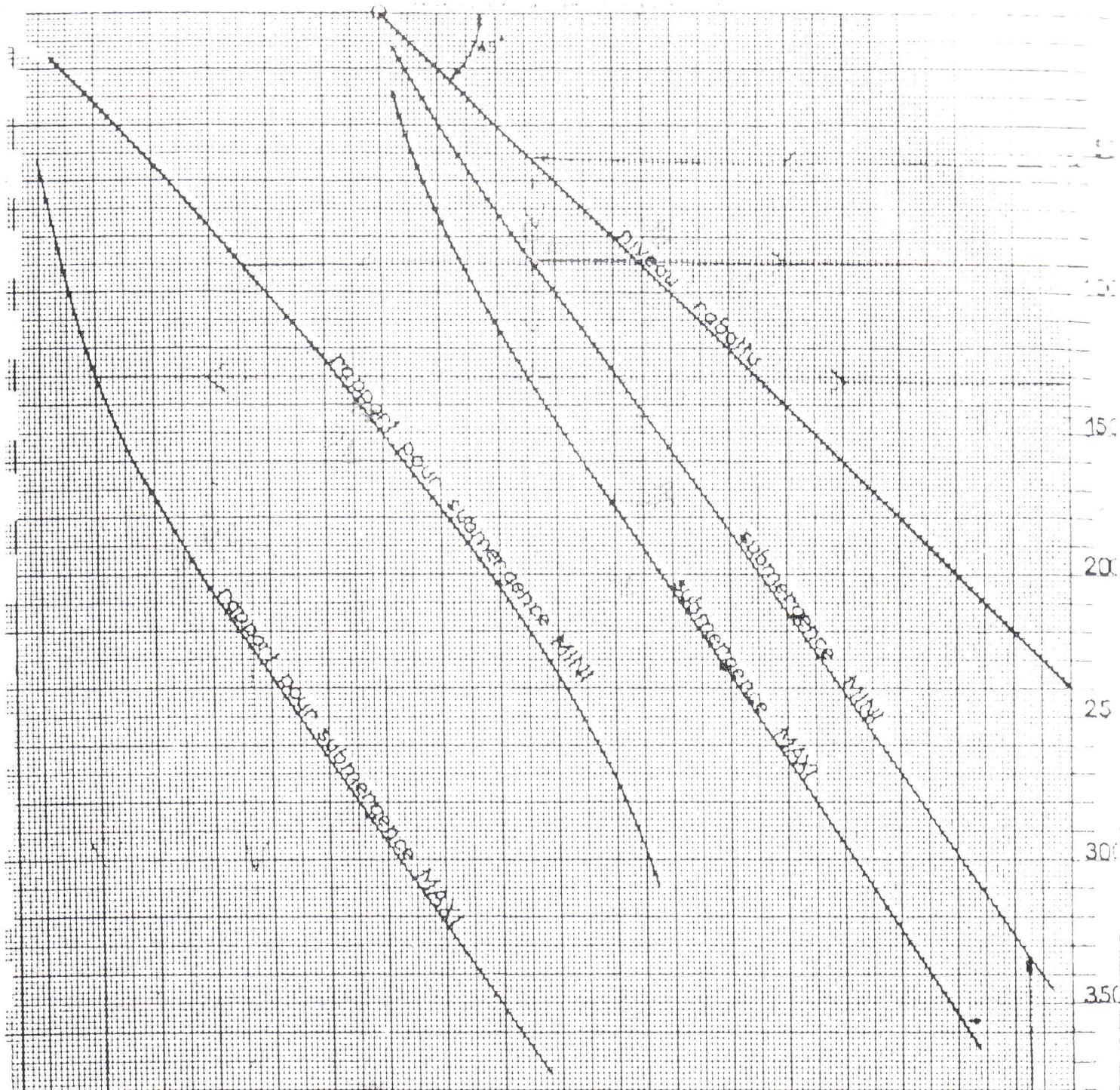
POSITION DU PIED DU TUBE D'AIR

RAPPORT VOLUME D'AIR / VOLUME D'EAU % (m³/h à la pression atmosphérique)

