

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RECHERCHE

**BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

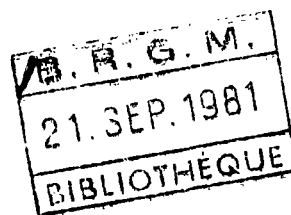
**SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL**

B.P. 6009 – 45018 Orléans Cédex – Tél.: (38) 63.00.12

**NORMES DE L'AWWA POUR LES Puits PROFONDS**

par

M. BOURGEOIS



**Département géologie de l'aménagement**

**Hydrogéologie**

B.P. 6009 – 45018 Orléans Cédex – Tél.: (38) 63.00.12

**76 SGN 163 AME**

Juillet 1976

RESUME

Le prélèvement d'eau souterraine par puits ou forages implique une bonne connaissance des conditions pratiques d'exécution des travaux.

L'hydrogéologue responsable de la programmation des ouvrages, de la préparation des spécifications techniques pour consulter les entreprises et passer le marché, du contrôle de l'exécution et des épreuves de réception, s'interroge souvent sur ce qu'il doit proposer, admettre ou exiger. A ces différents stades les représentants du maître d'ouvrage et des entreprises relèvent des lacunes ou des oublis, ils proposent des changements pour faire des économies ou simplifier le travail, ils contestent éventuellement les méthodes et matériaux préconisés, les procédés de complétion, de cimentation, de développement ou d'essais. L'hydrogéologue est tenu de répondre aux objections, de justifier, d'expliquer, de convaincre, de s'adapter aux exigences locales, de tenir compte des moyens des entreprises, des matériaux disponibles, etc ...

Certaines difficultés pourraient disparaître ou s'atténuer si ce type de travaux était codifié ou normalisé, comme cela a été fait dans la métallurgie, l'électricité, le bâtiment et génie civil, par exemple pour les sondages de reconnaissance des sols de fondations (norme AFNOR P 94-201).

La diversité rencontrée dans les terrains aquifères, les types d'ouvrages de captage, les débits désirés, ne simplifie pas l'élaboration d'un tel cahier des charges. Certains organismes, en particulier des services administratifs, ont toutefois préparé ce genre de document auquel ils se réfèrent pour rédiger leur marché de travaux.

Il est apparu utile d'ajouter à ceux qui existent chez nous, le cahier des charges ou norme de l'American Water Works Association adoptée conjointement par la National Water Well Association.

Publiée à l'origine en 1946 elle a été révisée, complétée et rééditée en 1952, 1958 et 1966. Malgré son volume relativement important elle est - soulignent ses auteurs en exergue - présentée pour être utilisée dans des conditions normales ... et ne saurait être prise sans réserve dans tous les cas ... sans adaptation éventuelle par un ingénieur compétent connaissant la région concernée.

Contrairement à son titre, cette norme a été conçue pour les forages d'eau de profondeur faible à moyenne beaucoup plus que pour les forages profonds.

Néanmoins les hydrogéologues chargés de rédiger des spécifications techniques consulteront souvent avec profit tel ou tel chapitre, qui expose méthodiquement les divers points à prendre en considération, et ils pourront s'en inspirer pour proposer des procédés techniques éventuellement différents.

Ce rapport, financé sur crédits du Ministère de l'Industrie et de la Recherche, a été réalisé dans le cadre des études méthodologiques du Département Géologie de l'Aménagement du Territoire, qui réservera le meilleur accueil aux suggestions, questions ou histoires de cas concrets que les lecteurs voudraient bien lui adresser.

AVERTISSEMENT

Les hydrogéologues du Bureau de recherches géologiques et minières ont, pour la plupart eu l'occasion de programmer des forages ou puits de captage, de surveiller le déroulement des travaux, de se poser des questions sur la meilleure façon de procéder dans tel ou tel cas, de savoir ce que l'on peut demander à un entrepreneur ou permettre au maître d'ouvrage, etc ...

Tous les praticiens ont eu des doutes ou des difficultés à ces divers stades, surtout s'ils ont été chargés des opérations de A jusqu'à Z :

- étude hydrogéologique comportant les propositions, justifications, descriptions et emplacements du ou des ouvrages ;

- élaboration du cahier des charges complet des travaux, avec bordereaux de prix à soumettre aux entreprises ;

- consultation des entreprises, ouverture des plis des soumissionnaires, comparaison des offres, conseils de choix au maître d'ouvrage ou décision lorsqu'on est responsable financièrement des travaux sous-traités et chargé de passer le marché ;

- surveillance du ou des chantiers, contrôle de l'exécution, remarques et directives écrites aux représentants de l'entreprise, solution des difficultés ou conflits éventuels, réception des travaux, approbation des mémoires de dépenses. Simultanément, information suivie du maître d'ouvrage, demandes d'accord pour la prise en charge des compléments éventuels de travaux, compte rendu et présentation des résultats ouvrant droit au paiement total ou au solde des frais engagés.

Dans beaucoup de cas l'hydrogéologue est heureusement dégagé d'une partie de ces soucis. Une description schématique du puits à réaliser suffit au maître d'ouvrage pour consulter les entreprises ou passer directement un marché de gré à gré avec celle qui lui paraît la plus digne de confiance, et l'hydrogéologue pourra presque ignorer quel est le coût des travaux et les conditions de règlement. Sa surveillance sera facilitée par le fait qu'il connaît déjà l'entrepreneur (qui parle la même langue) et que l'entrepreneur connaît bien la région et les conditions de terrains. Le rythme d'avancement sera tel que les décisions urgentes, sous peine de "stand by" coûteux, seront très rares. L'hydrogéologue aura la possibilité de consulter des collègues plus expérimentés pour se faire expliquer ce

qu'il ne sait pas encore, ou pour obtenir un avis objectif sur un cas épineux ou présentant des risques. Les foreurs pourront également lui donner de bonnes informations parce qu'ils aiment parler "métier", parce qu'ils souhaitent montrer qu'ils ont des connaissances techniques bien éprouvées, parce qu'ils tiennent à réussir, donc à éviter de se voir prescrire la manoeuvre ou l'équipement irréaliste du novice plein d'initiatives ; enfin ils savent bien qu'ils ont tout intérêt à se montrer coopératifs et à rendre service au représentant du "client" qui sera plus compréhensif en cas de difficultés réelles.

Il arrive de plus en plus que l'hydrogéologue perde ces conditions quasi familiales d'exercer ses fonctions. Il peut se trouver à quelques milliers de kilomètres de sa base habituelle, dans un pays non francophone, loin des collègues susceptibles de lui venir en aide, aux prises avec des sondeurs de qualification techniques variable, attirés davantage par les bonnes affaires que par les bons sentiments. Le volume des opérations est souvent assez important et les délais de réalisation assez réduits, d'où changement du rythme et du niveau de responsabilité pour l'hydrogéologue. Sa première tâche consistera à préparer les spécifications techniques détaillées des travaux pour lancer l'appel d'offre international. Ce document est exigé souvent dans des délais également assez brefs et néanmoins il doit être rédigé avec le maximum de soins pour plusieurs raisons :

1°/ - Les entrepreneurs l'analyseront en détail et feront leurs offres en fonction des quantités à fournir, des caractéristiques des matériaux, du matériel d'équipement et des conditions imposées pour les différentes opérations. Des oublis ou imprécisions dans les diamètres et longueurs de foration, diamètre, masse nominale, nature et nuance du matériau des tubages, types et caractéristiques de ceux-ci, des manchons, des filetages, état neuf ou usagé, nature et matériau des crépines, types de fentes, pièces d'extension et accessoire de suspension, de centrage, d'isolation, etc ... obligeront les entreprises à combler les lacunes et à décider différemment les caractéristiques de l'équipement, ou à rester dans le vague dans l'espoir, si elles sont retenues, de livrer un matériau bon marché ou de fournir un service minimal, ou enfin à laisser des blancs dans les prix de certaines rubriques. Dans les 3 cas les offres ne seront pas comparables entre elles d'où difficultés pour la commission de décider et obligation de questionner les soumissionnaires ou de refaire une consultation complémentaire.

2°/ - Si les imprécisions ou lacunes n'apparaissent pas dans les offres il y a beaucoup de chances pour qu'elles deviennent une source de difficultés au stade de la réalisation. Car le surveillant de forages et l'entrepreneur se réfèrent tous deux aux spécifications techniques pour l'exécution. Le surveillant représentant du maître d'ouvrage s'efforcera d'obtenir les meilleurs services possi-

bles et le contracteur n'aura aucune raison de fournir des prestations d'une qualité nettement supérieure à celle pour laquelle il s'est engagé dans son offre en répondant aux spécifications techniques, d'où source de conflit.

3°/ - Les états en développement, qui engagent souvent ces travaux d'envergure, ont des organismes de contrôle, avec experts parfois très avertis, qui sont chargés de passer les spécifications au "peigne fin". Ils relèvent les moindres "brouilles", discutent, voire contestent les programmes ou méthodes de mise en oeuvre ; ils imposent des matériaux inadaptés, parce qu'il y en a des stocks dans le pays, ou des matériaux spéciaux, longs à importer, ils préconisent des changements dans les cimentations, les essais de nappe, les colonnes de captage, l'équipement des piézomètres, etc ... Il faut évidemment être sûr de ce que l'on propose pour toute justification qui sera demandée, savoir convaincre les auteurs de remarques non réalistes du bien-fondé de ce que l'on a écrit, accorder les rectifications mineures ou majeures à ceux qui parlent d'expérience.

Une intervention récente du BRGM en Libye a été l'occasion de rédiger des spécifications techniques de forages, de revoir celles qui étaient préparées par d'autres collègues du GEFLI \* et de répondre aux observations faites par divers (peu ou prou) experts. En janvier 1976, il nous a été demandé d'homogénéiser la méthode de préparation des spécifications en s'appuyant sur un cahier des charges suffisamment général et bien documenté pour qu'il soit facile d'éviter les oublis et les méthodes désuètes ; à partir de là il suffirait théoriquement de remplir des blancs, de rayer les mentions inutiles, de prendre les options les mieux adaptées au problème à traiter et de remplir les bordereaux quantitatifs. La fraction proprement originale à chaque problème devrait être par conséquent assez réduite et rapidement rédigée pour les futurs projets.

Ce type de cahier des charges, s'il existe, n'est pas très répandu en France, alors qu'AFNOR, par exemple, en a publié un applicable aux travaux de sondages des sols de fondation (Norme AFNOR P 94-201).

Partant de l'utilisation par nos collègues pétroliers de l'expérience acquise par les Américains dans ce domaine, et de l'adoption de leurs normes API (American Petroleum Institute) il est donc apparu utile, en première phase, de traduire cette "Norme de l'American Water Works Association pour puits profonds".

Il s'agit d'une quatrième édition parue en 1967, qui devrait théoriquement être assez mûre, et qui est en fait dépassée aujourd'hui. Malgré des lieux communs,

---

\* GEFLI : Groupe d'Etudes Français en Libye.

des lacunes ou inexactitudes, un certain délayage et de très rares allusions aux forages dépassant quelques centaines de mètres, cette norme pourra être consultée avec profit comme cadre de préparation des spécifications techniques.

Le lecteur remarquera comment on se décharge de ses responsabilités "au profit" de l'entrepreneur dans les cas délicats ... Au pays de la libre entreprise c'est le contracteur qui est tenu de connaître toutes les ficelles et de prendre tous les risques sous le couvert des formules de type : "l'entrepreneur mettra tout en oeuvre pour ..., l'entrepreneur fera en sorte que ...". On trouve d'ailleurs souvent de telles formules dans divers types de cahiers des charges européens !

Entoute logique ce risque doit être payant : ou bien les services fournis seront réduits chaque fois que possible, si la surveillance est légère, ou bien les prix seront relevés sérieusement pour maintenir la marge bénéficiaire indispensable.

S'il n'est pas possible de dégager l'entrepreneur de ses responsabilités d'exécution, il devient de plus en plus nécessaire que l'ingénieur-conseil connaissant bien le métier et les terrains, prenne les siennes à la conception en précisant : la puissance de la machine capable de travailler en toute sécurité, la composition du train de sonde pour forer verticalement, le débit des pompes, les caractéristiques de la boue, du ciment et les moyens matériels de préparation, contrôle et mise en oeuvre, les méthodes de pose des tubages, des crépines, de gravillonnage, développement, traitement, etc ...

Un bon bureau d'études doit démontrer qu'il est rentable de faire appel à ses services pour obtenir des ouvrages bien conçus et bien encadrés au stade de la réalisation par des spécialistes compétents. Pour accroître la technicité des hydrogéologues dans le domaine il faut souhaiter que la diffusion de cette "norme" soit l'occasion pour ses lecteurs de faire part de leurs connaissances et ... curiosité en suscitant l'envoi de textes intéressants, de résultats d'expériences heureuses ou malheureuses, de descriptions claires de méthodes nouvelles ou largement éprouvées, ou encore de questions sur les sujets qui leur paraissent devoir être traités sous forme de notices pratiques.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION

NATIONAL WATER WELL ASSOCIATION

oOo

NORME DE L'AWWA POUR LES PUITES PROFONDS

oOo

Cette "norme AWWA pour puits profonds", basée sur la meilleure expérience connue est présentée pour être utilisée dans des conditions normales.

Elle n'est pas utilisable sans réserves dans toutes les conditions, et le bien fondé de l'emploi du matériel indiqué ci-après doit être soumis à l'examen d'un ingénieur responsable de l'exécution dans la région particulière concernée.

oOo

Norme approuvée par le Bureau de Direction de l'AWWA le 10 mai 1946 ;  
complément du 18 juin 1952. Révision du 26 janvier 1958 et du 23 janvier 1966.



Préparé par  
le Comité 6310 J

COMITE MIXTE DE L'AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION  
NATIONAL WATER WELL ASSOCIATION

JAMES C. HARDING Président  
MARVIN H. OWEN Vice-Président

<u>AWWA</u>	<u>Producteurs</u>
C. R. ERICKSON	G. H. BEARD
A. G. FIEDLER	F. W. BOCK
C. P. HARNISH	
A. H. JOHNSON	
O. J. MUEGGE	<u>NWWA</u>
REEVES NEWSOM	
E. A. REINKE	J. F. GUARDINO
H. R. VEENSTRA	G. M. GALLOWAY

Cette "Norme AWWA pour puits profonds" a été approuvée par le Conseil de Direction de l'AWWA le 10 mai 1946. Des changements aux chapitres 1.3.1, 1.3.2 et 1.3.3 ont été approuvés par le Conseil le 1er octobre 1946. Depuis la date d'approbation on a fait également un certain nombre de rectifications mineures de rédaction. En plus, on a ajouté une méthode recommandée pour l'obturation des puits abandonnés au chapitre A1-13 de l'annexe, le 28 juin 1952.

Cette norme a été révisée le 26 janvier 1958 et adoptée conjointement par National Water Well Association. Cette révision a été adoptée le 23 janvier 1966, et à ce moment là on a changé la désignation en A.100-66.

## TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION .....	1
OBJET DE LA NORME .....	1
ANNEXE .....	1
AUTRES DOCUMENTS CONTRACTUELS .....	2
<u>CHAPITRE 1.1 - GENERALITES</u> .....	3
1.1-1 - Objet des travaux .....	3
1.1-2 - Autorisations, certificats, lois et ordonnances .....	3
1.1-3 - Localisation .....	3
1.1-4 - Conditions locales .....	3
1.1-5 - Limite des travaux .....	4
1.1-6 - Protection du site .....	4
1.1-7 - Description générale du puits .....	4
1.1-8 - Accommodements ou matériel à fournir par le Maître d'ouvrage .....	5
1.1-9 - Personnel compétent .....	5
<u>CHAPITRE 1.2 - TUBAGES ET CREPINES</u> .....	5
1.2-1 - Tubages .....	5
1.2-2 - Crépines .....	5
<u>CHAPITRE 1.3 - DESCRIPTION DES TRAVAUX</u> .....	7
<u>CHAPITRE 1.4 - ESSAIS DE DEBIT-RABATTEMENT</u> .....	7
1.4-1 - Période de l'essai .....	7
1.4-2 - Pompe d'essai .....	8
1.4-3 - Equipement auxiliaire .....	8
1.4-4 - Durée de l'essai .....	8
<u>CHAPITRE 1.5 - CIMENTATION ET OBTURATION</u> .....	9
1.5-1 - Matériel de cimentation .....	9
1.5-2 - Mise en place du ciment .....	9
1.5-3 - Cimentation des liners .....	10

<u>CHAPITRE 1.6 - CONTROLE DE VERTICALITE ET D'ALIGNEMENT</u> .....	10
1.6-1 - Condition de l'essai .....	10
1.6-2 - Description de l'essai .....	11
1.6-3 - Conditions de l'aplomb et de l'alignement .....	11
 <u>CHAPITRE 1.7 - DESINFECTION</u> .....	 12
1.7-1 - Période de désinfection .....	12
1.7-2 - Solutine chlorée .....	12
1.7-3 - Conditions de désinfection de la pompe d'essai .....	12
 <u>CHAPITRE 1.8 - ECHANTILLONS ET DOCUMENTS</u> .....	 12
1.8-1 - Echantillons de terrain .....	12
1.8-2 - Documents relatifs aux tubages .....	13
1.8-3 - Archives sur les matériaux remontés pendant le développe- ment .....	13
1.8-4 - Dommages et intérêts (en option) .....	13
1.8-5 - Rapports journaliers .....	13
 <u>CHAPITRE 1.9 - PROTECTION DE LA QUALITE DE L'EAU</u> .....	 14
1.9-1 - Précautions à prendre .....	14
1.9-2 - Travaux correctifs .....	14
1.9-3 - Absence de sable et turbidité .....	14
 <u>CHAPITRE 1.10 - COUVERTURE PROVISOIRE</u> .....	 15
 <u>CHAPITRE 1.11 - ABANDON DU PUITTS</u> .....	 15
 <u>CHAPITRE 1.12 - QUANTITES ET PRIX</u> .....	 16

ANNEXE

<u>CHAPITRE A1-1 - FORMULE DE PROPOSITION</u> .....	17
A1-1.1 - Généralités .....	17
A1-1.2 - Avantages des propositions bien étudiées .....	17
A1-1.3 - Trois types de formules de proposition .....	17
A1-1.4 - Formule du prix unitaire .....	18

Al-1.5 - Formule du prix forfaitaire . . . . .	20
Al-1.6 - Formule du débit garanti . . . . .	22
<u>CHAPITRE A1-2 - FORMULES DE CLAUSES DES QUANTITES ET PRIX</u> . . . . .	23
Al-2.1 - Position dans les spécifications . . . . .	23
Al-2.2 - Formule d'utilisation avec la méthode des prix unitaires .	27
Al-2.3 - Formule d'utilisation avec la méthode des prix forfaitaires	27
Al-2.4 - Formule d'utilisation avec la méthode du débit garanti ..	27
<u>CHAPITRE A1-3 - INFORMATIONS RELATIVES AUX CONDITIONS LOCALES</u> . . . . .	28
Al-3.1 - But des informations . . . . .	28
Al-3.2 - Type d'information à fournir . . . . .	29
<u>CHAPITRE A1-4 - DESCRIPTION DES TRAVAUX</u> . . . . .	30
Al-4.1 - Généralités . . . . .	30
Al-4.2 - Type de renseignements à fournir . . . . .	31
Al-4.3 - Types de puits . . . . .	32
Al-4.4 - Méthodes de construction . . . . .	40
Al-4.5 - Puits d'essai . . . . .	41
Al-4.6 - Développement . . . . .	42
Al-4.7 - Gravillonnage . . . . .	43
Al-4.8 - Gravillonnage naturel des puits forés à la rotation conven- tionnelle ou inverse . . . . .	44
<u>CHAPITRE A1-5 - TUBAGES</u> . . . . .	50
Al-5.1 - Généralités . . . . .	50
Al-5.2 - Rôle des tubages . . . . .	50
Al-5.3 - Matériaux des tubages . . . . .	50
Al-5.4 - Poids des tubages en acier et fer étiré . . . . .	55
Al-5.5 - Joints de tubages . . . . .	56
Al-5.6 - Colonnes de tubes . . . . .	56
Al-5.7 - Tubages provisoires . . . . .	56
Al-5.8 - Pose de tubages et liners . . . . .	57
Al-5.9 - Sabot de guidage . . . . .	57
<u>CHAPITRE A1-6 - CREPINES</u> . . . . .	58
Al-6.1 - Généralités . . . . .	58
Al-6.2 - Diamètre et longueur . . . . .	58

A1-6.3 - Matériaux des crépines .....	59
A1-6.4 - Types (de crépines) .....	59
A1-6.5 - Ouvertures .....	60
A1-6.6 - Accessoires .....	60
A1-6.7 - Crépines pour puits à double tubages .....	62
<u>CHAPITRE A1-7 - ESSAIS DE DEBIT-RABATTEMENT</u> .....	62
A1-7.1 - But des essais .....	62
A1-7.2 - Pompage d'essai à débit maximal .....	62
A1-7.3 - Hauteur maximale de refoulement .....	63
A1-7.4 - Débit minimal de pompage .....	63
A1-7.5 - Capacité d'une pompe au fonctionnement continu .....	63
A1-7.6 - Evacuation de l'eau .....	64
A1-7.7 - Durée de l'essai .....	64
A1-7.8 - Facteurs conditionnant la durée de l'essai .....	64
A1-7.9 - Rabattement maximal - Essais complémentaires .....	66
<u>CHAPITRE A1-8 - CIMENTATION ET OBTURATION</u> .....	67
A1-8.1 - Généralités .....	67
A1-8.2 - Buts de la cimentation et de l'obturation .....	68
A1-8.3 - Matériaux utilisés pour la cimentation et l'obturation ..	70
A1-8.4 - Cimentation de l'espace annulaire autour du tubage de pro- tection .....	70
A1-8.5 - Cimentation de l'annulaire d'un liner .....	72
A1-8.6 - Cimentation sous pression .....	72
<u>CHAPITRE A1-9 - VERTICALITE ET ALIGNEMENT</u> .....	72
A1-9.1 - Avantages de la verticalité et de l'alignement .....	72
A1-9.2 - Méthode de contrôle recommandée .....	73
A1-9.3 - Déviations admissibles .....	73
A1-9.4 - Autres méthodes de contrôle .....	74
<u>CHAPITRE A1-10 - DESINFECTION</u> .....	76
A1-10.1 - Généralités .....	76
A1-10.2 - Intérêt de la désinfection .....	76
A1-10.3 - Période de désinfection .....	76
A1-10.4 - Méthodes .....	76
A1-10.5 - Solution chlorée .....	78

<u>CHAPITRE A1-11 - PROTECTION DE LA QUALITE DE L'EAU</u> .....	79
A1-11.1 - Généralités .....	79
A1-11.2 - Obligations de l'entrepreneur .....	79
A1-11.3 - Soins à prendre par l'entrepreneur .....	80
 <u>CHAPITRE A1-12 - MITRAILLAGE OU EXPLOSION</u> .....	 80
A1-12.1 - Généralités .....	80
A1-12.2 - Conseil relatif à l'importance et la localisation de l'explosion .....	80
A1-12.3 - Type de conteneur .....	81
A1-12.4 - Nettoyage du puits après le tir .....	81
A1-12.5 - Inscription dans les spécifications .....	82
 <u>CHAPITRE A1-13 - OBTURATION DES PUIITS ABANDONNES</u> .....	 82
A1-13.1 - Généralités .....	82
A1-13.2 - Puits en terrains meubles .....	84
A1-13.3 - Puits en terrains rocheux fissurés .....	84
A1-13.4 - Puits en terrains rocheux non fissurés .....	85
A1-13.5 - Puits recoupant plusieurs aquifères .....	85
A1-13.6 - Puits artésiens .....	86
A1-13.7 - Matériaux d'obturation .....	86

## NORME AWWA POUR PUIITS PROFONDS

### INTRODUCTION

#### OBJET DE LA NORME

Cette norme et les annexes qui l'accompagnent sont proposées comme guide pour préparer les documents contractuels relatifs à la réalisation des puits.

En raison de l'étendue du domaine des forages des puits et du fait que cette norme concerne la réalisation plutôt que le matériel et l'équipement seuls, elle ne peut être utilisée telle quelle, mais elle doit être complétée et modifiée par l'utilisateur en fonction de ses besoins particuliers et des conditions de son propre cas.

Bien que la norme puisse aider beaucoup à préparer les documents contractuels, il restera néanmoins nécessaire d'étudier soigneusement chaque problème individuel et souhaitable d'obtenir un avis technique compétent pour les installations importantes et hors série.

#### ANNEXE

Cette norme est assortie d'une annexe pour aider l'utilisateur à remplir les blancs et à faire des modifications, additions ou échanges. L'annexe est nécessaire car la norme doit couvrir une telle variété de types de puits, à savoir ceux en terrains consolidés (rocher), en terrains meubles (sable et graviers), des puits divers, par leur diamètre, leur profondeur, leur méthode ou type de construction. En utilisant cette norme, on consultera donc largement l'annexe. L'annexe comporte les chapitres ci-après :

- A1.1 : Formulation de la proposition
- A1.2 : Formulation des mesures et clauses de paiement
- A1.3 : Informations relatives aux conditions locales
- A1.4 : Description du travail
- A1.5 : Tubages
- A1.6 : Crépines
- A1.7 : Essai de débit et rabattement

- Al.8 : Cimentation et obturation
- Al.9 : Verticalité
- Al.10 : Désinfection
- Al.11 : Protection qualitative de l'eau
- Al.12 : Mitraillage ou tir d'explosif
- Al.13 : Obturation des puits abandonnés

#### AUTRES DOCUMENTS CONTRACTUELS

Au sens strict, les spécifications sont cette partie des documents contractuels indiquant les matériaux et équipement à utiliser, la méthode d'exécution du travail et une description de l'ouvrage terminé. En règle générale, cependant, le terme "spécifications" est utilisé abusivement pour englober l'avis aux soumissionnaires, la nature de la proposition, la nature du contrat aussi bien que les spécifications. On ne donne pas ici la formule de proposition mais des alternatives sont placées plus loin, au chapitre A1 de l'annexe. De même, le texte ne donne pas de formule de contrat mais divers moyens de paiement, quelquefois spécifiés dans le contrat, sont discutés au chapitre A2 de l'annexe.

