

Ministère de l'Économie,
des Finances et de l'Industrie



Secrétariat
d'État à l'Industrie

Abandon et fermeture des forages

Note technique n° 11

Novembre 1997

**DIVISION NATIONALE DES EAUX
MINÉRALES ET THERMALES**

**BUREAU DE RECHERCHES
GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

R É S U M É

Méthode directe d'acquisition de données sur un gisement, le forage d'eau minérale entre en contact avec une ressource qui se doit d'être stable dans le temps. Or la réalisation d'un forage peut induire la mise en communication de l'aquifère d'eau minérale avec d'autres horizons de qualité distincte. Ces relations peuvent modifier la qualité de l'eau minérale et créer des désordres. Ainsi, si dans le cadre des forages d'exploitation toutes les précautions sont généralement prises pour préserver la qualité du fluide recherché, il doit impérativement en être de même pour les forages non équipés, qu'ils soient abandonnés ou voués à d'autres usages.

L'abandon et la fermeture des forages constituent donc un aspect à part entière dans la protection de l'environnement et en particulier dans la protection des ressources d'eau minérale. Les techniques impliquées pour ces actions nécessitent une analyse détaillée du contexte hydrogéologique et des conditions de réalisation d'un ouvrage pour répondre à chaque cas particulier.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	1
2. RAPPELS THÉORIQUES SUR LA CIRCULATION DES EAUX SOUTERRAINES	1
3. ASPECT RÉGLEMENTAIRE - RESPONSABILITÉ	2
4. ETUDES PRÉALABLES A LA PROCÉDURE D'ABANDON	2
5. FERMETURE DÉFINITIVE (Abandon de forage)	3
5.1 Conditions générales de réalisation	3
5.2 Isolement des niveaux-réservoirs dans le découvert (figure 2)	4
5.3 Isolation du découvert.....	4
5.4 Isolement des annulaires non cimentés (cf. figure 4 schéma a)	4
5.5 Bouchon sur tête de tubage ou coupe de tubage (cf. figure 4 schéma b)	5
5.6 Isolement complémentaire des annulaires cimentés (cf. figure 4 schéma c).....	5
5.7 Bouchage en surface (cf. figure 5 schéma a).....	5
5.8 Récupération des équipements en tête d'ouvrage	5
6. FERMETURE PARTIELLE OU TEMPORAIRE	5
7. CONCLUSION	6
BIBLIOGRAPHIE	7

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Mode de circulation entre aquifères dans un forage (rappel théorique)

Figure 2 : Isolement de niveaux-réservoirs dans le découvert

Figure 3 : Isolement du découvert

Figure 4 : Isolement des annulaires et des têtes ou des coupes de tubage

Figure 5 : Bouchage en surface et tête de piézomètre

1. INTRODUCTION

Les émergences d'eaux minérales, qu'elles soient naturelles ou forées, sont des points qui correspondent à des lieux de circulation préférentielle, c'est-à-dire permettant une exploitation à un débit donné d'un fluide de qualité donnée et stable dans le temps.

La réalisation de forages dans un gisement d'eau minérale, que les travaux soient réalisés pour améliorer la connaissance du site (reconnaissance) ou les conditions de captage, permet en général une mise en communication de l'aquifère cible (contenant l'eau minérale recherchée) avec d'autres horizons (aquifères profonds ou de surface).

Lorsqu'il s'agit d'ouvrage de captage de la ressource minérale, les conditions d'équipement du forage sont conçues pour assurer la maîtrise des relations entre aquifères.

Dès lors que le forage est abandonné, il constitue un point fragile du système qui, s'il n'est pas convenablement traité, peut être à l'origine de pollutions ou modifications plus ou moins graves d'une ressource d'eau minérale.

Au fil du temps, la structure d'un ouvrage abandonné va se détruire par corrosion et mettre en communication toutes les formations géologiques au droit du forage. On risque par conséquent de mélanger des niveaux aquifères de mauvaise qualité avec des niveaux plus intéressants. Cela peut aboutir à la destruction partielle ou totale de l'aquifère. A cette interférence entre niveaux géologiques, s'ajoute l'introduction dans l'ouvrage abandonné des eaux de surface comme des eaux de pluie, ou plus grave encore, des eaux polluées.

L'abandon d'un ouvrage est donc un problème sérieux qu'il faut traiter avec soin. Sur le principe, il s'agit d'une opération qui entre dans le cadre très large de la politique de l'environnement (conservation des ressources).