DEBITS POMPAGE m³/h	DIAMETRE (mm) TUBE D'EAU	DIAMETRE (mm) TUBE D'AIR
5 à 12	60	20
12 à 20	60	30
20 à 30	100	40
30 à 50	125	50
50 à 90	150	50
90 à 170	200	65
170 à 220	250	65

AIR LIFT

HYDRO INVERT



POSITION DU FIED DU TUBE D'AIR

RAPPORT VOLUME D'AIR / VOLUME D'EAU % (m³/h à la pression atmosphérique)

DEBITS POMPAGE m ³ /h	DIAMETRE (mm) TUBE D'EAU	DIAMETRE (mm) TUBE D'AIR
6 à 12	60	20
12 à 20	80	30
20 à 30	100	40
30 à 50	125	40
50 à 90	150	50
90 à 170	200	65
170 à 220	250	65

AIR LIFT

HYDRO INVERT

Le fonctionnement de l'abaque est appliqué par l'exemple suivant :

Données :

Un ouvrage, foré jusqu'à 300 mètres, donne aux essais un débit de 50 m³/h pour un niveau relatif à 90 mètres au-dessous du niveau du sol.

Question :

Quelles doivent être les caractéristiques d'installation d'un émisseur capable du même débit (50 m³/h) livré au niveau du sol ?

(Les pertes de charge sont considérées comme négligeables.)

Solution :

1^{re} Longueur totale du tube d'air.

Sur l'échelle verticale des profondeurs à droite du graphique, on marque le point 90 m (niveau relatif pour le débit de 50 m³/h).

Par ce point on trace une horizontale qui coupe la ligne à 45° portant l'inscription « niveau relatif » au point B.

On trace la verticale passant par B.

Le segment AB dont la valeur est 90 m, correspond à la hauteur totale d'élévation.

Le point C, intersection de AB prolongée avec la courbe « submergence minimum », détermine la position limite supérieure du pied du tube d'air.

La longueur AC, mesurée sur l'échelle des profondeurs est égale à 144 mètres.

C'est la longueur totale minimum du tube d'air.

Dans ce cas, la submergence est de BC₁ = 144 - 90 = 54 m, soit environ 37,5 % de la longueur totale du tube d'air.

En prolongant encore la droite ABC₁, on trouve le point C₂ intersection de cette droite avec la courbe « submergence maximum ».

La longueur AC₂, mesurée sur l'échelle des profondeurs est égale à 192 m. C'est la longueur maximum du tube d'air.

Au-delà de cette valeur, on n'obtient pas d'amélioration sensible du fonctionnement.

La droite ABC₂ prolongée encore jusqu'à sa rencontre avec la ligne en traits interrompus, donne la longueur qui aurait fallu donner au tube d'air si on avait ignoré la règle générale. Cette valeur serait la submergence à 50 %, soit, pour notre exemple, 225 mètres.

L'application de cette règle de 50 % aurait négligé 225 m de plus de tube d'air que pour la submergence maximum et 81 m de plus que pour la submergence minimum.

En plus, le centre d'arrivée de tube d'air (et de tube d'eau) on voit que l'émisseur aurait pu aussi bien fonctionner dans un forage limité à 150 m environ alors qu'avec la règle de 50 % il aurait fallu au moins 225 m de profondeur forée.

Pour notre exemple, on aura donc le choix entre 144 et 192 m comme longueur totale du tube d'air. On pourra prendre aussi bien n'importe quelle valeur entre ces deux limites.

Nous verrons plus tard les performances correspondantes à ces deux valeurs limites.

On donnera au tube d'eau quelques mètres de plus qu'au tube d'air.

2^{re} Pression d'air au démarrage.

Cette pression correspond au poids d'une colonne d'eau ayant pour hauteur la submergence du tube d'air :

— Au minimum BC₁ = 54 m ou 5.4 bars.

— Au maximum BC₂ = 102 m ou 10.2 bars.

3^{re} Volume d'air nécessaire (étendu à la pression atmosphérique).