Le contrat ou les spécifications générales devraient comprendre les rubriques suivantes entre autres :

- 1 - Énumération des documents du contrats
- 2 - Brève description des travaux
- 3 - Définition de "maître d'ouvrage", "entrepreneur", "ingénieur conseil", "notification", et des termes tels que "dirigé", "acceptable", etc ...
- 4 - Délai de démarrage et de réalisation des travaux
- 5 - Pénalité de retard
- 6 - Travaux supplémentaires
- 7 - Assurance de l'entrepreneur
- 8 - Entretien et surveillance
- 9 - Délai et mode de paiement
- 10 - Droit du propriétaire à apporter des modifications



CHAPITRE 1.1 - GENERALITES

CHAPITRE 1.1-1 - OBJET DES TRAVAUX

L'ouvrage à réaliser ci-après comprend la fourniture de tous travaux, matériel, transports, outils, approvisionnements, atelier, équipement et servitudes, sauf exceptions spécifiquement indiquées ci-dessous, nécessaires pour la réalisation complète et satisfaisante, la désinfection et l'essai du puits de captage d'eau proposé, et décrit ci-dessous au chapitre 1.1-7.

CHAPITRE 1.1-2 - AUTORISATIONS, CERTIFICATS, LOIS ET ORDONNANCES

L'entrepreneur se procurera à ses frais, tous permis, certificats et licences exigés par la loi pour l'exécution de ses travaux. Il se conformera à toutes les lois fédérales nationales ou locales, aux ordonnances, règlements et prescriptions relatives à l'exécution de l'ouvrage.

CHAPITRE 1.1-3 - EMPLACEMENT

Le puits à construire défini ci-dessous sera situé à (emplacement précis à indiquer ici et référence aux plans d'accompagnement, s'il y en a).

CHAPITRE 1.1-4 - CONDITIONS LOCALES (voir aussi annexe A1-3)

(Indiquer ici les renseignements sur les puits d'essai, les puits proches existants, les disponibilités en énergie, les conditions inhabituelles affectant les travaux, etc ... ; de telles informations seront mises sous forme de diagrammes d'essais de puits, de rapports géologiques ou de plans). Ces informations concernant les conditions de sous-sol sont données pour aider l'entrepreneur dans la préparation de son offre. Toutefois, le maître d'ouvrage ne garantit pas leur exactitude, ni qu'elles soient nécessairement indicatives des conditions qui seront rencontrées sur le puits à réaliser ci-dessous, et l'entrepreneur s'assurera de toutes les conditions locales affectant les travaux par ses propres moyens, et ni

les renseignements contenus dans ce chapitre, ni ceux provenant des cartes ou plans ou du maître d'ouvrage ou de ses agents ou employés ne pourront dégager l'entrepreneur de ses responsabilités ou de l'accomplissement de tous les termes et exigences de son contrat.

#### CHAPITRE 1.1-5 - LIMITES DES TRAVAUX

Le maître d'ouvrage mettra à disposition le terrain et les droits d'accès pour les travaux spécifiés à ce contrat et prendra les dispositions convenables pour les entrées et sorties, et l'entrepreneur n'entrera ou n'occupera avec ses hommes, ses outils, équipement ou matériaux, aucun terrain extérieur à celui du maître d'ouvrage sans le consentement écrit des propriétaires de ces terrains. D'autres entrepreneurs et employés ou agents du maître d'ouvrage pourront en tant que de besoin entrer sur le site du chantier de l'entrepreneur, et celui-ci conduira ses travaux de telle sorte qu'ils ne provoquent aucune gêne injustifiée sur des travaux faits par d'autres sur ou à côté de son chantier.

#### CHAPITRE 1.1-6 - PROTECTION DU SITE

Sauf indication contraire prévue ci-après, l'entrepreneur protégera toutes les structures telles que trottoirs, conduites, arbres, arbustes et gazons au cours des travaux ; il débarrassera le site de tous déblais, débris et matériaux inutiles ; et à la fin des travaux, il rendra le site dans les conditions les plus proches des conditions initiales, y compris le remplacement à ses frais, de tous aménagements ou agréments qui auraient été endommagés ou détruits. L'eau extraite du puits sera évacuée en un point où elle ne provoquera pas de dommage aux propriétés ni de nuisances (indiquer un endroit précis, si possible).

#### CHAPITRE 1.1-7 - DESCRIPTION GENERALE DU PUIITS (voir chapitre A1-4 en annexe)

Le puits terminé aura les principales caractéristiques suivantes : (indiquer ici les renseignements divers tels que diamètres, profondeur, et crépine).

## CHAPITRE 1.1-8 - ACCOMMODEMENTS OU MATERIEL A FOURNIR PAR LE MAITRE D'OUVRAGE

Le maître d'ouvrage fournira à l'entrepreneur, sur le chantier, tout frais compris (indiquer ici les services ou matériels à fournir par le maître d'ouvrage, tels que tubages, crépines, énergie, eau ou transport).

## CHAPITRE 1.1-9 - PERSONNEL COMPETENT

L'entrepreneur emploiera uniquement du personnel compétent pour l'exécution de ses travaux, et tout le travail sera exécuté sous la surveillance directe d'un foreur expérimenté donnant satisfaction à l'ingénieur conseil.

## CHAPITRE 1.2 - TUBAGES ET CREPINES

### CHAPITRE 1.2-1 - TUBAGES (voir chapitre A1-5 en annexe)

Les tubages définitifs du puits à réaliser seront du matériel neuf (préciser le matériel : acier doux, acier inox, etc ...) ayant les dimensions et poids minimaux suivants : tubage de ... de diamètre intérieur DI (extérieur DE) de ... livres par pied (ou kg par mètre), tubage de ... de DI de ... (donner la liste de tous les diamètres, épaisseur et masse nominale des tubages à utiliser) Les tubages seront fournis avec sabot de pied d'un type agréé (sabot de pied en option). Les tubages auront des raccords vissables (soudables).

### CHAPITRE 1.2-2 - CREPINES (uniquement dans les terrains meubles<sup>■</sup>) (voir chapitre A1-6 en annexe)

#### 2-2-1 - Diamètre et longueur

Les crépines à fournir et à installer ci-après auront un diamètre nominal

---

<sup>■</sup> Bien que des crépines soient parfois installées en terrain rocheux, ces spécifications supposent qu'on ne les utilisera qu'en terrain meuble).

minimum de ... pouces <sup>(x)</sup> et une longueur minimale de ... pieds <sup>(x)</sup>.

2-2-2 - Matériau

Les crépines seront fabriquées entièrement en (acier doux) (acier inox type) (Monel)<sup>1</sup> (Everdur)<sup>2</sup> (bronze siliceux) (cuivre rouge) (cuivre rouge siliceux) (fer Toncan)<sup>3</sup> (fer Armco)<sup>4</sup>.

2-2-3 - Type

Les crépines seront du type : (tube perforé) (à ouvertures discontinues) (à ouvertures continues) (à persiennes) (à fil enroulé).

2-2-4 - Ouvertures

Les ouvertures de crépines auront ..." de largeur dans la partie la plus étroite. Le nombre et la surface des ouvertures seront tels que le débit attendu du puits puisse être obtenu avec un minimum de perte de charge (Alternative : la dimension des ouvertures sera déterminée en fonction de la dimension effective et du coefficient d'uniformité des sables aquifères). Les ouvertures ou fentes seront profilées pour éviter le colmatage et seront exemptes de bavures, irrégularités et de tout ce qui peut contribuer à déclencher ou à accélérer le colmatage ou la corrosion.

2-2-5 - Résistance

Les crépines auront une force suffisante pour résister aux contraintes externes lorsqu'elles seront en place et pour réduire la probabilité de dommages lors de leur installation. Les crépines seront exemptes de défaut d'alignement aux joints après installation. Si l'ingénieur conseil l'exige, l'entrepreneur soumettra pour approbation les dessins et autres renseignements donnant la conception et la méthode de fabrication des crépines.

---

(x) Note du traducteur : la traduction conserve les unités américaines :

- foot = ft = ' = pied = 30,48 cm  
- inch = in = " = pouce = 2,54 cm  
- gpm = gallons US par minute = 3,785 l/mm

---

- 1 - Produit fabriqué par International Nickel Co, New York, N.Y.
- 2 - Produit fabriqué par Anaconda American Brass. Co., Waterbury, Conn.
- 3 - Produit fabriqué par Republic Steel Corp., Cleveland, Ohio.
- 4 - Produit fabriqué par Armco Steel Corp., Middletown, Ohio.

#### 2-2-6 - Accessoires

Les crépines seront pourvues de tous accessoires nécessaires à l'obturation étanche de l'annulaire supérieur et à la fermeture du fond. Si les crépines sont installées à l'intérieur des tubages, on utilisera un packer de plomb à la partie supérieure qui sera placé de telle sorte qu'il y ait un recouvrement de 12" du tubage et des crépines. Si les crépines sont attachées au tubage, un raccordement adapté sera prévu, ou bien les crépines seront soudées au tubage.

Tous les accessoires exceptés bouchons et fixations, mais y compris les raccords des éléments de crépines, seront du même matériau que les crépines. Des éléments de tubages de plus de 5' de long utilisés pour raccorder les éléments de crépines ne seront pas considérés comme des accessoires.

### CHAPITRE 1.3 - DESCRIPTION DES TRAVAUX

(Voir chapitre A1-4 en annexe)

### CHAPITRE 1.4 - ESSAIS DE DEBIT ET RABATTEMENTS

(Voir chapitre A1-7 en annexe)

#### CHAPITRE 1.4-1 - PERIODE D'ESSAI

Lorsque le puits aura été complètement réalisé et nettoyé et que sa profondeur aura été soigneusement mesurée, l'entrepreneur en avisera l'ingénieur conseil et préparera le pompage d'essai final. En plus de cet essai final, l'ingénieur conseil pourra ordonner à l'entrepreneur de faire tous pompages d'essai complémentaires pendant et après la réalisation du puits s'il le juge nécessaire. Tous les essais seront réalisés avec le même équipement et de la même façon que décrit ci-après.

#### CHAPITRE 1.4-2 - POMPAGE D'ESSAI

L'entrepreneur approvisionnera et installera l'équipement nécessaire de pompage capable de fournir à la sortie indiquée un maximum d'au moins ... gpm (voir chapitre A1-7.2) avec un niveau dynamique de ...' (voir chapitre A1-7.3) sous le sol, mais avec des moyens de vannage adaptés, de telle sorte que le débit puisse être réduit à ... gpm (voir chapitre A1-7.4).

L'unité de pompage sera complète avec moteur de puissance largement calculée, moyens de contrôle et accessoires, et sera capable de tourner sans interruption pendant une période de ... heures.

#### CHAPITRE 1.4-3 - EQUIPEMENT AUXILIAIRE

L'entrepreneur fournira toute la tuyauterie d'évacuation pour l'unité de pompage, en diamètre et longueur suffisants pour amener l'eau pompée à une distance de ...' (voir chapitre A1-7.6) du puits. Il fournira également, installera et entretiendra l'équipement de type et dimensions agréés pour la mesure du débit d'eau ; cet équipement comprendra un bac à déversoir, un tube à diaphragme ou un compteur. Pour mesurer la hauteur du niveau d'eau dans le puits, une ligne d'air complète avec échelle, pompe à main et valve de contrôle seront approvisionnées. Sauf autorisation contraire, la ligne d'air sera solidement attachée à la colonne de refoulement et descendra approximativement jusqu'au niveau dynamique le plus bas prévu au chapitre 1.4-2 tout en restant à une distance d'au moins 2' de l'extrémité du tuyau d'aspiration.

#### CHAPITRE 1.4-4 - DUREE DE L'ESSAI

Sauf avis contraire l'entrepreneur fournira tout travail, force motrice, lubrifiants et autres matériaux nécessaires, équipement, travail et fournitures requis et pompera aux débits et pendant les durées conformes aux directives, sauf pour l'essai final dont la durée sera de ... heures (voir chapitre A1-7.7). Des arrêts accidentels pourront, en accord entre l'entrepreneur et l'ingénieur conseil être compensés par un temps correspondant de pompage additionnel. Après achèvement de l'essai final, l'entrepreneur retirera à la soupape, à la pompe à sable, ou par d'autres méthodes, le sable, les cailloux ou autres matériaux étrangers qui se seraient déposés dans le puits. Le temps indiqué pour la durée de l'essai final n'est

qu'une limite inférieure et l'ingénieur conseil se réserve le droit de demander à l'entrepreneur d'allonger cette durée d'essai ou de faire des essais complémentaires.

Remarque : voir chapitre A1-7.9, clauses spéciales de garantie des puits.

## CHAPITRE 1.5 - CIMENTATION ET OBTURATION

(Voir chapitre A1-8 en annexe)

### CHAPITRE 1.5-1 - MATERIEL DE CIMENTATION

L'espace annulaire entre le tubage intérieur ou tubage de prospection et le tubage extérieur ou la paroi du trou sera rempli de coulis de ciment. Le coulis sera composé de ciment et de la quantité d'eau minimale (pas plus de 6 gallons par pied-cube de ciment <sup>\*</sup>) nécessaire pour donner un mélange d'une consistance telle qu'il puisse être injecté dans les tubes de cimentation. La composition du mélange, la méthode de mixage et la consistance du coulis seront approuvés par l'ingénieur conseil.

Remarque : dans certains cas, particulièrement lorsque les parois de puits sont des graviers, l'espace annulaire n'est pas cimenté (Voir chapitre A1-4).

### CHAPITRE 1.5-2 - MISE EN PLACE DU CIMENT

Avant de procéder à la cimentation l'entrepreneur s'assurera de l'approbation de l'ingénieur conseil sur la méthode qu'il se propose d'appliquer. Aucune méthode ne sera agréée s'il n'est pas spécifié que l'injection du coulis se fera sous pression du fond vers le haut. Un dispositif d'arrêt adapté, packer, ou bouchon sera prévu à l'intérieur de la base du tubage de telle sorte sur le coulis ne puisse pas descendre vers le fond du puits. La cimentation sera faite en continu

---

\* 1 cubic foot : 28,32 litres ; 1 US gallon : 3,785 litres ; le rapport volumétrique ci-dessus correspond à : 1 volume de ciment pour 0,8 volume d'eau.

de façon à ce qu'il y ait remplissage total de l'espace annulaire en une opération. Aucune opération de forage ou autres travaux dans le puits ne seront autorisés dans les 72 heures après cimentation des tubages. Si l'on utilise un accélérateur de prise, cette période pourra être ramenée à 24 heures.

### CHAPITRE 1.5-3 - CIMENTATION DES LINERS\*

A la demande de l'ingénieur conseil les liners seront cimentés. La méthode à mettre en oeuvre sera précisée par l'entrepreneur pour approbation par l'ingénieur conseil.

## CHAPITRE 1.6 - CONTROLE DE VERTICALITE ET D'ALIGNEMENT

(Voir chapitre A1-9)

### CHAPITRE 1.6-1 - CONDITION DE L'ESSAI

Tous les trous à réaliser et tous les tubages et liners à mettre en place seront circulaires, verticaux et rectilignes comme indiqué ci-après. Pour démontrer que son travail est conforme à cette prescription, l'entrepreneur fournira tous travaux, outils et équipements et fera les essais décrits ci-dessous de la façon prescrite par, et à la satisfaction de l'ingénieur conseil. Les tests de verticalité et d'alignement doivent être faits après la construction complète du puits et avant réception. Des essais complémentaires toutefois pourront être faits par l'entrepreneur pendant l'exécution des travaux. Aucun paiement spécial ne sera dû par le maître d'ouvrage pour l'exécution de ces essais.

---

\* Liner pourrait être traduit par le terme "colonne perdue" parfois utilisé par les sondeurs français ; on conserve l'appellation "liner" lorsqu'il s'agit d'un tube crépiné placé entre le sabot du dernier tubage et la base du réservoir. Cette appellation a été conservée dans la traduction pour englober les deux sens, bien que dans le texte il s'agisse le plus souvent de "colonne perdue".



CHAPITRE 1.6-2 - DESCRIPTION DE L'ESSAI

La verticalité et l'alignement seront contrôlés par descente dans le puits à la profondeur de ...' (profondeur maximale prévue pour la pompe) d'un élément de tube de 40' ( $\neq$  12 m) ou d'un dispositif-témoin de même longueur. Le diamètre extérieur du "plomb" aura au maximum 1/2 pouce de moins que le diamètre du tubage ou du trou à contrôler. Si l'on emploie un témoin, celui-ci consistera en un axe rigide avec 3 cercles, chaque cercle ayant 12" de hauteur. Les anneaux seront parfaitement cylindriques et seront placés en haut, en bas et au milieu du dispositif dont l'axe central sera rigide de façon à maintenir l'alignement des axes des anneaux.

CHAPITRE 1.6-3 - CONDITIONS DE L'APLOMB DE L'ALIGNEMENT

Au cas où le "plomb" ou le témoin ne pourraient circuler librement sur la longueur du tubage ou du trou jusqu'à une profondeur de ...' (profondeur maximale de la pompe) ou au cas où le puits s'écarterait de la verticale d'une valeur supérieure aux 2/3, du plus petit diamètre intérieur de cette zone de puits soumise au contrôle, par tranche de 100', ou tranche complémentaire dans les limites du contrôle, l'aplomb et l'alignement du puits seront corrigés par l'entrepreneur à ses frais. Au cas où l'entrepreneur ne réussirait pas à corriger ces défauts de verticalité et d'alignement, l'ingénieur conseil pourra refuser d'accepter le puits. L'ingénieur conseil pourra renoncer aux exigences de ce paragraphe pour la verticalité si, à son avis :

- a/ L'entrepreneur a apporté tout le soin possible à l'exécution du puits et que le défaut est dû à des circonstances échappant à son contrôle ;
- b/ Que l'utilisation du puits terminé n'en sera pas matériellement affectée ;
- c/ Que le coût des mesures à prendre pour y remédier sera excessif.

En aucun cas les dispositions de ce paragraphe ne peuvent concerner la renonciation à exiger l'alignement.

CHAPITRE 1.7 - DESINFECTION

(Voir chapitre A1-10)

CHAPITRE 1.7-1 - PERIODE DE DESINFECTION

Après réalisation complète du puits, celui-ci sera soigneusement nettoyé de toutes substances étrangères, y compris outils, bois, corde, débris de toutes sortes, ciment, huile, graisse, enduit et mousse. Le tubage sera soigneusement nettoyé en utilisant des alcalis si nécessaire, pour enlever huile, graisse et filasse. Le puits sera alors désinfecté avec une solution chlorée.

CHAPITRE 1.7-2 - SOLUTION CHLOREE

La solution chlorée à utiliser pour désinfecter le puits sera dosée de telle sorte qu'une concentration d'au moins 50 ppm de chlore atteindra toutes les parties du puits. La solution chlorée sera préparée et appliquée en accord avec les directives de et à la satisfaction de l'ingénieur conseil et elle restera dans le puits pendant 2 heures au moins.

CHAPITRE 1.7-3 - CONDITIONS DE DESINFECTION DE LA POMPE D'ESSAI

Dans le cas où la pompe est installée après désinfection du puits, toutes les parties extérieures de la pompe venant au contact de l'eau seront nettoyées avec un composé chloré comme demandé par l'ingénieur conseil.

CHAPITRE 1.8 - ECHANTILLONS ET DOCUMENTS

CHAPITRE 1.8-1 - ECHANTILLONS DE TERRAIN

L'entrepreneur conservera des archives précises des hauteurs du niveau de stabilisation de l'eau dans chaque aquifère rencontré et de la position du sommet et de la base de chaque couche traversée, et prélèvera et remettra à l'ingénieur conseil un échantillon pris tous les 5 (10) (20) pieds de foration et à chaque changement de terrain.

#### CHAPITRE 1.8-2 - DOCUMENTS RELATIFS AUX TUBAGES

L'entrepreneur conservera un relevé exact de l'ordre dans lequel chaque élément de tube est installé dans le puits, en identifiant chacun par ses numéro, dimension et longueur.

#### CHAPITRE 1.8-3 - ARCHIVES SUR LES MATERIAUX REMONTES AU COURS DU DEVELOPPEMENT

Le volume total de matériaux retirés du puits par le développement de celui-ci sera noté par l'entrepreneur.

#### CHAPITRE 1.8-4 - DOMMAGES ET INTERETS (en option)

La défaillance de l'entrepreneur pour obtenir, préserver et remettre de tels échantillons ou documents à l'ingénieur conseil sera considérée comme un véritable dommage pour le maître d'ouvrage et autorisera celui-ci à retenir sur les sommes dues ou à devoir au titre du contrat, la somme de ... dollars à titre de dommages et intérêts pour chaque échantillon non prélevé, préservé ou remis par l'entrepreneur ou pour chaque longueur de tube incorrectement mesurée et enregistrée dans l'ordre d'assemblage dans le puits. En cas de formations meubles seulement, l'opinion de l'ingénieur conseil sur la défaillance de l'entrepreneur à prélever et préserver les échantillons et sur le fait que cette défaillance peut affecter le programme correct de crépinage, suffira à exiger de l'entrepreneur qu'il exécute les travaux que l'ingénieur conseil juge nécessaire pour remédier à une telle lacune.

#### CHAPITRE 1.8-5 - RAPPORTS JOURNALIERS

L'entrepreneur soumettra également un rapport journalier décrivant la na-

ture des matériaux rencontrés, le travail accompli durant chaque jour, en précisant des rubriques telles que la profondeur forée, les tubages placés, les niveaux d'eau dans le puits au début et à la fin de chaque poste et tous autres renseignements judicieux demandés par l'ingénieur conseil.

## CHAPITRE 1.9 - PROTECTION DE LA QUALITE DE L'EAU

(Voir chapitre A1-11)

### CHAPITRE 1.9-1 - PRECAUTIONS A PRENDRE

L'entrepreneur prendra toutes précautions nécessaires ou requises en permanence pour prévenir l'entrée d'eau contaminée ou physico-chimiquement indésirable, par l'ouverture qu'il crée en forant le puits, dans les couches à capter. Il prendra également toutes précautions nécessaires pendant la période d'exécution pour prévenir l'entrée dans le puits d'eau contaminée, d'essence, et de tous autres polluants, que ce soit par l'ouverture ou par infiltration à travers la surface du sol.

### CHAPITRE 1.9-2 - TRAVAUX CORRECTIFS

Au cas où le puits se trouverait contaminé ou que de l'eau mauvaise parviendrait au puits par la négligence de l'entrepreneur, il devrait, à ses frais, exécuter tous travaux ou fournir tous tubages, obturateurs, produits stérilisants ou autres matériaux nécessaires pour éliminer la contamination ou arrêter la venue d'eau indésirable.

### CHAPITRE 1.9-3 - ABSENCE DE SABLE ET TURBIDITE

L'entrepreneur réalisera ses travaux soigneusement en vue de prévenir l'éboulement ou le cavage des couches surmontant celle qui sera captée par le puits. Il développera, pompera, soupapera dans le puits par toute méthode conformément approuvée par l'ingénieur conseil, jusqu'à ce que l'eau pompée soit pratiquement

dénuée de sable et jusqu'à ce que la turbidité soit inférieure à 5 mg/l, celle-ci étant déterminée par la méthode adéquate pour doser la silice comme indiqué dans "les méthodes standardisées d'examen de l'eau et des eaux usées", ou mesurée par un dessablo-mètre centrifuge tel que décrit dans le Journal de l'AWWA ; 46 : 123 (février 1954), ou équivalent.

Remarque : En cas de puits correctement réalisé qui ne donnerait pas d'eau claire en dépit des plus grands efforts de l'entrepreneur, on pourrait renoncer aux conditions relatives à la qualité de l'eau, contenues dans la dernière phrase.

#### CHAPITRE 1.10 - COUVERTURE PROVISOIRE

A tout moment, pendant le cours des travaux, l'entrepreneur prendra toutes dispositions pour protéger effectivement le puits contre les interventions extérieures (curieux, oisifs ou mal intentionnés) et contre l'introduction d'objets ou matériaux étrangers. Après achèvement du puits, l'entrepreneur approvisionnera et placera un capot solide, vissé, soudé, ou à bride, agréé par l'ingénieur conseil.

#### CHAPITRE 1.11 - ABANDON DU PUIT

Au cas où l'entrepreneur n'arriverait pas à forer le puits à la profondeur spécifiée ou à une profondeur moindre ordonnée par l'ingénieur conseil, ou abandonnerait le puits en raison de chute d'outils ou pour toute autre cause, il devra, conformément aux instructions de l'ingénieur conseil, remplir le trou abandonné avec de l'argile, ou de l'argile et du béton, et retirer le tubage. Le matériel

retiré, fourni par l'entrepreneur, restera sa propriété.

CHAPITRE 1.12 - QUANTITES ET PRIX

(Voir chapitre A1-2 en annexe)

A N N E X E

CHAPITRE A1-1 - FORMULE DE PROPOSITION

CHAPITRE A1-1.1 - GENERALITES

Cette annexe expose les différentes formes de proposition à insérer dans les documents contractuels en tête du "contrat" et après "avis aux soumissionnaires".

CHAPITRE A1-1.2 - AVANTAGES DES PROPOSITIONS BIEN ETUDIEES

Le but de ces spécifications est d'aider l'adjudicataire à faire le meilleur puits possible pour un coût juste et raisonnable. L'un des plus surs moyens d'atteindre ce but est de s'assurer les services d'un entrepreneur compétent et expérimenté, mais, malheureusement, dans la plupart des contrats municipaux les travaux doivent être adjugés au moins-disant. Il est vrai que la loi autorise généralement une adjudication au soumissionnaire de moindre "compétence" mais il est habituellement difficile de disqualifier un soumissionnaire indésirable sur ce terrain. Lorsque les spécifications sont vagues, mal définies et exagérément restrictives, l'entrepreneur le moins sérieux est favorisé par rapport à son concurrent plus compétent qui doit introduire dans son offre une marge pour imprévus, qui doit éviter de déséquilibrer son offres et qui doit refuser de courir le risque d'avoir à compter sur des travaux supplémentaires pour la majeure partie de son dédommagement. Le travail pour s'assurer l'entrepreneur le plus qualifié peut être facilité par l'emploi de formules de propositions qui protège celui-ci contre la possibilité que des circonstances imprévues puisse accroître ses prix de revient sans compensation adéquate.

