

ministère
de l'écologie et du
développement
durable

**GUIDE D'APPLICATION DE L'ARRÊTÉ INTERMINISTÉRIEL
DU 11 SEPTEMBRE 2003
RELATIF À LA RUBRIQUE 1.1.0 DE LA NOMENCLATURE EAU**

Sondage, forage, création de puits ou d'ouvrage souterrain
non domestique exécuté en vue de la recherche, de la surveillance
ou d'un prélèvement d'eau souterraine

septembre 2004

GUIDE D'APPLICATION DE L'ARRÊTE INTERMINISTÉRIEL DU 11 SEPTEMBRE 2003 RELATIF A LA RUBRIQUE 1.1.0 DE LA NOMENCLATURE EAU

Septembre 2004

Ce document a été réalisé par Laurent Albouy et Jean Jacques Seguin du BRGM sous la direction de Dominique Chadourne et Catherine Thouin de la Direction de l'Eau au Ministère de l'Ecologie et du Développement durable, dans le cadre de la convention pluriannuelle (2003-2005) d'Objectifs entre le BRGM et le MEDD, portant sur la connaissance et le suivi de la gestion des eaux souterraines.

Ont contribué à l'élaboration de ce document :

- Catherine Aupert de la DIREN Bretagne,
- Frédéric Verley et Fabrice Brunson de la DIREN Centre,
- Philippe Verjus de la DIREN Ile de France,
- Françoise Beaumont de la DDAF du Vaucluse,
- D. Leroux de la MISE du Nord,
- Johann Perthuisot de la DDAF de Charente Maritime,
- Anne Carn, Nicolas Rampnoux, Gérard Longin, Pauline Corbier, Stéphanie Pinson, Alexis Gutierrez, Denis Bonnefoy et Dominique Pajon du BRGM
- Jacques Couderc du syndicat national des foreurs d'eau
- Gilbert Brette de Antéa.

Certaines illustrations ont été empruntées aux plaquettes de communication suivantes :

« Le forage en Bretagne » (DIREN et BRGM, 2004)

« Guide pour une bonne pratique des forages en région Nord-Pas-de-Calais » (DIREN et BRGM, 2004)

« Des forages de qualité en région Centre » (DRIRE, DIREN et BRGM, 1999)



Préambule

La réalisation de certains forages est **réglementée au titre du code de l'environnement**, dans le but de garantir que leur exécution ne portera pas atteinte à la qualité des ressources en eau souterraine.

L'arrêté interministériel « forages » publié le 11 septembre 2003, contient les **règles techniques minimales permettant d'exécuter un ouvrage soumis à déclaration ou autorisation au titre de l'article L. 214-3 du code de l'environnement dans le respect de la protection des eaux souterraines.**

La Direction de l'Eau du ministère de l'Ecologie et du Développement durable a souhaité que les différents acteurs impliqués lors de la réalisation de forages soient informés des nouvelles dispositions réglementaires.

Le présent document propose une **lecture expliquée de l'arrêté interministériel « forages » du 11 septembre 2003** portant application du décret n° 96-102 du 2 février 1996 et fixant les prescriptions générales applicables aux sondages, forages, création de puits ou d'ouvrage souterrain soumis à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-6 du code de l'environnement, relevant de la rubrique 1.1.0 de la nomenclature annexée au décret¹ n° 93-743 du 29 mars 1993 **et de la dernière partie de la circulaire du 16 mars 2004 relative à la gestion quantitative de la ressource en eau et à l'instruction des demandes d'autorisation ou de déclaration des prélèvements d'eau et des forages**, à laquelle on pourra utilement se reporter.

Le document comprend une série de fiches synthétiques, check-lists et fiches techniques illustrées de schémas :

- il décrit les réglementations s'appliquant aux forages ;
- il rappelle l'objectif de la modification de la nomenclature, intervenue le 11 septembre 2003 et le champ d'application de l'arrêté ;
- il explicite et illustre les règles techniques pour la réalisation, l'équipement, le contrôle, le comblement des forages, exposées dans l'arrêté ;
- il précise les informations à fournir aux différentes étapes de la réalisation d'un forage relevant de la rubrique 1.1.0 ;
- il présente la banque de données du sous-sol et l'attribution du code BSS ;
- il indique les sources d'informations pour la connaissance du sous-sol ;
- il rappelle des notions d'hydrogéologie essentielles à connaître.

¹ modifié par le décret n° 2003-868 du 11 septembre 2003

Sommaire

Préambule	3
Fiche 1 – Rappel des réglementations qui s'appliquent aux forages	7
Fiche 2 – Domaine d'application de l'arrêté « forage » du 11 septembre 2003	11
Fiche 3 – Les étapes de la procédure pour la réalisation d'un forage	13
Fiche 4 – Conditions d'implantation d'un forage	17
Fiche 5 – Organisation d'un chantier de forage et prévention des risques de pollution	19
Fiche 6 a – Conditions techniques de réalisation d'un forage : précautions particulières et foration	21
Fiche 6 b – Conditions techniques de réalisation d'un forage : la cimentation	27
Fiche 6 c – Conditions techniques de réalisation d'un forage : mise en place de la crépine, du massif filtrant, nettoyage et développement	35
Fiche 7 – Equipement de la tête d'un forage	37
Fiche 8 – Tests de pompages	41
Fiche 9 – Rapport de fin de travaux	45
Fiche 10 – Surveillance de l'état du forage	49
Fiche 11 – Conditions d'abandon d'un forage	53
Fiche 12 – Ce qu'il faut retenir de l'arrêté « forages »	55
A1 - Informations à fournir lors de la réalisation de sondages, forages, puits et ouvrages souterrains relevant de la rubrique 1.1.0 de la nomenclature définie au titre de la loi sur l'eau	59
A2 - Sources d'informations	67
A3 - Le logiciel GESFOR pour la collecte des données de forage	69
A4 - La banque de données du sous-sol	74
A5 - Notions d'hydrogéologie	78
Orientation bibliographique	90

Liste des illustrations

Illustration 1 - Où et comment réaliser un forage	14
Illustration 2 – Exemple de critères d'implantation d'un forage	18
Illustration 3 - Assurer la protection des eaux souterraines	19
Illustration 4 - Forage en nappe libre réalisé en une seule étape et en un seul diamètre	24
Illustration 5 - Forage traversant une nappe libre et captant une nappe captive	25
Illustration 6 - Détail de cimentations (correcte et défectueuse) au niveau des télescopes dans l'espace annulaire entre les tubages	28
Illustration 7 - Cimentation de tubages en zone de socle.....	28
Illustration 8 - Dispositif de cimentation par les tiges	29
Illustration 9 - Cimentation par tube ancré	30
Illustration 10 - Cimentation par tube suspendu.....	31
Illustration 11 - Cimentation par canne dans l'annulaire (schéma n°1).....	32
Illustration 12 - Cimentation par canne (schéma n°2).....	33
Illustration 13 - La hauteur de la rehausse au-dessus du sol est de 0,50 mètres.....	37
Illustration 14 - Capot de fermeture	37
Illustration 15 - Protection de la tête de forage.....	38
Illustration 16 - Configuration de captage en zone inondable.....	39
Illustration 17 - Configuration de captage en zone inondable Tête de puits submersible.....	40
Illustration 18 - Pompage par paliers de débit : courbe caractéristique	42
Illustration 19 - Évolution des rabattements en fonction du temps lors d'un essai à débit constant.....	43
Illustration 20 - Exemple d'interprétation simple d'un essai à débit constant.....	43
Illustration 21 - Exemple de coupe géologique et de coupe technique en milieu géologique très stratifié (si information détaillée requise)	46
Illustration 22 - Exemple de coupe géologique et de coupe technique en milieu géologique peu stratifié.....	47
Illustration 23 -Inspection vidéo d'un tubage endommagé.....	50
Illustration 25 - Exemple d'un forage non conservé, jugé improductif, non équipé et comblé.....	54
Illustration 26 - Exemple de présentation d'un dossier par le logiciel GESFOR	69
Illustration 27 - 2 "pages écran" issues du logiciel GESFOR	71
Illustration 28 - Coupe lithologique et technique présentée par le logiciel GESFOR.....	72
Illustration 29 - 2 "pages écran" du logiciel GESFOR relatives à un test de pompage.....	73
Illustration 30 - Informations extraites de la banque de données du sous-sol (BSS)	74
Illustration 31 - Zone saturée et non saturée dans un aquifère.....	79
Illustration 32 - Porosité d'interstice et porosité de fissure	79
Illustration 33 - Exemple de relations nappe - rivière	81
Illustration 34 - Exemple de relations nappe - rivière - forage.....	82
Illustration 35 - Structure type d'un aquifère de socle	83
Illustration 36 - Nappe libre et captive	84
Illustration 38 - Gradient hydraulique.....	86
Illustration 39 - Relations perméabilité, débit, rabattement dans un captage	87
Illustration 40 - Débit au travers d'une section de milieu poreux.....	88

Fiche 1 – Rappel des réglementations qui s'appliquent aux forages

Quatre types de réglementations peuvent s'appliquer aux forages :

- Le code de l'environnement (réglementation loi sur l'eau)
- Le code de l'environnement (réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement – ICPE)
- Le code de la santé publique (forages destinés à un usage alimentaire et/ou sanitaire)
- Le code minier

Le code de l'environnement – partie relative à la loi sur l'eau (livre II ; titre 1^{er})

La législation sur l'eau figurant dans le livre II « Milieux physiques » - titre 1^{er} « Eau et milieux aquatiques » du code de l'environnement, est fondée sur un ensemble de principes, dont en particulier :

- **La gestion équilibrée de la ressource et la protection de toutes les eaux vis à vis des pollutions** (article L. 211-1 du code de l'environnement)
- **La mise en place de régimes d'autorisation ou de déclaration pour les ouvrages et les activités susceptibles de représenter un danger ou un impact plus ou moins fort sur la ressource en eau**

« Sont soumis à autorisation de l'autorité administrative les installations, ouvrages, travaux et activités susceptibles de présenter des dangers pour la santé et la sécurité publique, de nuire au libre écoulement des eaux, de réduire la ressource en eau, d'accroître notablement le risque d'inondation, de porter atteinte gravement à la qualité ou à la diversité du milieu aquatique.

Sont soumis à déclaration les installations, ouvrages, travaux et activités qui, n'étant pas susceptibles de présenter de tels dangers, doivent néanmoins respecter les prescriptions édictées en application des articles L. 211-2 et L. 211-3. Si les principes mentionnés à l'article L. 211-1 ne sont pas garantis par l'exécution de ces prescriptions, l'autorité administrative peut imposer, par arrêté, toutes prescriptions spécifiques nécessaires.

Les prescriptions nécessaires à la protection des principes mentionnés à l'article L. 211-1, les moyens de surveillance, les modalités des contrôles techniques et les moyens d'intervention en cas d'incident ou d'accident sont fixés par l'arrêté d'autorisation et, éventuellement, par des actes complémentaires pris postérieurement à cette autorisation. Un décret détermine les conditions dans lesquelles les prescriptions visées aux deux alinéas précédents sont établies, modifiées et portées à la connaissance des tiers.» (article L. 214-3 du code de l'environnement)

Les deux régimes d'autorisation et de déclaration correspondent à des procédures administratives différentes définies par le décret n° 93-742 du 29 mars 1993.