On prolonge, vers la gauche, l'horizontale passant par C₁, elle coupe la courbe « Rapport pour submergence minimum » au point D₁ qui correspond à un rapport volume d'air/volume d'eau de 12,5. Lu sur l'échelle horizontale située à la base de l'abaque.

Pour le débit indiqué 50 m³/h d'eau, il faut :

$$50 \times 12,5 = 625 \text{ m}^3 \text{ d'air}$$

(à la pression atmosphérique)

Il faudrait donc, dans ce cas, disposer d'un compresseur aspirant au moins 625 m³/h ou 10.400 l/m d'air et refoulant à 5.4 bars (au minimum).

En prolongeant plus loin encore sur la gauche l'horizontale passant par C₂, on trouve le point D₂ sur la courbe « Rapport pour submergence maximum ».

Le rapport volume d'air/volume d'eau est ramené à 6,4.

Pour obtenir 50 m³/h d'eau, le compresseur devrait aspirer :

$$50 \times 6,4 = 320 \text{ m}^3 \text{ d'air}$$

mais il devrait le refouler à 10.2 bars comme nous l'avons indiqué plus haut.

4^{re} Diamètres du tube d'eau et du tube d'air.

Débits de pompage (m ³ /h)	Diamètre du tube d'eau (mm)	Diamètre du tube d'air (mm)
6 à 12	50	20
12 à 20	60	30
20 à 30	90	40
30 à 50	100	40
50 à 125	125	50
50 à 90	150	55
90 à 170	200	85
170 à 220	250	85

Pour le cas proposé 50 m³/h, le tube d'eau devrait avoir 150 mm de diamètre, environ on pourrait prendre un casing de 6.3".

Le tube d'air serait constitué par un tube de 2" (50 x 60)

Ce tube pèse 6.4 kg au mètre. Pour 200 m environ, son poids serait d'environ 1.300 kg. Si le tube lui-même qui présente une section de métal de 900 mm², résisterait largement à cette charge, les assemblages devraient être particulièrement soignés, surtout pour les manchons supérieurs.