L'objet de la présente note technique est de synthétiser les prescriptions et recommandations techniques considérées comme les règles de l'art, admises dans le cadre de l'instruction de l'abandon ou du délaissement d'ouvrages.

Le principe de la fermeture est la restauration de l'isolation des différents niveaux-réservoirs. Une attention particulière devra être apportée aux niveaux à protéger en raison de leur exploitation actuelle ou future.

2. RAPPELS THÉORIQUES SUR LA CIRCULATION DES EAUX SOUTERRAINES

Il est admis dans le langage courant que l'eau coule de haut en bas (elle descend). Cela traduit un écoulement en surface selon les lois de la gravité. Dans le sous-sol, le fluide obéit à un déplacement lié à des pressions, il y a transfert depuis les pressions les plus élevées vers les pressions les plus faibles. Ainsi pour 2 aquifères superposés, séparés par un niveau imperméable, le flux de transfert entre les 2 niveaux aquifères dépend de la pression relative de chacun d'eux comme l'illustre la figure 1.

Schéma a : flux descendant

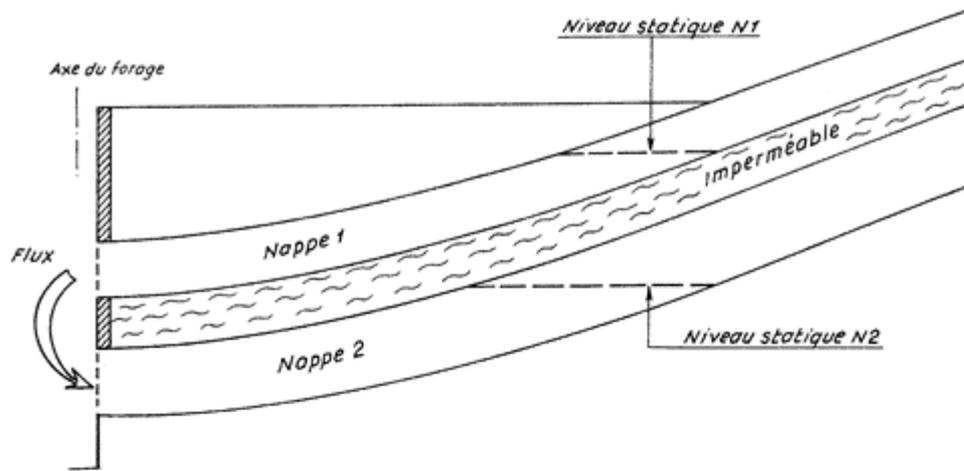
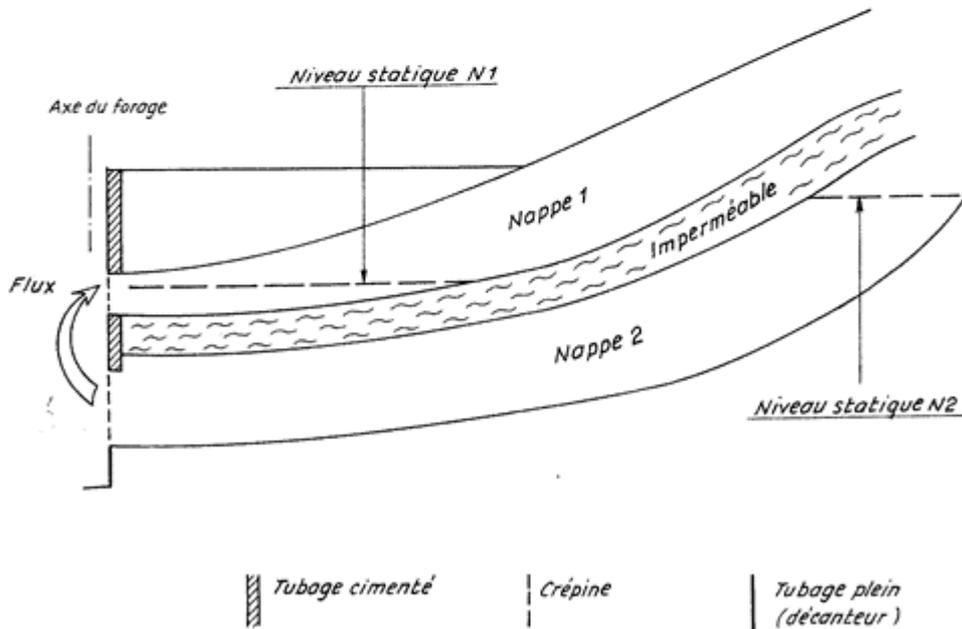