CHAPITRE A1-1.3 - TROIS TYPES DE FORMULE DE PROPOSITIONS

En règle générale il y a 3 méthodes pour obtenir des offres de forages sûres. Ce sont : le prix unitaire, la somme forfaitaire, le débit garanti. Parfois,

deux ou même trois de ces méthodes sont combinées. Des restrictions légales peuvent quelquefois dicter le choix de la méthode.

#### 1.3.1 - Formule du prix unitaire

S'il y a un doute au sujet de l'étendue des travaux, de la profondeur du puits, ou d'autres conditions susceptibles de nécessiter des changements dans les quantités estimées, le contrat avec prix unitaire sera la plus adapté. La formule de proposition de prix unitaire doit être soigneusement préparée pour éviter la possibilité d'offres déséquilibrées. On utilisera la formule proposée au chapitre A1-1.4 avec mesures particulières et clauses d'indemnisation (chapitre A1-2.2).

#### 1.3.2 - Formule du prix forfaitaire

Le type de contrat à prix forfaitaire est le plus adapté lorsque les conditions de réalisation ou l'étendue des travaux sont assez bien connues. On pourra prévoir l'application des prix unitaires pour les petits suppléments ou réductions de quantité. Les travaux en plus ou en moins seront ajoutés ou déduits de la proposition de base. On utilisera la formule de proposition chapitre A1-1.5 avec mesures particulières et clauses de dédommagement (chapitre A1-2.3).

#### 1.3.3 - Formule du débit garanti

Si le maître d'ouvrage ne veut pas s'engager dans le forage d'un puits sans être certain d'obtenir un certain débit d'eau de bonne qualité, la méthode du débit garanti pourra être adoptée, bien que le puits commandé de cette façon puisse coûter davantage. Cette méthode peut également être utilisée lorsque l'aquifère exige un développement et que la durée exacte de ce développement ne peut être déterminée précisément à l'avance. On utilisera la formule de proposition A1-1.6 et les mesures particulières et clauses de dédommagement (chapitre A1-2.4).

### CHAPITRE A1-1.4 - FORMULE DE PROPOSITION : METHODE DES PRIX UNITAIRES

Le bordereau de rubrique ci-après est proposé pour obtenir des offres de forages sur la base des prix unitaires. Certaines rubriques énumérées ci-dessous pourraient être supprimées pour certains puits et, dans certaines conditions spéciales, on pourrait en ajouter d'autres.



#### 1.4.1 - Terrains consolidés

Rubrique..1 : Pour amenée et repli du matériel, la somme forfaitaire de ... dollars et ... cents ( ... \$).

Remarque : Pour éviter un déséquilibre, il est souhaitable que l'ingénieur conseil fixe ce prix d'avance.

Rubrique..2 : Pour foration, tubage et cimentation d'un trou d'environ ... pieds de ... pouces, y compris tous sabots et raccords nécessaires, la somme de ... dollars et ... cents ( ... \$) par pied linéaire.

Remarque : Demander des prix séparés pour certaines dimensions de trous tubés en les désignant : rubriques A, B, C, etc ...

Rubrique..3 : Pour foration d'un trou non tubé d'environ ... pieds en ... pouces, la somme de ... dollars et ... cents ( ... \$) par pied linéaire.

Remarque : Demander des prix séparés pour certaines dimensions de trous non tubés en les désignant : rubriques A, B, C, etc ...

Rubrique..4 : Pour cimentation d'environ ... pieds linéaires d'espace annulaire entre un tubage interne de ... pouces et un tubage externe ou le terrain la somme de ... dollars et ... cents ( ... \$) par sac de ciment.

Rubrique..5 : Pour fourniture et pose de liners de ... pouces sur environ ... pieds, la somme de ... dollars et ... cents ( ... \$) par pied linéaire.

Remarque : La rubrique 5 n'est pas nécessaire habituellement.

Rubrique..6 : Pour alésage et sous-alésage d'environ ... pieds d'un trou de ... pouces en ... pouces, la somme de ... dollars et ... cents ( ... \$) par pied linéaire.

Remarque : La rubrique 6 n'est pas nécessaire habituellement.

Rubrique..7 : Pour essai de débit et de rabattement pendant environ ... heures, la somme de ... dollars et ... cent par heure.

Rubrique..8 : Pour travaux et matériel divers, la somme forfaitaire de ... dollars et ... cents ( ... \$).

1.4.2 - Terrains meubles

Rubrique..1 : Pour amenée et repli du matériel, la somme forfaitaire de ... dollars et ... cents ( ... \$).

Rubrique..2 : Pour foration, tubage et cimentation d'un trou d'environ ... pieds en ... pouces, y compris tous sabots et raccords nécessaires, la somme de ... dollars et ... cents (... \$) par pied linéaire.

Rubrique..3 : Pour cimentation d'environ ... pieds linéaires d'espace annulaire entre un tubage interne de ... pouces et un tubage externe ou le terrain la somme de ... dollars et ... cents ( ... \$) par sac de ciment.

Rubrique..4 : Pour fourniture et pose d'environ ... pieds de crépine ... pouces, la somme de ... dollars et ... cents ( ... \$) par pied linéaire.

Rubrique..5 : Pour développement du puits, la somme forfaitaire de ... dollars et ... cents ( ... \$).

Alternative : Pour fourniture de l'équipement nécessaire et des services de ... hommes pour environ ... heures pour développement du puits, le somme de ... par heure.

Rubrique..6 : Pour essai de débit et de rabattement pendant environ ... heures, la somme de ... dollars et ... cents ( ... \$) par heure.

Rubrique..7 : Pour travaux et matériel divers, la somme forfaitaire de ... dollars et ... cents ( ... \$).

CHAPITRE A1-1.5 - FORMULE DE PROPOSITION : METHODE DU PRIX FORFAITAIRE

Quand une commande de puits doit être faite sur la base du prix forfaitaire, nous suggérons d'utiliser le paragraphe suivant :

Rubrique..1 : Pour fourniture de tous travaux, matériaux, outils, et équipement, et pour réalisation, finition et essai complet selon les termes du contrat ci-joint, des spécifications et figures du puits ainsi décrit, la somme

forfaitaire de ... dollars et ... cents ( ... \$).

Si l'on adopte cette méthode pour appel d'offres, il est prudent de prévoir une provision pour tous changements en plus ou en moins sur les travaux à faire. Ceci peut se faire, ou bien en le demandant aux soumissionnaires, ou bien en fixant des prix unitaires pour certaines rubriques pour lesquelles des changements sont prévisibles ; on peut également décider que des travaux éventuels en plus seront payés selon la clause du contrat en travaux complémentaires. En tous cas, le contrat contiendra une clause de "travaux supplémentaires", car quel que soit le soin apporté à la rédaction des spécifications, certains compléments non prévus peuvent s'avérer nécessaires.

En insérant un paragraphe du genre suivant on pourra obtenir des prix unitaires permettant des changements dans un travail forfaitaire :

Dans le cas où des compléments ou soustractions seront apportés aux travaux indiqués sur les plans ou décrits dans les spécifications, l'adjudicataire donne son accord à l'application des prix unitaires suivants pour faire les additions ou diminutions en conséquence sur le montant du contrat.

On présenterait alors un texte avec les blancs à remplir par le soumissionnaires sur les diverses rubriques pour lesquelles les prix supplémentaires sont à fixer telles que longueurs supplémentaires de foration, tubages ou crépines.

En prévision des changements pour fixer des prix unitaires, on pourra insérer le paragraphe suivant :

Dans le cas où des suppléments ou réductions seront apportées aux travaux indiqués sur les plans ou décrits dans les spécifications et que celles-ci concernent les rubriques ci-après, le soumissionnaire donne son accord aux prix unitaires suivants à appliquer en plus ou en moins au montant du contrat.

On énumérerait alors les diverses rubriques ainsi que les prix supplémentaires fixés.

On aurait recours uniquement aux prix fixés pour les additions ou déductions, s'il est préalablement admis que les changements à faire seront mineurs, autrement l'entrepreneur pourrait prétendre que les indemnités indiquées sont insuffisantes pour le défrayer des travaux complémentaires ou qu'il se trouve sérieusement pénalisé par l'omission de certains éléments.

Attendu que les travaux en plus peuvent être payés d'après la clause contractuelle de travaux supplémentaires (généralement coût + 15 %), cette méthode de prendre des dispositions pour changements sera utilisée le moins possible

car elle est susceptible d'entraîner des discussions sur la valeur des travaux et matériaux fournis en plus.

CHAPITRE A1-1.6 - FORMULE DE PROPOSITION : METHODE DU DEBIT GARANTI

Lorsqu'il s'agit de passer commande d'un forage sur la base du débit garanti, il importe que les spécifications recouvrent la réalisation standard minimale, la méthode et la durée de l'essai, la période de garantie effective, aussi bien que ce qui doit être payé pour un débit maximal ou minimal. On conseille fréquemment de demander un prix pour l'heure supplémentaire en cas d'allongement de la période d'essai. On peut suggérer la formule de proposition ci-après :

Rubrique..1 : Pour la fourniture de tous travaux, matériaux, outils et équipement et pour la réalisation, la finition, l'essai et la garantie complète d'un forage débitant, d'après les conditions d'essai ci-incluses, selon les tenueurs du contrat, des spécifications et des figures, un minimum de ... gpm, la somme forfaitaire de ... dollars et ... cents ( ... \$).

Rubrique..2 : Pour chaque gallon par minute supplémentaire d'eau fournie par le forage réalisé tel qu'indiqué à la rubrique 1, au-delà du débit minimal de ... pgm, la somme de ... dollars et ... cents ( ... \$) par gallon.

Rubrique...3 : Pour essai complémentaire au-delà de ce qui est indiqué à la rubrique 1, si l'ingénieur conseil le demande, la somme de ... dollars et ... cents ( ... \$) par heure.

Les offres seront comparées en additionnant le total de l'offre de la rubrique 1, le prix unitaire de la rubrique 2 multiplié par ... gpm, et le prix unitaire de la rubrique 3 multiplié par ... heures.

CHAPITRE A1-2 - FORMULE DE CLAUSES DE QUANTITES ET PRIX

(Voir chapitre 1.1-2 des spécifications)

CHAPITRE A1-2.1 - POSITION DANS LES SPECIFICATIONS

Les clauses de prix et quantités font parfois partie de la proposition, parfois incorporées à l'intérieur des spécifications où elles sont combinées avec une description des travaux à faire dans chaque rubrique, et parfois placées à la fin des spécifications. Dans cette annexe, les clauses de quantités et prix ont été prévus à la fin des spécifications, mais elles peuvent être placées ailleurs si l'on préfère.

CHAPITRE A1-2.2 - FORMULE D'UTILISATION AVEC LA METHODE DES PRIX UNITAIRES

Les paragraphes suivants sont proposés pour inclusion dans les spécifications où les offres seront sous forme de prix unitaires. Naturellement les paragraphes relatifs aux rubriques non utilisées dans la proposition seront supprimés.

2.2.1 - Terrains consolidés

Rubrique...1 : Amenée et repli de l'équipement. Sous cette rubrique l'entrepreneur sera payé au prix de l'offre (fixé) dans la proposition pour tous dédommagements relatifs à l'amenée de son équipement de travail, à sa mise en place et à son retrait.

Rubrique...2 : Foration, tubage et cimentation d'un trou de....." (différentes dimensions de trous tubés seront désignés par les rubriques A, B, C, etc ...). Sont inclus dans cette rubrique les coûts du tubage et des sabots, raccords, accessoires, joints étanches, etc ... Les paiements seront basés sur la distance verticale mesurée entre les limites spécifiées pour le puits tubé.

Rubrique...3 : Foration d'un trou non tubé en....." (différentes dimensions de trous non tubés seront désignés par les rubriques A, B, C, etc ...) Sous cette rubrique l'entrepreneur sera payé au prix unitaire de l'offre pour tous dédommagements relatifs à la foration et finition complète du trou non tubé au diamètre indiqué. Le paiement sera basé sur la distance verticale mesurée entre

les limites spécifiées pour le trou non tubé.

Rubrique 4 : Cimentation de l'espace annulaire entre tubage....." et tubage ou trou.....". Sous cette rubrique l'entrepreneur sera payé au prix unitaire par sac de ciment indiqué dans l'offre pour fournir et injecter le coulis dans l'espace annulaire entre tubage ..." et tubage ou trou ...". Les quantités seront fonction du nombre réel de sacs de ciment de 94 lb (42,638 kg) utilisés pour cimentation de l'espace annulaire à l'endroit et comme indiqué.

Rubrique 5 : Fourniture et mise en place d'un liner de.....". Sous cette rubrique l'entrepreneur sera payé au prix unitaire de l'offre pour installer un liner de ..." dans un trou de ..." à l'endroit et comme indiqué par l'ingénieur conseil. Cette rubrique comprendra la fourniture du tubage et des joints et leur centrage soigné ainsi que la cimentation du liner, si cela est demandé, sauf que le ciment sera payé aux conditions de la rubrique 4. Le paiement viendra en supplément de celui indiqué à la rubrique pour foration de trou non tubé. Les quantités seront conformes à la longueur réelle de liner mis en place à l'endroit indiqué.

Rubrique 6 : Alésage et sous-alésage d'un trou....." en trou....." Sous cette rubrique l'entrepreneur sera payé selon le prix de l'offre pour alésage ou sous-alésage d'un trou ..." en trou ...". Le paiement alloué ici viendra en supplément de celui indiqué dans la rubrique relative à la foration du trou originel non tubé. Les tubages et liners, si on le demande, seront fournis et placés dans le trou agrandi sous cette rubrique mais dans ce cas on allouera à l'entrepreneur le coût réel du matériel installé dans le puits + 15 %. Les quantités seront conformes à la longueur de trou alésée ou sous-alésée selon les instructions.

Rubrique 7 : Essai de débit et rabattement. Sous cette rubrique on paiera à l'entrepreneur le prix unitaire de l'offre pour faire les essais de débit et rabattement demandés. Les essais seront effectués avec l'équipement préalablement décrit, pendant une durée fixée par l'ingénieur conseil. Une indemnité correspondant à un maximum de ... heures <sup>■</sup> sera allouée pour le temps réel nécessaire à installer la pompe et à la rendre opérationnelle, et une indemnité complémentaire d'un maximum de ... heures <sup>■</sup> pour le retrait de la pompe. Exceptées ces

---

<sup>■</sup> Habituellement 4 à 8 heures selon la profondeur du puits, la dimension de la pompe et autres facteurs. Consulter les foreurs locaux.

2 indemnités, le paiement compris dans cette rubrique correspondra uniquement à la durée réelle de pompage et l'on fera des déductions pour toutes pannes ou arrêts ou pour des essais qui ne seraient pas entièrement conformes aux spécifications. Aucun paiement ne sera dû à l'entrepreneur pour des essais réalisés pour sa propre information ou pour développer le puits. Si, pour une raison quelconque, il y a défaillance de l'équipement avant achèvement complet de la durée de pompage spécifiée, l'entrepreneur ne recevra aucun paiement pour l'essai partiel, et il ne devra pas reprendre le pompage tant que le niveau de l'eau ne sera pas stabilisé.

Rubrique 8 : Travaux et matériaux divers. Sous cette rubrique l'entrepreneur sera payé de la somme forfaitaire inscrite à l'offre pour tous dédommagements pour (indiquer ici les travaux spéciaux s'il y en a, tels que fermeture du puits, analyses d'eau, ou essais de puits).

#### 2.2.2 - Terrains meubles

Rubrique 1 : Amenée et repli de l'équipement. Sous cette rubrique l'entrepreneur sera payé au prix de l'offre (fixé) dans la proposition pour tous dédommagements relatifs à l'amenée de son équipement de travail, à sa mise en place et à son retrait.

Rubrique 2 : Foration, tubage et cimentation d'un trou en....." (différentes dimensions de trous tubés seront désignés par les rubriques A, B, C, etc ...). Sous cette rubrique l'entrepreneur sera payé au prix unitaire de l'offre de tous dédommagements pour foration, tubage et cimentation complète du trou tubé au diamètre indiqué. Sont inclus dans cette rubrique les coûts de tubages et de tous accessoires de raccordements, etc ... Les paiements seront basés sur la distance verticale mesurée entre les limites spécifiées pour le trou tubé.

Rubrique 3 : Foration d'un trou non tubé en....." (différentes dimensions de trous non tubés seront désignées par les rubriques A, B, C, ...). Sous cette rubrique l'entrepreneur sera payé au prix unitaire de l'offre pour tous dédommagements relatifs à la foration et finition complète du trou non tubé au diamètre indiqué. Le paiement sera basé sur la distance verticale mesurée entre les limites spécifiées pour le trou non tubé.

Rubrique 4 : Fourniture et mise en place des crépines. Sous cette rubrique l'entrepreneur sera payé au prix de l'offre pour la fourniture et l'ins-

tallation de crépines décrites dans les spécifications complètes avec les accessoires et joints nécessaires. Les longueurs de crépines à payer seront les longueurs réellement installées conformément aux instructions de l'ingénieur conseil. Les mesures seront prises entre le pied de la première crépine et le sommet de la dernière. Si l'on utilise plusieurs sections crépinées, chaque section sera mesurée séparément.

Rubrique 5 : Développement du puits. Sous cette rubrique l'entrepreneur sera payé au prix forfaitaire (prix unitaire à l'heure) de l'offre pour développement du puits. Ce prix comprend la fourniture de tout le matériel et équipement nécessaires, y compris la sondeuse, les pompes, les compresseurs, les tuyaux, le gravier <sup>■</sup>, tube de lavage et autres rubriques, et de tous travaux nécessaires, force motrice et eau pour secouer la formation et en retirer le sable fin, l'argile et autres matériaux indésirables et ajouter les gravillons de qualité et de calibre adaptés <sup>■</sup>.

Le nombre d'heures à payer sera celui durant lequel l'entrepreneur a été réellement occupé sur le chantier à développer le puits conformément aux directives de l'ingénieur conseil <sup>■</sup>.

Rubrique 6 : Essai de débit et rabattement. Sous cette rubrique on paiera à l'entrepreneur le prix unitaire de l'offre pour faire les essais de débit et rabattement demandés. Les essais seront effectués avec l'équipement préablement décrit pendant une durée fixée par l'ingénieur conseil. Une indemnité correspondant à un maximum de ... heures <sup>\*</sup> sera allouée pour le temps réel nécessaire à installer la pompe et à la rendre opérationnelle, et une indemnité complémentaire d'un maximum de ... heures <sup>\*</sup> pour le retrait de la pompe. Exceptées ces 2 indemnités, le paiement compris dans cette rubrique correspondra uniquement à la durée réelle de pompage et l'on fera des déductions pour toutes pannes ou arrêts ou pour des essais qui ne seraient pas entièrement conformes aux spécifications. Aucun paiement ne sera dû à l'entrepreneur pour des essais réalisés pour sa propre information ou pour développer le puits. Si, pour une raison quelconque il y a défaillance de l'équipement avant achèvement complet de la durée de pompage.

---

<sup>■</sup> A utiliser uniquement pour les puits gravillonnés.

<sup>■</sup> Supprimer cette phrase si l'offre donne un prix forfaitaire pour cette opération.

<sup>\*</sup> Habituellement 4 à 8 heures selon la profondeur du puits, la dimension de la pompe et autres facteurs. Consulter les foreurs locaux.



spécifiée, l'entrepreneur ne recevra aucun paiement pour l'essai partiel, et il ne devra pas reprendre le pompage tant que le niveau de l'eau ne sera pas stabilisé.

Rubrique 7 - Travaux et matériaux divers. Sous cette rubrique l'entrepreneur sera payé de la somme forfaitaire inscrite à l'offre pour tous dédommagements pour (indiquer ici les travaux spéciaux, s'il y en a, tels que fermeture du puits, analyses d'eau, ou essais de puits).

#### CHAPITRE A1-2.3 - FORMULE POUR LA METHODE DE PRIX FORFAITAIRES

Si l'on adopte pour les appels d'offres la méthode des prix forfaitaires sans supplément de prix, il n'est pas nécessaire d'inclure des clauses de quantités et prix autres que celles contenues dans le corps du contrat. Si toutefois des prix supplémentaires sont inclus de la part de l'entrepreneur ou de la part de l'ingénieur conseil, des clauses additionnelles sont nécessaires et on les introduira soit à la fin des spécifications, soit dans le contrat. On suggère la formule suivante à utiliser en complément à la clause générale de paiement concernant les prix forfaitaires :

Si le volume des travaux à faire au titre de ce contrat varie par rapport à ce qui est indiqué sur les plans ou décrit dans les documents contractuels, en plus ou en moins de l'offre de prix forfaitaire en rubrique 1, on appliquera les prix unitaires de l'offre (prix fixés) pour de telles variations des quantités aux rubriques suivantes : (ajouter diverses rubriques indiquées plus haut comme guide dans cette annexe à "Méthode des prix unitaires").

#### CHAPITRE A1-2.4 - FORME A UTILISER AVEC LA METHODE DU DEBIT GARANTI

On suggère d'inclure les paragraphes suivants dans les spécifications pour offres à débit garanti :

Rubrique 1 : Réalisation, finition, essai et garantie d'un puits ayant un débit minimal de ..... gpm. Sous cette rubrique, pourvu que l'entrepreneur arrive à fournir le débit exigé et que par ailleurs il satisfasse aux conditions des spécifications relatives à certains facteurs tels que qualité de l'eau, réalisation standard minimale de l'ouvrage et essai, l'entrepreneur sera payé de la somme forfaitaire indiquée dans l'offre. L'entrepreneur n'aura droit à aucun paie-

ment en cas d'insuccès dans l'obtention du débit minimal requis.

Rubrique 2 : Pour chaque gallon par minute supplémentaire d'eau fournie par un puits conforme à la rubrique 1 au-dessus du débit minimal. Au titre de cette rubrique, l'entrepreneur aura droit à une allocation complémentaire pour le puits réalisé conformément à la rubrique 1 pourvu qu'il arrive à fournir plus que les ... gpm indiqués en rubrique 1. Le débit supplémentaire au minimum requis sera payé au prix de ... le gpm. Le débit supplémentaire d'eau payé au titre de cette rubrique est soumis aux mêmes conditions d'essai et de garantie que celles indiquées en rubrique 1.

Rubrique 3 : Pour essai complémentaire. Sous cette rubrique l'entrepreneur sera payé au prix unitaire de l'heure indiqué dans l'offre pour effectuer des essais complémentaires en vue de déterminer le débit et le rabattement ou pour une augmentation de la durée de l'essai spécifiée au contrat. Les essais seront faits avec l'équipement décrit préalablement pendant les durées indiquées par l'ingénieur conseil. Excepté si les tests prévus par ailleurs sont prolongés, l'indemnité atteindra un maximum de ... heures pour le temps réellement nécessaire à installer la pompe et à la rendre opérationnelle et une indemnité complémentaire, qui atteindra un maximum de ... heures, pour le temps nécessaire au retrait de la pompe. Sauf pour ces 2 indemnités, le paiement au titre de cette rubrique sera uniquement fonction de la durée réelle de pompage et l'on déduira les durées de panne ou d'arrêt ou les essais non conformes aux termes des spécifications.

## CHAPITRE A1-3 - INFORMATIONS RELATIVES AUX CONDITIONS LOCALES

### CHAPITRE A1-3.1 - BUT DES INFORMATIONS

Pour permettre au soumissionnaire de faire une offre intelligente on pourrait donner des informations sûres et utiles sur les conditions locales susceptibles d'avoir une incidence sur son travail. Des informations incertaines ou basées sur des oui-dires ne seront pas fournies dans les documents contractuels sous peine

d'engager éventuellement la responsabilité du maître d'ouvrage.

#### CHAPITRE A1-3.2 - TYPE D'INFORMATION A FOURNIR

Les paragraphes suivants donnent des exemples du type d'information à fournir aux futurs soumissionnaires :

##### EXEMPLE A :

Il existe approximativement à ...' du puits à réaliser un puits, propriété de Mr ... . Ce puits a une profondeur de ...' Ses ...' supérieurs sont tubés en ...", les ...' suivants en ..." et la partie inférieure en ..." est découverte (ou crépinée en ..."). Ce puits a la réputation de fournir environ ... gpm. Le niveau piézométrique varie entre ...' et ...' sous le sol et le niveau dynamique en pompage varie entre ...' et ...'.

##### EXEMPLE B :

Un puits d'essai a été réalisé par ... (telle entreprise) en 19.. en un point distant de ...' du puits à exécuter. Il existe des renseignements sur cet ouvrage dans le bureau du propriétaire (énumérer les renseignements disponibles tels que : - rapport géologique fait par ...  
- coupe du foreur  
- échantillons des terrains traversé prélevés par la société de forage ..

Remarque : On pourra éventuellement joindre aux spécifications, copie du rapport géologique, du log du foreur, etc ...

Si le puits dont on passe commande sur la base du débit garanti doit faire partie d'un groupe de puits du même secteur, appartenant ou contrôlés par le maître d'ouvrage, un paragraphe du type suivant pourra être ajouté.

##### EXEMPLE C :

Avant, pendant et après les essais décrits ci-après, le maître d'ouvrage se réserve le droit de pomper à tous moments sur d'autres puits dans le même secteur, en continu ou par intermittence, à leur débit maximal. La position et les débits maximaux de ces puits sont les suivants : ...

## CHAPITRE A1-4 - DESCRIPTION DES TRAVAUX

(Voir chapitres 1.1-7 & 1.3 des spécifications)

### CHAPITRE A1-4.1 - GENERALITES

Ce chapitre expose les points à considérer dans la conception et la description du puits. Le but des spécifications est de donner à l'entrepreneur une description du puits terminé, mais pas de limiter l'entrepreneur dans le choix de la méthode d'exécution excepté en ce qui concerne la quantité et qualité de l'eau à extraire ou de ce qui peut affecter la stabilité de construction de l'ouvrage. Ces exceptions sont en général englobées dans d'autres chapitres de l'annexe. On étudiera et on mettra l'accent sur les règlements sanitaires et autres règlements.