Le décret n° 2003-868 du 11 septembre 2003 a modifié le décret n° 93-743 du 29 mars 1993 et a notamment :

- ramené de 40 m³/jour à **1000 m³/an** le volume en deçà duquel un prélèvement est réputé à **usage domestique**² ;
- dédoublé la rubrique 1.1.0 relative aux prélèvements dans les eaux souterraines en deux rubriques : **1.1.0 (travaux effectués dans le cadre de la recherche d'eau souterraine ou de leur surveillance)** désormais soumis à déclaration et **1.1.1. (prélèvements)** soumis à déclaration ou autorisation en fonction du débit prélevé ;
- supprimé la rubrique 1.5.0 (dispositions spécifiques pour les ouvrages de prélèvement d'eau souterraine situés dans les zones créées par le décret-loi de 1935 et ses décrets d'application successifs).

Ainsi désormais, certains « forages » sont soumis à déclaration au titre de l'article L. 214-3 du code de l'environnement. Il s'agit des sondages, forages, puits ou ouvrages souterrains destinés à la recherche, au prélèvement ou à la surveillance des eaux souterraines et relevant de la rubrique 1.1.0 de la nomenclature.

Ils sont soumis à des prescriptions générales fixées par un arrêté interministériel du 11 septembre 2003 pris en application du décret n° 96-102 du 2 février 1996.

➤ **Le principe des arrêtés de prescriptions générales**

Le principe des arrêtés de prescriptions générales est de définir un ensemble de règles minimales communes au plan national que doivent respecter les ouvrages, installations, activités, relevant des rubriques « loi sur l'eau » auxquelles ces arrêtés se réfèrent. De tels arrêtés sont élaborés pour les rubriques constituant des enjeux prioritaires pour les services de police de l'eau.

Dans le cas du régime de déclaration, ces règles s'imposent lors de l'émission du récépissé de déclaration auquel elles sont annexées. Des adaptations restent cependant possibles au cas par cas, à la demande du bénéficiaire ou du préfet. Elles ne doivent pas remettre en cause le niveau de protection de l'environnement prévu par les prescriptions générales.

NB : Pour les autorisations, ces règles ne constituent qu'un socle minimal que le Préfet complète autant que nécessaire lors de la rédaction de l'arrêté individuel d'autorisation en fonction des résultats de l'instruction du projet et de ses impacts potentiels.

Dans les 2 cas ces règles permettent d'avoir un traitement plus homogène des dossiers.

Le code de l'environnement – partie relative aux ICPE³ (livre V ; titre 1^{er})

Tous les forages nécessaires au fonctionnement des installations classées ou pour la surveillance de leurs effets relèvent de la législation ICPE (livre V « Prévention des pollutions, des risques et des nuisances » - titre 1^{er} « Installations classées pour la protection de l'environnement » du code de l'environnement). Ils ne sont pas soumis

² « Constituent un usage domestique de l'eau... les prélèvements et les rejets destinés exclusivement à la satisfaction des besoins des personnes physiques propriétaires ou locataires des installations et de ceux des personnes résidant habituellement sous leur toit, dans les limites des quantités d'eau nécessaires à l'alimentation humaine, aux soins d'hygiène, au lavage et aux productions végétales ou animales réservées à la consommation familiales de ces personnes.

En tout état de cause, est assimilé à un usage domestique de l'eau tout prélèvement inférieur ou égal à 1000 mètres cubes d'eau par an, qu'il soit effectué par une personne physique ou une personne morale et qu'il le soit au moyen d'une seule installation ou de plusieurs » (article 2 du décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié)

³ Installation classée pour la protection de l'environnement

au titre « Eau et milieux aquatiques » du code de l'environnement (loi sur l'eau). Ils peuvent être soumis à des prescriptions particulières par l'arrêté d'autorisation général qui réglemente l'activité ICPE. Il est recommandé dans tous les cas, que les conditions d'exécution de ces forages s'inspirent de celles figurant dans l'arrêté du 11 septembre 2003.

Toutefois, un prélèvement servant à la fois à l'alimentation d'un élevage (ICPE) et pour l'irrigation sera de préférence autorisé ou déclaré au titre de la police de l'eau ; les besoins en eau pour l'irrigation étant dans le cas général, supérieurs aux besoins pour l'élevage. Dans ce cas, le forage sera réglementé par l'arrêté du 11 septembre 2003.

Le code de la santé publique

Il s'applique au cas particulier des forages destinés à un usage alimentaire (eau destinée à la consommation humaine, eau utilisée dans l'industrie agroalimentaire notamment).

Lorsque le prélèvement d'eau dans le milieu naturel est destiné à la consommation humaine ou à une entreprise agroalimentaire, il est soumis à autorisation (articles R1321-6 à R1321-10 et R1321-14 du code de la santé publique).

Le captage doit respecter les prescriptions **énoncées par son arrêté d'autorisation spécifique, pris en application de la législation sur l'eau et du code général de la santé**. Il doit éviter les risques de pollution par retour d'eau (double réseau ou manchon souple). Les matériaux utilisés ne doivent pas être susceptibles d'altérer la qualité de l'eau.

Pour un usage alimentaire et/ou sanitaire collectif (captage AEP⁴), le captage et la zone affectée par le prélèvement sont protégés par des prescriptions spécifiques détaillées dans les différents **périmètres de protection du captage** :

- périmètre de protection immédiate : surface clôturée de quelques ares ;
- périmètre de protection rapprochée : zone d'appel du captage dont la surface varie suivant le type d'aquifère (nappe captive ou aquifère karstique...) ;
- périmètre de protection éloigné : zone d'alimentation du captage.

*« Les installations, ouvrages, travaux et activités soumis à déclaration au titre de la loi sur l'eau relèvent du **régime de l'autorisation** à l'intérieur des périmètres de protection rapprochée des points de prélèvements d'eau destinée à l'alimentation des collectivités humaines et à l'intérieur des périmètres de protection des eaux minérales » (article 2 du décret n° 93-743 du 29 mars 1993).*

Le code minier

L'obligation de **déclaration préalable** s'impose à toute personne exécutant un sondage, un ouvrage souterrain ou un forage dont la profondeur dépasse **10 mètres** (article 131). Cette réglementation est générale et **s'applique à tous les types de forages** : forages d'eau, forages géothermiques, recherche de substances utiles, fondations, géophysique, reconnaissance géologique...

L'objectif initial de la déclaration consiste à améliorer la connaissance du sous-sol. La déclaration est le moyen de communiquer au BRGM des informations issues de l'exécution des forages. Ces informations sont archivées et conservées dans la **banque du sous-sol (BSS)** gérée par le BRGM et accessible au public (article 132).

⁴ Alimentation en eau potable

La responsabilité de la déclaration relève du propriétaire de l'ouvrage et du foreur intervenant pour son compte. Il s'agit d'une responsabilité conjointe pouvant être recherchée en cas de désordres constatés. Le défaut de déclaration est passible de sanctions pénales (articles 142-8 et 142-9).

La déclaration dûment renseignée doit être adressée à la DRIRE avant le début des travaux, accompagnée d'une photocopie de la carte topographique IGN 1/25 000 avec l'indication de la localisation du projet de forage.

La référence au code minier ne se limite pas à la déclaration préalable au titre de l'article 131. Les forages effectués dans le cadre de l'exploitation de gîtes géothermiques, de la recherche ou de l'exploitation minières, ceux relatifs au stockage souterrain de gaz, hydrocarbures et produits chimiques et plus généralement les travaux visés au code minier sont régis par le **règlement général des industries extractives (RGIE)**.



Fiche 2 – Domaine d'application de l'arrêté « forage » du 11 septembre 2003

Pourquoi a t'on créé une nouvelle rubrique « forage » dans la nomenclature des opérations visées à l'article L. 214-3 du code de l'environnement ?

Précédemment, les forages effectués en vue d'un prélèvement dans les eaux souterraines étaient soumis à la loi sur l'eau au travers de la rubrique 1.1.0, leur régime administratif (autorisation ou déclaration) étant déterminé par la valeur du débit horaire prélevé. Il en résultait une certaine imprécision juridique quant à l'application possible de cette rubrique dans le cas de travaux de recherche d'eau pouvant être infructueux ou d'ouvrages de surveillance des eaux souterraines qui ne nécessitent pas de prélèvement, alors que ces travaux présentent des risques potentiels de pollution des eaux souterraines.

Par ailleurs, les forages et autres ouvrages exécutés en vue de la recherche d'eaux souterraines, de leur surveillance ou de leur prélèvement, ont une double incidence sur celles ci :

- qualitative, ces forages et autres ouvrages constituant des vecteurs préférentiels de contamination des eaux souterraines, soit par migration des pollutions de surface, soit par mélange de deux aquifères ;
- quantitative, au travers des prélèvements effectués à partir de ces ouvrages et qui lorsqu'ils sont excessifs conduisent à un abaissement durable du niveau de l'aquifère.

De façon à mieux prendre en compte la préservation de la qualité des eaux souterraines, il a été décidé de dédoubler la rubrique 1.1.0 :

- la rubrique 1.1.0 ne concerne plus que la **création d'ouvrages en vue de prélèvements dans les eaux souterraines**, y compris les sondages et forages de recherche d'eaux souterraines et les **forages et ouvrages destinés à effectuer la surveillance** de ces eaux ; ils seront désormais soumis à déclaration ;
- toutefois, la rubrique 1.1.0 ne concernera pas les ouvrages qui n'ont pas de lien direct avec la recherche ou la surveillance des eaux souterraines, ni ceux destinés aux prélèvements d'eau qui ne sont pas réglementés par les articles L. 214-1 à 6 du code de l'environnement.

Parallèlement, il a été créé une rubrique 1.1.1 dédiée spécifiquement au prélèvement dans les eaux souterraines, les seuils d'autorisation et déclaration restant inchangés.

Ainsi la nouvelle rubrique 1.1.0 s'applique désormais :

- à tous les forages destinés à effectuer des prélèvements d'eau souterraine non domestiques (étant rappelé qu'un forage est réputé domestique s'il permet de prélever au plus 1000 m³/an), sous réserve que le prélèvement futur relève de la législation sur l'eau (et soit donc destiné à un usage agricole, à l'alimentation des populations, à l'exploitation d'eaux minérales et thermales...). Les forages destinés à effectuer des prélèvements de plus de 1000 m³/an mais moins de 8 m³/h (ne relevant donc pas de la déclaration au titre de la rubrique 1.1.1) sont également soumis à déclaration ;
- aux sondages et forages de reconnaissance effectués dans le cadre de la recherche d'eau y compris ceux infructueux, dès lors que le prélèvement envisagé sera supérieur à 1000 m³/an ;
- aux forages effectués pour un rabattement de nappe dans le cadre d'un chantier de génie civil, d'ouvrage routier en tranchée ;
- aux forages effectués au titre de la surveillance quantitative ou qualitative des eaux souterraines.

Par contre elle ne concerne pas :

- les forages de reconnaissance géotechniques ;
- les forages effectués dans le cadre de l'exploitation de gîtes géothermiques, de la recherche ou de l'exploitation minières, ceux relatifs au stockage souterrain de gaz, hydrocarbures et produits chimiques et plus généralement les travaux visés au code minier, réglementés par le RGIE (règlement général des industries extractives) et visés aux rubriques 1.3.1, 1.3.2 et 1.6.0 à 1.6.4 ;
- les forages destinés à la réinjection d'eau dans un aquifère ;
- les forages destinés aux prélèvements d'eau nécessaires au fonctionnement des installations classées, à la surveillance de leurs effets, au traitement des sols contaminés par ces installations, qui relèvent de la législation propre à ces établissements ;
- les forages effectués dans le cadre de la surveillance et de la dépollution des sites et sols pollués.