Schéma b : flux ascendant



Tubage cimenté
 Crépine
 Tubage plein (décanteur)

Figure 1 - Mode de circulation entre aquifères dans un forage (rappel théorique)

Supposons dans l'exemple proposé que la nappe 1 soit de qualité différente de la nappe 2 et que cette dernière représente notre réserve d'eau minérale. Dans le schéma a, le risque de contamination de la réserve d'eau minérale est fort (flux descendant de 1 vers 2). Dans le schéma b, le risque paraît moins évident, les écoulements ayant lieu de 2 vers 1.

Ce rappel théorique a pour objet de montrer que si la relation entre différents niveaux aquifères est à contrôler de manière stricte, le risque encouru en un site donné, eu égard à la protection d'une ressource, est étroitement lié au contexte hydrogéologique.

On retiendra que, quel que soit le risque hydrogéologique, il convient d'exiger de reconstituer l'étanchéité entre

nappes superposées dans les cas où une des nappes concernées est polluée bactériologiquement.

3. ASPECT RÉGLEMENTAIRE - RESPONSABILITÉ

Si le problème de communication entre les nappes aquifères n'est pas explicitement traité dans les textes réglementaires, la loi sur l'eau constitue le guide en la matière compte-tenu du fait que ses dispositions ont pour objet (article 2) "*une gestion équilibrée de la ressource en eau visant à assurer la protection contre toute pollution et la restauration de la qualité des eaux souterraines de manière à satisfaire les exigences de la conservation et du libre écoulement des eaux*".

Ainsi toutes les précautions doivent être prises pour assurer un maintien de la qualité d'un aquifère. On notera que certains travaux, dont les forages sous certaines conditions, entrent dans la nomenclature des opérations soumises à déclaration ou à autorisation (point 1.1.0 - 4.3.0 - 6.1.0) et nécessitent une procédure réglementaire par laquelle peut être demandée l'analyse de l'impact (ou des risques) inhérent à un projet.

Pour ce qui concerne la responsabilité quant à l'abandon de forages, il est clair que le maître d'ouvrage est responsable d'une part de la prise de décision conduisant à l'abandon définitif ou provisoire d'un puits et d'autre part du respect des dispositions légales en la matière.

Le maître d'œuvre est responsable de la réalisation technique de l'abandon conformément aux directives du maître d'ouvrage et aux règles techniques. Il lui incombe notamment :

- de rédiger le rapport d'intervention de l'abandon,
- de faire ou faire réaliser l'inspection périodique des sites provisoirement délaissés conformément à la demande du maître d'ouvrage et dans le respect des contraintes administratives ou légales.

4. ETUDES PRÉALABLES A LA PROCÉDURE D'ABANDON

Dans le but d'améliorer les conditions de sécurité concernant la protection des niveaux aquifères en préalable aux travaux d'abandon proprement dits, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance de l'ouvrage. A cet effet, les opérations suivantes peuvent être préconisées :

- Analyse et synthèse des documents sur lesquels sont consignés les événements survenus lors de la foration initiale (notamment zones à pertes, à venues, stabilité des formations, etc...).

L'analyse des diagraphies complète également la connaissance des terrains traversés. Les problèmes éventuels rencontrés en cours d'exploitation doivent également être analysés.

- Diagnostic de l'ouvrage avant de lancer la procédure d'abandon. Cette phase permet de vérifier l'état du puits afin d'établir concrètement le programme d'abandon. Suivant le cas et la complexité de l'ouvrage à traiter, on peut être amené à procéder aux opérations suivantes :

- Contrôle du fond de puits afin de vérifier la présence ou non d'éboulement en fond de puits.
 - Calibrage des tubages par outil de diagraphie (mécanique, ultrasonique ...) afin de connaître les zones de corrosion éventuelles (et/ou dépôts). Dans certains cas, un contrôle par vidéo caméra peut être également effectué.
 - Vérification de la qualité de la cimentation annulaire des tubages par diagraphie.
 - Connaissance de la qualité chimique et des circulations du fluide en place afin de choisir une qualité de ciment compatible avec ceux-ci et d'autre part pouvoir, le cas échéant, lui adjoindre un inhibiteur de corrosion.
 - Un test simple, de mise en pression du tubage permet d'en vérifier son intégrité.
- Pour les forages de faible diamètre et faible profondeur, la cimentation sur toute la hauteur sera de règle compte tenu des faibles quantités en jeu (un diamètre 150 mm et une profondeur 100 m nécessitent environ 1,8 m³ de ciment).