Nonobstant le fait que la distance du puits à la source de pollution doit continuer à garder une certaine importance pour éviter le risque de pollution de l'eau souterraine, particulièrement pour les nappes les moins profondes, la fixation d'une distance arbitraire minimale ne constitue pas une solution satisfaisante au problème de salubrité du puits. Bien qu'une distance de 50 pieds à partir de la source de pollution puisse suffire dans des terrains meubles à granulométrie fine, plusieurs centaines de pieds peuvent être insuffisants en terrains meubles à granulométrie grossière de même que plusieurs milliers de pieds en terrains fissurés. De même la hauteur minimale arbitraire de tubage ne repose sur aucune base logique.

Dans l'exploitation d'un aquifère, cependant, le type d'ouvrage à réaliser sera choisi, d'abord en fonction de la profondeur de l'aquifère et de la nature des terrains traversés, et ensuite en fonction de la proximité d'une source de pollution existante ou possible dans le futur, en prenant une marge de sécurité raisonnable. Ainsi, si 2 aquifères existent à différentes profondeurs, que le premier est plus facilement polluable et l'aquifère inférieur naturellement mieux protégé, on fera le puits en tubant l'aquifère supérieur et l'on captera l'inférieur. S'il n'existe qu'un aquifère peu profond, on veillera à ce que les conditions de protection naturelles soient maintenues ou améliorées et le puits sera situé dans une zone relativement isolée contrôlable parfaitement par le propriétaire.

CHAPITRE A1-4.2 - TYPE DE RENSEIGNEMENTS A FOURNIR

L'entrepreneur sera informé du nombre de puits existants, de leur diamètre minimal, des longueurs et dimensions de chaque tubage ou zones découvertes, de toutes particularités de construction, du type d'aménagement en tête de puits et du point de sortie de l'eau pompée. Dans le cas où le puits à exécuter est prévu sur la base du débit garanti, la quantité d'eau désirée sera fixée. Les exemples suivants montrent le type d'information à inclure dans les spécifications sous ces rubriques :

EXEMPLE A (type n° 7) (voir planche pages 35 à 37).

Puits en terrain rocheux consolidé

Le puits à construire ci-dessous comprendra les éléments suivants :

- une première section d'une profondeur approximative de 100 pieds traversant le sol, des sables, argiles, graviers et "rocher" allant de la surface du sol jusqu'au rocher solide. Cette section sera tubée en acier noir au diamètre extérieur DE = 24". Si le foreur travaille à la rotation conventionnelle ou en circulation inverse, le tubage 24" sera supprimé.

- une deuxième section d'une profondeur approximative de 100 pieds sera faite en terrain rocheux depuis la base de la première section jusqu'à 200' environ au-dessous de la surface du sol. Cette deuxième section sera forée en 23" et tubée en DE = 18" depuis le fond jusqu'à 1' au-dessus du sol.

- une troisième section d'environ 300 pieds, dans le rocher allant de la base du tube 18" jusqu'à 500' environ sous le sol. La troisième section sera en diamètre 16" et le trou restera découvert.

L'espace annulaire entre le tube 24", ou le trou foré à la rotation, le trou en 23" et le tubage 18" sera cimenté. Le sommet du 18" sera fermé avec une plaque sur bride. L'eau pompée sera évacuée par une rigole jusqu'à la rivière longeant le site.

EXEMPLE B (type n° 2)

Puits en terrain meuble

Les 3 puits à exécuter ci-après auront environ 500' de profondeur et comprendront :

- un tubage extérieur de DE = 16" allant de la surface du sol jusqu'au point indiqué dans une bonne couche de sable aquifère.

- un tubage intérieur de DI = 10" allant du sommet des crépines jusqu'à 1' au-dessus du sol. Le tubage intérieur sera équipé de tous accessoires permettant un bon centrage et sera solidarisé avec les crépines par un packer. L'espace annulaire entre les 2 tubages sera cimenté.

- on placera une crépine d'environ 10' de diamètre sur 30' de long en face des sables aquifères.

- l'eau pompée sera canalisée vers un bassin collecteur situé ...

## CHAPITRE A1-4.3 - TYPES DE PUITES

Il n'est pas possible de décrire ici tous les types de puits ou même la majorité de ceux qui sont faits habituellement. En cas de doute il est recommandé à l'auteur des spécifications de contacter un foreur ou un ingénieur expérimenté en captages pour connaître le type de puits qui a le plus de succès dans la région. Les paragraphes suivants décrivent plusieurs sortes de puits d'usage courant. Les puits revêtus et crépinés en béton ne sont pas décrits ici, bien que ce type d'ouvrage présente des avantages dans certains cas. En Californie et dans les états du Sud-Ouest, les doubles-tubages sont largement utilisés pour la construction des puits. Ce type de tubage est également connu sous la dénomination de "tuyau de poêle" ou de tubage "double paroi". Le tubage double paroi est valable pour forer en terrains hétérogènes et dépôts alluviaux manquant d'uniformité granulométrique. Le forage au câble avec boue, ou le forage au câble avec utilisation du tubage double-paroi ont fait leurs preuves dans de tels terrains. Le tubage est enfoncé par vérins hydrauliques, par battage, ou par combinaison des 2 méthodes.

Pour choisir le type de puits on pensera aux principes suivants :

1°/ Le puits doit être conçu de telle sorte qu'il interdise l'entrée d'eau polluée, polluable ou de mauvaise qualité.

2°/ Le puits doit être étanche vis à vis des eaux de surface et vis à vis de toutes les formations aquifères autres que celle que l'on veut capter.

3°/ Les matériaux utilisés pour construire le puits doivent être durables.

### 4.3.1 - Type 1 - Formation meubles bouillants

Si les terrains sont bouillants sur toute la hauteur du puits, dont la partie inférieure doit être crépinée, un seul tubage suffit. Il est recommandé toutefois que le vide créé pendant la construction à l'extérieur de la partie supérieure du tubage soit rempli avec de l'argile corroyée, du ciment ou du béton, pour réduire la probabilité de pollution à partir de la surface le long du tubage. Dans ce type de construction la crépine est fixée au tubage par un packer et elle peut être remontée si nécessaire.

### 4.3.2 - Type 2 - Terrains meubles bouillants

Si l'on recherche une protection contre la corrosion et la pollution supérieure à celle du type 1, on peut le faire en installant un tubage extérieur à

profondeur suffisante et en cimentant entre les 2 tubages. Les crépines seront placées par soupapage, par forage hydraulique, ou par remontée partielle du tubage pour découvrir les crépines en face de l'aquifère. La crépine est indépendante du tubage auquel elle est fixée par un packer, ce qui permet son retrait éventuel. Le tubage extérieur peut être supprimé si l'on travaille à la rotation ou à la circulation inverse, mais alors le diamètre du trou dépassera de 3 à 4" le diamètre extérieur des manchons du tubage de protection.

#### 4.3.3 - Type 3 - Terrains meubles, sables et graviers uniquement

Si l'on souhaite à la fois une protection du type 2 et la possibilité de retirer pour remplacement, les crépines vissées ou soudées à la base du tubage, on cimentera entre deux tubages extérieurs. Dans ce cas, le tubage intermédiaire tiendra lieu de tubage de protection. Le tube porte-crépine pourra être plus léger que le tube de protection. Si le tube porte-crépine ne remonte pas jusqu'en surface on placera un joint étanche entre celui-ci et le tubage de protection. Si l'on travaille à la rotation normale ou inverse tout ou partie du tubage externe peut être supprimé.

#### 4.3.4 - Type 4 - Formation meuble comprenant de l'argile des couches indurées, des schistes.

Quand l'aquifère se situe sous des argiles, schistes, couches indurées et autres matériaux non bouillants, on devra cimenter l'annulaire pour assurer l'étanchéité pendant la foration. Si un tubage provisoire est utilisé, il sera retiré complètement ou suffisamment pour que sa partie inférieure se situe à 5' au moins au-dessus de la couche non bouillante inférieure. Le coulis sera injecté jusqu'à la base de l'argile ou autre formation non bouillante en même temps que l'on retirera le tubage. Le type 3 est également applicable pour ces terrains si le tubage est retiré comme dans le type 4. Le tubage extérieur peut être supprimé en cas de travail à la rotation.

#### 4.3.5 - Type 5 - Formations meubles, puits gravillonnés

Ce type de puits peut être exécuté comme le type 3 sauf que le diamètre du tubage extérieur et la largeur de l'espace annulaire sont dimensionnés à l'origine pour la mise en place d'un filtre de gravillons. Après mise en place des gravillons et développement, on installe des tubes pour ajouter un complément de graviers dans l'annulaire qui est rempli de ciment, avec retrait simultané éventuel du tubage extérieur.

S'il est souhaitable de maintenir l'annulaire plein pour des travaux ultérieur sur le puits et que le puits est entièrement dans des sables et graviers boullants le ciment pourra être supprimé et le tubage extérieur servira de tube de protection. Dans ce cas son épaisseur sera choisie en conséquence. Dans les formations meubles non boullantes le tubage de protection sera enrobé de ciment. Si l'on travaille à la rotation le tubage extérieur peut être supprimé.

#### 4.3.6 - Type 6 - Terrains consolidés sous-jacents à des sables et graviers

Le puits à tubage unique traversant des formations rocheuses est fréquemment utilisé mais non recommandé. Si les matériaux meubles sont boullants, qu'il n'y a pas de problème de corrosion et en outre que le recouvrement est épais, l'adoption de ce type peut éventuellement constituer une économie. On ne l'utilisera jamais en terrains fissurés, dans des argiles et tous autres matériaux indurés relativement stables. Il est très difficile de placer un joint étanche entre tubage et rocher ce qui peut entraîner des arrivées de polluants ou de sable dans le puits. Le type n° 7 est nettement préférable.

En cas d'utilisation du type n° 6, nous suggérons d'introduire le texte suivant dans les spécifications :

Le tubage sera enfoncé jusqu'au toit du rocher et le trou pénétrera d'au moins 10' dans le rocher stable. La partie supérieure du trou effectué dans le rocher sera sous-alésée légèrement pour permettre l'enfoncement du sabot de tubage et les 10' inférieurs seront sous-alésés en diamètre suffisant pour que l'espace annulaire à cimenter atteigne au moins 2". La partie du trou dans le rocher sera alors remplie de ciment au moyen d'une cuiller de cimentation et le tubage enfoncé à sa position définitive. On ne reprendra pas la foration avant 72 heures après la pose du ciment.

On pratique communément l'enfoncement du tubage dans le rocher, sans sous-alésage espérant obtenir une bonne étanchéité par la cimentation. Cette pratique est toutefois mauvaise car : 1°/ le tubage ne pénètre pas suffisamment dans la roche dure et 2°/ on n'est pas certain d'injecter le ciment dans l'annulaire étroit et ainsi d'obtenir une bonne étanchéité.

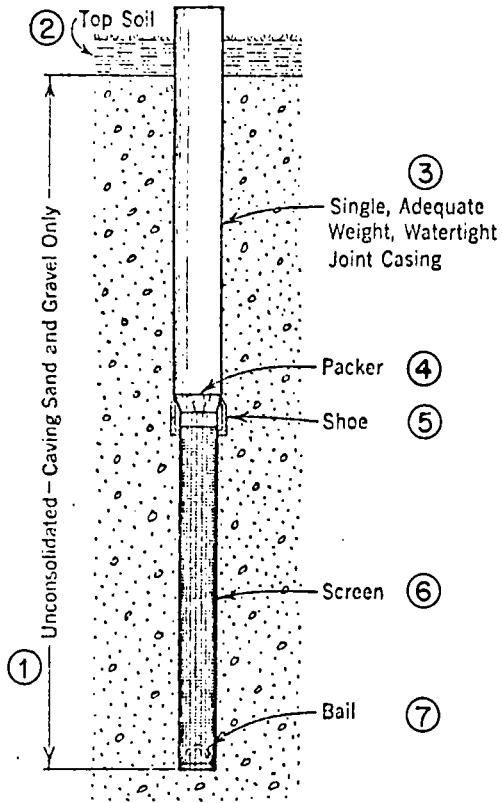
#### 4.3.7 - Type 7 - Terrains consolidés sous jacents à des argiles et tufs<sup>R</sup>

Pour des formations non boullantes et particulièrement lorsque la protection contre la corrosion est importante la cimentation du tubage est recommandée.

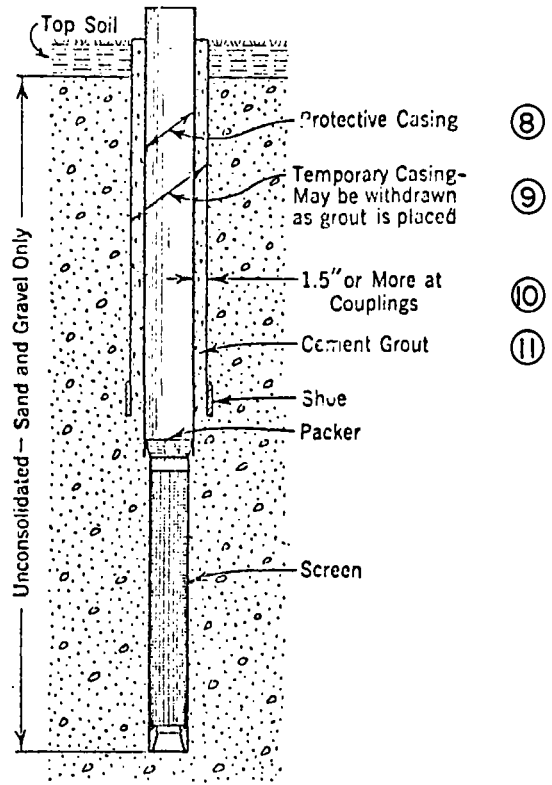
---

<sup>R</sup> Le terme "hardpan" a été traduit par tuf, selon la terminologie des pétroliers. Il s'agit d'une couche indurée par cimentation des grains, le plus souvent par du calcaire. Carapace, calcrete ou garluche pourraient convenir dans certains cas.

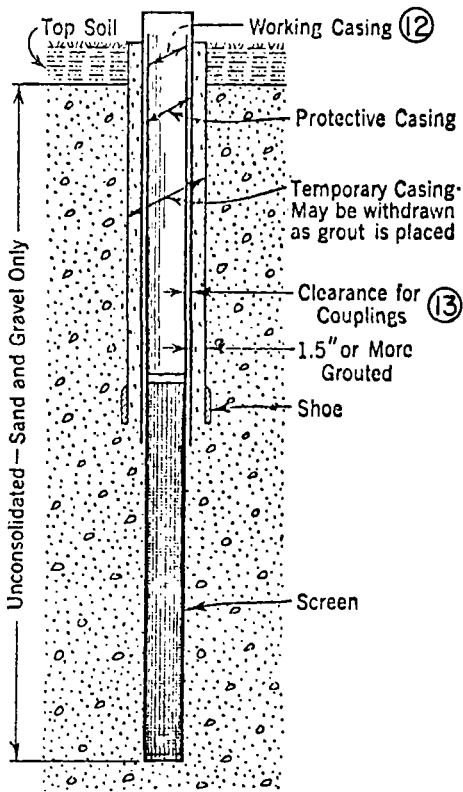




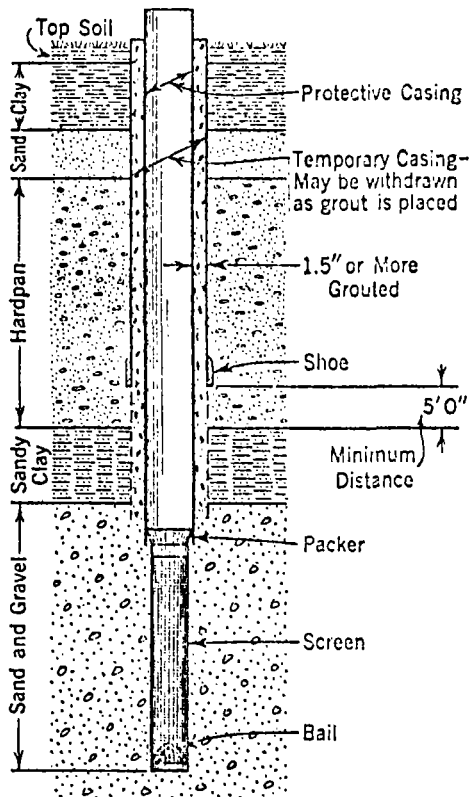
**TYPE 1**  
UNCONSOLIDATED FORMATION



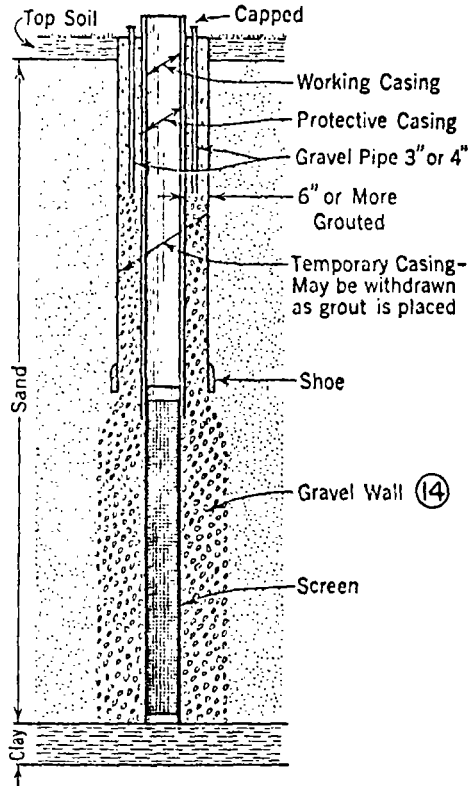
**TYPE 2**  
UNCONSOLIDATED FORMATION



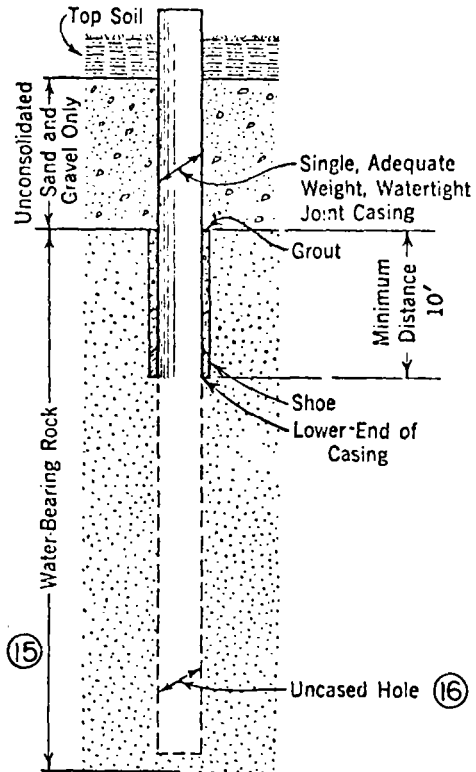
**TYPE 3**  
UNCONSOLIDATED FORMATION



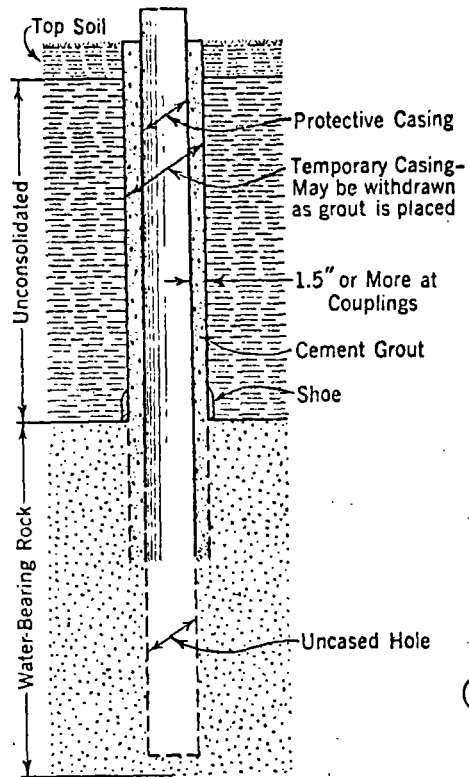
**TYPE 4**  
UNCONSOLIDATED FORMATION



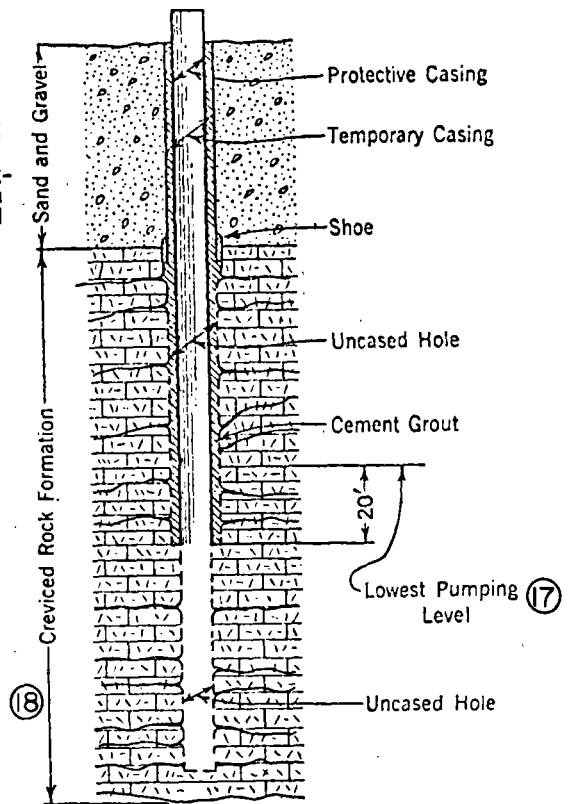
**TYPE 5**  
UNCONSOLIDATED FORMATION  
GRAVEL WALL



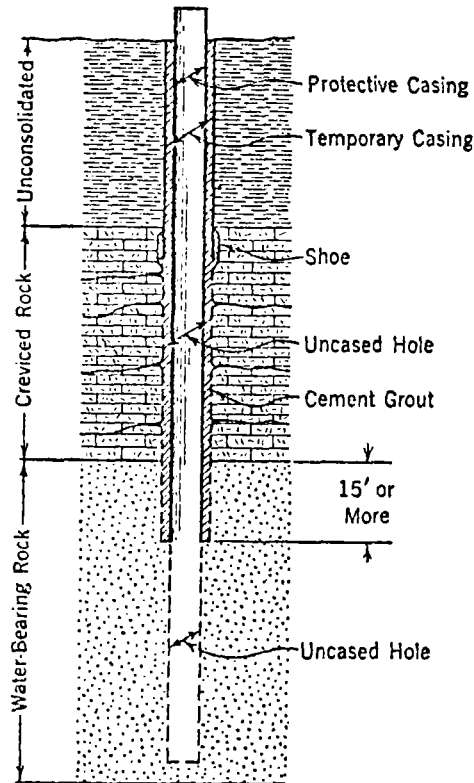
**TYPE 6**  
CONSOLIDATED FORMATION



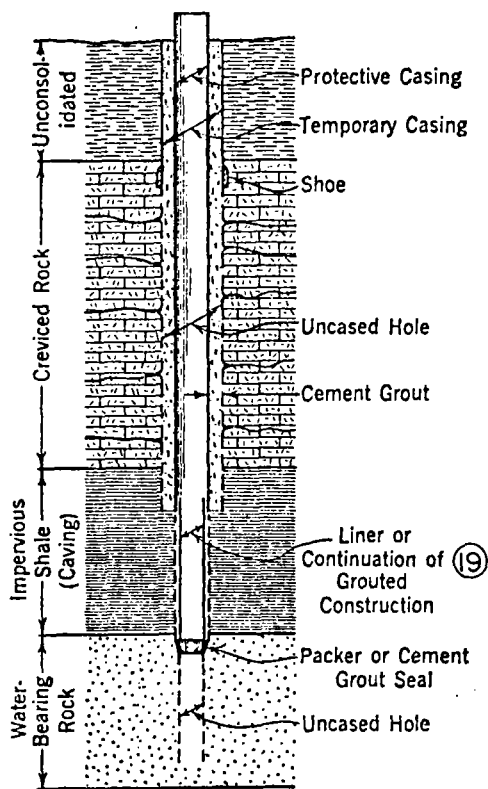
**TYPE 7**  
CONSOLIDATED FORMATION



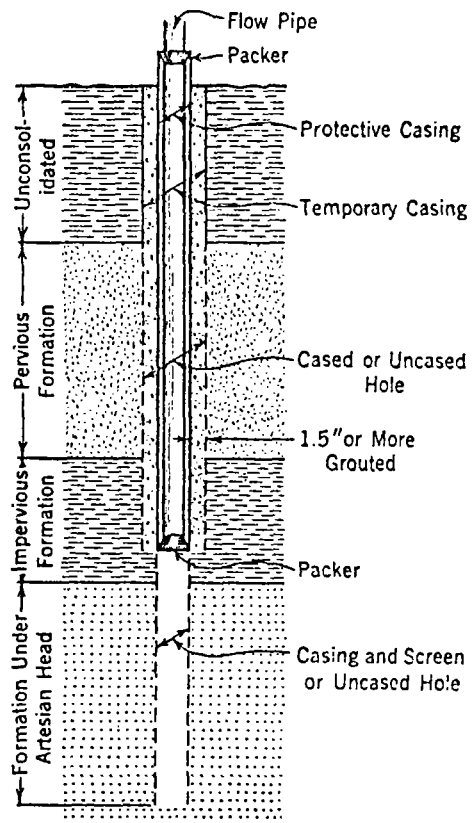
**TYPE 8**  
CONSOLIDATED FORMATION



**TYPE 9**  
CONSOLIDATED FORMATION



**TYPE 10**  
CONSOLIDATED FORMATION



**TYPE 11**  
ARTESIAN CONDITION

LEGENDE DES FIGURES

- 1/ - Terrain meuble boulant (cavable) sur toute la hauteur, sable et gravier.
- 2/ - Sol de couverture.
- 3/ - Tubage unique, à joints étanches, de poids convenable.
- 4/ - Packer.
- 5/ - Sabot.
- 6/ - Crépine.
- 7/ - Anse (du bouchon de pied).
- 8/ - Tubage de protection.
- 9/ - Tubage provisoire, à retirer éventuellement au fur et à mesure de la cimentation.
- 10/ - (Gaine de ciment) d'1,5" ou plus au droit de manchons.
- 11/ - Coulis (ou mortier) de ciment.
- 12/ - Tube de travail.
- 13/ - Jeu (ou espace) pour les manchons.
- 14/ - Massif de gravillons.
- 15/ - "Rocher" aquifère.
- 16/ - Trou non tubé (non revêtu).
- 17/ - Niveau dynamique maximal.
- 18/ - Rocher fissuré.
- 19/ - "Liner" (= poursuite de la gaine de ciment)

4.3.8 - Type 8 - Terrains consolidés à fissures, chenaux ou roches broyées

Les formations karstiques ou fracturées peuvent fournir de l'eau de qualité variable. On devrait éviter de s'y approvisionner à moins qu'elles ne soient recouvertes de terrains meubles sur une bonne épaisseur et sur une extension suffisante. Si des gouffres, des carrières, des affleurements ou des puits mal construits se situent sur ou à proximité du site, particulièrement dans la ligne de courant de la formation qui sera captée par le puits à construire, l'eau extraite devra être traitée en continu et la potabilité de l'eau sera régulièrement contrôlée. S'il y a une bonne couverture de matériaux meubles et que les puits non cimentés existants captent uniquement la partie supérieure de la formation, on peut obtenir une protection en allongeant la zone étanche des parois du puits à réaliser sur une profondeur plus grande que celle des puits existants les plus profonds. La section étanche descendra au moins à 20' au-dessous du niveau dynamique le plus bas sur les puits existants.