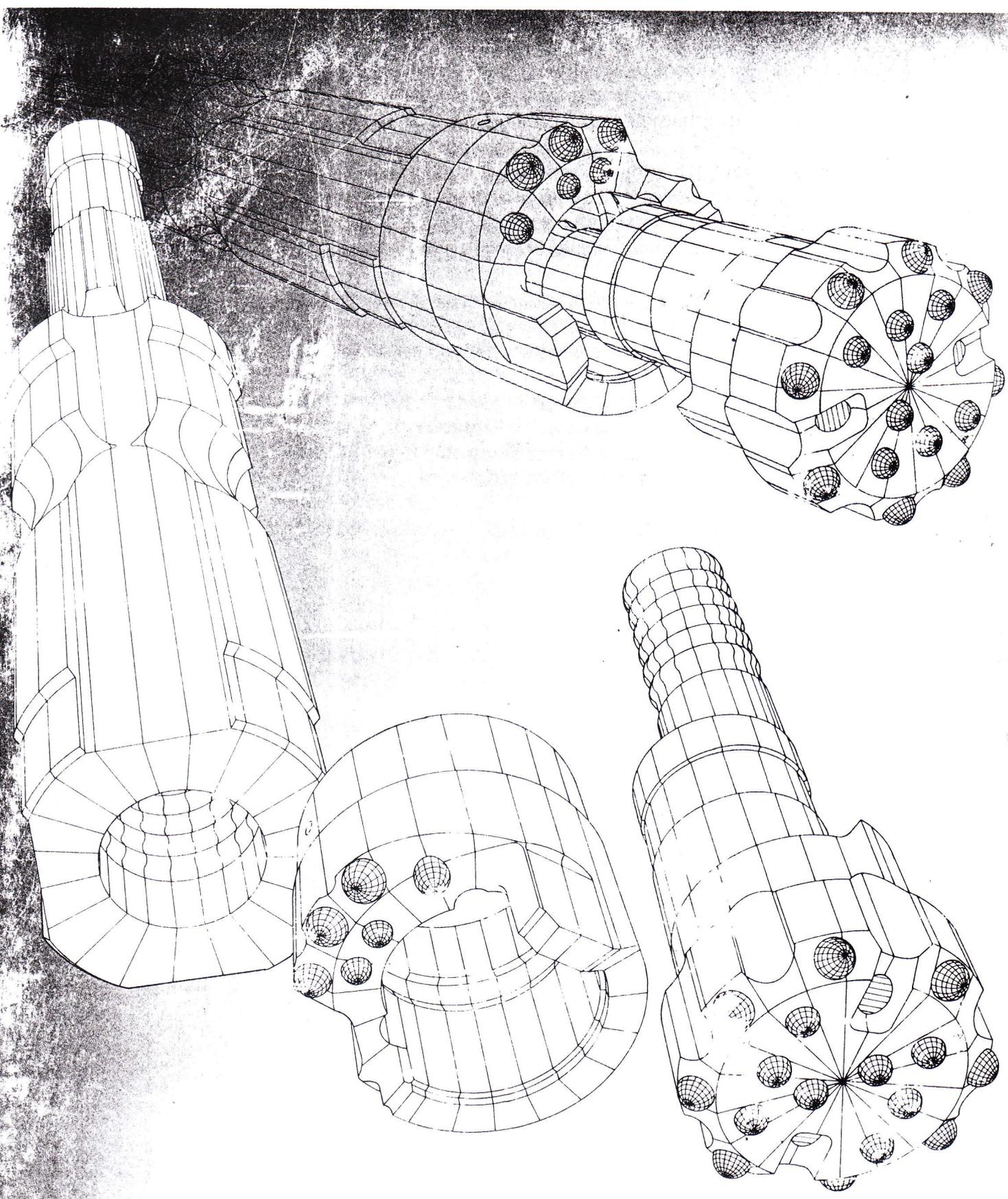
Foration des terrains de recouvrement

Méthode ODEX[®]

Dominique Lamy
Agent Technico-Commercial

Atlas Copco Mines et Travaux Publics S.A.
190, avenue Franklin Roosevelt
69516 VAULX EN VELIN CEDEX
Tél. 72.37.87.56 - Téléx 300522
Télécopie 78.26.40.16
Tél. domicile 90.38.07.95
Tél. voiture ~~44.94.00.18~~
Télécopie domicile 90.38.11.64

07 31 26 14



La foration des terrains de recouvrement

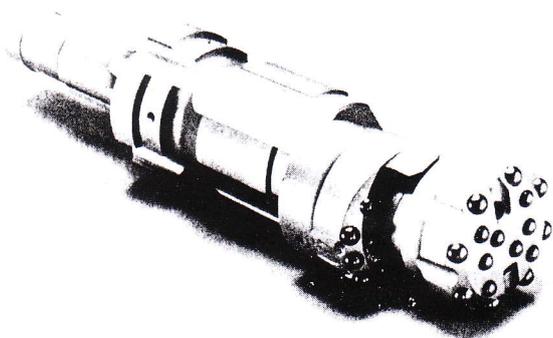
L'écorce terrestre est recouverte à 90% de terrains meubles tels que terre, boue, sable, graviers, pierres, blocs, etc., sur une épaisseur variant de quelques centimètres à plusieurs centaines de mètres.

Forer à travers ces terrains dits de recouvrement pose souvent un certain nombre de problèmes. En effet, ces sols ont tendance à s'effondrer derrière le taillant et à empêcher le retrait du train de tiges lorsque le forage est terminé. D'autre part, après le retrait du train de tiges, le trou est souvent inutilisable si l'on ne fonce pas un tube de revêtement pour en stabiliser les parois.

Les terrains perméables ou comportant des cavités constituent également une source de problèmes : pendant les opérations, la circulation de l'eau ou de l'air de soufflage est souvent défectueuse, et les débris de foration ne peuvent pas être évacués correctement.

Sur les sites où des formations homogènes alternent avec des terrains de recouvrement, ou lorsque les propriétés géologiques des formations traversées ne sont pas connues, la difficulté réside dans le choix d'une méthode permettant d'obtenir les meilleurs résultats sans risque de perte d'équipement.

La méthode ODEX constitue la meilleure solution à tous ces problèmes.