5. FERMETURE DÉFINITIVE (Abandon de forage)

5.1 Conditions générales de réalisation

Les opérations de fermeture ne doivent pas rompre l'équilibre hydrostatique du sondage. Le fluide (boue, saumure inhibée, etc...) qui sera laissé entre les bouchons doit avoir une densité telle que le volume injecté équilibre la plus forte pression rencontrée pendant la foration de la phase considérée.

Les bouchons peuvent être mécaniques ou hydrauliques (ciment).

Le laitier de ciment généralement utilisé pour les bouchons hydrauliques pourra être remplacé par un autre liant (résine acrylique par exemple). Par simplification, le terme générique "ciment" est utilisé dans les développements qui suivent.

Quelques principes à respecter :

- Lorsque le forage est muni d'une bride pleine sur le sommet du tube de surface, celle-ci devra comporter un taraudage ½" avec vanne et manomètre afin de pouvoir connaître la pression amont à tout moment lors de l'opération d'obturation.
- Dans certains cas particuliers, les risques relatifs à la corrosion par les fluides en place ou par l'électrolyse due aux courants vagabonds peut réclamer des traitements anti-corrosion (inhibition) ou des procédures particulières d'abandon.

- La mise en place d'un bouchon de ciment devra se faire par injection sous pression au niveau souhaité (une cimentation gravitaire ne présente pas en général de garantie de mise en place adéquate).
- Le niveau atteint par le ciment dans les divers annulaires doit être connu avant d'établir le programme d'abandon.
- Les bouchons de ciment auront un volume minimum de 1 m³.

Nota : Dans la suite du document sont utilisés les termes découvert et annulaire. Le découvert correspond à la zone forée sans tubage, l'annulaire correspond à la zone située entre un tubage et le terrain.

5.2 Isolement des niveaux-réservoirs dans le découvert (figure 2)

De bas en haut, chaque niveau producteur sera isolé du niveau producteur suivant par un bouchon de ciment placé entre ces deux niveaux.

Un ensemble multicouches constitué de niveaux-réservoir minces, pris entre des niveaux argileux peu épais, sera traité comme un niveau réservoir unique. Toutefois, si ces couches sont susceptibles de contenir des fluides de nature différente et/ou à des régimes de pression différents, le bouchon de ciment devra également couvrir cet ensemble.

Ces bouchons seront mis en place par circulation (c'est-à-dire avec une pompe d'injection et non de façon gravitaire).

5.3 Isolation du découvert

Un bouchon de ciment sera posé à cheval sur le sabot (base) du dernier cuvelage. Il sera mis en place par circulation (figure 3 schéma a)

En cas de perte de circulation lors de la mise en place d'un bouchon de ciment, on pourra se contenter d'un bouchon mécanique plein (Bridge plug) surmonté d'un bouchon de ciment (figure 3 schéma b).

Dans certains cas, lorsque la complétion⁽¹⁾ est laissée dans le forage, la crépine pourra être remplie par du gravier, surmonté par un bouchon de ciment (figure 3 schéma c).

5.4 Isolement des annulaires non cimentés (cf figure 4 schéma a)

S'il existe des annulaires (espace terrain-tubage) non remplis de ciment et comportant des niveaux susceptibles d'être des réservoirs, et si ces niveaux communiquent entre eux ou communiquent avec la surface, il faudra les isoler :

(1) Complétion : Colonne de captage équipant le forage (par exemple : crépine + massif filtrant).