4.3.9 - Type 9 - Terrain consolidé, aquifère rocheux sous-jacent à des roches fissurées

Si l'on peut obtenir un approvisionnement d'eau satisfaisant à partir d'un terrain rocheux surmonté de roches fissurées, les roches fissurées seront complètement tubées et la gaine étanche descendra jusqu'à recouvrir la partie supérieure de la couche aquifère.

4.3.10 - Type 10 - Terrain consolidé, formation imperméable sous-jacente à un terrain fissuré

Si l'on sait qu'un imperméable continu sépare sur une grande surface une formation supérieure fissurée ou imprégnée d'eau contaminée, d'un aquifère inférieur, la pose d'un tubage dont le pied pénètre dans la partie supérieure de l'imperméable donnera une solution satisfaisante. Ce tubage sera cimenté. Si la formation imperméable est bouillante la pose d'un liner au droit de celle-ci et dans la formation stable sous-jacente sera nécessaire. La base de ce liner sera convenablement scellée ou posée dans un coulis de ciment, ou le liner sera cimenté sur toute sa hauteur. Pour éviter la réduction de diamètre due à l'emploi du liner, la cimentation pourra être prolongée sur toute la hauteur de l'imperméable bouillant.

#### 4.3.11 - Artésianisme - Puits éventuellement jaillissants

Si l'on projette un puits dans un aquifère jaillissant, il sera réalisé de telle sorte qu'il conserve la réserve et tienne la pression en interdisant les pertes d'eau dans les couches poreuses supérieures à charge plus faible ou par fuite vers la surface autour du tubage. Le puits sera également conçu de telle sorte que s'il est exploité, le débit puisse être contrôlé. De tels puits artésiens peuvent être correctement exploités aussi bien en terrains meubles qu'en terrains consolidés.

Dans l'exécution de ces puits les opérations de forages initiales atteindront, sans la traverser totalement, la formation imperméable surmontant l'aquifère sous pression. Le tubage de protection sera installé et l'annulaire sera cimenté en laissant une durée de prise assez large. La foration dans la formation artésienne pourra alors être reprise avec ou sans tubage de protection. Au cas où la nature de l'imperméable surmontant l'aquifère serait telle qu'il puisse être érodé par l'eau on aura soin de descendre le tubage jusqu'à l'aquifère.

Les appareils de contrôle du débit consistent en raccords avec vannes, tête de pompe étanche ou réservoirs de réception, situés à une altitude correspondante à celle de la pression d'artésianisme. Les moyens de vannage pourraient être automatiques si le contrôle manuel pour prévenir l'écoulement n'est pas commode. La vie d'un forage artésien, particulièrement si l'eau est corrosive peut être sérieusement prolongée par installation d'un tube d'évacuation remplaçable correctement fixé par des packers à la partie supérieure et inférieure du tubage.

### CHAPITRE A1-4.4 - METHODE DE CONSTRUCTION

Les puits sont habituellement exécutés par l'une des cinq méthodes suivantes : creusement, injection sous pression, sondage à la tarière, enfoncement de tubes à pointe filtrante, et foration.

Ces spécifications traitent largement les puits forés qui sont les plus répandus dans les approvisionnements d'eau publics. De nombreux puits sont réali-

sés par battage au cable ou forage à la percussion. La rotation conventionnelle ou la circulation inverse ont été largement utilisées au cours des années récentes. Il y a beaucoup d'avantages réels ou supposés à ces 2 méthodes. On recommande cependant de laisser le choix de la méthode à l'entrepreneur, à moins que le rédacteur des spécifications sache d'expérience, ou détermine d'après l'avis d'experts désintéressés connaissant bien la question localement, qu'une méthode particulière donnera des résultats supérieurs.

#### CHAPITRE A1-4.5 - PUITS D'ESSAI

Les puits ou forages d'essai ne diffèrent pas notablement des puits ou forages définitifs, sauf qu'ils sont habituellement plus petits, peuvent avoir des tubages plus légers et qu'ils ne sont généralement pas cimentés. En général on ne prend pas soin d'isoler les eaux indésirables ni de contrôler la verticalité. Les puits d'essai ne pénètrent généralement pas très loin dans les roches consolidées en raison du prix de la foration et de ce que l'exploration n'est généralement pas nécessaire sauf lorsque la géologie de la région n'est pas connue (les puits d'essai peuvent quelquefois être transformés en puits définitifs par alésage en plus grand diamètre).

Les puits d'essai sont largement répandus pour implanter les puits dans les terrains meubles. On les utilise pour localiser des sites de puits ou pour savoir si en un point donné on pourra obtenir le débit demandé.

Les puits d'essai sont valables à titre d'information pour déterminer la bonne profondeur des puits définitifs, le meilleur emplacement pour placer les crépines, la dimension des ouvertures et autres renseignements. (Lorsqu'on travaille à la rotation conventionnelle ou inverse, on transforme plus fréquemment ces puits en version définitive par alésage et sous alésage). L'interprétation des résultats de puits d'essai requiert une expérience et un savoir approfondis des procédés et principes de forage.

Comme un puits d'essai peut favoriser l'entrée de l'eau de surface ou d'une eau mauvaise dans les formations qui donnent de l'eau potable, on prendra

soin de colmater tous les puits d'essai aussitôt qu'ils auront rempli leur rôle de moyens exploratoires. Le remplissage sera effectué avec de l'argile corroyée ou du coulis de ciment.

#### CHAPITRE A1-4.6 - DEVELOPPEMENT

Les puits en terrains meubles sont fréquemment développés par l'une des méthodes ci-après ou par plusieurs méthodes combinées : soupapage, surpompage, pompage intermittent, agitation avec un piston, agitation à l'air comprimé et rétrolavage à l'eau. Les puits en terrains consolidés ne sont généralement pas développés, mais il est évident que l'effet de développement, au moins dans certaines formations contribuera à augmenter le débit. Les commentaires ci-après ont trait uniquement aux formations meubles.

Il est difficile de spécifier exactement la méthode de développement à suivre à moins que l'auteur des spécifications soit un expert de terrain dans ce domaine et sache par expérience comment réagit au développement telle formation particulière. Le débit du puits peut être perdu ou largement diminué par un surdéveloppement. D'autre part, beaucoup de puits seront des "cracheurs de sable" ou débiteront seulement une fraction de leur potentiel s'ils ne sont pas bien développés. Les méthodes de développement diffèrent avec les aquifères, avec les entreprises et avec les foreurs.

Il ne suffit pas d'écrire dans les spécifications que le puits devra être développé parce que certains pourraient se contenter de promener une soupape de bas en haut dans le puits pendant quelque temps en provoquant un peu d'agitation et appeler cela un développement. Si l'on n'a pas de méthode particulière à présenter, nous suggérons une clause générale du type suivant :

L'entrepreneur fournira tout matériel nécessaire, pompes, compresseurs, pistons, soupapes, et autres équipements, dont il aurait besoin, et il développera le puits par les méthodes reconnues les plus adaptées à donner le débit spécifique maximal et à extraire de l'aquifère le volume maximal de sable correspondant à celui susceptible de passer à travers les crépines, pendant toute la vie du puits, celui-ci étant en pompage au rabattement maximum.



CHAPITRE A1-4.7 - GRAVILLONNAGE

Comme pour le développement, le novice ne spécifiera les méthodes de gravillonnage. Les puits gravillonnés sont également connus sous les appellations : "avec filtre de gravier" ou "puits à parois gravillonnées". Le gravillonnage est le processus par lequel des gravillons sélectionnés sont placés entre l'extérieur de la crépine et la paroi du trou dans le terrain aquifère non perturbé. On l'utilise spécialement dans le développement des formations composées de matériel fin à granulométrie uniforme. On met en oeuvre les procédés habituels de développement, soit pendant, soit après le gravillonnage pour enlever les fines jusqu'à stabilisation des gravillons injectés. Lors du développement d'un puits équipé d'une crépine, dont les ouvertures ont été correctement choisies, qui prend l'eau d'un aquifère constitué de grains grossiers et fins, il apparaît un réarrangement naturel des grains de la formation. Les particules grossières tendent à se grouper autour de la face externe de la crépine puisque les particules fines sont enlevées de la section adjacente à ces crépines. Ce processus s'appelle parfois "gravillonnage naturel".

Voici un exemple de spécifications pour gravillonnage d'un puits exécuté par enfoncement d'un tubage avec battage au câble :

Après descente du tubage sur toute la hauteur du puits et de la crépine à sa position convenable un massif de gravillons sera mis en place autour de la crépine et dans l'espace annulaire entre tube interne et externe du pied de la crépine à 20' au-dessous du niveau du sol. Pour cela on utilisera exclusivement du gravier propre composé de particules bien arrondies. La dimension du gravier sera choisie avec soin en fonction de la granulométrie de la formation à gravillonner.

Le gravier à mettre en place dans la tranchée comprise entre le pied de la crépine et le pied du tubage externe à sa position définitive sera placé par couches successives de 2' avec retrait corrélatif du tubage.

CHAPITRE A1-4.8 - GRAVILLONNAGE NATUREL OU ARTIFICIEL DES PUIITS FORES A LA ROTA-  
CONVENTIONNELLE OU INVERSE

4.8.1 - Forages à la rotation conventionnelle

Le forage à la rotation conventionnelle se fait par rotation de l'outil de forage vissé à la base d'un train de tiges. Les cuttings sont évacués en pression par un fluide de forage envoyé vers le fond dans les tiges au moyen d'une pompe dont le débit doit être suffisant pour remonter le fluide et les cuttings à l'extérieur des tiges jusqu'à la surface.

Pour éviter le cavage, un mélange d'argile en proportion adéquate est introduit dans l'eau de forage jusqu'à obtention du fluide à la consistance voulue. Ce fluide est envoyé en pression dans le puits pour tenir les formations en place. Ce maintien en place des terrains est effectif en raison de la pression du fluide qui s'oppose à la pression hydrostatique des formations, évitant ainsi le cavage et contrôlant les débits artésiens. Les matériaux étrangers ou les boues sont enlevées lors du développement de l'aquifère. Le fluide de forage a non seulement pour fonction de lubrifier et de refroidir l'outil mais également celle de remonter les cuttings au jour à l'extérieur du train de tiges. Cette évacuation des cuttings est effective en raison de la vitesse du fluide dans l'annulaire, de sa densité, de sa viscosité et de la forme des cuttings. A la surface du sol, le fluide transportant les cuttings est dirigé vers un bac où les cuttings sont retirés et la boue chargée déborde vers un bac de reprise pour être repompée dans le puits à travers le train de tiges.

Les avantages de la rotation sur la percussion dans certains terrains et circonstances sont les suivants :

1°/ Possibilité de faire des trous plus profonds.

2°/ Essais réalisables plus rapidement avec un minimum de frais et retrait plus facile du tubage.

3°/ Après essai de puits les tubages perforés ou les crépines peuvent être installés aux profondeurs désirées et l'eau peut être extraite de tous les horizons choisis.

4°/ La plupart des terrains meubles peuvent être forés à moindre frais.

#### 4.8.2 - Circulation inverse

En circulation inverse, le fluide circule en sens inverse de la rotation conventionnelle. En d'autres termes le fluide est envoyé dans l'espace annulaire autour du train de tiges et des outils. Le fluide et les cuttings sont pompés hors du puits par l'intérieur de l'outil et des tiges. Normalement on n'emploie pas de boue à moins qu'on ne traverse des formations bouillantes. Les parois du trou sont habituellement maintenues par la pression hydrostatique de l'eau seulement. Il n'est pas souhaitable que le niveau piézométrique de l'eau dans le puits soit élevé car la faible différence de pression qui en découle provoque quelques difficultés pour la remontée des cuttings. On surmonte ce problème en créant une pression artificielle.

Les avantages de la circulation inverse sur la rotation conventionnelle sont les suivants :

1°/ Habituellement les grands trous peuvent être forés plus économiquement.

2°/ La durée de développement est réduite car normalement aucun matériau étranger n'est injecté dans l'aquifère ; aussi la formation est-elle développée dans son état naturel.

L'inconvénient du forage en circulation inverse c'est que l'on ne peut pas forer aussi profond qu'en rotation conventionnelle, généralement pas plus de 300'. Aux profondeurs plus grandes on termine quelquefois en complétant le pompage par injection d'air comprimé dans le train de tiges.

#### 4.8.3 - Foration

Il importe en forage à la rotation, spécialement en circulation inverse, de maintenir le fluide de forage en circulation continue jusqu'à ce que le puits soit tubé. Ceci prévient le cavage des matériaux meubles du trou. Si le représentant du maître d'ouvrage estime que la circulation 24 heures sur 24 s'impose, il ajoutera au chapitre 1.3 un § du type ci-après :

La foration sera faite avec une sondeuse rotative de première classe approuvée par le représentant du maître d'ouvrage. On fera circuler le fluide de forage sur la base de 24 heures sur 24. On ne tolèrera pas les retards injustifiés non plus que les arrêts de travail dûs à la négligence ou à des fautes d'opérations de la part de l'entrepreneur. L'entrepreneur sera tenu pour responsable et des retenues sur paiement pourront être effectuées si le puits est endommagé par négligence et fautes d'opérations.

Remarque : La circulation 24 heures sur 24 est un sujet laissé normalement à l'appréciation de l'entrepreneur. Dans beaucoup de cas la circulation continue ne s'impose pas et de plus, si le trou s'éboule, l'entrepreneur doit habituellement réaliser à ses frais les travaux pour y remédier.

Le paragraphe suivant devrait également être inséré dans les spécifications :

L'équipement sera adapté et en bon état de telle sorte que les travaux puissent être conduits sans interruption. Des masses-tiges de longueur et dimension suffisantes seront utilisées pour maintenir une bonne verticalité.

Si le puits est foré dans une zone résidentielle, on pourra également ajouter ceci :

L'entrepreneur veillera à réduire au maximum le bruit des opérations. Ceci implique la pose d'un silencieux efficace sur l'échappement du moteur (si l'on utilise un moteur) et le raccordement du pot d'échappement à un bac enterré.

Comme, avec la rotation conventionnelle et même plus avec la rotation inverse, on aura besoin d'un bon volume d'eau pour prévenir l'éboulement du trou, le représentant du maître d'ouvrage précisera au chapitre 1-14 le ou les points d'eau acceptables disponibles et indiquera si l'entrepreneur doit ou non prendre en charge à ses frais l'approvisionnement en eau. Le représentant du maître d'ouvrage doit réaliser que le forage à la rotation implique un terrain suffisamment étendu pour l'installation des bassins de décantation et de reprise.

#### 4.8.4 - Fluide de foration ou boue

La nature et la viscosité du fluide utilisé pour le puits d'essai ou le puits définitif n'a pas de conséquence particulière pour le maître d'ouvrage, car un foreur sérieux maintiendra la densité qui convient à la remontée des cuttings et à la lubrification des outils. Le contrôle des caractéristiques du fluide doit être sous la responsabilité de l'entrepreneur. Des conditions prescrites comme la nature ou la viscosité du fluide peuvent non seulement retarder les opérations mais encore entraîner des renseignements imprécis sur la coupe géologique et la perte d'eau.

Les spécifications générales ci-après suffiront dans la plupart des cas et elles pourront être insérées ainsi au chapitre 1-3 :

On suivra avec une attention particulière la densité et les caractéristiques de la boue utilisée, de telle sorte que la productivité des aquifères n'en soit pas altérée.

#### 4.8.5 - Forage d'essai

Il peut être souhaitable de forer un puits d'essai ou un trou de reconnaissance pour déterminer l'emplacement et la dimension des ouvertures de crépines, ou les perforations et autres caractéristiques avant réalisation du puits de production.

Si le puits d'essai est utilisé comme puits d'observations, il devra être équipé de crépines, tubages, cimentations, etc ... de la même façon qu'un puits définitif. Habituellement on fait cela avant de forer le puits définitif parce que l'afflux de l'eau traversant le puits d'essai est accéléré quand le puits de production est exécuté et ceci peut entraîner une perturbation de la formation et affecter le développement du puits de production. Egalement le pompage dans le puits de production peut causer l'éboulement du puits d'essai. Si le puits de reconnaissance doit être alésé et transformé en puits définitif une spécification du type suivant pourrait être insérée au chapitre 1-3 :

Le forage d'essai, ou trou de reconnaissance, sera foré en ..." à la profondeur approximative de ...'. Pendant la foration du forage d'essai une coupe soignée et précise sera élaborée où l'on indiquera la profondeur à laquelle chaque formation est rencontrée, la description de la formation et les pertes éventuelles de fluide. Des échantillons de terrain seront prélevés à chaque intervalle de ...' et à chaque changement de formation. Les échantillons seront placés dans des caisses avec étiquettes indiquant la profondeur de provenance de l'échantillon.

Le forage d'essai sera ensuite alésé entre la profondeur du pied de tubage de protection et la profondeur à laquelle le puits doit être terminé au diamètre de ...".

L'alésage sera effectué en autant de passages que l'entrepreneur le voudra. L'équipement utilisé pour l'alésage comprendra un outil pilote de même diamètre que le forage à aléser pour assurer un alignement correct.

Remarque : Il peut être souhaitable dans certains cas d'aléser le puits en 2 diamètres, la tranche supérieure étant en plus grand diamètre que la tranche inférieure (voir chapitre A1-4.5).

#### 4.8.6 - Pose du tubage

Après achèvement du forage de reconnaissance, on installera le tubage. La base du tubage, ou du tubage et crépine associés, seront tenus légèrement au-dessus du trou alésé par suspension du tubage en surface jusqu'à ce que le gravier soit placé. En cas de réduction entre les parties supérieure et inférieure du tubage, les deux dimensions seront reliées par un raccord conique d'au moins 3' de long qui sera soudé à chaque extrémité sur les tubages (à insérer sous le chapitre 1-3).

#### 4.8.7 - Centreurs

Les tubages seront centrés de telle sorte que la colonne complète soit rectiligne et verticale. Les tubages seront équipés de centreurs adaptés, placés aux endroits indiqués par le représentant du maître d'ouvrage, et jamais espacés de plus de 50' (à insérer sous le chapitre 1-3).

#### 4.8.8 - Graviers

Le type et le calibre des gravillons à utiliser dépendra de la formation à développer. A moins que les caractéristiques d'une formation particulière soient bien connues, le calibre ne sera pas spécifié avant analyse des échantillons.

Voici le type de spécifications utilisable :

Le gravier sera propre, arrondi, lavé, provenant de quartz ou de granite, exempt d'argile, silt et autres matériaux indésirables. Le calibre sera déterminé par le représentant du maître d'ouvrage et l'entrepreneur lorsque les échantillons du terrain aquifère auront été prélevés et analysés. On approvisionnera suffisamment de gravillons pour le remplissage initial du puits et addition des compléments susceptibles d'être injectés durant le pistonnage et le développement. La viscosité du fluide sera maintenue aussi basse que possible pendant le gravillonnage.

#### 4.8.9 - Gravillonnage

Après installation du tubage centré, on introduira de l'eau dans le fluide de circulation pour alléger correctement la boue sans mettre en danger la tenue des parois. Dans la plupart des cas cette dilution peut être poussée jusqu'à ce que le fluide ait à peu près la consistance de l'eau. L'espace annulaire sera soigneusement et complètement rempli de gravillons. Un contrôle constant doit être fait pour déterminer la position réelle du gravier. Il faut calculer et enregistrer soigneusement le volume de gravillons introduit dans l'annulaire du puits pour le comparer avec le volume total exigé pour un gravillonnage correct. On gravillonnera en faisant circuler le fluide en continu (à insérer sous le chapitre 1-3).

Remarque : Si la circulation inverse est appliquée, normalement on ne fera pas référence à la "boue" ou au "fluide".

#### 4.8.10 - Installation du tubage de protection

Les longueur, diamètre, épaisseur et type du tubage de protection du tube d'exhaure, du tube extérieur, ou tube d'isolement de l'eau de surface, comme on l'appelle parfois, devront être insérés sous le chapitre 1-2.1. Voici une spé-

cification utilisable pour l'installation de ce tubage et de la gaine protectrice de ciment :

Le diamètre du trou alésé pour l'installation du tube extérieur aura au moins 6" de plus que celui du tube à installer. Le trou sera fait de la surface du sol jusqu'à la profondeur à laquelle doit se situer la base du tube extérieur. Le tubage de protection sera ensuite cimenté en place par la méthode décrite au chapitre A1-8.4.2.1.

Remarque : 1°/ Il est bon d'asseoir la base du tubage dans une formation imperméable, ce qui n'est toutefois pas toujours possible.

2°/ D'autres méthodes de cimentation du tubage de protection que celle indiquée ci-dessus sont décrites en A1-4 et A1-8.4.

#### 4.8.11 - Crépines

Les crépines et leur installation sont décrites aux chapitres 1.2 et A1-4 et A1-6. Si l'on utilise un tube perforé, les trous seront faits avant l'installation du tubage sur la tranche correspondante à l'aquifère préalablement positionnée au cours de la reconnaissance. Les types habituels de perforation sont :

1°/ Perforations fraisées, faites par fraisage du métal du tube en choisissant les longueurs, les dimensions et espacements désirés.

2°/ Perforations à l'emporte pièce faites par poinçonnement du métal de tubage pour obtenir des fentes à bords francs de dimensions et espacement choisis (la largeur des fentes ne devra pas excéder celle de l'épaisseur du tubage).

3°/ Perforation au burin, on prend le métal sur la longueur, la largeur et selon l'espacement désiré.

4°/ Perforations au chalumeau, faites par chalumeau à acétylène.

On doit généralement éviter les fentes au chalumeau ou toutes les autres faites sur place parce qu'il n'est pas possible par ces méthodes d'obtenir des ouvertures vraiment régulières. Le type de perforation désiré sera indiqué dans le chapitre 1.3.

La dimension et le type de fente doivent s'adapter à la granulométrie des gravillons, aux caractéristiques de l'aquifère, au débit à produire et à la vitesse d'entrée de l'eau dans le puits. Les fentes que l'on peut obtenir chez la plupart des fournisseurs s'étalent entre 3/32 et 5/16 de pouce (2,4 à 7,9 mm) et 2 à 3" de longueur. L'espacement des fentes sera tel que la crépine gardera une résistance suffisante à l'écrasement (voir chapitre A1-6.5).

## CHAPITRE A1-5 - TUBAGES

(Voir chapitre 1.2 des spécifications)

### CHAPITRE A1-5.1 - GENERALITES

Ce chapitre expose les objectifs des tubages et les matériaux utilisés. Les différentes conditions de tubage pour divers types de construction et divers types de terrains sont présentées au chapitre A1-4.

### CHAPITRE A1-5.2 - ROLE DES TUBAGES

Les tubages et liners ont le double objectif d'isolation du puits vis à vis des eaux contaminées et mauvaises et de maintenir une ouverture entre la surface et les aquifères.

### CHAPITRE A1-5.3 - MATERIAUX DES TUBAGES

#### 5.3.1 - Matériaux habituellement employés

Les matériaux communément employés pour les tubages et liners sont le fer étiré, l'acier ou les alliages d'acier et l'acier extra doux. L'usage de la fonte décroît. Les tuyaux de ciment et tuyaux émaillés sur les métaux ci-dessus sont disponibles et valables pour certains puits.

Les tuyaux de cuivre ou d'asbeste ciment ont également été utilisés.

L'emploi de l'acier cuivré et de l'acier avec cuivre et nickel ne s'est pas répandu. D'autres alliages tels que l'acier inox sont valables mais leur coût est prohibitif. Les tubes en acier extra doux s'emploient fréquemment dans les puits gravillonnés ou autres puits de grand diamètre (le lecteur se reportera aux notes du Bureau of Standards Researchs n° 95, 329, 359, 638 et Technical Paper 368 pour s'informer sur les recherches de l'effet des sols sur les métaux). Des tuyaux et crépines en bétons ont été fréquemment utilisés et avec succès.



#### 5.3.1.1 - Tuyaux de cuivre

Les catalogues de fabricants proposent des tubes de cuivre étiré jusqu'à 8". On peut obtenir les caractéristiques de ces tubes et celles des plus grandes dimensions auprès des fabricants et revendeurs.

#### 5.3.1.2 - Acier extra-doux

Les tubes en acier extra-doux existent en grand diamètre, en tôle roulée, rivetée, avec raccords.

#### 5.3.1.3 - Tubes en amiante ciment

Ce matériel convient pour les tubages de protection. En raison du type de construction par joint coulissant, son usage est limité aux faibles profondeurs, à moins que le tubage soit soutenu à la base par suspension.