Les forages géothermiques qui se développent actuellement pour le chauffage ou la climatisation de l'habitat individuel ne sont pas non plus concernés.



Fiche 3 – Les étapes de la procédure pour la réalisation d'un forage

L'arrêté « forage » identifie deux étapes de la procédure administrative avant le début des travaux.

Etape 1 : dépôt d'une déclaration d'intention en préfecture

Le déclarant adresse au préfet un dossier de déclaration en trois exemplaires. Cette déclaration, comprend notamment :

- *le nom et l'adresse du demandeur*
- *l'emplacement de l'opération projetée*
- *la nature, la consistance et l'importance de l'ouvrage, de l'installation... ainsi que la ou les rubriques de la nomenclature dont ils relèvent*
- *un document d'incidence de l'opération sur les ressources en eau, le milieu aquatique, l'écoulement, le niveau et la qualité des eaux, tenant compte des variations saisonnières et climatiques... L'étude d'impact ou la notice d'impact se substitue au document d'incidence*
- *les moyens de surveillance ou d'évaluation des prélèvements et des déversements prévus*
- *les documents cartographiques pour la compréhension des pièces du dossier.*
(dispositions applicables aux opérations soumises à déclaration, article 29 du décret n° 93-742 du 29 mars 1993 modifié)

Dans le cas général, le **document d'incidence** doit préciser les impacts de toute opération intervenant sur la ressource en eau, le milieu aquatique, l'écoulement, le niveau et la qualité des eaux. Dans le cas des forages **il prend la forme d'une note** établie par le pétitionnaire, un bureau d'étude ou toute autre personne compétente en hydrogéologie. Cette note est adaptée à l'importance de l'ouvrage et à la sensibilité de la ressource en eau recherchée ; elle doit comprendre notamment les éléments énumérés en annexe A1 au présent document : « Informations nécessaires lors de la réalisation de sondages, forages, puits et ouvrages souterrains relevant de la rubrique 1.1.0 de la nomenclature définie au titre de la loi sur l'eau ».

Des informations géologiques ou hydrogéologiques peuvent être obtenues par connexion sur site Internet, par consultation directe des cartes et dossiers de forages de la banque des données du sous-sol (BSS) au service géologique régional (SGR) ou encore en cas de difficulté, sous la forme d'une note technique de quelques pages en sollicitant les services du géologue régional ou de l'hydrogéologue régional du SGR. Elles peuvent également être sollicitées dans certains cas auprès des DIREN ou des agences de l'eau.

Dans les cas simples, notamment lorsque la ressource en eau recherchée est largement connue, le dossier de déclaration peut être réalisé par le déclarant ou le foreur qui intervient pour son compte. Dans les cas plus complexes (nappes superposées, zones de socle présentant de fortes hétérogénéités, zones karstiques...) le recours à un hydrogéologue ou la consultation du BRGM est recommandée.

Les annexes A1 et A2 au présent document détaillent le niveau des connaissances exigé et les sources d'informations possibles.

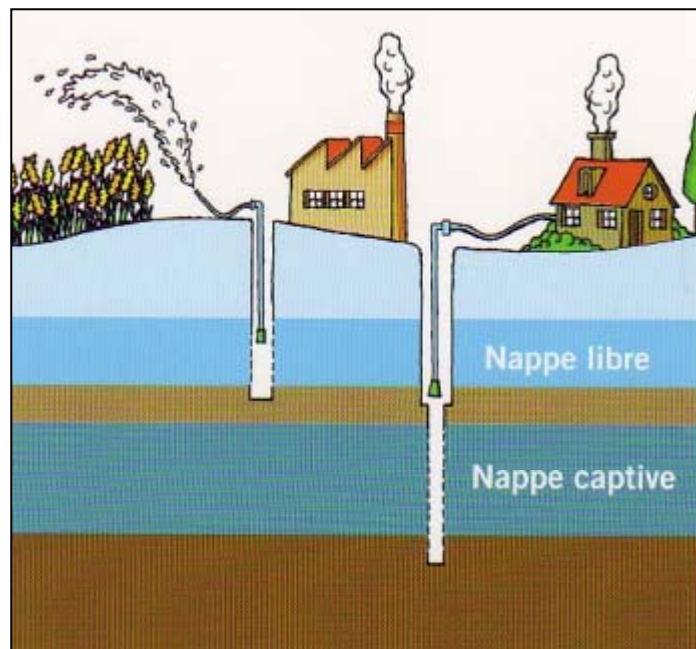


Illustration 1 - Où et comment réaliser un forage

Source documentaire : plaquette « Guide pour une bonne pratique des forages en région Nord Pas-de-Calais »

Quelle ressource en eau ? Quel milieu aquatique ? Quel projet ?
Comment adapter le forage à la nature de la nappe ?

Récépissé de déclaration du préfet

« Le préfet donne récépissé de la déclaration et communique au déclarant une copie de l'arrêté interministériel du 11 septembre 2003, contenant les prescriptions générales applicables à l'ouvrage » (dispositions applicables aux opérations soumises à déclaration ; article 30 du décret n° 93-742 du 29 mars 1993 modifié)

Le préfet communique au déclarant le nom de la personne chargée de suivre le dossier au sein des services de police de l'eau. Il rappelle les différentes étapes de la procédure et les renseignements complémentaires à fournir (circulaire du 16 mars 2004 aux préfets). Il précise les contraintes éventuelles dont la ressource fait l'objet.

Le maître d'ouvrage transmet le récépissé au foreur. Il lui transfère aussi ses obligations. A ce titre, le bon de commande mentionne l'engagement du prestataire à respecter les prescriptions réglementaires qui s'appliquent à l'ouvrage.

Etape 2 : information préalable complémentaire du service de police désigné pour suivre le dossier dès que l'entreprise de forage et ses dates d'intervention sont connues

« Après réception du récépissé de déclaration et **au moins un mois avant le début des travaux**, le déclarant communique au préfet par courrier, en double exemplaire, les éléments suivants, s'ils n'ont pas été fournis au moment du dépôt du dossier de déclaration :

- les dates de début et fin du chantier, le nom de la ou des entreprises retenues pour l'exécution des travaux de sondages, forages, puits, ouvrages souterrains et, sommairement, les différentes phases prévues dans le déroulement de ces travaux ;
- les références cadastrales des parcelles concernées par les travaux, les cotes précises entre lesquelles seront faites les recherches d'eau souterraine, les dispositions et techniques prévues pour réaliser et, selon les cas, équiper ou combler les sondages, forages et ouvrages souterrains ;
- les modalités envisagées pour les essais de pompage, notamment les durées, les débits prévus et les modalités de rejet des eaux pompées, et la localisation précise des piézomètres ou ouvrages voisins qui seront suivis pendant la durée des essais conformément à l'article 9 ;
- pour les sondages, forages, puits, ouvrages souterrains situés dans les périmètres de protection des captages d'eau destinée à l'alimentation humaine ou susceptibles d'intercepter plusieurs aquifères, les modalités de comblement envisagées dès lors qu'ils ne seraient pas conservés ».

(article 5 de l'arrêté du 11 septembre 2003)

Modifications du projet

« Si, **au moment de la déclaration ou postérieurement**, le déclarant veut obtenir la modification de certaines des prescriptions applicables à l'installation, il en fait la demande au préfet, qui statue par arrêté... » (article 32 du décret n° 93-742 du 29 mars 1993 modifié).

« Toute **modification** apportée par le déclarant à l'ouvrage, l'installation, à son mode d'utilisation, à la réalisation des travaux ou à l'aménagement en résultant... et de nature à entraîner un changement notable des éléments du dossier de déclaration initiale **doit être portée avant sa réalisation à la connaissance du préfet**, qui peut exiger une nouvelle déclaration » (article 33 du décret n° 93-742 du 29 mars 1993 modifié).

Procédure conjointe forage et prélèvement en cas de débit connu d'avance

Lorsqu'un forage a pour objectif un aquifère dont les caractéristiques hydrogéologiques sont bien connues (nappes alluviales par exemple), le pétitionnaire sera généralement assuré de trouver le débit souhaité à l'endroit de son ouvrage. Dans ce cas il pourra déposer un dossier unique de déclaration ou d'autorisation portant à la fois sur le forage et le prélèvement, selon le débit de prélèvement envisagé. Dans le cas contraire deux dossiers successifs et deux instructions administratives seront nécessaires.



Fiche 4 – Conditions d'implantation d'un forage

Dispositions techniques spécifiques de l'arrêté « forage » du 11 septembre 2003 (articles 3, 4 et 7).

Le site d'un forage est choisi en ayant à l'esprit de prévenir :

- « la surexploitation, la perturbation du niveau ou de l'écoulement de la ressource affectée à l'AEP ou à d'autres usages légalement exploités,
- tout risque de pollution par migration des pollutions de surface ou souterraines ou mélange des différents niveaux aquifères » (article 3).

Le choix du site doit prendre en compte les restrictions ou les interdictions applicables à la zone concernée :

- « Schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), plan de prévention des risques naturels (zones d'expansion des crues), périmètres de protection de captages AEP ou de source d'eau minérale, périmètres de protection de stockages souterrains de gaz, d'hydrocarbures ou de produits chimiques.
- Inventaires départementaux des anciens sites industriels et activités de service ». (article 3).

L'implantation d'un forage (à l'exception des ouvrages de surveillance ou de dépollution) doit tenir compte des contraintes de proximité par rapport à des sources de pollutions ; ainsi la distance d'un forage doit être supérieure à :

- « 200 m des décharges et stockages de déchets,
- 35 m des ouvrages d'assainissement,
- 35 m des stockages d'hydrocarbures, de produits chimiques, de produits phytosanitaires » (article 4).

L'implantation d'un forage de prélèvement d'eau pour l'AEP ou pour l'arrosage des cultures maraîchères doit tenir compte de contraintes de proximité particulières par rapport à des sources de pollutions : ainsi la distance d'un forage doit être supérieure à :

- « 35 mètres des bâtiments d'élevage et annexes (fosse à purin ou à lisier, fumières...), aires d'ensilage, circuits d'écoulement des eaux issus des bâtiments d'élevage, enclos et volières (densité > 0,75 animal équivalent / m²) ;
- 50 m des parcelles potentiellement concernées par l'épandage des déjections animales et effluents d'élevage d'IC ;
- 35 m si la pente du terrain est inférieure à 7 % ou 100 mètres si la pente du terrain est supérieure à 7 % des parcelles concernées par les épandages de boues issues des stations de traitement des eaux usées urbaines ou industrielles et des épandages de déchets issus d'ICPE » (article 4).

Implantation du forage

« Le choix du site prévoit la maîtrise de l'évacuation des eaux de ruissellement et la prévention de toute accumulation de celles-ci dans un périmètre de 35 mètres autour de la tête du forage » (article 7).

Le projet sera donc implanté sur un bombement topographique ; il évitera les bas-fonds et les cuvettes vers lesquelles peuvent converger les eaux de ruissellement.