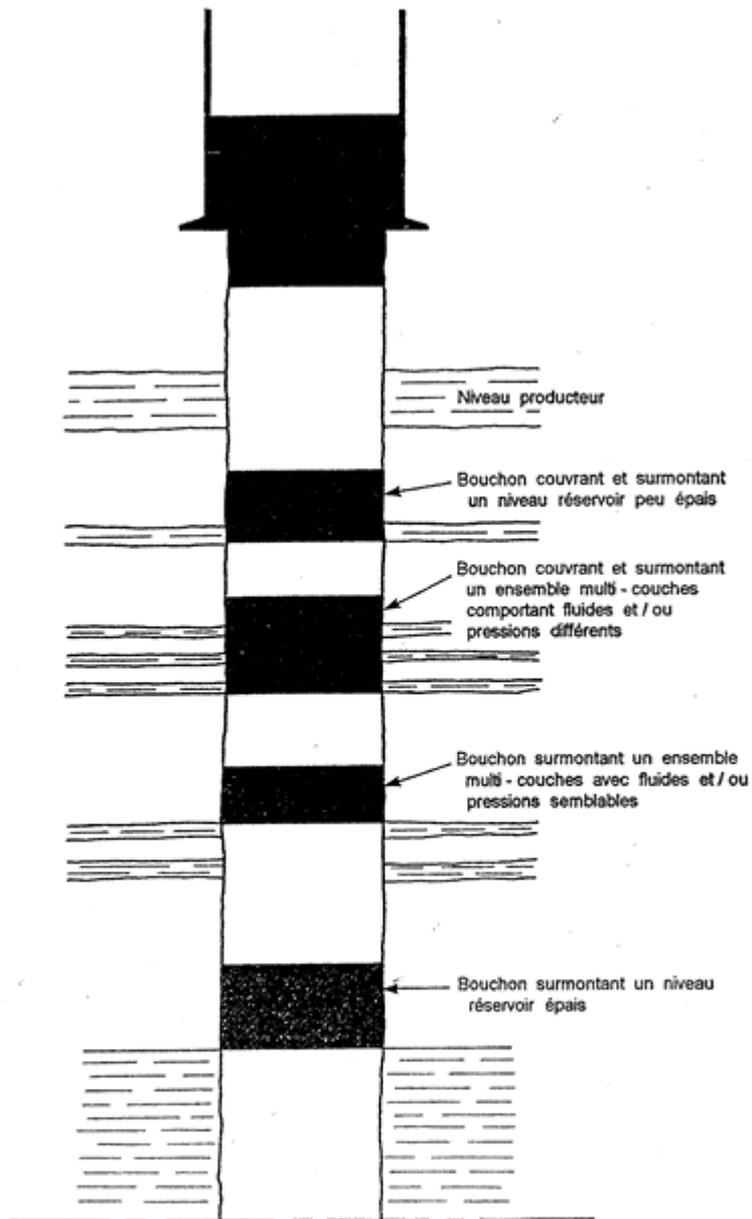


Figure 2 - Isolement de niveaux-réservoirs dans le découvert

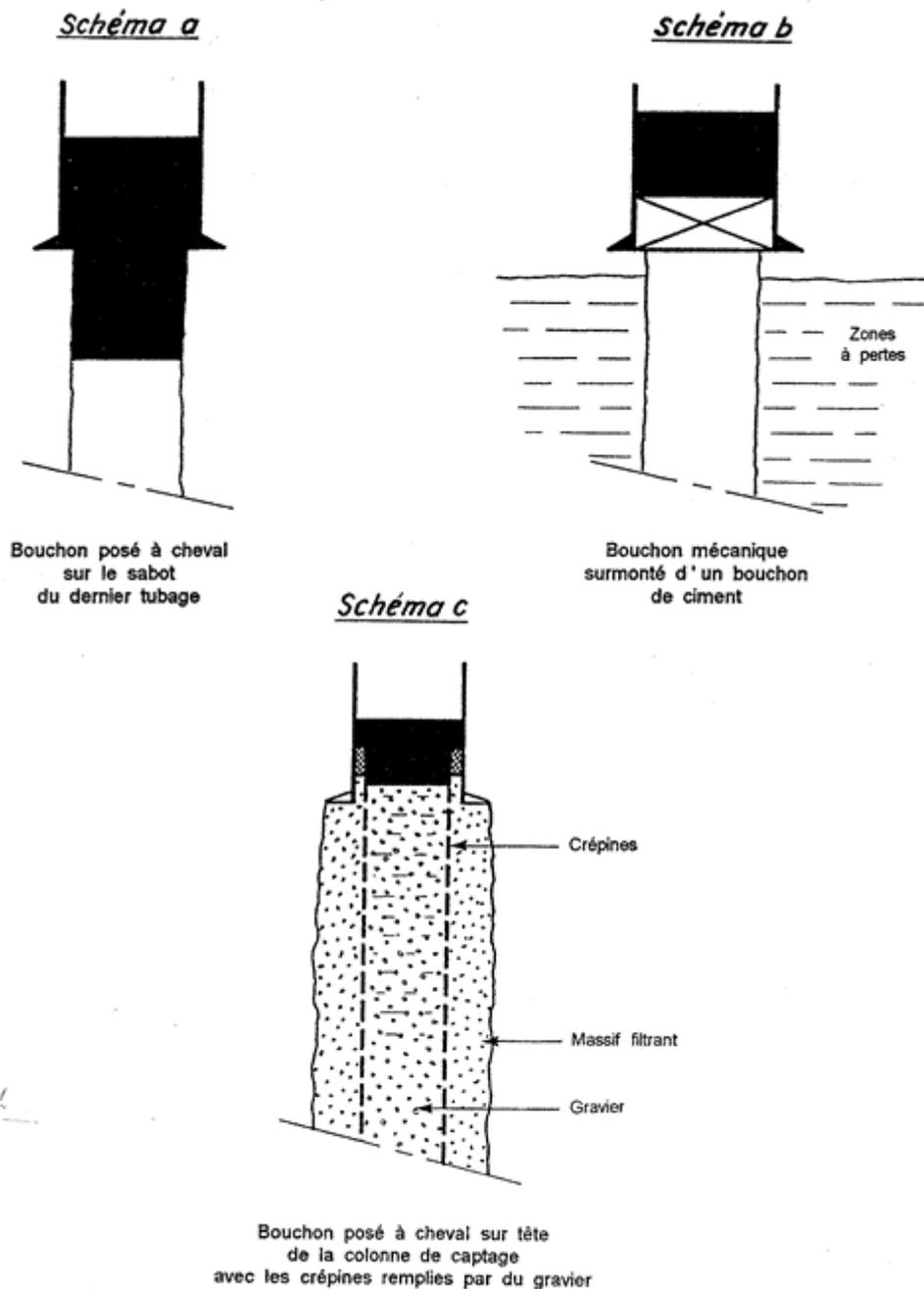


Figure 3 - Isolement du découvert

- soit par injection sous pression (squeeze) ou circulation de ciment par des perforations,
- soit par injection sous pression (squeeze) de ciment par l'espace annulaire à partir de la tête de puits.

Si le tubage a été coupé et retiré, l'isolement se fera par mise en place de bouchons comme pour le découvert (point 2 ci-dessus).

5.5 Bouchon sur tête de tubage ou coupe de tubage (cf. figure 4 schéma b)

Un bouchon sera mis en place par circulation à cheval sur chaque coupe du tubage ou sur la tête du tubage. Les coupes de tubage pourront également être isolées par un bouchon mécanique plein ancré dans le tubage supérieur à moins de 20 mètres de la coupe et surmonté par un bouchon de ciment.

5.6 Isolement complémentaire des annulaires cimentés (cf. figure 4 schéma c)

Si la qualité de la gaine de ciment annulaire terrain-tubage est douteuse et s'il y a risque de percement du tubage par corrosion, des bouchons seront placés à l'intérieur du tubage pour interdire tout risque de communication entre deux niveaux-réservoirs, de pression et/ou de fluides différents, situés au droit de la partie cimentée de ce tubage.

5.7 Bouchage en surface (cf. figure 5 schéma a)