#### 5.3.1.4 - Tubes revêtus

Il existe des tubes avec revêtements divers pour protection contre la corrosion. Ces revêtements comprennent le ciment, les enduits porcelanés, vitreux, bitumineux ou de caoutchouc. Au cours des manipulations, il convient de prendre soin d'éviter les éraflures et détériorations du revêtement, surtout au cours des opérations de forage et d'équipements de pompage. Les revêtements mous ne sont pas recommandés pour les tubages de forage.

#### 5.3.2 - Points à considérer

Pour choisir le type de tubes, il faut prendre en considération les contraintes auxquelles ceux-ci seront soumis au cours de l'installation et la corrosivité de l'eau avec laquelle ils seront en contact. Evidemment les tubes en fer doux, en cuivre ou revêtus ne devront pas être battus. Mais ces matériaux méritent d'être pris en considération lorsque le type de construction permet leur mise en place dans de bonnes conditions. Pour les autres matériaux, fer étiré et acier ont donné des services satisfaisants dans beaucoup de cas.

TABLEAU 1

Tubes en acier noir ou galvanisé (1)

A Size in.	B Diameter—in.		C Thickness† in.	D Weight per Foot—lb† (3)	
	External	Internal		a Plain Ends (Calculated)	b With Threads and Couplings‡ (Nominal)
6	6.625	6.065	0.280	18.97	19.18
8	8.625	8.249	0.188	16.90	17.80
8	8.625	8.071	0.277	24.70	25.55
8	8.625	7.981	0.322	28.55	29.35
10	10.750	10.192	0.279	31.20	32.75
10	10.750	10.136	0.307	34.24	35.75
10	10.750	10.020	0.365#	40.48	41.85
12	12.750	12.090	0.330	43.77	45.45
12	12.750	12.000	0.375#	49.56	51.15
14	14.000	13.500	0.250	36.71	
14	14.000	13.250	0.375#	51.57	57.00
16	16.000	15.376	0.312	52.36	
16	16.000	15.250	0.375#	62.58	65.30
18	18.000	17.376	0.312	59.03	
18	18.000	17.250	0.375#	70.59	73.00
20	20.000	19.376	0.312	65.71	
20	20.000	19.250	0.375#	78.60	81.00
22	22.000	21.376	0.312	72.38	
22	22.000	21.250	0.375	86.61	
22	22.000	21.000	0.500#	114.81	
24	24.000	23.376	0.312	79.06	
24	24.000	23.250	0.375	94.62	
24	24.000	23.000	0.500#	125.49	
26	26.000	25.376	0.312	85.73	
26	26.000	25.000	0.500#	136.17	
28	28.000	27.376	0.312	92.41	
28	28.000	27.000	0.500#	146.85	
30	30.000	29.376	0.312	99.08	
30	30.000	29.000	0.500#	157.53	
32	32.000	31.376	0.312	105.76	
32	32.000	31.000	0.500#	168.21	
34	34.000	33.376	0.312	112.43	
34	34.000	33.000	0.500#	178.89	
36	36.000	35.376	0.312	119.11	
36	36.000	35.000	0.500#	189.57	

A Dimension en " ; B Diamètre externe, interne, en " ; C Epaisseur (2) en " ; D Poids par pied, en livres (3) a/ sans filetages (calculé) ; b/ avec filetages et raccords (4) .

- (1) Les tubes galvanisés en 6 à 12" inclus existent dans la norme ASTM - A 120. On peut trouver des dimensions supérieures en accord avec le fabricant.
- (2) Le choix de l'épaisseur dépend des conditions d'installation, les épaisseurs supérieures sont indiquées pour des conditions de service difficiles. On fabrique et on commercialise beaucoup d'autres épaisseurs. Au-dessus de 20", les tubes sont fréquemment soudés à l'électricité. Les normes usuelles pour l'acier sont ASTM - A 53, A 120, A 134, A 135, A 139, A 211 ; API (Américain

Petroleum Institute) 5L, 5LX ; Normes des laboratoires de garantie 888 ; AWWA C 201, C 202.

- (3) Les tolérances de fabrication en poids sont de 10 % en plus et de 3,5 % en moins pour les tubes de 6 à 20" et de  $\pm 10$  % pour les plus grandes dimensions.
- (4) La masse nominale des tubes avec filetages et manchons (basée sur des longueurs de 20', manchon compris) sont indiquées en vue des spécifications.

// Le tube fileté dans cette dimension n'existe habituellement qu'en filetage réservé aux tubes pour forages d'eau (conicité de 3/8" par pied, 1 1/2 filets par pouce).

# L'épaisseur indiquée est pratiquement la meilleure. Si les conditions liées aux terrains et à l'eau sont exceptionnellement favorables, un tube léger pourra être utilisé si les spécifications du fournisseur le permettent.

Remarque : On préconise les joints soudés au-dessus de 20" de diamètre, de même que pour les dimensions inférieures pour obtenir une gaine de ciment d'épaisseur uniforme.

TABLEAU 2

Tubes en fer étiré, noir ou galvanisé (1)

Size in	Diameter—in.		Thickness in.	D Weight per Foot—lb† (2)	
	External	Internal		Plain Ends (Calculated)	With Threads and Couplings‡ (3)
6	6.625	6.053	0.286	18.97	19.45
8	8.625	7.967	0.329	28.55	29.35
10	10.750	10.005	0.372	40.48	41.85
12	12.750	11.985	0.383	49.56	51.15
14	14.000	13.234	0.383	54.56	57.00
16	16.000	15.234	0.383	62.58	65.30
18	18.000	17.165	0.417	76.84	81.20
20	20.000	19.125	0.438	89.63	94.38
20	20.000	19.000	0.500§	102.10	106.62
22	22.000	21.125	0.438	98.77	
22	22.000	21.000	0.500§	112.57	
24	24.000	23.125	0.438	107.96	
24	24.000	23.000	0.500§	123.04	
26	26.000	25.125	0.438	117.12	
26	26.000	25.000	0.500§	133.51	
28	28.000	27.125	0.438	126.27	
28	28.000	27.000	0.500§	143.99	
30	30.000	29.125	0.438	135.42	
30	30.000	29.000	0.500§	154.46	

D Poids par pied (en livres) (2) a/ sans filetages (calculé) b/ avec filetage et raccords (3).

(1) En 6 à 12", diamètres d'après ASTM A 72, poids d'après les spécifications des fabricants de tubes en fer étiré ; de 14 à 20" diamètres et poids d'après les spécifications des fabricants ; de 22 à 30" diamètres et poids d'après les spécifications des fabricants de gros tubes en fer étiré. En 14" et au-dessus, il existe des épaisseurs autres que celles énumérées.

(2) (voir note (3) du tableau 1)

(3) Basée sur des longueurs de 20', raccord compris ; les tubes filetés ont 8 filets par pouce.

§ (voir note # du tableau 1).

Remarque : (voir remarque du tableau 1).

TABLEAU 3

Grade minimal proposé pour jeux de double-tubage

A Casing Diameter in	B Maximum Depth of Excavation—ft						
	100	200	300	400	500	750	1,000
8	12	12	12	12	12	—	—
10	12	12	10	10	10	—	—
12	12	10	10	8	8	8	8
14	10	10	8	8	8	8	8
16	10	8	8	8	8	8	8
18	10	8	8	8	8	8	6
20	8	8	8	8	8	6	6
24	8	6	6	6	6	6	6
30	6	6	6	—	—	—	—

} C

TABLEAU 4

Pression d'écrasement théorique pour jeux de double-tubage

Casing Diameter in	C Casing Gage							
	12		10		8		6	
	Excav. Depth ft	Pressure Psi	Excav. Depth ft	Pressure Psi	Excav. Depth ft	Pressure Psi	Excav. Depth ft	Pressure Psi
8	694	300	1540	670	—	—	—	—
10	353	153	780	339	—	—	—	—
12	204	88	450	196	780	339	—	—
14	127	55	280	122	500	216	—	—
16	85	37	188	81	336	146	552	240
18	60	26	130	60	239	104	388	168
20	43	18	96	41	170	73	280	122
22	—	—	72	31	127	55	212	92
24	—	—	56	24	96	41	163	71
26	—	—	43	18	78	34	127	55
30	—	—	28	12	50	21	83	36

D

A Diamètre du tubage (en pouces) ; B Profondeur maximale d'excavation ;  
C Grade (= nuance d'acier) du tubage ; D Pression (d'écrasement) en livre par  
pouce carré.

#### CHAPITRE A1-5.4 - POIDS DES TUBES EN ACIER ET FER ETIRE

Dans l'élaboration des spécifications il est important de fixer la masse nominale des tubes. Il en existe beaucoup selon les divers fabricants et la désignation d'un tube uniquement par son diamètre ne suffit pas.

Les tableaux 1 et 2 présentent les caractéristiques des tubes en acier et fer étiré recommandés pour les tubages définitifs. Des tubes plus légers peuvent convenir dans certains puits en utilisation temporaire, mais également définitive si les bureaux de réglementation donnent leur approbation.

On a parfois intérêt à utiliser des tubes de diamètre impair et de poids différents de ceux énumérés aux tableaux 1 et 2 pour obtenir une réduction minimale du diamètre du trou.

Les tableaux 3 et 4 présentent les grades \* minimaux pour différents diamètres et profondeurs de puits et les pressions théoriques d'écrasement pour divers grades de jeux de double-tubage.

Le choix du grade pour les doubles-tubages est déterminé principalement par la différence des niveaux de l'eau à l'intérieur et à l'extérieur du tubage pendant les opérations normales de foration, développement et pompage. En outre, le tubage doit être assez fort pour résister aux efforts et contraintes du battage ou de la traction à la remontée.

Le tableau 4 donne à titre indicatif la pression théorique d'écrasement en livre par pouce carré et pied, l'eau pour double tubage. En pratique, les pressions sont généralement limitées approximativement aux 2/3 de ces valeurs pour prendre une marge de sécurité.

---

\* Grade : nuance d'acier.

---

Note du traducteur : 1 pound-force (livre-force) = lbf = 0,45359 kgf ;  
1 kgf = 2,20462 lbf. 1 square-inch (pouce carré) = sq.in = 6,4516 cm<sup>2</sup> ;  
1 cm<sup>2</sup> = 0,155 sq.in. 1 pound-force per square-inch = psi = 0,0689476 bar =  
0,070307 kgf/cm<sup>2</sup>. 1 bar = 14,5038 psi ; 1 kgf/cm<sup>2</sup> = 14,2233 psi.

#### CHAPITRE A1-5.5 - JOINTS DE TUBAGES

Pour les tubages utilisés comme protection contre la contamination, les joints devront être soudés ou assemblés avec des manchons filetés. Les joints des tubes provisoires ou de construction peuvent être rivés. Les raccords par soudure bout à bout des tubes ont la faveur de beaucoup de sondeurs mais pas celle des fabricants. Les tubes revêtus ont des joints à brides.

Les tubes doubles sont constitués d'un élément intérieur et d'un élément extérieur, chacun de 4' de long. Les "sutures" longitudinales de ces éléments sont soudées de façon à ce que l'élément extérieur enveloppe d'assez près le tube intérieur. Les extrémités sont rectifiées perpendiculairement à l'axe longitudinal pour obtenir un bon assemblage. Les joints circulaires des éléments internes sont placés à mi-distance des joints circulaires des éléments externes. Après assemblage, chaque joint circulaire extérieur est soudé électriquement. Des points de soudure sont faits à travers l'élément extérieur vers l'élément interne.

#### CHAPITRE A1-5.6 - COLONNES DE TUBES

La colonne de tubes de protection d'un puits doit être continue avec joints étanches depuis son extrémité inférieure jusqu'à hauteur suffisante au-dessus du sol pour assurer une protection adéquate. Une colonne typique de doubles-tubes est constituée d'un sabot de guidage avec un élément de départ de 2 ou 3 tubes concentriques de 12 à 20' de long, puis de sections de doubles-tubes de 4' de long.

#### CHAPITRE A1-5.7 - TUBES PROVISOIRES

Dans ces spécifications, on se réfère aux tubes "extérieurs". Ceux-ci sont habituellement considérés comme provisoires puisque susceptibles d'être retirés simultanément à la mise en place du ciment. Sous certaines conditions de tels tubes "extérieurs" peuvent être plus légers que ce qui est indiqué dans les tableaux. Pour les tubes provisoires ou utilisés uniquement lors de la construction, on peut laisser toute liberté de choix à l'entrepreneur. Celui-ci reste néanmoins responsable de l'achèvement satisfaisant de l'ouvrage aux conditions indiquées dans les spécifications.

On suggère dans ce cas d'utiliser une clause du type ci-après à insérer dans le chapitre 1.2 des spécifications.

Le tube "extérieur" d'un diamètre externe de ..." qui n'a d'autre but que la construction du puits aura les caractéristiques nécessaires à la prévention des entrées de sable et de silt, sera relativement étanche à l'eau, et pourra être installé sans déformation ni rupture aux profondeurs et dimensions spécifiées.

#### CHAPITRE A1-5.8 - POSE DE TUBAGES ET LINERS

Ce terme s'applique aux tubes et liners installés sans battage, et constituent normalement le tubage interne ou principal du puits, aussi bien que les liners installés au droit des formations bouillantes ou pour isoler les eaux mauvaises. Un tel tube peut être plus léger que ce qui est indiqué dans les tableaux ci-dessus si la résistance mécanique ou un supplément de protection contre la corrosion ne le nécessitent pas. On suggèrera toutefois que l'épaisseur des tubes employés comme protection contre la contamination ne soit pas inférieure à 3/8" à moins que le tube standard soit d'épaisseur moindre ou que le tube soit entouré d'au moins 6" de béton.

#### CHAPITRE A1-5.9 - SABOT DE GUIDAGE

L'emploi de sabot de guidage est recommandé pour les tubages permanents battus. Ceux-ci ne sont pas nécessaires toutefois pour les tubages provisoires de faible longueur en terrains meubles. Le type et le poids du sabot peuvent normalement être laissés au choix de l'entrepreneur. Les sabot ne sont pas nécessaires sur les tubes ou liners posés (sans battage).

## CHAPITRE A1-6 - CREPINES

(Voir chapitre 1.2-2 des spécifications)

### CHAPITRE A1-6.1 - GENERALITES

Les puits qui prennent leur eau dans des terrains meubles sont généralement équipés de crépines. Les crépines permettent à l'eau de passer de l'aquifère dans le puits tout en soutenant le terrain aquifère pour prévenir les éboulements des parois du trou. Habituellement la fonction la plus importante de la crépine est de prévenir les entrées de sable dans le puits.

Le choix de la crépine est souvent difficile et il demande une connaissance particulière de l'exécution et de l'exploitation des puits. A moins que l'auteur des spécifications n'ait une bonne expérience dans le choix des crépines ou qu'il connaisse les caractéristiques des crépines habituellement employées avec succès dans l'aquifère à capter, il est conseillé de consulter un bon fabricant de crépines, un entrepreneur de puits ou un ingénieur expérimenté dans ce genre de travaux.

Si l'eau à prélever doit provenir d'un puits captant plusieurs aquifères les crépines adaptées aux différents terrains peuvent être de caractéristiques différentes ce qui implique une modification des spécifications.

Dans l'objectif de ces spécifications, il est admis que sur les puits qui sollicitent les terrains rocheux, les crépines ne sont pas nécessaires. Même dans ce cas, cependant, il existe des conditions spéciales où les crépines peuvent être nécessaires.

### CHAPITRE A1-6.2 - DIAMETRE ET LONGUEUR

Le diamètre exact de la crépine pour une dimension donnée du tubage dépendra de la méthode de pose employée. On déterminera la longueur effective de crépine en fonction de l'épaisseur des couches aquifères, du type de crépine, de la dimension et de l'espacement des ouvertures, du débit à extraire et autres facteurs. Pour obtenir les meilleurs résultats, la crépine sera conçue pour produire le minimum de perte de charge ou de rabattement entre l'aquifère et le puits.



Dans beaucoup de cas il est souhaitable de ne pas fixer d'avance la longueur, mais d'attendre les renseignements sur l'épaisseur et les caractéristiques de l'aquifère. Dans ces cas-là la crépine devra être payée sur la base des travaux supplémentaires.

#### CHAPITRE A1-6.3 - MATERIAUX DES CREPINES

Rayer le ou les matériaux non retenus. Ces matériaux sont énumérés dans les spécifications approximativement par ordre croissant de résistance à la corrosion.

Les matériaux les plus communément employés pour les eaux corrosives sont l'Everdur, le bronze siliceux, le fer Toncan et le fer Armco. D'autres matériaux ont une plus grande résistance à la corrosion mais ils sont plus coûteux et leur emploi n'est probablement justifié que dans le cas où des conditions d'extrême corrosivité sont prévues.

Le choix judicieux du matériau de la crépine est une question de prix de revient dans lequel les caractéristiques chimiques de l'eau jouent un rôle important. A défaut d'éléments précis permettant de choisir le matériau parfaitement adéquat, les fabricants recommanderont souvent l'Everdur, alliage à 96 % de cuivre, silice et manganèse.

Comme le choix du matériau dépendra étroitement de la corrosivité de l'eau on ne sera en mesure de choisir intelligemment qu'en connaissant les caractéristiques chimiques de l'eau. Les prélèvements d'échantillons d'eau pour analyses doivent, pour être valables, être effectués par un opérateur expérimenté qui prendra soin d'éviter les pertes de CO<sub>2</sub> et d'oxygène dissous. Si l'on prévoit de faire un traitement à l'acide pour dissoudre les incrustations, le matériau de la crépine devra être capable de résister à l'action corrosive d'un tel traitement.

#### CHAPITRE A1-6.4 - TYPE (DE CREPINE)

Rayer les modèles non retenus.

## CHAPITRE A1-6.5 - OUVERTURES

La dimensions des ouvertures de crépine doit être exprimée en millièmes de pouce. Le nombre ou le type de fentes ou d'ouvertures dépendront du type de crépine choisi et de la surface de vides nécessaires pour obtenir le débit demandé. La meilleure manière de déterminer la dimension des fentes consiste à faire une étude granulométrique sur échantillon représentatif de l'aquifère.

Si la crépine est placée en face d'un aquifère à développer sans massif de gravillons, la dimension de l'ouverture sera fonction de la dimension effective et du coefficient d'uniformité du sable à crépiner. Les grains de sable les plus fins passeront à travers les fentes pendant le développement en laissant les plus grossiers s'amasser à l'extérieur des crépines. Si les ouvertures sont trop petites, le débit obtenu sera limité par un développement incomplet et la cimentation\* pourra assez vite fermer les ouvertures. Si les ouvertures sont trop grandes, on devra développer très longtemps et il pourra même être impossible d'obtenir de l'eau claire. Habituellement les fabricants de crépines disposent d'un service-conseil pour le choix de la crépine qui fera des analyses granulométriques pour recommander les ouvertures adaptées au terrain.

Lorsqu'on entoure la crépine d'un massif de gravillons, la dimension des ouvertures sera commandée par celle du gravillon et par le type de fentes. On devra prendre des gravillons de quartz soigneusement calibrés par criblage à la (ou aux) dimension (s) la (les) plus adaptée (s) au développement maximal de l'aquifère. Théoriquement, la dimension du gravillon est commandée par celle du sable du terrain et par la vitesse d'entrée de l'eau dans le massif de gravillons au niveau de sa circonférence extérieure. L'expérience des sondeurs réputés, spécialisés dans le gravillonnage des puits, constitue le meilleur guide pour le choix correct du calibre du gravillon.

## CHAPITRE A1-6.6 - ACCESSOIRES

### 6.6.1 - Bouchon de pied

Il est nécessaire de fermer la base de la crépine avec un bouchon ou autre accessoire. Le terme "bouchon à anse" comprend non seulement l'accessoire ainsi désigné dans le commerce mais aussi tous les types de bouchons métalliques utilisés

---

\* Note du traducteur : la cimentation naturelle = incrustation.

pour fermer le pied des crépines. S'il est nécessaire de déplacer verticalement les crépines on demandera un bouchon de pied à ancre. Les crépines de grand diamètre sont souvent obturées par un bouchon de ciment pur à prise rapide descendu au fond avec un récipient.

#### 6.6.2 - Joints étanches

Il existe de nombreux types commerciaux de joints étanches et packers outre l'anneau de plomb classique. Si on utilise l'anneau de plomb, on le fixera fermement au sommet des crépines et on veillera à ce que son épaisseur et sa longueur soient, suffisantes. Le procédé habituel consiste à descendre les crépines à leur emplacement définitif dans le tubage et à élargir le joint de plomb avec un outil d'écrasement. Ce type de joint est tout à fait classique pour les puits à tubage simple jusqu'à 8 ou 10" de diamètre et il a été employé avec succès dans les diamètres supérieurs.

#### 6.6.3 - Equipement de pied

Il est parfois nécessaire de prévoir des accessoires de pied pour obtenir un bon développement dans la partie inférieure de la crépine. Une longueur de 5' suffit habituellement dans ce but.

#### 6.6.4 - Eléments d'extension

Ils sont utilisés dans les puits gravillonnés où il est courant de prolonger le tube porte-crépine de 50 à 100' en télescopage dans le tube de diamètre immédiatement supérieur. L'élément d'extension immédiatement au-dessus des crépines n'a pas besoin de dépasser 5' mais il devra être du même métal pour éviter une corrosion électrolytique des crépines. Le tube additionnel nécessaire devra être considéré comme tubage intérieur du puits et être de même métal que les tubages.

#### 6.6.5 - Tubes pleins

On intercale quelquefois des éléments de tubes pleins lorsque l'aquifère comporte une ou plusieurs lentilles de terrain tendre ou bouillant. Les parties pleines sont placées au droit de ces lentilles pour réduire le désordre dans ces zones au cours du développement. Lorsqu'une colonne de crépine est placée avec des sections pleines dans cette optique, l'installation et le développement sont difficiles et ne devront être pratiqués que sous la direction d'un expert.

#### CHAPITRE A1-6.7 - CREPINE POUR PUITTS A DOUBLE TUBAGES

Après battage ou remontée du tubage à la position voulue, celui-ci est perforé au droit de l'aquifère. La dimension, le type, l'espacement et la localisation des perforations seront approuvés par le représentant du maître d'ouvrage d'après les échantillons de terrain. Le perforateur devra avoir une action nette et être agencé de façon à réduire au maximum la déformation du tubage. Un essai en surface sera effectué sur un morceau de tubage, avant et après l'opération elle-même, de façon à démontrer les performances correctes de l'appareillage. Si le puits à exécuter est fait sur la base du débit garanti, l'entrepreneur aura la responsabilité du contrôle des perforations.

#### CHAPITRE A1-7 - ESSAI DE DEBIT-RABATTEMENT

(Voir chapitre 1-6 des spécifications)

#### CHAPITRE A1-7.1 - BUT DES ESSAIS

On fait habituellement des essais préliminaires pour diverses raisons, par exemple pour déterminer si le puits est assez profond, ou bien s'il doit être développé, ou simplement pour prélever des échantillons d'eau pour analyses. Un essai final est presque toujours nécessaire pour s'assurer de la productivité de l'ouvrage et pour déterminer le choix de l'équipement de pompage.

Les remarques suivantes se réfèrent aux blancs laissés aux chapitres 1-4.2, 1-4.3 et 1-4.4 des spécifications.

#### CHAPITRE A1-7.2 - POMPAGE D'ESSAI A DEBIT MAXIMAL

Dans beaucoup de cas le débit maximal du pompage d'essai sera égal à celui qu'il a été prévu de sortir du puits. Par exemple, si le débit permanent à pomper est prévu à 200 gpm, et que l'on pense que le puits pourrait tout aussi

bien fournir 500 gpm, on pompera à ce débit supérieur. De cette façon le débit maximal du puits pourra être déterminé et les résultats enregistrés en vue d'un futur équipement de pompage et de la programmation des puits environnants. On conseille souvent de faire du surpompage sur un puits au cours de l'essai afin de déterminer s'il y a du sable.

#### CHAPITRE A1-7.3 - HAUTEUR MAXIMALE DE REFOULEMENT

La hauteur maximale de refoulement correspondra à la différence verticale entre le niveau dynamique le plus bas attendu et le niveau du sol au voisinage du puits.

#### CHAPITRE A1-7.4 - DEBIT MINIMAL DE POMPAGE

Le débit minimal de pompage devra être également fixé. Celui-ci est fréquemment de l'ordre de 20 % du débit maximal. La raison pour laquelle il faut demander une pompe capable de fonctionner à différents débits c'est qu'en conclusion de l'essai final sur les puits, le rabattement étant connu pour les différents débits, on est en mesure de choisir le niveau de pompage le plus rentable. Si l'on utilise une pompe à axe vertical pour forage profond ou tout autre type de pompe entraînée par moteur à explosion, il est généralement facile de faire varier le débit.

#### CHAPITRE A1-7.5 - CAPACITE D'UNE POMPE D'ESSAI AU FONCTIONNEMENT CONTINU

La durée maximale pendant laquelle une pompe doit être capable de fonctionner devra être précisée dans les spécifications, particulièrement si la pompe est entraînée par un moteur à explosion, parce que de tels moteurs ne sont pas capables de fonctionner en continu pendant très longtemps. Il est recommandé que la durée indiquée dans ce paragraphe soit supérieure d'au moins 24 heures à celle de l'essai final indiqué dans les spécifications.

#### CHAPITRE A1-7.6 - EVACUATION DE L'EAU

Dans la plupart des cas l'eau extraite du puits peut être rejetée à la surface du sol dans les environs immédiats. Il y a des exceptions cependant qui requièrent notification à l'entrepreneur ; par exemple dans le cas où l'eau ainsi rejetée pourrait créer des dommages aux propriétés ou constructions ; ou encore lorsque le puits peu profond traverse au départ un imperméable de faible épaisseur. Dans ce deuxième cas l'eau sera évacuée assez loin pour éviter tout recyclage. La distance nécessaire dépendra des conditions locales.

#### CHAPITRE A1-7.7 - DUREE DE L'ESSAI

La durée de l'essai final dépend essentiellement des conditions locales et l'on ne peut donc énoncer une règle générale. En raison de cette incertitude, les spécifications seront faites en estimant la durée convenable et nécessaire de l'essai, et l'on peut recommander, dans ce chapitre d'apprécier au mieux la durée minimale de l'essai tandis qu'au chapitre A1-7.5 on estimera la durée maximale de l'essai.