SOMMAIRE

La méthode ODEX	2
Les différentes étapes de la foration ODEX	3
Les applications	4
Caractéristiques des différents produits de la gamme	5
<i>Pour tubes filetés</i>	
ODEX 90T	6- 7
ODEX 115T	8- 9
ODEX 140T	10-11
ODEX 165T	12-13
<i>Pour tubes soudés</i>	
ODEX 90W	14-15
ODEX 115W	16-17
ODEX 140W	18-19
ODEX 165W	20-21
ODEX 190W	22-23
ODEX 76T, ODEX 76W	24-25
Accessoires	26-27
Les produits et la gamme peuvent être modifiés sans préavis.	

La méthode ODEX®

La méthode ODEX permet de forer des trous profonds dans tous les types de formations rocheuses, y compris les terrains comportant de gros blocs, type conglomérats, et de poser simultanément des tubes de revêtement de 89 mm (3 1/2", ODEX 76) à 222 mm (8 5/8", ODEX 190). Cette méthode est fondée sur l'utilisation d'un taillant pilote et d'un aléreur, dont l'action conjuguée fore un trou légèrement plus large que le diamètre externe du tube de revêtement, qui peut donc glisser librement le long du trou foré.

Lorsque la méthode ODEX est utilisée avec des marteaux fond de trou, une partie de l'énergie de percussion est détournée vers le tube de revêtement par un épaulement du guide ODEX, qui vient en appui sur un sabot de tubage placé à l'extrémité inférieure du tube de revêtement.

Avec des marteaux hors du trou, les équipements ODEX fonctionnent de façon classique, la percussion et la rotation étant transmises par des allonges. Pour entraîner le tubage le long du trou, l'emmanchement est utilisé pour transférer une partie de l'énergie de percussion du marteau vers une tête de battage fixée sur la partie supérieure du train de tubes de revêtement.

En foration fond de trou et hors du trou, le tubage est entraîné dans le trou sans rotation. Lorsque le tubage atteint la roche, on interrompt la foration un court instant, puis on fait tourner le marteau en rotation inverse, d'un tour maximum : ainsi l'aléreur excentrique se rétracte pour réduire le diamètre total de l'ensemble taillant (aléreur et pilote). Cette opération effectuée, l'ensemble du train de tiges peut être retiré par l'intérieur des tubes de revêtement. Ces derniers restent enchâssés dans la roche. La foration de la roche proprement dite peut alors commencer à l'aide d'un train de tiges classique, la partie bouillante du trou étant protégée par les tubes de revêtement.

Lorsque la méthode ODEX est utilisée avec des marteaux fond de trou, c'est l'air mis en pression qui évacue les débris de foration vers la surface. Avec des marteaux hors du trou pneumatiques ou hydrauliques, l'air de soufflage est dirigé à travers l'emmanchement.

La forme spécifique des gorges d'évacuation du guide ODEX facilite le soufflage.

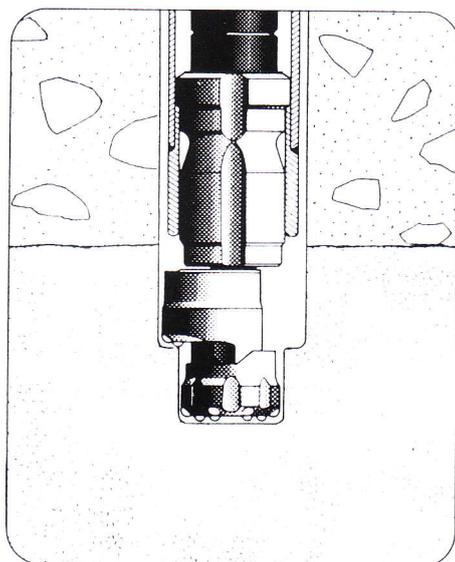
Lorsque les conditions de forage sont particulièrement difficiles, un agent moussant peut être ajouté à l'air injecté pour améliorer encore les performances de soufflage.

Il est possible d'utiliser des tubes en acier de dimensions standard, commercialisés par de nombreux grossistes. Ces tubes sont soudés les uns aux autres et restent en place lorsque le forage est terminé. Ils doivent être utilisés avec les équipements ODEX...W.