Un bouchon sera mis en place par circulation, le haut du bouchon sera situé à moins de 10 m sous le niveau du sol (généralement au niveau du sol).

5.8 Récupération des équipements en tête d'ouvrage

La récupération des tubages libres et de la tête de puits pourra être effectuée après que soit vérifiée l'absence de pression (sécurité pour contenir toute éruption) dans les annulaires (ouverture ou perforation, remplissage, observation). Elle sera programmée de façon que soit satisfaits les impératifs d'isolation et de bouchage prévus dans les paragraphes 5.1 à 5.7 et remplies les conditions de test décrites au chapitre 4.

6. FERMETURE PARTIELLE OU TEMPORAIRE

Deux cas peuvent être distingués.

6.1 Fermeture partielle lorsque l'horizon à exploiter est situé au dessus du fond de puits.

L'isolement des niveaux situés au-dessous du niveau qu'il est prévu d'exploiter sera le même que dans le cas d'un bouchage définitif paragraphes 5.1 à 5.7 ci-avant.

6.2 Fermeture temporaire lorsque l'exploitant envisage de revenir sur le puits pour en reprendre son exploitation, l'approfondir ou pour exploiter un autre niveau-réservoir

Les opérations de fermeture temporaire seront effectuées selon les paragraphes 5.4 à 5.7 ci-dessus, l'isolation de la partie réservoir permettra une remise en exploitation si nécessaire.