On peut en outre recommander que, en dehors de la formule débit garanti l'entrepreneur soit payé sur la base du prix de l'heure d'essai. Si durant l'essai, le puits fonctionne convenablement on pourra se contenter du temps minimal indiqué, sauvegardant ainsi l'intérêt du client. Dans le cas contraire, l'essai pourra être prolongé et l'entrepreneur sera indemnisé de ce travail supplémentaire.

#### CHAPITRE A1-7.8 - FACTEURS CONDITIONNANT LA DUREE DE L'ESSAI

##### 7.8.1 - Expérience locale

Si des puits existent à proximité dans la même formation, de telle sorte que les caractéristiques de productivité de puits similaires sont assez bien connues, la durée de l'essai pourra être moins longue. Exceptionnellement, cependant, on peut souhaiter mettre en évidence l'effet du nouveau puits sur ceux qui se trouvent dans le voisinage.

##### 7.8.2 - Pompage discontinu

Si l'on a prévu d'exploiter le puits seulement pendant quelques heures chaque jour, de sorte que le niveau d'eau reviendra à sa position normale au repos,

la durée de l'essai pourra être plus courte que dans le cas d'un puits exploité en continu.

#### 7.8.3 - Schéma de réduction

Si la capacité de la pompe d'exploitation à mettre en place dans le puits est beaucoup plus faible que le débit du puits démontré au début de l'essai, on aura tendance à découper l'essai en périodes de courte durée pour extraire une quantité d'eau aussi proche que possible de celle correspondante au débit d'exploitation.

#### 7.8.4 - Autres sources d'approvisionnement

Si le puits constitue la seule source d'approvisionnement on aura tendance à accroître la durée de l'essai par rapport à ce que l'on ferait dans le cas où l'on dispose de plusieurs points d'eau utilisables en cas de défaillance du puits.

#### 7.8.5 - Coût de l'équipement auxiliaire

Si l'on est appelé à faire un gros investissement pour l'équipement auxiliaire ou autre équipement dont l'utilité dépendra de la quantité d'eau assurée par le puits (par exemple bâtiments pour les pompes, installation de traitement de l'eau, canalisations), la période d'essai sera plus longue que dans le cas où la défaillance de l'approvisionnement affecte seulement les crédits investis dans le puits lui-même.

#### 7.8.6 - Saison de l'année

Si les surfaces des aquifères ou des bassins versants tributaires sont peu étendues, on aura tendance à augmenter les durées d'essai en saison humide et à les raccourcir en saison sèche.

#### 7.8.7 - Méthode de paiement

La méthode de paiement des puits affecte également la durée de l'essai. Si le puits est acheté sur la base du débit garanti et que l'entrepreneur doit être payé immédiatement après la conclusion du pompage final, la période d'essai sera plus longue qu'autrement puisque le débit est la base du paiement et qu'en conséquence toute défaillance de l'ouvrage doit affecter le prix à payer par le propriétaire.

Cette clause est également vraie même si le débit est garanti pendant une durée importante après l'essai final. Généralement les bâtiments, canalisations

et certains autres équipements aussi bien que les travaux d'installation électrique sont fournis par le maître d'ouvrage qui subira de grosses pertes non couvertes par la garantie si la source d'approvisionnement est défaillante ultérieurement. En outre, le puits sera probablement exploité au-dessous du débit garanti pendant la période garantie.

#### 7.8.8 - Niveau de l'eau

L'ingénieur-conseil doit faire preuve de beaucoup de soin et de discernement dans la direction et l'interprétation de l'essai. Le débit en début d'essai n'est pas particulièrement important si le niveau d'eau descend encore. La partie importante de l'essai est celle qui se situe après stabilisation relative du niveau dynamique. On recommande dans la plupart des cas que le pompage soit poursuivi jusqu'à stabilisation du niveau dans le puits pompé à débit constant, et qu'après avoir atteint ce point l'essai soit poursuivi pendant plusieurs heures pour s'assurer que les conditions ne changent pas. Des observations seront également faites sur la remontée des niveaux de l'eau après arrêt du pompage. Une remontée rapide au niveau originel est habituellement un bon signe.

#### CHAPITRE A1-7.9 - RABATTEMENT MAXIMAL - ESSAIS COMPLEMENTAIRES

Si le puits est acheté sur la base du débit garanti, il est recommandé d'ajouter ceci au chapitre 1-4.4 des spécifications :

#### CHAPITRE 1-4.5 - RABATTEMENT MAXIMAL

Le rabattement maximal pendant l'essai sera maintenu à 5' au moins au-dessus des plus hautes ouvertures des crépines. Le débit du puits pris en compte pour le calcul du paiement et pour les autres usages indiqués ci-dessous sera le débit moyen en gpm pendant les 24 dernières heures de l'essai, pourvu, cependant, que pendant cette période de 24 heures, le débit et le niveau de l'eau dans le puits soient restés pratiquement en équilibre et que le débit extrait pendant la période précédente de l'essai ait été au moins aussi grand.

Si les puits projetés sont profonds et qu'un rabattement limité à 5' au dessus des ouvertures supérieures des crépines soit prohibitif du point de vue économique, quant à la hauteur de refoulement, le rabattement maximal admissible sera fixé sous forme de distance par rapport à la surface du sol.

Fréquemment, pour les puits commandés sur la base du débit garanti, la garantie court pour une période de 1 an après le pompage final et elle est assurée par contrat. Une provision est faite pour remboursement si le débit du puits



tombe au-dessous de celui qui a été garanti et payé. Le remboursement ne concerne généralement que le puits et non le coût de tous les travaux d'adduction liés à l'ouvrage. Si l'on souhaite établir une garantie de 1 an, il est recommandé d'ajouter ce qui suit au chapitre 1-4.4.

#### CHAPITRE 1-4.6 - ESSAIS COMPLEMENTAIRES

Pendant la période de une année comptée à partir de l'essai final décrit ici, le maître d'ouvrage pourra exploiter et faire des essais de puits aussi souvent qu'il le jugera bon. S'il apparaît, au cours de l'exploitation et des essais que le débit du puits est tombé au-dessous de celui qui a servi de base au paiement, le maître d'ouvrage en adressera notification à l'entrepreneur.

L'entrepreneur aura alors le droit, pourvu qu'il intervienne rapidement, de contrôler les essais effectués par le maître d'ouvrage et de nettoyer, redévelopper ou réparer le puits. Le maître d'ouvrage pourra s'il le veut et si l'entrepreneur en fait la demande, permettre à l'entrepreneur d'effectuer à ses frais des modifications de dimensions, de profondeur ou de construction du puits, ou d'exécuter un puits complémentaire, mais un tel comportement du maître d'ouvrage n'est pas obligatoire.

Après réalisation de tels travaux par l'entrepreneur, un essai complémentaire, semblable à l'essai final, sera exécuté au frais de l'entrepreneur. Si le débit du puits a été retrouvé en tout ou partie, l'année de garantie sera prolongée d'une période égale à celle comprise entre l'essai final et cet essai complémentaire.

Si le débit tombe au-dessous de celui qui a été payé, mais reste supérieur au minimum garanti, la somme versée à l'entrepreneur pour le supplément, qui en fait n'existe pas après vérification par l'essai complémentaire, sera remboursée.

Si le débit tombe au-dessous du minimum garanti, le maître d'ouvrage aura le choix entre : a/ exiger de l'entrepreneur le remboursement total des sommes versées, ou b/ accepter le puits au débit inférieur. Si le maître d'ouvrage choisit la deuxième option, l'entrepreneur reversera ce qu'il a perçu à titre de supplément au débit minimal garanti ainsi qu'une partie de la somme correspondante au paiement de ce minimum. Le montant de ce remboursement sera fixé en accord entre le maître d'ouvrage et l'entrepreneur.

#### CHAPITRE A1-8 - CIMENTATION ET OBTURATION

(Voir chapitre 1-5 des spécifications ; voir aussi chapitre A1-4 de l'annexe)

#### CHAPITRE A1-8.1 - GENERALITES

Ce chapitre explique le but de la cimentation ou fermeture des puits, le

matériel utilisé, et les méthodes adaptées à la mise en place du ciment.

## CHAPITRE A1-8.2 - BUTS DE LA CIMENTATION ET DE L'OBTURATION

La cimentation et la fermeture des puits d'eau est faite pour protéger le réservoir contre la pollution, pour accroître la durée de vie du puits en protégeant le tubage contre la corrosion extérieure, pour obturer les venues d'eau de mauvaise qualité et pour stabiliser les sols ou roches boulanges.

### 8.2.1 - Prévention de la pollution - Profondeur de fermeture

Dans la construction des puits, il existe généralement un espace annulaire entourant le tubage, qui, en l'absence de fermeture, constitue une voie de pénétration pour les circulations d'eau. Dans les formations boulanges, telles que le sable, l'ouverture tendrait à se refermer par elle-même. Dans les formations plus stables, telles qu'argiles, schistes et rocher, on doit mettre en oeuvre toute méthode de fermeture pour prévenir l'entrée d'eau contaminée directement à partir de la surface ou à travers les rochers fissurés en relation avec la surface.

La fermeture de l'espace annulaire n'est cependant pas en elle-même une panacée contre la pollution. Dans chaque puits, le tubage et la fermeture doivent s'étendre sur la hauteur et la profondeur nécessaires pour empêcher l'eau contaminée d'entrer depuis la surface ou depuis le sol et des couches rocheuses fissurées dans les formations naturellement protégées. La profondeur protégée requise dépend du caractère de la formation - qui peut être poreuse ou imperméable, à grain fin ou grossier - et de la profondeur et de la proximité des sources de pollution, telles que dolines, sorties d'égoûts, puits abandonnés ou mal construits, travaux miniers et affleurements.

L'extension du tubage et de la fermeture de l'annulaire sont particulièrement importantes dans les formations rocheuses fissurées en relation avec la surface du sol. A défaut de fermeture de l'espace annulaire, il existera un circuit direct entre les roches fissurées de la zone supérieure, qui peuvent contenir de l'eau très contaminée, et le point de captage à la partie inférieure du tubage.

Dans les roches fissurées, on obtiendra une bonne protection par tubage et cimentation de l'espace annulaire sur une profondeur de 20' au moins au-dessous du niveau de pompage le plus bas.

#### 8.2.2 - Protection contre la corrosion - Epaisseur de la gaine de ciment

La protection extérieure du tubage contre la corrosion se fait par une gaine de ciment. Du point de vue mécanique, la protection se fait par l'absence de contact entre l'eau et le tubage. Le degré de protection dépend de l'épaisseur et de la "densité" de la gaine et de son uniformité sur toute sa hauteur. Un minimum de 1,5" d'épaisseur est recommandé pour les puits de distribution d'eau publique. Une épaisseur plus grande est souhaitable si l'on sait que des conditions sévères de corrosion existent.

#### 8.2.3 - Fermeture des aquifères indésirables

Lorsque des formations situées au-dessous de la zone revêtue par le tubage de protection sont connues pour la mauvaise qualité de leur eau de telles formations seront obturées avec des "liners". Pour que l'obturation soit pleinement effective, les liners sont placés avec une gaine de ciment d'au moins 1/2" sur toute leur longueur. L'emploi de packers aux extrémités des liners ne seraient pas une garantie en raison d'une possible défectuosité d'installation et du passage de l'eau à travers les formations poreuses autour des packers. La cimentation sous pression, telle qu'on la pratique sur les forages pétroliers, pourrait également être appliquée pour obturer les horizons aquifères indésirables.

#### 8.2.4 - Stabilisation des formations boulanges

Lorsqu'un tubage descend jusqu'à ou dans une formation consolidée sous-jacente à une formation meuble, la seule barrière à l'entrée de sable ou de silt dans le puits par la base du tubage est la fermeture existante entre le bord du sabot de pied et le rocher. Très souvent une telle fermeture n'est pas effective en raison de l'effritement de la roche ou de la présence de fissures verticales. Pour se prémunir contre une défaillance du puits due à cela, on prévoira un espace annulaire cimenté ou l'on posera la base du tubage dans un coulis de ciment.

Des formations boulanges se présentent parfois en intercalation entre 2 terrains aquifères consolidés. Pour protéger le puits, les formations boulanges seront stabilisées par installation d'un "liner". Bien qu'un packer au pied du "liner" puisse donner satisfaction, il sera plus sûr de cimenter l'annulaire. On peut également stabiliser les formations boulanges par cimentation sous pression, particulièrement si elles sont poreuses.

CHAPITRE A1-8.3 - MATERIAUX UTILISES POUR CIMENTATION ET OBTURATION

Les matériaux utilisés pour fermeture des puits devront être tels qu'ils soient faciles à mettre en place et qu'ensuite ils remplissent leur fonction d'une façon durable. Normalement, le coulis de ciment Portland répond à ces conditions. Occasionnellement, toutefois, l'emploi d'un ciment à prise rapide facilitera la construction du puits, et dans ce cas, il faudra le préciser au chapitre 1-5.1. Sous certains conditions, on pourra utiliser des accélérateurs ou retardateurs de prise, modifier la viscosité du coulis et prévoir des déchets pour combler les grosses cavités. Dans certains cas où l'on rencontre de grosses cavités, un liner étanche pour réduire les pertes de ciment pourra être employé avec profit. Lorsque la cimentation est spécifiée - quelle que soit la méthode - on évaluera l'opération en termes de prix unitaires par sac \* ou baril \* de ciment fourni. Le coulis sera préparé avec du ciment pur, avec 3% de bentonite (en volume) et pas plus de 5,5 gallons d'eau par pied cube\*, de façon à réduire au maximum le retrait.

CHAPITRE A1-8.4 - CIMENTATION DE L'ESPACE ANNULAIRE AUTOUR DU TUBAGE DE PROTECTION

8.4.1 - Injection en une opération de bas en haut

Pour que le coulis assure une bonne fermeture il faudra l'injecter en continu en une seule opération qui doit être achevée avant que le ciment commence à faire prise. Il est également important que le coulis soit toujours envoyé au fond de l'espace à cimenter. Ceci évite la ségrégation des matériaux, l'entrée de matériaux étrangers, ou le pontage du coulis. A titre de précaution, il est souhaitable de nettoyer préalablement l'annulaire avec de l'eau chassée en pression. On s'assure ainsi que l'espace annulaire est ouvert et l'on élimine les matériaux étrangers.

8.4.2 - Diverses méthodes utilisées

Le coulis peut être introduit dans l'espace à cimenter par des pompes adéquates, ou par air ou par eau sous pression. Dans certains cas la mise en place par gravité ou par soupape de déversement est également pratique et satisfaisante.

---

\* 1 sac de ciment U.S. = 42,64 kg ; 1 baril ~~=~~ 160 litres.  
1 cubic foot = 26,32 litres ; 1 U.S. gallon = 3,785 litres.

On laissera à l'entrepreneur le choix de la méthode pourvu que celle-ci ne soit pas contraire aux conditions pratiques de construction énoncées plus haut dans les normes et l'annexe.

#### 8.4.2.1 - Tube de cimentation à l'extérieur du tubage

Si l'espace annulaire a une dimension suffisante pour laisser le passage au tube de cimentation de diamètre adéquat pour envoyer tout le ciment nécessaire dans le temps voulu, on adoptera cette méthode sûre et peu sophistiquée. On devra descendre le tube au fond de l'annulaire au début et le laisser en place pendant toute l'opération de cimentation. On pourra laisser le tube en place ou le remonter progressivement. En cas d'interruption de la cimentation, on relèvera le pied du tube au-dessus du niveau atteint par le coulis, et avant de le replonger à la reprise, on éliminera d'abord complètement l'air et l'eau qu'il pourrait contenir. Le coulis pourra être envoyé dans le tube au moyen d'une pompe ou déversé en continu par gravité, bien que ce simple déversement ne soit pas recommandé pour une profondeur supérieure à 100' ou dans le cas où l'on ne peut déterminer facilement le niveau du coulis par la mesure ou le calcul du déplacement. Un espacement minimal de 1,5" est nécessaire pour le passage d'un tube de 3/4" avec manchon.

#### 8.4.2.2 - Tube de cimentation à l'intérieur du tubage

Une deuxième méthode de cimentation consiste à installer le tuyau dans le tubage. Le trou est bouché sous la base du tubage, ou bien la cimentation est faite après arrêt de la foration à la profondeur prévue pour le pied du tubage. On visse préalablement à la base du tubage un packer adapté permettant la remontée du tube de cimentation et interdisant la remontée du coulis dans le tubage. Le tubage est légèrement relevé au-dessus de son point d'ancrage et le coulis est refoulé en pression dans l'annulaire vers le haut au moyen de pompes ou à l'air comprimé. Quand l'annulaire a été rempli jusqu'au point de débordement, le tube de cimentation est dévissé et remonté. Le tubage peut être laissé en suspension ou descendu au point d'ancrage. Dans les puits profonds le tubage devra être maintenu plein d'eau. Après 72 heures ou plus, le travail peut reprendre par reforage du packer et du bouchon.

Quand le puits est exécuté à la rotation, le coulis peut être injecté dans les mêmes conditions que ci-dessus, sauf qu'il sera envoyé dans le train de tiges.

#### 8.4.2.3 - Méthode Halliburton

Une troisième méthode de cimentation est celle employée par Halliburton Oil Well Cementing Co, qui dispose d'un certain nombre de brevets en la matière.

Avec cette méthode le ciment est envoyé dans le tubage entre deux "espaceurs" ou "bouchons piston". En bref, le premier bouchon est placé dans le tube qui est fermé ensuite en tête ; on envoie alors la quantité de coulis dans le tubage ; le second bouchon est introduit et l'on referme le tubage en tête. Un volume d'eau mesuré est envoyé dans le tubage jusqu'à ce que le deuxième bouchon arrive à la base de celui-ci. Le premier bouchon descend dans le trou sous le tubage qui est maintenu en suspension pour laisser au-dessous le vide nécessaire, tandis que le coulis remonte vers le haut dans l'annulaire. Avec cette méthode on utilise normalement du coulis de ciment pur.

#### CHAPITRE A1-8.5 - CIMENTATION DE L'ANNULAIRE D'UN "LINER"

Les liners installés dans un puits pour isoler les aquifères renfermant de l'eau de mauvaise qualité ou pour tenir des formations bouillantes peuvent être cimentés en place avec succès. En raison de la complexité des procédés, il est suggéré de faire décrire en détail les moyens mis en oeuvre par l'entrepreneur pour approbation par l'ingénieur-conseil.

#### CHAPITRE A1-8.6 - CIMENTATION SOUS PRESSION

L'industrie pétrolière a mis au point des systèmes de packers et liners reforables avec lesquels les formations peuvent être cimentées sous pression sans réduction permanente du diamètre du trou. Cette méthode peut présenter un intérêt pour l'exécution des forages d'eau en particulier des plus profonds. On peut obtenir des détails à ce sujet auprès des foreurs pétroliers.

### CHAPITRE A1-9 - VERTICALITE ET ALIGNEMENT

#### CHAPITRE A1-9.1 - AVANTAGE DE LA VERTICALITE ET DE L'ALIGNEMENT

Si l'on doit placer une pompe à axe vertical sur un puits celui-ci devra être parfaitement rectiligne du sommet au niveau de l'emplacement prévu pour la pompe. La verticalité est souhaitable bien que moins importante. La plupart des fabricants indiquent que leurs pompes peuvent fonctionner d'une façon satisfaisante avec une forte inclinaison par rapport à l'horizontale. Un puits mal aligné présentant des vrilles des courbures ou des tire-bouchons doit être refusé, car de telles déviations provoquent une sévère fatigue des arbres de pompe, des paliers

des colonnes de refoulement et il est parfois impossible de descendre ou de retirer la pompe.

Si l'on doit pomper à l'émulsion ou avec une pompe aspirante, l'alignement n'a aucune importance. On a dit qu'il en était de même pour les pompes immergées. Il est suggéré toutefois, même si l'on pense installer un système de pompage fonctionnant correctement sans que l'alignement soit respecté, d'imposer cette condition dans les spécifications. On peut en effet considérer qu'il sera souhaitable à un moment donné de la "vie du puits" d'y installer une pompe à axe vertical. Sauf cas très exceptionnel, l'entrepreneur apportera tout le soin nécessaire à réaliser le puits vertical et rectiligne.

#### CHAPITRE A1-9.2 - METHODE DE CONTROLE RECOMMANDEE

La méthode recommandée pour vérifier si un puits est vertical et rectiligne est décrite au chapitre 1-6.2. Cette méthode est facile à mettre en oeuvre pendant que la sondeuse est sur place. En faisant ce contrôle on prendra grand soin de placer la poulie, sur laquelle passe le cable supportant le morceau de tube ou le bâti utilisés comme "plomb", de telle sorte qu'au début de l'essai le "plomb" soit exactement centré sur l'axe du tubage. Au cours de la descente du "plomb" on mesurera son positionnement vertical par rapport au sommet du tubage et la déflexion horizontale du cable par rapport au centrage initial. Pour déterminer la valeur de la déflexion du puits au droit du sommet du "plomb" situé à une profondeur donnée, il faudra diviser la déflexion horizontale relevée au sol par la distance verticale comprise entre le sommet du tubage et l'axe de la poulie supportant le cable et multiplier par la distance entre la poulie et le sommet du "plomb". Les lectures seront faites sur 2 plans se recoupant à angle droit pour déterminer dans quelles directions le puits est hors alignement ou verticalité.

#### CHAPITRE A1-9.3 - DEVIATIONS ADMISSIBLES

Les dispositions du chapitre 1-6.3 seront compatibles avec les conditions de bonne exécution technique et seront considérées comme la déviation de verticalité maximale admissible pour 100' de forage. Dans un souci de clarté, l'aplomb devra se situer dans la marge indiquée et la rectitude devra être déterminée par

un tube ou témoin de 40' comme décrit au chapitre 1-6.

CHAPITRE A1-9.4 - AUTRES METHODES DE CONTROLE

Après retrait du mât de sondage, un contrôle de verticalité peut être arrangé par construction d'un tripode ou portique du type de celui de la figure 12. Le point C, axe de la poulie sera exactement à 10' au-dessus du sommet du tubage. La poulie sera positionnée de façon à ce que le câble tombe exactement au centre D du sommet du tubage. Si ces deux conditions ne sont pas observées les points de mesures seront incorrects.

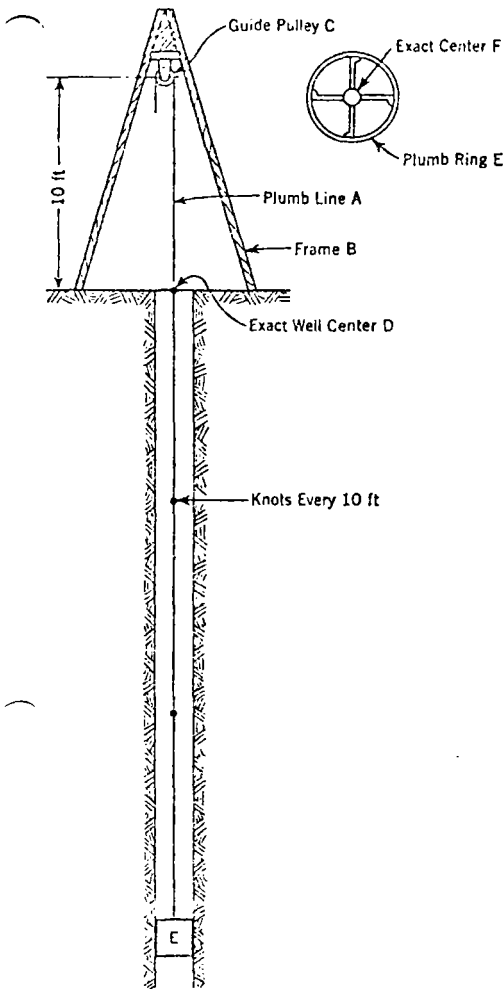


Fig. 12. Test for Plumbness

Fabriquer l'anneau de plomb ou témoin E d'un diamètre inférieur à 1/4" à celui du tubage. On pourra le faire avec du feuillard ou un petit morceau de tube. Quoiqu'on utilise, il devra être assez lourd pour que le câble A soit bien tendu. Le moyeu du témoin ne doit pas être plein puisque l'eau doit passer à travers pendant sa descente dans le puits. Le trou F à travers lequel passe le câble devra être exactement au centre de l'anneau. Des noeuds seront placés sur le câble tous les 10' pour indiquer les profondeurs auxquelles le témoin E doit être descendu.

Les caractéristiques du forage sont déterminées par descente du témoin de 10' à chaque fois en prenant une lecture à chaque fois. Si à une profondeur donnée du témoin le câble se trouve exactement au centre D, le puits est correct à cette profondeur. Si toutefois A ne passe pas au point D, le puits à cette profondeur est dévié d'une valeur égale à la distance entre A et D plus autant de fois cette distance qu'il y a de fois 10' entre le témoin et le plancher. Par exemple, supposons que C est exactement à 10' au-dessus du niveau du plancher et E à 10' sous celui-ci. Si le fil à



plomb A est à 1/16" du centre D, le puits a 1/8" au niveau 10'. Si A varie de 1/16" par rapport à D quand E est à 50' sous le plancher, le faux aplomb à 50' est de 1/16" + 5/16" = 3/8 ". C'est tout simplement la règle des triangles semblables qui peut s'exprimer de cette manière, la variation de position du plomb étant égale à :

$$\frac{60'}{10'} \times \frac{1''}{16} = \frac{6''}{16} = 3/8''$$

Le résultat des lectures à différentes profondeurs peut être reporté en section transversale et l'on obtiendra un bon diagramme du puits en procédant de cette façon.

On recommande de faire les lectures et reports indiqués ci-dessus sur 2 plans perpendiculaires entre eux en vue de déterminer les tendances du puits à la courbure ou au tire-bouchonnage.

Cette méthode n'est pas aussi bonne toutefois que celle indiquée dans les spécifications, pour plusieurs raisons. La marge de 1/4" donnée au diamètre du petit plomb ne permet pas la moindre aspérité sur les parois. Si l'on fabrique un plomb plus petit pour avoir une marge plus grande, il pourra s'incliner et fausser les lectures. Ce qui est plus important, si les lectures ne sont pas faites avec soin, le témoin peut se déplacer légèrement en dehors de l'aplomb sans que la déflexion soit détectée.