L'implantation du forage, notamment en zone urbaine, devra préalablement tenir compte de la **présence de canalisations et de réseaux enterrés**. Il conviendra de se renseigner auprès des services techniques municipaux ou des établissements gestionnaires de réseaux.

L'information nécessaire peut être collectée auprès des administrations, des collectivités et des établissements publics spécialisés, notamment : Agence de l'eau, BRGM, DDAF, MISE (Mission Inter Services Eau), DDASS⁵, DDE⁶, DIREN⁷, DRIRE, mairies... (voir annexe A2 au présent document : Sources d'informations).

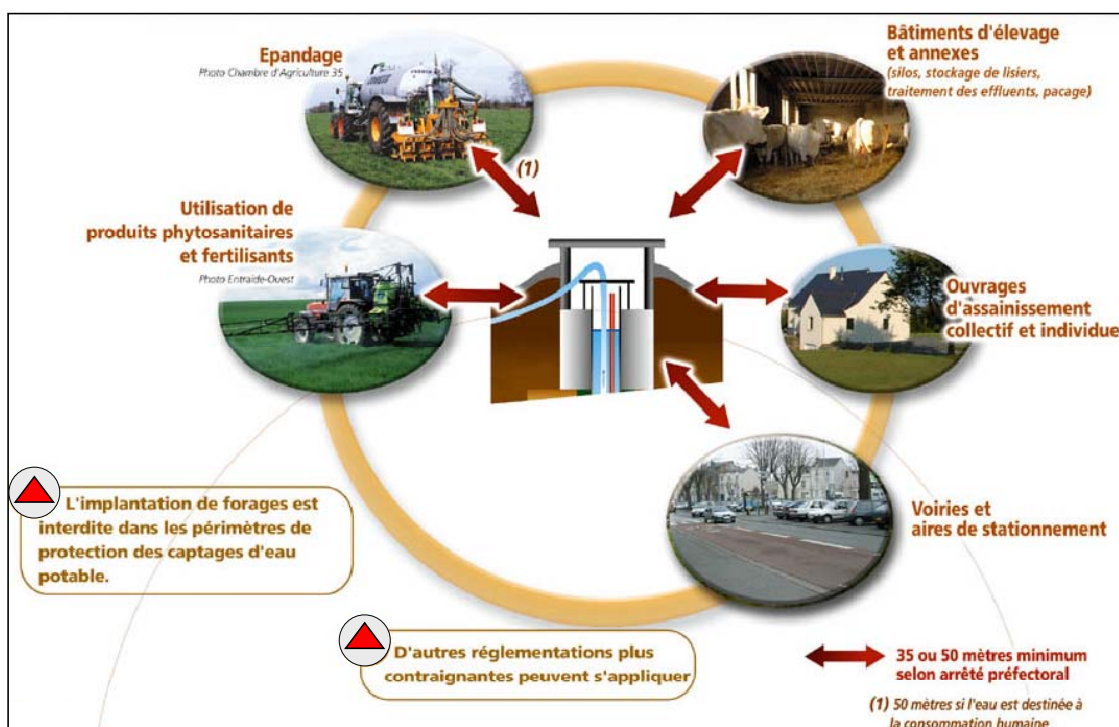


Illustration 2 – Exemple de critères d'implantation d'un forage
Source documentaire : plaquette « Le forage en Bretagne »

Le forage doit être implanté dans un environnement propre, éloigné de toute source potentielle de pollution, dans la mesure où celle-ci peut libérer des polluants susceptibles d'être attirés vers le forage.

Lorsqu'il n'est pas possible de satisfaire à certaines de ces conditions, le pétitionnaire peut demander une dérogation aux prescriptions ministérielles, qui lui sera accordée dès lors que les mesures complémentaires ou techniques alternatives qu'il propose, permettent de garantir un niveau de protection équivalent à celui prévu par l'arrêté. Le dossier doit dans ce cas faire l'objet d'un examen en CDH et le projet est approuvé par arrêté préfectoral.



⁵ Direction Départementale de l'Action Sanitaire et Sociale

⁶ Direction Départementale de l'Équipement

⁷ Direction Régionale de l'Environnement

Fiche 5 – Organisation d'un chantier de forage et prévention des risques de pollution

Dispositions techniques spécifiques de l'arrêté « forage » du 11 septembre 2003 (article 6).

Prévention des risques de pollution accidentelle

L'organisation du chantier de forage prend en compte la prévention des risques de pollution accidentelle : accès et stationnements de véhicules, stockage d'hydrocarbures et autres produits.

Par exemple, l'entreprise de forage disposera une bâche plastique sous la machine de forage afin de protéger le forage d'éventuelles fuites d'huile et de carburant.



Il faut :

- éloigner les produits polluants du forage
- évacuer les boues et déblais de forage
- évacuer l'eau des pompages d'essai

Illustration 3 - Assurer la protection des eaux souterraines
Source documentaire : plaquette « Des forages de qualité en région Centre »

Précautions particulières pour la protection des eaux souterraines

Des précautions particulières sont à prendre lors de la réalisation d'un forage et, par la suite, au moment de son exploitation :

- à proximité des installations d'assainissement collectif et non collectif,
- dans les zones humides,
- dans les zones karstiques et les roches très solubles (sels, gypse...),
- en bordure du littoral marin ou à proximité des eaux salées,
- à proximité des ouvrages souterrains et sur les tracés des infrastructures souterraines (câbles, canalisations, tunnels...),
- à proximité des digues et barrages,
- dans les anciennes carrières ou mines à ciel ouvert remblayées et au droit des anciennes carrières et mines souterraines,
- à proximité des anciennes décharges et autres sites ou sols pollués,
- dans les zones à risques de mouvement de terrain et les zones volcaniques à proximité des circulations d'eau ou de gaz exceptionnellement chauds ou chargés en éléments.

D'une façon générale, un projet de forage d'eau ne peut être bien conçu et bien réalisé que s'il s'appuie sur une bonne connaissance du milieu. Les considérations économiques ne doivent pas occulter la phase de collecte et d'analyse de l'information pour connaître :

- le **milieu physique** depuis la surface jusqu'à l'objectif en profondeur : état du site du forage, sol superficiel et remblais éventuels, couches géologiques, niveaux aquifères ;
- les **zones à risques** : zones inondables, zones d'instabilité du sous-sol (mouvements de terrain, carrières souterraines, dissolution et corrosion de la roche), zones de pollutions du sol... ;
- les **contraintes environnementales** : périmètres de protection des captages pour l'eau potable, nappes surexploitées, périmètre du SAGE où les prélèvements de l'ensemble de la nappe sont limités, contrat de rivière, zones de sauvegarde de la ressource pour l'approvisionnement en eau potable, sauvegarde des milieux aquatiques dont les zones humides...

L'historique des **anciennes activités** qui ont pu se développer dans le passé à la surface du sol et l'état actuel du sol, permettront d'évaluer le risque potentiel de pollution du sous-sol par la surface et de guider le **choix du site** du forage en tenant compte de l'éloignement des sources de pollution et de la maîtrise des ruissellements. Si la nappe est polluée et même si les services compétents n'ont pas imposé au propriétaire du site une dépollution, elle devient en pratique inutilisable.

Dans les **zones inondables** l'aléa sera évalué à partir du niveau des plus hautes eaux connues, de la période de retour (crue décennale ou centennale) et de la vitesse du courant supposée. Il peut y avoir un impact sur le forage par introduction de particules fines voire de sables et graviers, comblant plus ou moins l'ouvrage lors d'une crue. Il faut alors prévoir des dispositifs tels que tête étanche ou simple rehausse de la tête de forage.

La nature, la stabilité et les propriétés hydrauliques des terrains traversés en profondeur permettront l'évaluation des **risques d'affaissement ou d'effondrement** à prendre en compte lors des travaux de forages ou en phase d'exploitation. Une évaluation détaillée sera effectuée pour certaines couches de terrain. Par exemple en présence de gypse la circulation de l'eau sous l'effet d'un pompage accélère la **dissolution de la roche**. Elle peut créer une cavité jusqu'à un point de rupture dépendant de la profondeur, de la résistance des couches supérieures, de la charge au sol, etc. En cas de rabattement local très important, la baisse significative de niveau d'une nappe libre peut être à l'origine de **perturbations hydromécaniques** par **tassement des terrains**. Ces phénomènes sont parfois à l'origine de désordres graves et de contentieux.



Fiche 6 a – Conditions techniques de réalisation d'un forage : précautions particulières et foration

Dispositions techniques spécifiques de l'arrêté « forage » du 11 septembre 2003 (article 7).

Conditions générales

La réalisation des travaux ne doit pas altérer la structure géologique avoisinante et la qualité des eaux, notamment lors des opérations suivantes :

- *Injections de boues de forage*
- *Développement de l'ouvrage par acidification ou tout autre procédé*
- *Cimentations*
- *Obturations et autres opérations*

Prévention de toute pollution du milieu

- *Traitement des déblais de forage, des boues et des eaux extraites du forage par décantation, neutralisation ou toute autre méthode adaptée*
- *Dispositifs de traitement adaptés en fonction de la sensibilité des milieux récepteurs*

Information au préfet

- *De tout incident ou accident susceptible d'altérer la qualité des eaux*
- *De la mise en évidence d'une pollution des sols et des eaux*
- *Des premières mesures prises pour y remédier*

Etablissement de la coupe géologique de l'ouvrage

- *Lors des travaux, le déclarant fait établir la coupe géologique de l'ouvrage.*

En l'absence de supervision par un géologue, cette coupe est établie par le foreur. Cette coupe version « foreur » a minima, figurera dans le rapport de fin de travaux.

Les différentes méthodes de foration

Un forage peut être effectué en employant diverses méthodes. L'entreprise de forage est chargée de mettre en œuvre les techniques de forage adaptées aux conditions des terrains rencontrés. Le choix technique dépend de plusieurs paramètres :

- *Les caractéristiques géologiques des terrains : roches dures et massives, roches tendres et friables...*
- *La profondeur à atteindre*
- *Le diamètre souhaité.*

On peut notamment distinguer les techniques suivantes : le havage, le battage, le rotary, la tarière, le marteau fond de trou.

- **Le havage** consiste à creuser le terrain à la base du tubage en position verticale. Le tubage s'enfonce sous l'effet de son poids. On peut utiliser des buses en béton empilées progressivement au fur et à mesure de leur enfouissement. Cette technique est limitée à des ouvrages peu profonds.
- **Le battage** consiste à briser la roche en laissant régulièrement tomber un outil (le trépan). Ce procédé ancien est utilisé en formations dures calcaires et dolomies.

Un tubage de travail est utilisé pour protéger les parois du terrain. Les déblais sont récupérés avec une cuillère.