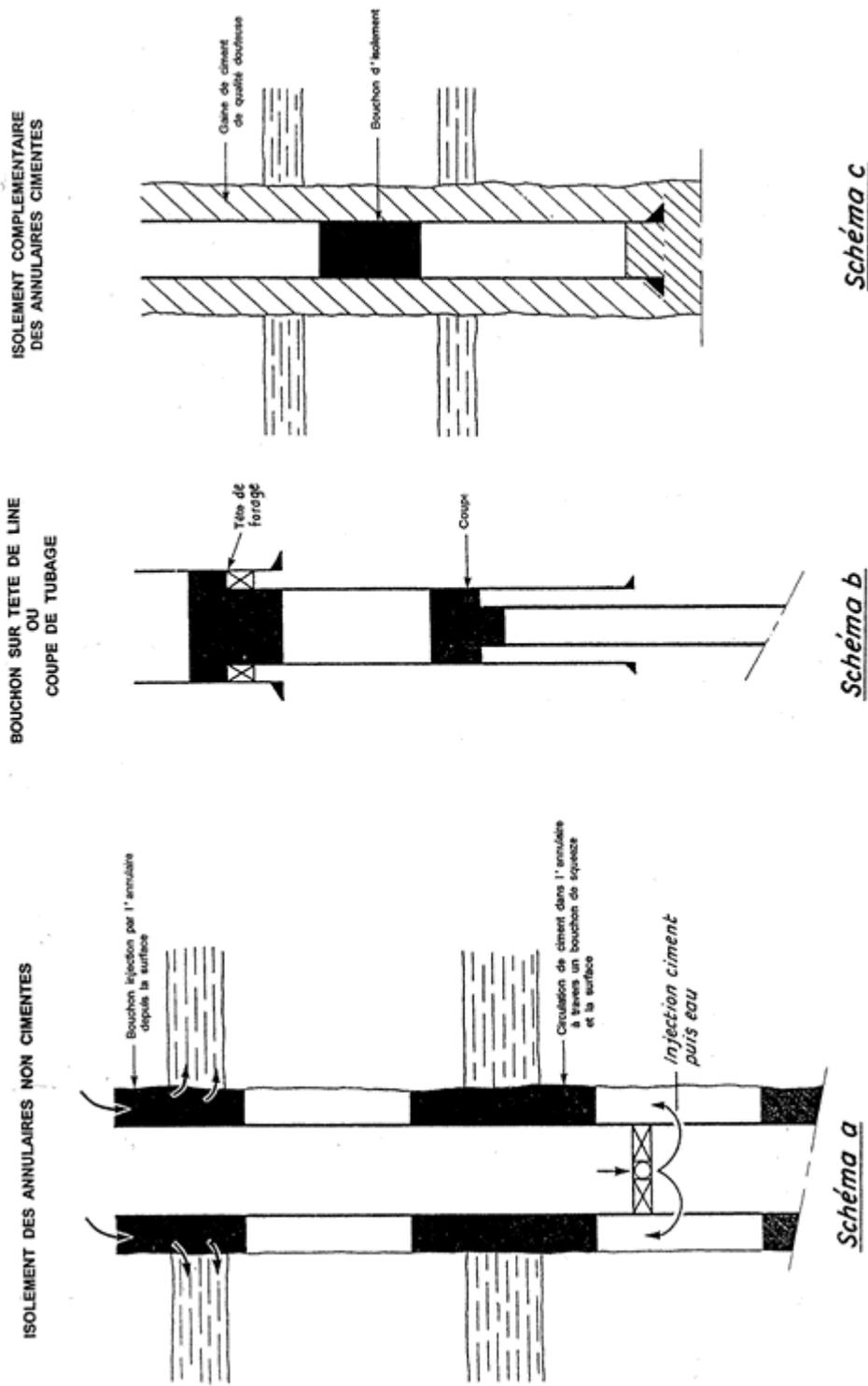


Figure 4 - Isolement des annulaires et des têtes ou des coupes de tubage

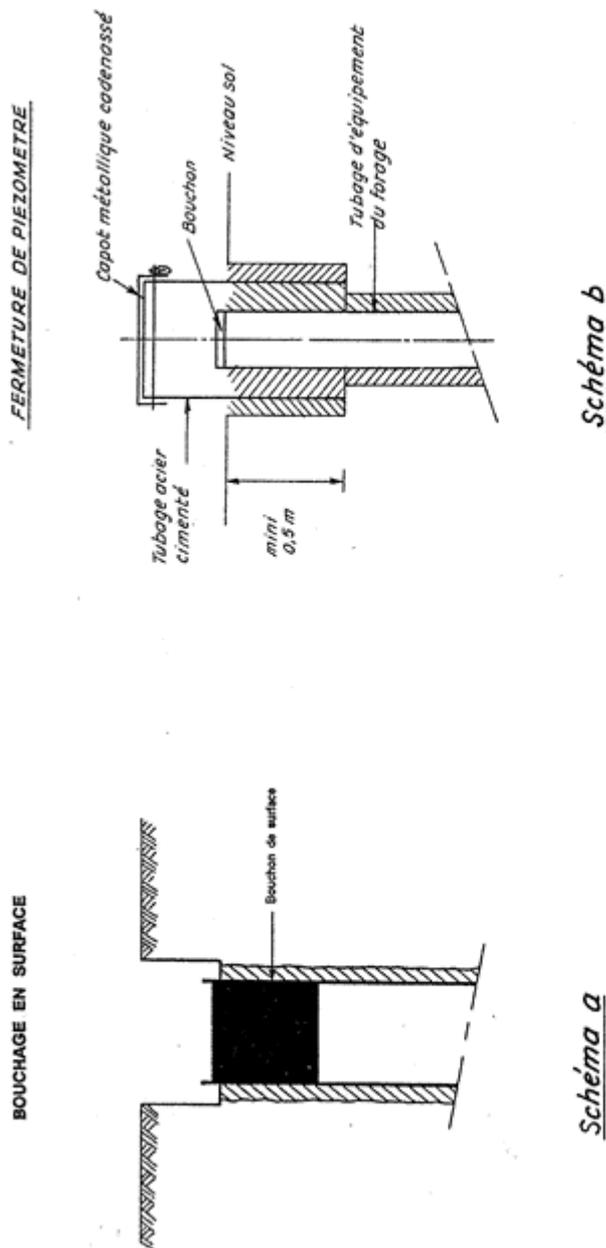


Figure 5 - Bouchage en surface et tête de piézomètre

Afin de garantir l'intégrité du réservoir, un bouchon mécanique (Bridge plug) sera ancré au sabot du dernier tubage et sera surmonté par un bouchon de ciment (fig. 3 - schéma b).

Nota : Un ouvrage qui n'est pas abandonné totalement peut être utilisé en piézomètre pour certains besoins spécifiques (niveau piézométrique, point prélèvement qualité ...). Dans tous les cas, il est utile que l'aménagement de tête de puits permette d'assurer la sécurité du point. Pour ce faire, il est conseillé de mettre en place un tubage acier cimenté, coiffant le tubage d'équipement du forage et cadenassé. Ce tubage acier de protection dépassera du sol ou pourra se situer sous une plaque type égout. La figure 5 schéma b permet de visualiser une fermeture de piézomètre.

7. CONCLUSION

Abandon et fermeture des forages

Les forages constituent des points d'observation très intéressants donc très utilisés pour l'étude des gisements. Ces mêmes points peuvent aussi, si leur conception ne suit pas les règles de l'art, induire des nuisances importantes pour l'environnement. La mise en communication d'un niveau aquifère d'eau minérale avec d'autres niveaux aquifères (supérieurs ou inférieurs, profonds ou de surface), par l'intermédiaire d'un forage, peut modifier les caractéristiques de l'eau concernée dont on sait qu'elles doivent rester constantes dans le temps (cf définition d'une eau minérale).

C'est pourquoi, il est indispensable que les forages réalisés, tout particulièrement ceux concernant un gisement d'eau minérale, bénéficient d'une attention renforcée non seulement pendant mais également après leur réalisation, que ce soit dans le cadre d'une procédure d'abandon ou dans le cadre d'une procédure de fermeture pour usage spécifique.

Les conditions d'abandon des forages nécessitent une analyse détaillée des contextes hydrogéologique et technique de réalisation des ouvrages afin de mettre en œuvre la technique d'obturation la plus adaptée dans un souci de conservation de l'environnement.

BIBLIOGRAPHIE

- **Abandon et fermeture des forages - Prescriptions et recommandations techniques** - Rapport ANTEA - NT007/EAU/94 - 09/94 E. BERTET (document interne)

- **Guide de bonne pratique et de contrôle des forages d'eau pour la protection de l'environnement** - Rapport 38261 - BRGM - 09/95 (document public)