Les spécifications ont été rédigées en précisant la rectitude souhaitée sur le puits pour le diamètre de la pompe verticale à installer et pour un contrôle avec un témoin du diamètre de cette pompe. Avec cette méthode, il n'est pas toujours possible de déterminer, même après achèvement du puits, quelle sera la dimension exacte de la pompe qui sera utilisée. En outre, en ne précisant pas la dimension de la pompe, donc celle du témoin, le foreur aura l'occasion de faire valoir que le débit demandé peut être pompé avec une pompe de plus petit diamètre. Le maître d'ouvrage d'autre part, peut préférer une plus grosse pompe en vue d'obtenir un meilleur rendement à l'exploitation.

## CHAPITRE A1-10 - DESINFECTION

(Voir chapitre 1-7 des spécifications)

### CHAPITRE A1-10.1 - GENERALITES

Ce chapitre expose l'intérêt de la désinfection des puits, la durée nécessaire et les méthodes et concentration de chlore à utiliser.

### CHAPITRE A1.10.2 - INTERET DE LA DESINFECTION

Dans la construction d'un puits le trou est sujet à contamination à partir de la surface et à partir d'horizons aquifères indésirables traversés par le puits. La contamination se fait également à partir des outils et tubages, et lorsqu'on travaille à la rotation, à partir de la boue exposée à la pollution atmosphérique et à la pollution en surface du sol. Une partie de la contamination ainsi introduite atteindra l'aquifère à capter. Quoique le pompage puisse normalement éliminer cette contamination, la production d'eau propre pourra être plus rapide par désinfection du puits.

### CHAPITRE A1-10.3 - PERIODE DE DESINFECTION

Normalement, la désinfection se situe après achèvement de l'équipement du puits, au moment où l'on va entreprendre les essais de débit. Il faut, toutefois, procéder à la désinfection avant prélèvement des échantillons pour analyses bactériologiques. Il est également souhaitable de désinfecter le puits après installation de la pompe à titre permanent, et lorsque la pompe est réinstallée après réparation.

### CHAPITRE A1-10.4 - METHODE DE DESINFECTION

La première condition pour désinfecter un puits est que l'intérieur soit nettoyé comme indiqué au chapitre 1-7.1. Les spécifications prescrivent que la méthode de désinfection soit fixée par l'ingénieur-conseil, puisqu'il faudra ap-

plier diverses méthodes adaptées aux différentes conditions. Dans tout procédé de désinfection, cependant, la concentration de chlore dans le puits ou dans l'eau envoyée dans le puits doit être d'au moins 50 ppm. Cette teneur sera prise comme norme de concentration dans ces spécifications.

#### 10.4.1 - Désinfection des puits au repos

Méthode A : Pour ce faire, la solution chlorée à concentration standard à utiliser pour la désinfection sera préparée en surface dans des cuves d'un volume double au moins à celui de l'eau contenue dans le puits. La solution sera déversée rapidement dans le puits en prenant soin d'arroser les parois au-dessus du niveau de l'eau.

Méthode B : Au lieu de préparer la solution de concentration standard dans des cuves, une réserve de solution à 15 000 ppm sera ajoutée à un courant d'eau envoyé en continu dans le puits de façon à obtenir la concentration standard. Quelle que soit la méthode on veillera à ce que la solution de chlore pénètre dans les vides de l'aquifère en l'envoyant assez rapidement à différentes profondeurs pour obtenir un traitement effectif.

Méthode C : Au cas où les 2 méthodes précédentes ne seraient pas applicables, on enverra un volume de solution à différents niveaux du puits de façon à obtenir la concentration standard compte tenu du volume d'eau du puits. On agitera alors avec un trépan ou une soupape pour répartir la solution dans l'eau.

Méthode D : Au lieu d'utiliser une solution liquide on pourra descendre dans le puits, au moyen d'un câble, un tube perforé fermé aux 2 extrémités contenant des granules d'un composé chloré - HTH \* ou Perchloron \*\* - en l'agitant de haut en bas. Le volume de granules sera calculé pour obtenir la concentration standard.

#### 10.4.2 - Désinfection des puits artésiens

En général, il n'est pas nécessaire de désinfecter les puits jaillissants. Néanmoins, une analyse bactériologique devra être effectuée aussitôt que possible après la période de 24 heures suivant l'achèvement complet de l'ouvrage. S'il est prouvé que l'eau présente un danger, une certaine quantité de solution chlorée sera envoyée dans le puits pendant une heure au niveau, ou au-dessous, de l'hor-

---

\* Produit fabriqué par Mathieson Chemical Corp., Baltimore.

\*\* Produit fabriqué par Pennsylvania Salt Mfg. Co., Philadelphia.

zon productif. On fera en sorte que le débit jaillissant soit à la concentration standard. La chloration au moyen du tuyau perforé sus indiqué peut s'appliquer également sur les puits artésiens.

10.4.3 - Désinfection de l'équipement et du matériel utilisés dans le puits

Si le puits est désinfecté avant descente de la pompe d'essai, il est recommandé de nettoyer toutes les parties extérieures de la pompe qui viendront au contact de l'eau avec une poudre chlorée en décrassant, mouillant et lavant parfaitement. On recommande également, si possible, qu'au début de la mise en exploitation une solution chlorée soit recyclée dans le puits avec la pompe d'exploitation. Le procédé est facile avec la pompe d'essai lorsque celle-ci est placée assez haut au-dessus du tubage. Avec la pompe définitive, la solution peut être envoyée par le trou ou par la ligne d'air débouchant au pied de la pompe.

CHAPITRE A1-10.5 - SOLUTION CHLOREE

Une réserve de solution chlorée peut être préparée par dissolution d'hypochlorite de calcium, HTH, Perchloron, ou autres composés chlorés dans l'eau à raison de 4 onces<sup>a</sup> de chlore disponible par 2 gallons d'eau. On obtient alors une concentration de 15 000 ppm ou 1,5 % en poids. Pour obtenir la solution standard à utiliser, on prend 1 gallon de la solution pour 300 gallons d'eau.

Le tableau suivant montre le nombre d'onces de chlore ou composés chlorés d'un contenu en chlore disponible donné (généralement indiqué sur le paquet ou le bidon) nécessaires pour obtenir une concentration de 50 ppm dans 1 000 gallons d'eau.

Utilisation (en ppm)	Chlore liquide (onces)	Composés chlorés (onces)			
		Pourcentage de chlore disponible			
		15	25	30	70
50	6,7	44,7	26,7	22,3	9,6

Le nombre de livres de chlore liquide ou de composés chlorés nécessaires pour un désinfection effective du puits peut être calculé à partir du tableau ci-dessus et du tableau ci-après donnant le volume des forages de divers diamètres pour une longueur de 1 pied.

<sup>a</sup> 1 once = 28,35 grammes.

Diamètre (pouce)	Gallon/pied	Diamètre (pouce)	Gallon/pied	Diamètre (pouce)	Gallon/pied
4	0,65	15	9,18	27	29,74
6	1,47	16	10,44	30	36,72
8	2,61	18	13,22	36	52,88
10	4,08	20	16,32	42	71,97
12	5,88	22	19,75	48	94,00
14	8,00	24	23,50	60	148,88

## CHAPITRE A1-11 - PROTECTION DE LA QUALITE DE L'EAU

(Voir chapitre 1-7 des spécifications)

### CHAPITRE A1-11.1 - GENERALITES

En exécutant un puits on doit viser à obtenir de l'eau d'une qualité sûre. Ce but sera normalement atteint si l'emplacement du puits est choisi en tenant compte des sources de contamination environnantes possibles et en apportant tout le soin nécessaire au tubage du puits (chapitre A1-5) et à sa cimentation (chapitre A1-8). Ce but ne sera impossible que dans le cas où la formation aquifère est si près de la surface qu'elle est soumise constamment à la contamination.

### CHAPITRE A1-11.2 - OBLIGATIONS DE L'ENTREPRENEUR

Si l'emplacement du puits et le type de construction ont été indiqués à l'entrepreneur, celui-ci ne pourra être tenu pour responsable si la qualité de l'eau obtenue n'est pas satisfaisante, pourvu qu'il ait respecté toutes les conditions. L'entrepreneur sera toutefois tenu pour responsable pour une mise en oeuvre défectueuse en cours d'exécution qui tendrait à réduire la protection naturelle existante du site. On devra l'obliger à maintenir les formations surmontant l'aquifère dans leur état naturel, et s'il ne le fait pas, il sera tenu d'effectuer les correctifs de construction en vue d'aboutir à une protection égale, ou mieux supérieure, à celles qui existent naturellement.

### CHAPITRE A1-11.3 - SOINS A PRENDRE PAR L'ENTREPRENEUR

Dans la construction des puits, l'entrepreneur prendra les précautions raisonnables pour maintenir la propreté des lieux et réduire l'entrée d'eau contaminée dans les aquifères indemnes de pollution. L'eau et les matériaux utilisés pour les travaux seront raisonnablement exempts de contamination, et si leur nature le permet, ils seront désinfectés au chlore avant utilisation. Le bac à boue sera aménagé de telle sorte qu'aucun matériau qui en provient ne puisse entrer dans le puits sauf la boue recyclée au travail à la rotation. Dans ce cas le bac et les rigoles du circuit de boue seront protégés contre la contamination provenant des eaux de surface ou autres sources possibles.

## CHAPITRE A1-12 - MITRAILLAGE OU EXPLOSION

### CHAPITRE A1-12.1 - GENERALITES

Dans les formations consolidées où la productivité du puits est plutôt faible et où les formations rocheuses sont dures, le débit peut être amélioré parfois par explosion. L'explosion consistera à descendre dans le puits une "bombe" pleine d'explosif avec un détonateur et 2 fils. Les 2 fils vont jusqu'en surface (vers un exposeur) pour déclencher l'explosion. Il y a beaucoup de facteurs à prendre en compte avant d'entreprendre une telle opération et nous donnons ci-après les plus importantes.

### CHAPITRE A1-12.2 - CONSEIL RELATIF A L'IMPORTANCE ET A LA LOCALISATION DE L'EXPLOSION

Il ne faut pas entreprendre cette opération sauf si l'on peut avoir l'avis d'un homme d'expérience qui pourra apprécier le point d'installation de la "bombe" et l'importance du tir. On prendra grand soin de calculer la quantité d'explosif à utiliser. Très souvent on démolit un tel volume de matériaux qu'il devient impossible de les retirer à la soupape et des trous ont souvent été perdus au cours

du repêchage. Les hautes pressions et les basses températures contribuent toutes deux à réduire l'efficacité de l'explosion. Cependant, les recommandations du fournisseur d'explosif, spécialement pour la quantité à utiliser, sont généralement souhaitables. Avant le tir, les règlements locaux seront consultés pour voir s'il est nécessaire de faire intervenir un artificier patenté.

#### CHAPITRE A1-12.3 - TYPE DE CONTENEUR

La bombe ou conteneur de la dynamite devra être un morceau de tuyau de fonte ou un cylindre de fer ou d'acier suffisamment fort et étanche pour interdire les entrées d'eau dans l'explosif. Il devra être d'un diamètre assez grand et pouvoir être descendu facilement dans le trou, parce que l'eau située entre le contenu et la paroi du trou agit comme un coussin et ce coussin devra être aussi mince que possible. Dans certains cas on a fait des tirs couronnés de succès en plaçant simplement la dynamite dans un sac de grosse toile mais cette pratique n'est pas recommandée pour des profondeurs supérieures à 500'.

#### CHAPITRE A1-12.4 - NETTOYAGE DU PUITTS APRES LE TIR

Après le tir, de bons volumes de matériaux sont détachés et tombent dans le fond du trou. Quelques morceaux restent en saillie dans les parois du trou. Il est pourtant souhaitable d'installer une pompe d'essai et de pomper à un débit supérieur à celui qui a été prévu pour l'exploitation. Généralement ce pompage lave une partie du sable et les débris accrochés aux parois tombent dans le trou où ils peuvent être soupapés.

La pompe devra être installée et fonctionner pendant une durée suffisante pour éliminer le sable de façon à ce qu'il n'en reste plus après le dernier pompage. Entre chaque série de pompages, le trou sera complètement nettoyé à la soupape. On ne devra pas arrêter le nettoyage tant que l'on n'aura pas vérifié qu'il ne tombe plus de sable dans le fond du trou en 4 heures de pompage. Il est important de bien appliquer ce procédé d'amélioration du puits afin de s'assurer que l'ouvrage ne produira plus de sable.

## CHAPITRE A1-12.5 - INSCRIPTION DANS LES SPECIFICATIONS

Si l'on prévoit qu'un tir sera nécessaire, on devra le préciser dans les spécifications au chapitre 1-3 et au § des paiements du chapitre 1-12. Le paiement se fait le plus souvent à partir d'une offre pour 50 ou 100 livres d'explosif et d'un prix supplémentaire de l'heure de soupapage dans le trou. Les prix devront être demandés dans la proposition.

## CHAPITRE A1-13 - OBTURATION DES PUITES ABANDONNES

### CHAPITRE A1-13.1 - GENERALITES

Les puits abandonnés sans fermeture constituent un risque pour la santé et le bien-être publics. L'obstruction de tels puits pose un certain nombre de problèmes dont les caractéristiques dépendent de la construction du puits, des formations géologiques rencontrées et des conditions hydrologiques. Pour fermer correctement un puits abandonné, on doit considérer plusieurs facteurs : 1/ élimination physique du risque ; 2/ prévention de la contamination des eaux souterraines ; 3/ conservation du débit et de la pression des aquifères ; 4/ prévention contre le mélange des eaux bonnes et mauvaises.

Le principe directeur à suivre dans la fermeture des puits abandonnés est la restauration, autant que faire se peut, des conditions géologiques existantes avant travaux. Si cette restauration peut être réalisée tous les objectifs des fermetures de puits présentés plus haut seront complètement remplis.

Pour fermer correctement un puits abandonné, les conditions particulières des eaux souterraines au droits du puits devront être reconnues et évaluées. Ainsi si le niveau de remontée de l'eau de la nappe se situe sous le sol, le puits sera obturé avec un matériau imperméable pour interdire l'entrée de l'eau de surface par le trou ou par l'extérieur du tubage jusqu'au niveau piézométrique. Si l'eau souterraine est artésienne, le sondeur devra être équipé pour dégager ce qui gênerait la mise en place du colmatant et pour mettre en place effectivement celui-ci



dans les conditions les plus efficaces. Les opérations de fermeture doivent "bloquer" l'eau dans l'aquifère dont elle provient - interdisant par là les pertes de pression artésienne par circulation de l'eau vers la surface - jusqu'à une formation sans eau, ou jusqu'à une formation aquifère dont la pression est inférieure à celle de l'aquifère à obturer.

Habituellement, on devra contrôler le puits avant de procéder à l'obturation pour s'assurer qu'il est exempt d'obstacles susceptibles de gêner la mise en oeuvre d'une obturation effective. Ce contrôle est spécialement important pour les aquifères qui pourraient céder de l'eau polluée ou mauvaise aux aquifères renfermant des eaux potables. Le retrait des liners dans certains puits peut s'avérer nécessaire pour obtenir une obturation effective. Si les liners ou tubages situés en face des aquifères ne peuvent être facilement enlevés on devra les fractionner avec un coupe-tube pour assurer une fermeture correcte des aquifères par le matériau colmatant. Au minimum on retirera la partie supérieure du tubage pour empêcher les infiltrations d'eau de surface le long du tubage jusqu'aux couches aquifères. Cette opération n'est pas toujours nécessaire si l'annulaire du tubage externe a été cimenté en cours de foration.

Du béton, du mortier ou du coulis de ciment pur, lorsque l'obturation doit être faite sous le niveau piézométrique dans le puits, devront être placés de bas en haut par des méthodes qui évitent la ségrégation ou la dilution du matériau. On peut recommander la mise en place des colmatants avec un tube de cimentation débouchant directement au point d'application ou au moyen de soupape à déversement ou d'une trémie.

D'autres matériaux colmatants indiqués ci-après, sauf des boues usées ou des fluides argileux spéciaux, peuvent être en général progressivement introduit dans la gueule du puits.

Il est habituellement conseillé de s'assurer les services d'un sondeur compétent pour obturer les puits profonds, les puits artésiens ou ceux qui traversent des roches fissurées. Ses connaissances de spécialiste des puits et des conditions géologiques régionales seront mises à profit pour fermer correctement le puits abandonné aussi bien que pour faire un nouveau puits. Il peut être intéressant d'appeler en consultation un ingénieur-conseil ou un représentant des services de santé ou d'autres services compétents du point de vue administratif.

Les recommandations faites ici concernent aussi bien les puits en terrain consolidés qu'en terrains meubles, qu'ils soient en petit ou grand diamètre, qu'il s'agisse de puits d'essai ou de ceux qu'on appelle puits "en tuyaux de poêle".

Toute obturation devra être considérée en tant que problème individuel et les méthodes et matériaux ne devront être choisis qu'après avoir considéré soigneusement les objectifs exposés dans le premier paragraphe de ce chapitre.

#### CHAPITRE A1-13.2 - PUITS EN TERRAINS MEUBLES

(Voir chapitre A1-4, types 1 à 5 en annexe). Normalement, les puits abandonnés qui recourent uniquement des terrains meubles proches de la surface en condition d'aquifères non jaillissants, peuvent être convenablement obturés par remplissage avec du béton, du mortier, du coulis de ciment pur, de l'argile ou de l'argile et du sable. Dans le cas où l'aquifère est constitué de graviers grossiers et que les puits productifs sont assez proches de là, on devra prendre soin de choisir les matériaux de colmatage pour qu'ils n'affectent pas les puits productifs. Du béton pourra être employé si les puits exploités peuvent être arrêtés pendant une durée suffisante pour que le béton fasse prise. Du sable propre désinfecté ou du gravier peuvent aussi être utilisés comme matériau de remplissage en face des aquifères. Le restant du puits, spécialement la partie supérieure devra être rempli avec de l'argile, du béton, du mortier ou du coulis de ciment pur pour exclure la pénétration d'eau superficielle. La dernière méthode utilisant de l'argile dans la partie supérieure s'applique spécialement aux puits abandonnés de grand diamètre.

Dans les puits gravillonnés, à crépine enveloppée de gravillons ou autres puits dans lesquels des matériaux grossiers ont été ajoutés autour du tube intérieur jusqu'à 20 ou 30' de la surface, la fermeture de l'extérieur du tubage est très importante. Quelquefois, l'obturation peut impliquer le retrait des graviers ou la perforation du tubage.

#### CHAPITRE A1-13.3 - PUITS EN TERRAINS ROCHEUX FISSURES

(Voir chapitre A1-4, types 8 à 10 en annexe). Les puits abandonnés qui pénètrent dans des calcaires ou autres formations à fissures et chenaux s'étendant immédiatement sous les dépôts de surface, devront de préférence être comblés avec du béton, du mortier ou du coulis de ciment pour assurer la pérennité de la fermeture. L'emploi d'argile ou de sable dans de tels puits n'est pas souhaitable car les particules fines du matériau de remplissage peuvent être entraînées par les cimentations d'eau à travers les crevasses et chenaux. Des alternances de cou-

ches de grosses pierres et de béton pourront être utilisées pour remplir le puits au droit de l'horizon productif si le mouvement vertical de l'eau dans la formation ne peut affecter la qualité ou la quantité d'eau des puits productifs. On n'utilisera que du béton, du mortier ou du coulis de ciment dans ce type de puits. La portion du puits entre un point à 10' à 20' au-dessous et un point au-dessus de la base du tubage devra être obturée, et l'on placera un bouchon de ciment au-dessus de la formation fissurée. La partie supérieure du puits pourra être remplie d'argile ou de sable.

#### CHAPITRE A1-13.4 - PUITS EN TERRAINS ROCHEUX NON FISSURES

(Voir chapitre A1-4, type 6 et 7 en annexe). Des puits abandonnés rencontrant des grès non fissurés ou autres formations aquifères consolidées sous les dépôts de surface peuvent être obturés d'une manière satisfaisante avec de l'argile sur toute leur hauteur, pourvu qu'il n'y ait pas de mouvement d'eau dans le puits. Du sable propre, désinfecté s'il y en a à proximité des puits productifs, peut être également utilisé à travers le grès jusqu'à 10 à 20' sous la base du tubage. La partie supérieure de ce type de puits sera remplie de béton, mortier, coulis de ciment, ou argile pour créer une fermeture effective vis à vis des eaux superficielles. S'il y a un débit ascendant appréciable, une injection sous pression de ciment ou de la boue peut être conseillée.

#### CHAPITRE A1-13.5 - PUITS RECOUPANT PLUSIEURS AQUIFERES

Des problèmes spéciaux peuvent se présenter s'il s'agit d'obturer des puits recoupant plus d'un aquifère. On devra remplir et fermer ces puits de façon à interdire les échanges d'eau d'un aquifère à l'autre. Si l'on ne rencontre pas de venues d'eau appréciables, le remplissage avec béton, mortier, coulis de ciment ou alternances de ces matériaux avec du sable, pourra s'avérer satisfaisant. Si les vitesses sont élevées les procédés exposés au chapitre A1-13.6 sont recommandés. Si l'on utilise des bouchons ou ponts de béton en alternances, on devra les placer dans les horizons connus comme non productifs, ou si l'emplacement de ceux-ci n'est pas connu, à intervalles fréquents. Quelquefois, lorsque le tubage n'est pas cimenté ou que la formation n'est pas bouillante, il peut s'avérer nécessaire de couper ou de fendre le tube pour remplir l'espace annulaire extérieur.

## CHAPITRE A1-13.6 - PUITS ARTESIENS

(Voir chapitre A1-4, type 11 en annexe). L'obturation de puits abandonnés dans lesquels il existe un fort mouvement d'eau entre aquifères ou vers la surface implique une attention spéciale. Souvent le mouvement de l'eau est tel qu'il rend impraticable la mise en place par gravité des matériaux, béton, mortier, coulis de ciment, argile ou sable. Dans de tels puits on aura besoin d'agrégats de gros cailloux (diamètre maximal = 1/3 de celui du tubage), de laine de plomb, de rognures d'acier, d'un packer ou d'un bouchon de bois ou de plomb fondu, pour réduire le débit et par conséquent permettre la mise en place par gravité du matériau d'obturation au-dessus de l'horizon aquifère artésien. Si l'on utilise un packer préfabriqué ou préfoncé, sa longueur sera égale à plusieurs fois le diamètre du puits de façon à éviter qu'il ne s'incline.

Attendu qu'il est très important dans les puits de ce type de prévenir les circulations entre formations, ou les pertes d'eau vers la surface ou vers l'espace annulaire du tubage, il est recommandé de cimenter sous-pression au ciment pur additionné du minimum d'eau suffisant pour la mise en oeuvre. Il est parfois possible de remplacer la cimentation sous pression par une injection de boue également sous pression.

Sur les puits, dont le niveau se stabilise à faible hauteur au-dessus du sol, on peut arrêter le jaillissement en prolongeant le tubage à partir de la surface. On pourra alors obturer le puits par l'une des méthodes exposées plus haut en choisissant celle-ci en fonction des conditions géologiques.

## CHAPITRE A1-13.7 - MATERIAUX D'OBTURATION

On a déjà mentionné ici les matériaux donnant satisfaction pour l'obturation des puits, à savoir le béton, le mortier, le coulis de ciment pur, l'argile, le sable, ou un mélange de ces matériaux. Chaque matériau a ses caractéristiques propres ; selon le cas, un matériau peut convenir plus spécialement pour un travail donné. Le choix du matériau sera fait en fonction de l'équipement du puits, de la nature des terrains recoupés, des disponibilités réelles en matériaux et des moyens matériels de mise en oeuvre, de l'emplacement du puits par rapport aux sources éventuelles de contamination et du coût des travaux à exécuter.

On emploie généralement du béton pour remplir la partie supérieure de l'ouvrage ou la tranche correspondante à l'horizon aquifère, pour boucher des

petits tronçons de tubages, ou pour remplir des puits de grand diamètre. Le béton est moins cher que le mortier ou que le coulis de ciment pur et il permet d'effectuer des bouchons ou des obturations plus fortes. Mais le béton ne pénétrera pas dans les joints de couches, dans les fissures et interstices. En outre si sa mise en place n'est pas faite correctement, les agrégats peuvent être séparés du ciment.

Le mortier de ciment ou le coulis de ciment pur sont bien supérieurs pour l'obturation de petites ouvertures, pour la pénétration dans les espaces annulaires des tubages ou pour remplir les vides des formations environnantes.

Quand ils sont injectés sous pression, ils sont fortement préférables pour l'obturation des puits artésiens en pression ou de ceux qui traversent plusieurs aquifères. Le coulis de ciment pur est généralement préféré au mortier, car il exclut le risque de ségrégation des éléments.

L'argile, comme la boue lourde ou les boues argileuses spéciales injectées sous pression présentent la plupart des avantages du mortier de ciment. Leur emploi est préféré particulièrement pour l'obturation des puits artésiens, par beaucoup d'autorités compétentes, tandis que d'autres ont le sentiment que l'argile peut, dans certaines conditions, être éventuellement entraînée dans les terrains environnants.

L'argile relativement déshydratée, l'argile et le sable, ou le sable seul, peuvent être utilisés avec avantage, particulièrement lorsque le niveau de l'eau se stabilise au-dessous du sol dans les ouvrages de grand diamètre ou de grande profondeur, dans les terrains bouillants, dans les cas où il n'est pas nécessaire de faire pénétrer le colmatant dans les ouvertures des tubages, liners, ou dans les vides du terrain, ou dans le cas où l'on n'a pas besoin d'obtenir une zone d'étanchéité en un point précis.

Il est souvent nécessaire de combiner l'emploi de ces matériaux. Les plus chers sont réservés aux cas où l'on a besoin de colmatages résistants, pénétrants et parfaitement étanches. Les moins chers conviennent pour combler le restant du puits. Le mortier, et le coulis de ciment sont maintenant mélangés par des procédés spéciaux avec des argiles et divers agrégats. On attribue à ces mélanges de bonnes caractéristiques techniques et économiques.