- **Le rotary** est une méthode par rotation et broyage. Les déblais sont entraînés vers la surface par la circulation d'un fluide de forage, en général de la boue de forage, dans l'espace annulaire entre le terrain et le train de tiges. La boue en surface est tamisée et reprise par une pompe pour être réintroduite dans le train de tige. La boue de forage est adaptée au terrain traversé en jouant sur ses principales caractéristiques : densité et viscosité. Cette technique est utilisée pour les terrains qui ne se tiennent pas : argile, sable, graviers...
- **La tarière** est une vis sans fin permettant de forer en gros diamètre à faible profondeur. Cette technique est utilisée en forage de reconnaissance dans les limons, argiles, marnes ou craie... jusqu'à 25 mètres de profondeur environ avec des diamètres compris entre 150 mm et 600 mm.
- **Le marteau fond de trou** fonctionne à l'air comprimé par percussion d'un taillant. Il est utilisé en terrain dur et fissuré : roches carbonatées, cristallines ou volcaniques... L'avancement peut être rapide : 100 mètres en un ou deux jours.
- **Le tubage à l'avancement** consiste à enfoncer un tube au fur et à mesure de l'avancement de la foration. L'association marteau fond de trou et tubage à l'avancement permet de conserver les avantages de la technique de forage dans des terrains instables. La méthode de tubage à l'avancement permet l'observation précise des terrains traversés en offrant la possibilité de remonter le tubage à volonté pour les tests de qualité et de débit des couches rencontrées.
- **Les forages à l'air** sont réalisés sans autre fluide que l'air mais cette technique utilise souvent des adjuvants chimiques (mousses) pour améliorer la remontée des particules.
- Les **forages à la boue bentonitique** présentent le risque de colmatage plus ou moins important du réservoir, notamment en cas de pertes de circulation, ce qui implique un traitement chimique et souvent mécanique du réservoir. L'utilisation de ces boues suppose de bien maîtriser les dosages en fonction des terrains et de l'avancement de l'ouvrage et si nécessaire, de maîtriser les techniques de décolmatage.
- Les **boues biodégradables** permettent de bonnes vitesses d'avancement mais elles sont chères et parfois responsables d'une prolifération bactérienne à l'origine d'une contamination des eaux ou de corrosions sur les canalisations métalliques. Il est recommandé d'utiliser des boues homologuées pour différents types de germes. Cependant, dans certains cas les boues biodégradables ne permettent pas une tenue suffisante des terrains.

La stabilité et la sécurité du forage

La garantie de qualité et de pérennité de l'ouvrage est conditionnée par :

- *Le choix d'équipements appropriés : cuvelages, tubages, crépines, drains...*
- *Les caractéristiques des matériaux tubulaires adaptées à l'ouvrage, aux milieux traversés et à la qualité des eaux souterraines : épaisseur, résistance à la pression et à la corrosion.*
- **Les tubages en acier** doivent respecter des normes de qualité liées à leur résistance mécanique. Ils sont résistants mais ils peuvent être corrodés par l'eau. Les aciers inoxydables ont un coût élevé. On doit veiller à l'homogénéité de l'acier utilisé pour les tubages et les crépines sous peine de voir apparaître un effet de pile pouvant entraîner des dommages importants au matériel tubulaire et à terme la destruction du forage. Les éléments de tubages et/ou crépines sont soudés ou vissés.

- **Les tubages en PVC** sont très utilisés en raison de leur résistance à la corrosion, du coût plus faible que pour l'acier, de la facilité de manipulation et d'assemblage des éléments de tubage ou de crépine. Les éléments sont vissés ou collés. Cependant, ils ne peuvent pas être utilisés pour les forages profonds. Leur flexibilité exige l'utilisation de centreurs. Au-dessus du niveau de l'eau, le PVC vieillit ; il peut se fendre et son diamètre légèrement diminuer. Les cimentations annulaires peuvent donc ne plus assurer une étanchéité satisfaisante.

L'isolation des différentes ressources d'eau

« Un même ouvrage ne peut en aucun cas permettre le prélèvement simultané dans plusieurs aquifères distincts superposés. »

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

Dans le cas d'une superposition de formations aquifères séparées les unes des autres par des couches très peu perméables, la nappe supérieure, vulnérable, peut être contaminée par les activités de surface. La nappe sous-jacente qui est séparée de la précédente par une couche peu perméable est a priori préservée de toute pollution. Mais si sa pression est inférieure à celle de la première nappe et dans le cas d'une mise en communication (forage défectueux), il peut y avoir transfert d'eau et donc de polluant de la nappe supérieure vers la nappe inférieure : par exemple, en supposant un forage captant les deux nappes (ce qui est rigoureusement interdit), lorsque celui-ci est au repos (une grande partie de l'année) l'eau polluée de la première nappe s'écoule à travers le captage et vient contaminer la nappe sous-jacente naturellement préservée.

La configuration de l'illustration 4 représente le cas le plus courant pour les forages de petits diamètres (de 150 à 250 mm). Le forage, excepté pour la hauteur de l'avant tube, est réalisé en une seule passe jusqu'à la formation aquifère.

Dans un captage en zone rocheuse il n'y a pas, dans la plupart des cas, de gravier filtre et il faut prévoir au lieu du joint argileux (généralement en sobranite), une collerette ou une ombrelle de cimentation. Ce dernier dispositif constitué de lamelles métalliques, est installé sur un élément de tubage. Il se déploie pour occuper l'espace annulaire et retenir le ciment au-dessus d'une certaine cote.

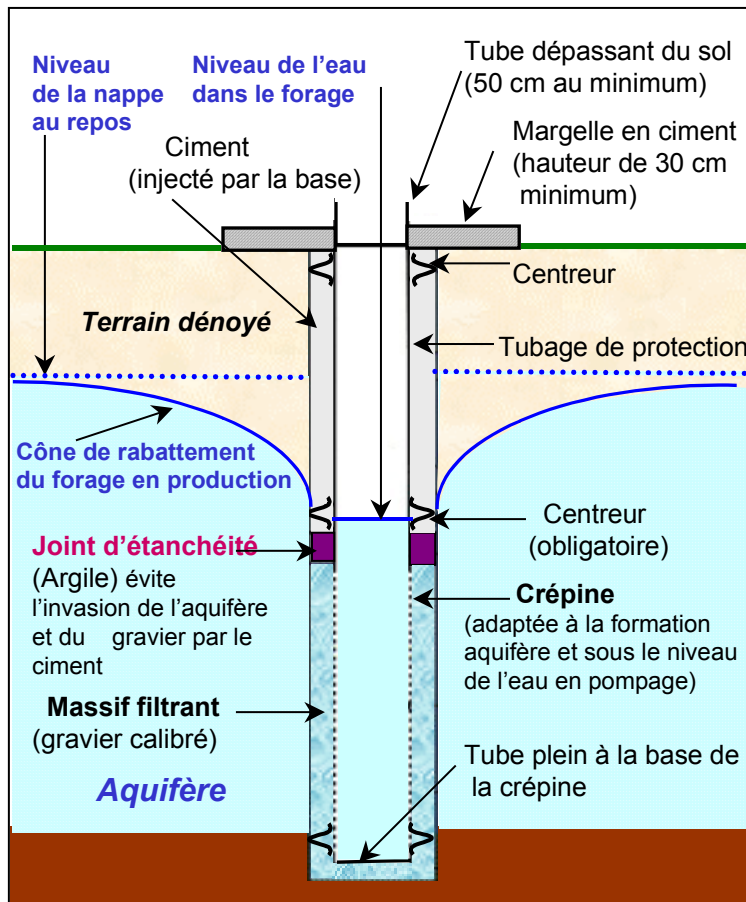


Illustration 4 - Forage en nappe libre réalisé en une seule étape et en un seul diamètre

Source documentaire BRGM : d'après la plaquette « Des forages de qualité en région Centre »

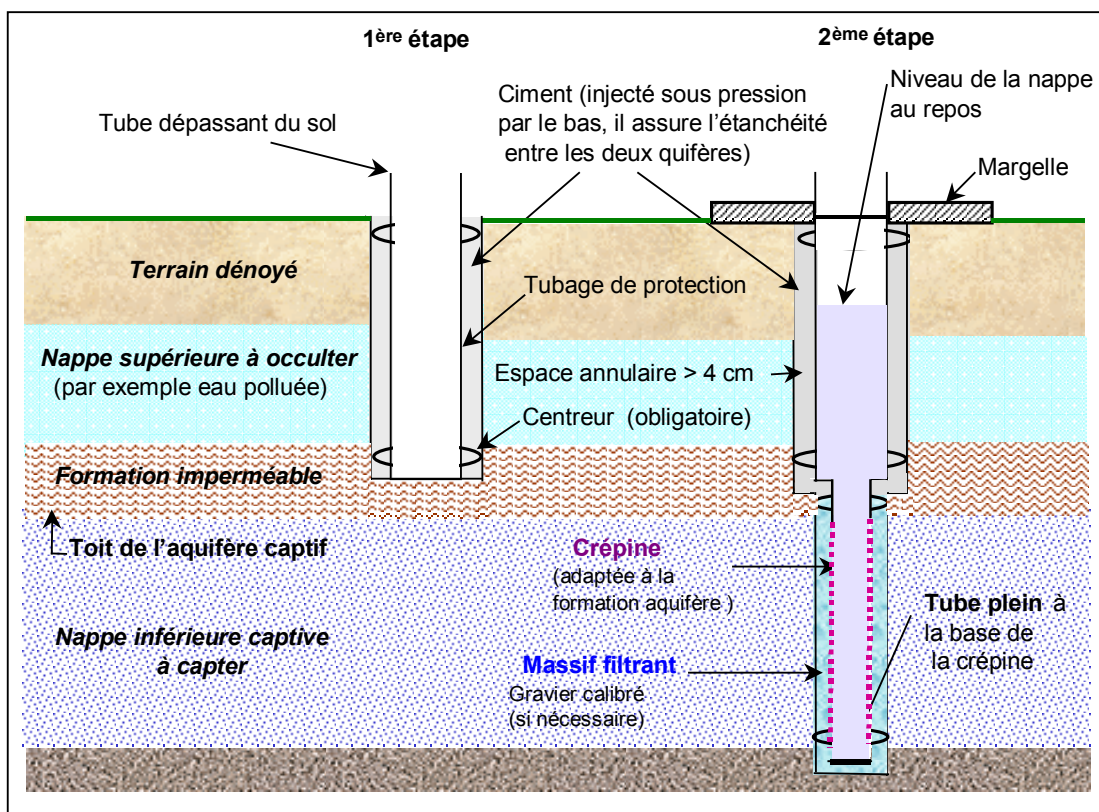


Illustration 5 - Forage traversant une nappe libre et captant une nappe captive
Source documentaire BRGM : d'après la plaquette « Des forages de qualité en région Centre »

Dans l'exemple représenté par l'illustration 5 ci-dessus, l'ouvrage est réalisé en deux étapes avec aveuglement par cimentation au niveau de la couche imperméable séparant les deux aquifères. Après un temps de prise, le forage est poursuivi en diamètre réduit dans la nappe inférieure à capter.

Sur cette illustration, le niveau de la nappe au repos est figuré dans le forage terminé. La nappe étant captive, ce niveau s'établit au-dessus du toit de l'aquifère. Durant l'exploitation il faut éviter que ce niveau ne s'établisse sous le toit de l'aquifère (dénoyage local de l'aquifère, avec un cône de rabattement situé partiellement sous le toit).



Fiche 6 b – Conditions techniques de réalisation d'un forage : la cimentation

La cimentation d'un tubage dans un forage est une opération capitale pour la préservation de la qualité des eaux souterraines et la longévité de l'installation. Qu'il s'agisse d'isoler différentes formations ou simplement de protéger la tête de forage contre les éventuelles pollutions par la surface, il faut procéder à une cimentation de l'espace annulaire sur une profondeur de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres.