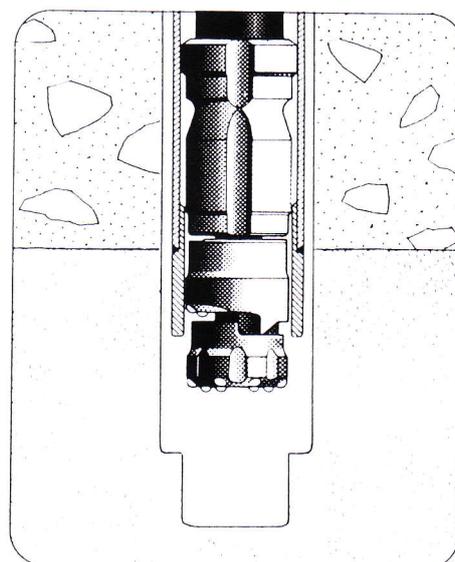
Toutefois, pour les applications permettant une réutilisation des tubes de revêtement, il est généralement plus économique d'utiliser des tubes filetés, avec des équipements ODEX ...T.

Les performances de tout produit dépendent naturellement de la façon dont il est utilisé. C'est pourquoi le service et la formation constituent une partie importante de notre programme. Atlas Copco a mis au point des modules de formation complets destinés à la fois aux opérateurs et aux responsables de la maintenance.

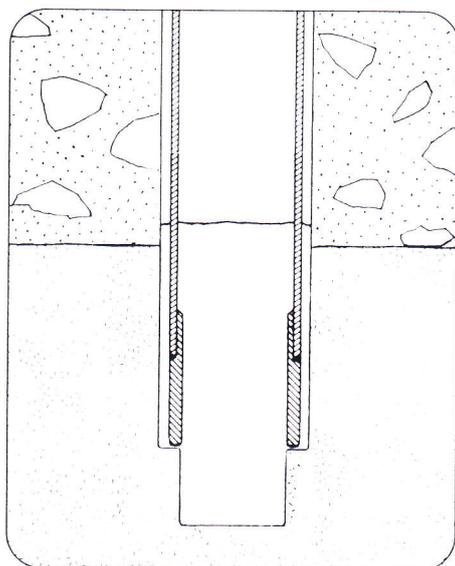
Les différentes étapes de la foration ODEX :



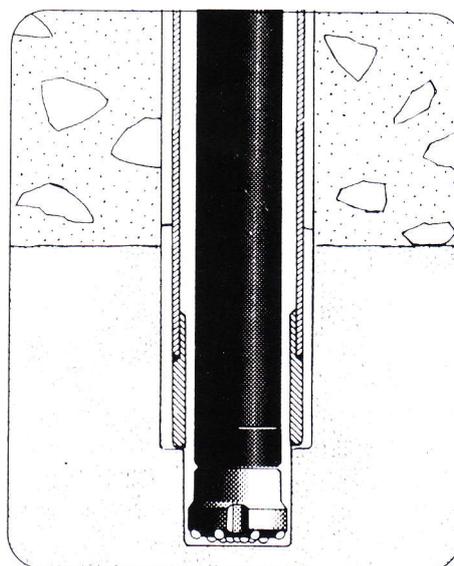
1 Au début de la foration, le taillant aléreur ODEX se met en position excentrée et alèse le diamètre du trou pour permettre au tube de revêtement de descendre librement. Évacués par l'air, les débris de foration remontent à l'intérieur du tube de revêtement.



2 Lorsque la profondeur requise est atteinte, la rotation est inversée, d'un tour maximum, pour repositionner le taillant aléreur dans l'axe du taillant pilote et du guide, permettant ainsi aux équipements de remonter à l'intérieur du tubage.



3 Les tubes de revêtement qui doivent rester dans le trou foré doivent être scellés au fond du trou par injection de ciment ou de tout autre matériau de scellement.



4 Lorsque la roche saine est atteinte, la foration peut se poursuivre en remplaçant l'équipement ODEX par un train de tiges classique.