- *La cimentation a pour but d'éviter les infiltrations d'eau depuis la surface.*
- *Elle vise à obturer l'espace compris entre le cuvelage et les terrains forés sur toute la partie supérieure du forage, jusqu'au niveau du terrain naturel.*
- *Elle est réalisée par injection sous pression par le bas, durant l'exécution du forage.*

- *Un contrôle de qualité de la cimentation doit être effectué : il comporte a minima la vérification du volume du ciment injecté.*
- *Si la cimentation par injection sous pression par le bas ne peut pas être effectuée, d'autres techniques de cimentation peuvent être utilisées sous réserve de démontrer qu'elles assurent le même niveau de protection des eaux souterraines.*

Remarques complémentaires :

- La cimentation permet de protéger la colonne de tubage contre la corrosion côté terrain.
- Elle ancre définitivement le tubage au terrain.
- Elle doit aboutir à l'extrados des tubages à une gaine continue, homogène, adhérente au tubage et aux parois du trou.
- Lorsque la hauteur de cimentation est importante, on procède en deux passes afin de compléter le niveau qui a tendance à s'affaisser en raison de la pénétration du laitier dans la formation.
- Dans le calcul du volume du ciment injecté, le volume théorique de laitier doit être majoré pour tenir compte des hors profils, irrégularités et surcreusements éventuels « caving » du trou.
- Le temps de prise nécessaire et souhaitable d'une cimentation est de 48 heures.
- Lorsque le forage doit traverser une nappe libre avant de capter une nappe captive, l'ouvrage est réalisé en deux étapes avec aveuglement par cimentation réalisée au niveau de la couche imperméable séparant les deux aquifères. Après un temps de prise, le forage est poursuivi en diamètre réduit dans la nappe inférieure à capter.

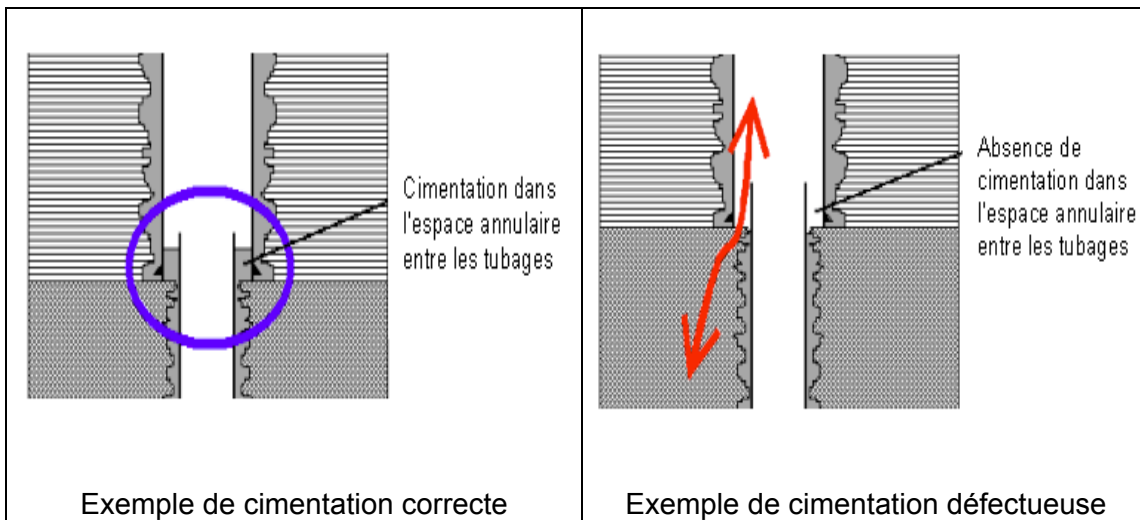


Illustration 6 - Détail de cimentations (correcte et défectueuse) au niveau des télescopes dans l'espace annulaire entre les tubages
Source documentaire BRGM

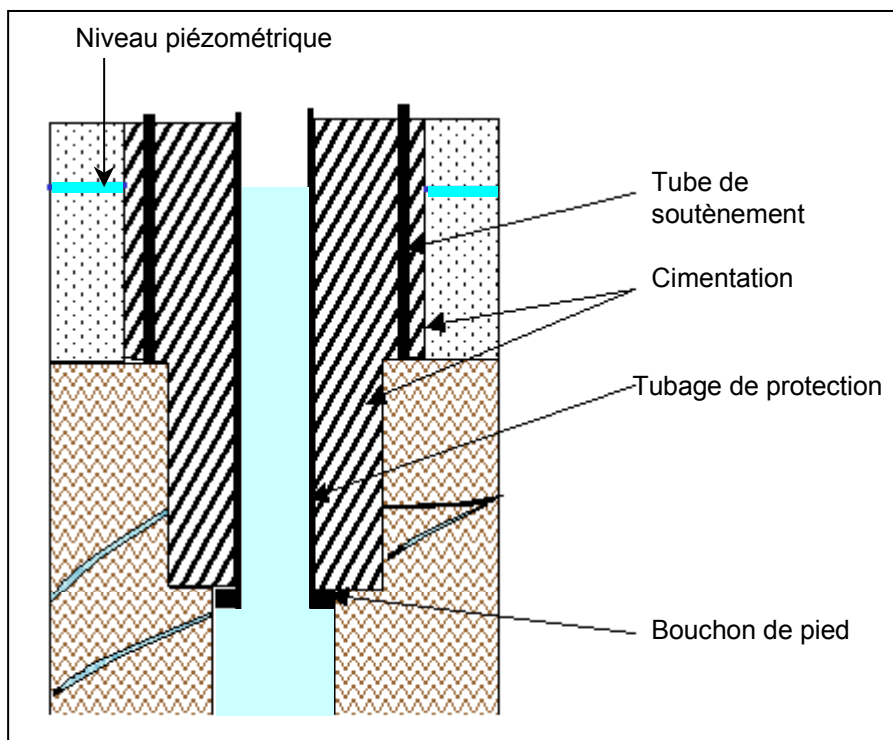


Illustration 7 - Cimentation de tubages en zone de socle
Source documentaire BRGM : d'après la plaquette « Le forage en Bretagne »

Différentes méthodes de cimentation

Il existe plusieurs méthodes de cimentation :

1. Cimentation par les tiges
2. Cimentation par le tube ancré
3. Cimentation par le tube suspendu
4. Cimentation par canne dans l'annulaire

Les trois premières méthodes de cimentation s'appliquent uniquement pour les forages en gros diamètres et relativement profonds. La quatrième est utilisée pour les forages de moins de 50 mètres.

Cimentation par les tiges

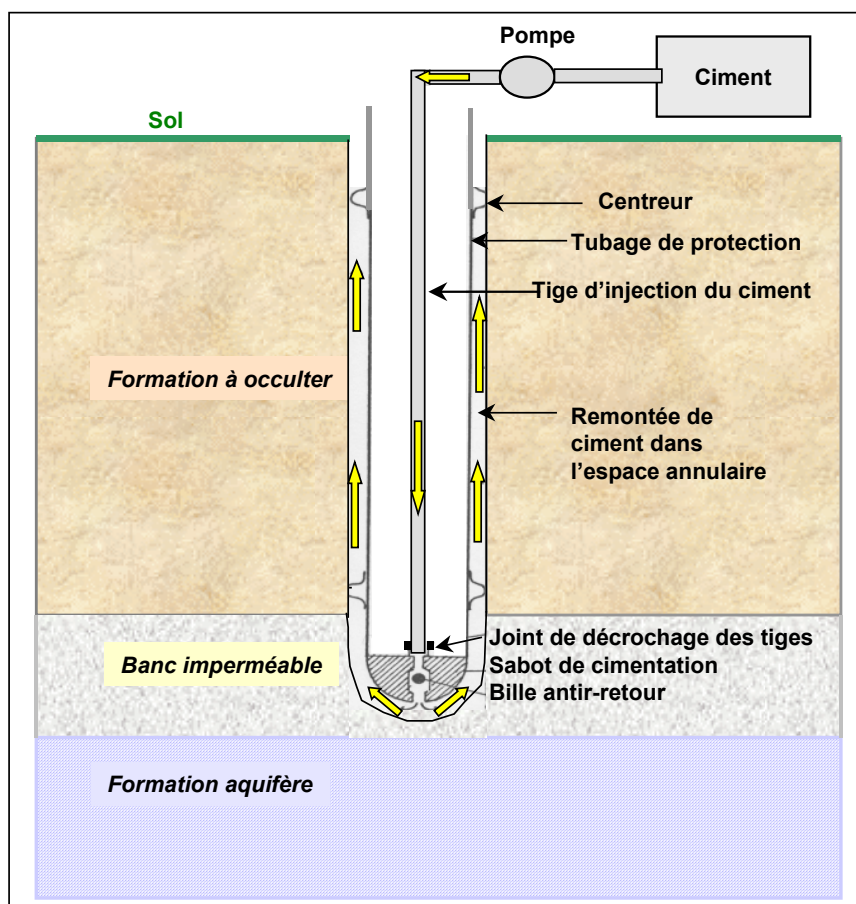


Illustration 8 - Dispositif de cimentation par les tiges
Source documentaire BRGM

Le tubage à cimenter est muni d'un sabot destructible équipé d'une balle plastique (de la grosseur d'une balle de tennis) faisant office de valve. Le ciment injecté sous pression par les tiges pénètre dans l'espace annulaire par l'orifice du sabot qui est obturé par la balle dès l'arrêt de l'injection.

Cimentation par tube ancré

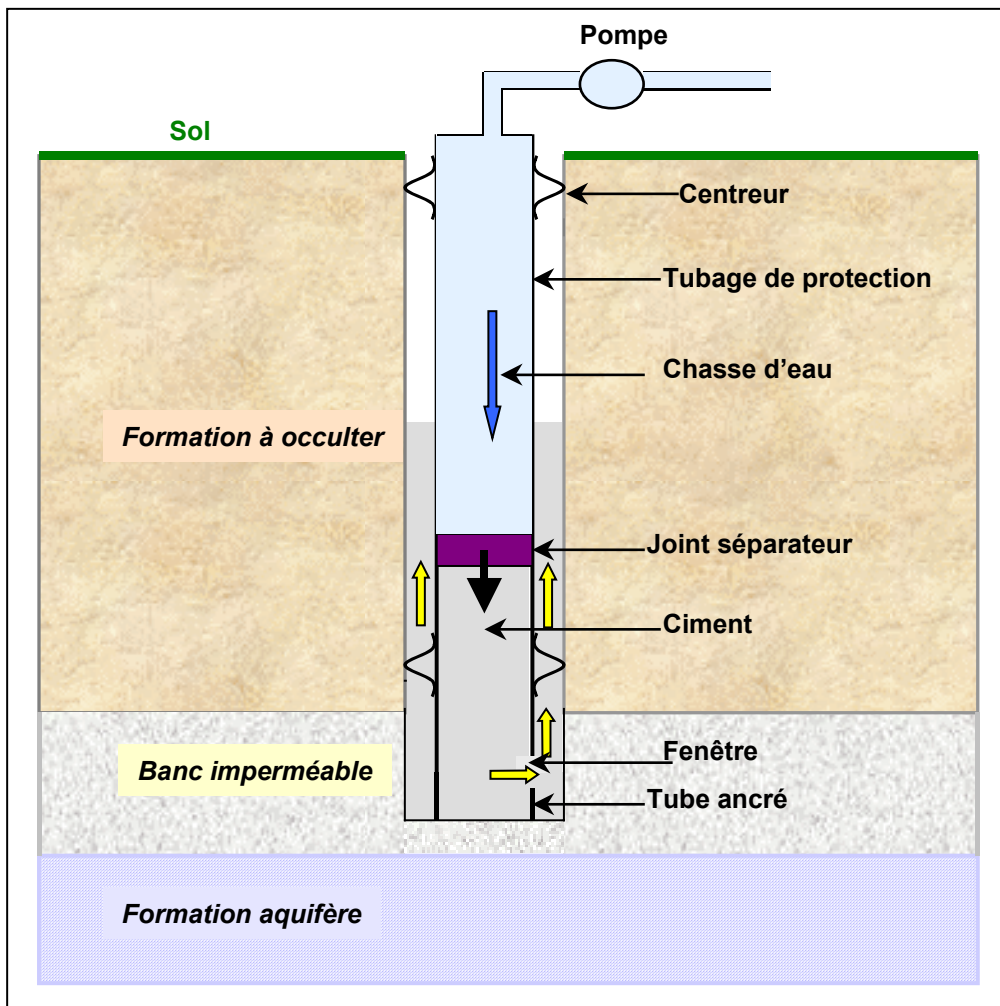


Illustration 9 - Cimentation par tube ancré
Source documentaire BRGM

A la base du tubage à cimenter des fenêtres ont été préalablement percées pour permettre la circulation de boue puis de ciment. Le volume théorique de ciment est introduit dans l'ouvrage et remonte dans l'espace annulaire sous la pression d'un joint séparateur poussé par un volume d'eau ou de boue et qui vient obturer les fenêtres de pied de tubage lorsque la cimentation est terminée.

Cimentation par tube suspendu

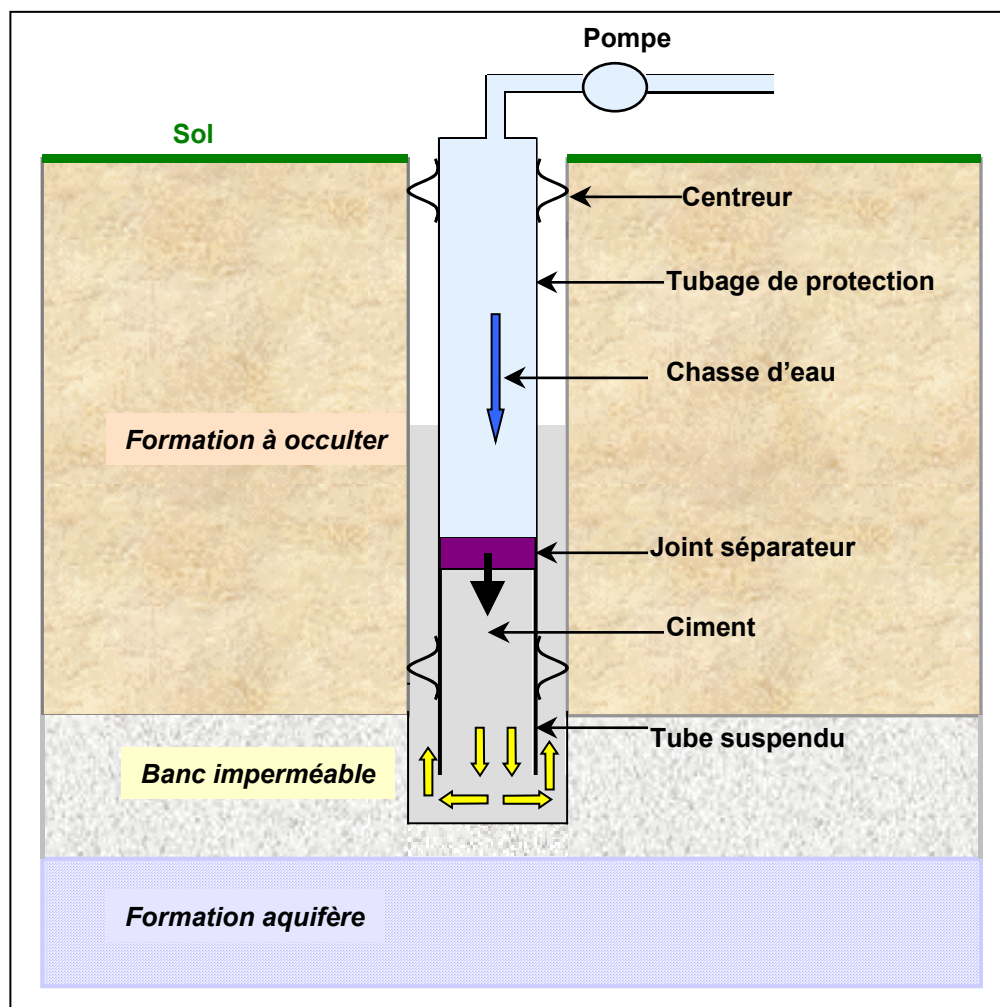


Illustration 10 - Cimentation par tube suspendu
Source documentaire BRGM

Sous l'effet d'une chasse d'eau ou de boue, un bouchon destructible (joint séparateur) pousse dans l'espace annulaire le volume de ciment théorique introduit dans le tubage.

Cimentation par canne dans l'annulaire (schéma n° 1)

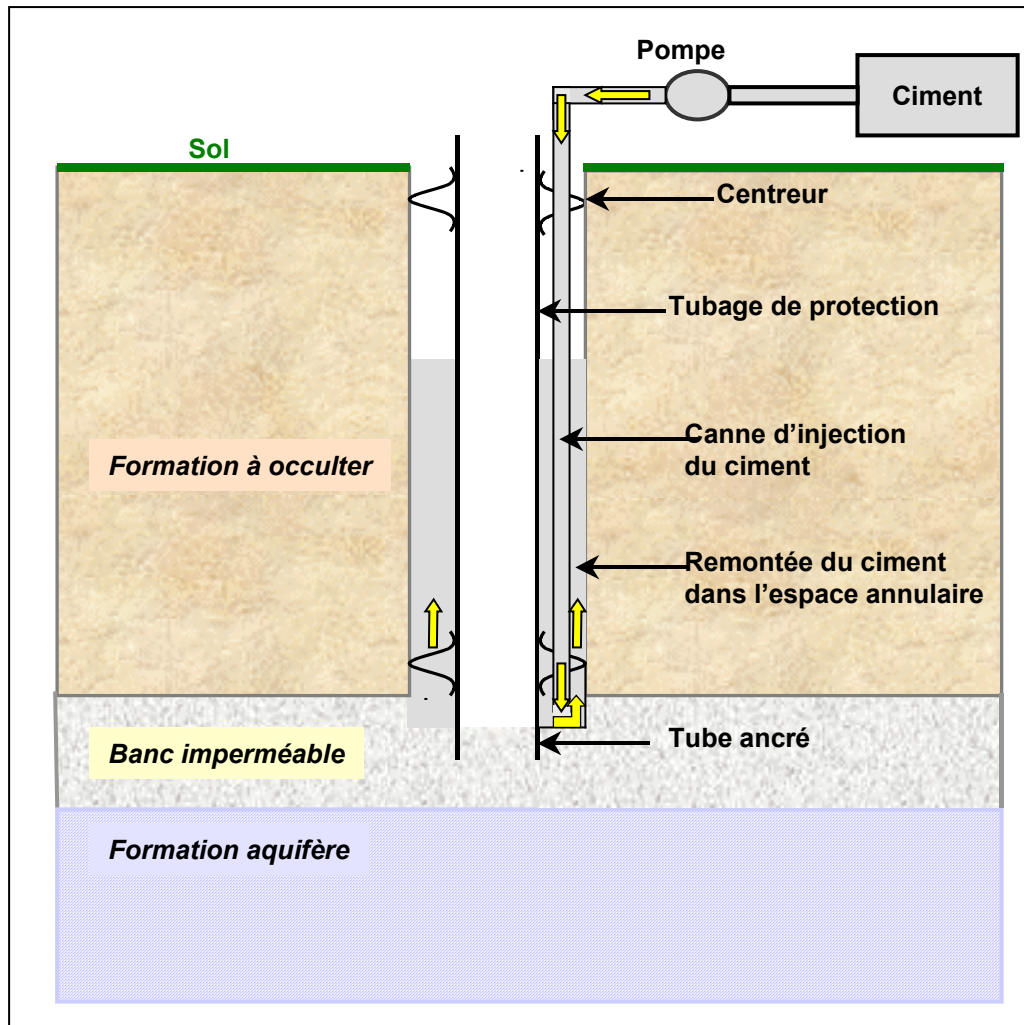


Illustration 11 - Cimentation par canne dans l'annulaire (schéma n°1)
Source documentaire BRGM

Une garniture de petit diamètre (environ 1") est descendue dans l'espace annulaire jusqu'au pied du tubage (ancré dans le terrain). Le ciment y est injecté sous pression, si nécessaire en remontant progressivement la canne de cimentation.

Cimentation par canne dans l'annulaire : schéma n°2

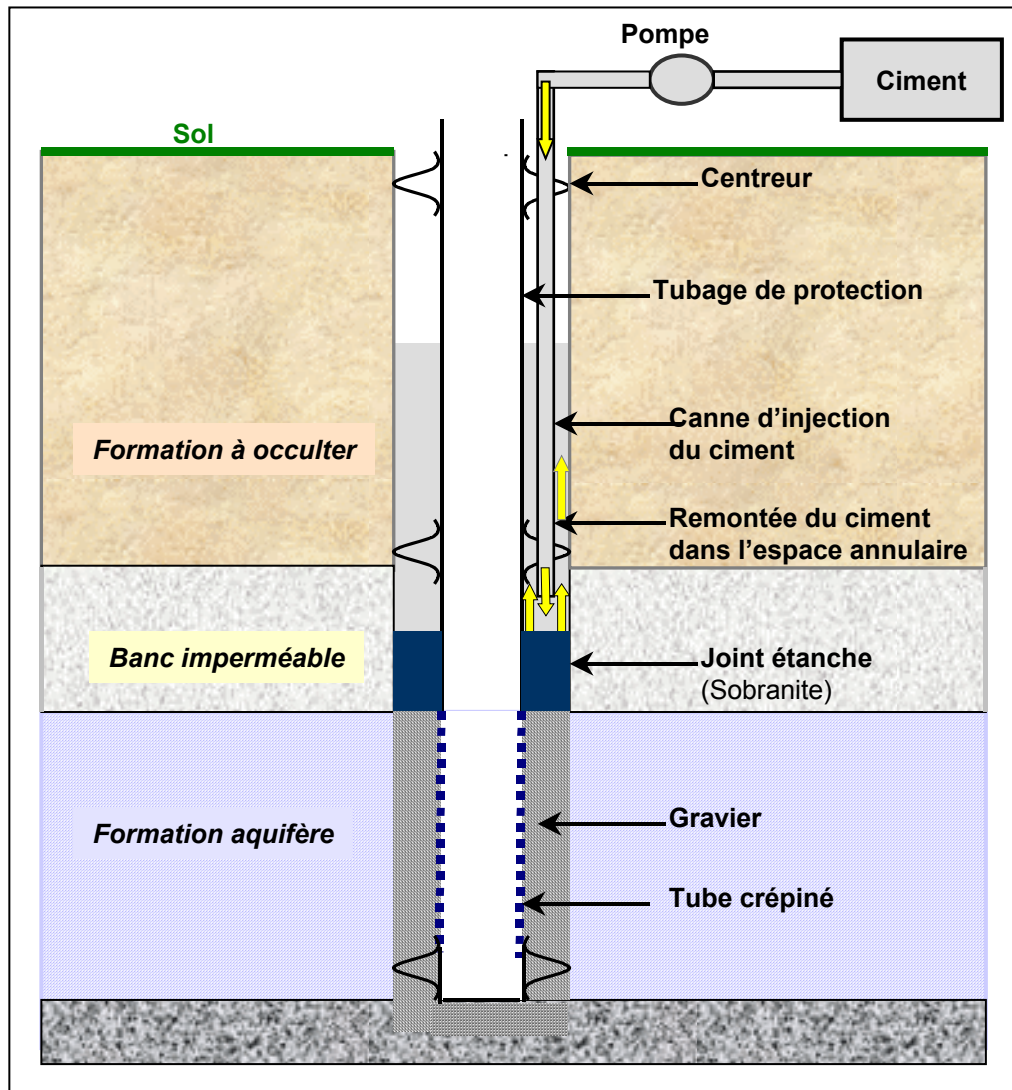


Illustration 12 - Cimentation par canne (schéma n°2)
Source documentaire BRGM

Dans cet exemple la cimentation intervient à la fin de l'ouvrage lorsque le tubage, le massif de gravier et un joint étanche de sobranite ont été mis en place. Dans ce cas, la cimentation par canne est la seule méthode permettant une injection sous pression.



Fiche 6 c – Conditions techniques de réalisation d'un forage : mise en place de la crépine, du massif filtrant, nettoyage et développement

Crépines

La crépine a pour fonction d'assurer la production d'eau sans venue de sable en induisant des pertes de charge minimales. Elle doit résister à la corrosion et à la pression et avoir une longévité maximale. Les types de crépines sont déterminés suivant la forme et le pourcentage de vides pour allier résistance et vitesse de l'eau dans les ouvertures. Un grand pourcentage de vides permet une faible vitesse de circulation donc une plus grande sensibilité aux phénomènes d'incrustation, d'érosion et de corrosion. Une vitesse de l'eau trop importante au travers de la crépine entraîne des pertes de charge.

La vitesse de l'eau au travers des ouvertures de la crépine dépend du débit de pompage, du diamètre de la crépine et de son coefficient d'ouverture.

On rencontre les crépines :

- à trous ronds, à faible pourcentage de vide
- à trous oblongs, à faible pourcentage de vide, compris entre 10 et 20 %
- à persiennes, à faible pourcentage de vide et offrant une bonne résistance mécanique
- à nervures repoussées, pourcentage de vide variable et offrant une bonne résistance mécanique
- à fil enroulé en spirale autour de génératrices de type Johnson, à très fort pourcentage de vide.

La crépine est choisie en fonction de la profondeur, du type de terrain (roche consolidée ou roche friable) ou de la granulométrie des sables du niveau aquifère capté, préalablement déterminée. Comme les tubages, les crépines en acier peuvent être vissées ou soudées. Les crépines en PVC sont vissées et/ou collées. Lorsque les tubages et les crépines sont en acier, on doit veiller à ce que les éléments en contact soient constitués d'acier de composition identique pour minimiser la corrosion résultant de l'effet de pile.

La crépine est placée face au niveau producteur. Elle doit être équipée de centreurs pour assurer une répartition correcte du massif filtrant. Elle ne doit pas être dénoyée. Il est déconseillé d'y insérer la pompe. En pied de crépine est fixé un tube à sédiment constitué d'un élément de tubage d'environ un mètre et de même diamètre que cette dernière. La base doit être fermée par un « bouchon de fond ».

Dans le cas de forages producteurs en formations meubles, il faut éviter l'entraînement de particules fines du terrain. Dans les terrains proches de la surface (en simplifiant les 30 premiers mètres), le départ de ces fines peut être à l'origine de tassements ou de fissurations dans les bâtiments voisins et de possibles contentieux.

Par ailleurs, il faut éviter l'entraînement des sables ou des fines pour limiter les risques d'abrasion. La solution réside en partie dans le dimensionnement de la crépine et du massif filtrant en acceptant le compromis entre le débit maximum que l'on souhaite exploiter et la présence de fines.

Massif filtrant

Pour améliorer la protection vis-à-vis des fines de l'aquifère un massif de gravier peut être mis en place entre la crépine et la couche aquifère. Ce filtre artificiel doit présenter la plus forte granulométrie possible, tout en s'opposant au passage de la plus grande partie des éléments du terrain. Le massif filtrant doit être constitué d'un gravier siliceux, roulé, propre, calibré et homogène. Il doit être chimiquement stable, avoir une forte porosité d'interstice et un faible coefficient d'uniformité. En général, l'épaisseur du gravier est comprise entre 3" et 8" et la réserve est comprise entre 5 et 10 m. Sa mise en place est faite par gravité, en circulation inverse du fluide ou par circulation continue.

Nettoyage et développement

Ces opérations visent à nettoyer le trou pour augmenter le débit d'exploitation. Elles consistent à éliminer les éléments fins qui colmatent naturellement le terrain et la boue de forage utilisée lors de la foration et à agrandir les fissures dans les roches massives fissurées. Lorsque la formation aquifère présente une granulométrie grossière, le développement de la formation permet aussi d'extraire les fines pour créer derrière la crépine, un massif de gravier à granulométrie décroissante sur une épaisseur de 30 à 60 cm avec les éléments plus grossiers restés en place.

La productivité des ouvrages peut être considérablement améliorée par différents procédés de développement : surpompage, pompage alterné, pistonnage, lavage aux jets d'eau sous pression, développement pneumatique, développement par fracturation hydraulique ou à l'explosif, développement chimique (acides et polyphosphates), développement à l'émulseur... Leur mise en œuvre suppose une parfaite maîtrise technique.



Fiche 7 – Equipement de la tête d'un forage

Dispositions techniques spécifiques de l'arrêté « forage » du 11 septembre 2003 (article 8).

Réalisation d'une margelle bétonnée

- Conçue de manière à éloigner les eaux de la tête du forage
- Surface minimale de 3 m²
- Hauteur de 0,30 m au-dessus du niveau du terrain naturel

Réalisation éventuelle d'un local ou d'une chambre de comptage

- La margelle n'est pas dans ce cas nécessaire
- La hauteur du plafond du local est d'au moins de 0,50 m au-dessus du niveau du terrain naturel

Tête du forage

- La tête du forage située à l'extérieur ou dans une chambre de comptage s'élève au moins à 0,50 m au-dessus du terrain naturel ou du fond de la chambre de comptage dans lequel elle débouche
- La tête du forage située dans un local s'élève au moins à 0,20 m au-dessus du fond du local dans lequel elle débouche
- La tête est cimentée sur 1 m de profondeur à partir du sol (niveau du terrain naturel)
- En zone inondable la tête est rendue étanche ou située dans un local lui-même étanche

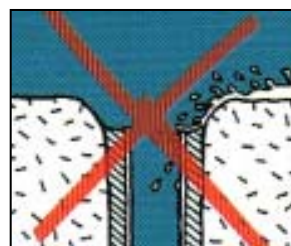
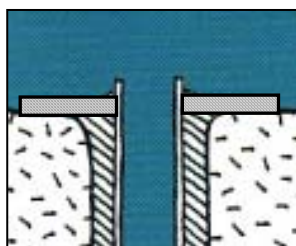


Illustration 13 - La hauteur de la rehausse au-dessus du sol est de 0,50 mètres.
Source documentaire : d'après la plaquette « Des forages de qualité en région Centre »

Capot de fermeture

- Doit permettre un parfait isolement du forage (inondations, pollutions superficielles)
- Dispositif de sécurité interdisant l'accès à l'intérieur du forage

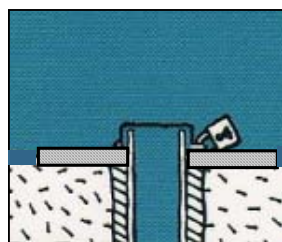


Illustration 14 - Capot de fermeture
Source documentaire : d'après la plaquette « Des forages de qualité en région Centre »

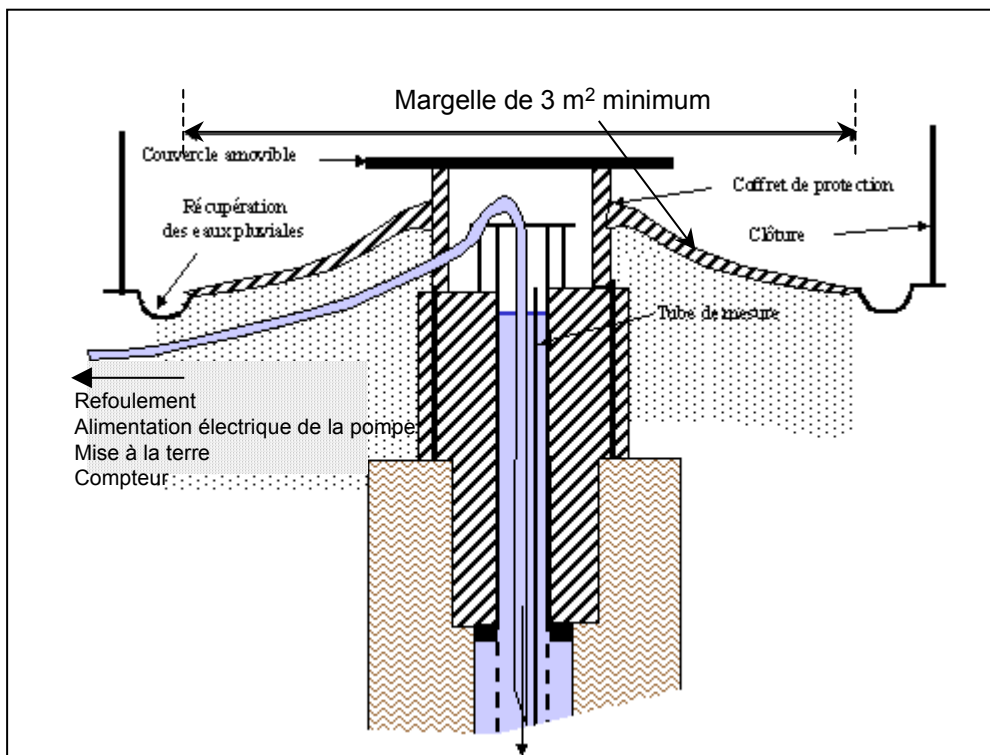


Illustration 15 - Protection de la tête de forage
Source documentaire BRGM : d'après la plaquette « Le forage en Bretagne »

Dispositif permettant les mesures de niveau

- Les conditions de réalisation et d'équipement d'un forage doivent permettre de relever le niveau statique de la nappe, au minimum par sonde électrique.

Pour répondre à cette prescription on installera le cas échéant un tube guide de la sonde de mesure dans le forage, notamment lorsque l'objet principal du forage est la surveillance des eaux souterraines.

Identification du forage

- Le forage doit être identifié par une plaque mentionnant les références du récépissé de déclaration.

Cas particulier d'un forage destiné à l'usage AEP

- Des prescriptions spécifiques, notamment au regard des règles d'hygiène applicables, modifient ou complètent les prescriptions générales.

Captage en zone inondable

1) Tête de puits au-dessus des plus hautes eaux connues.

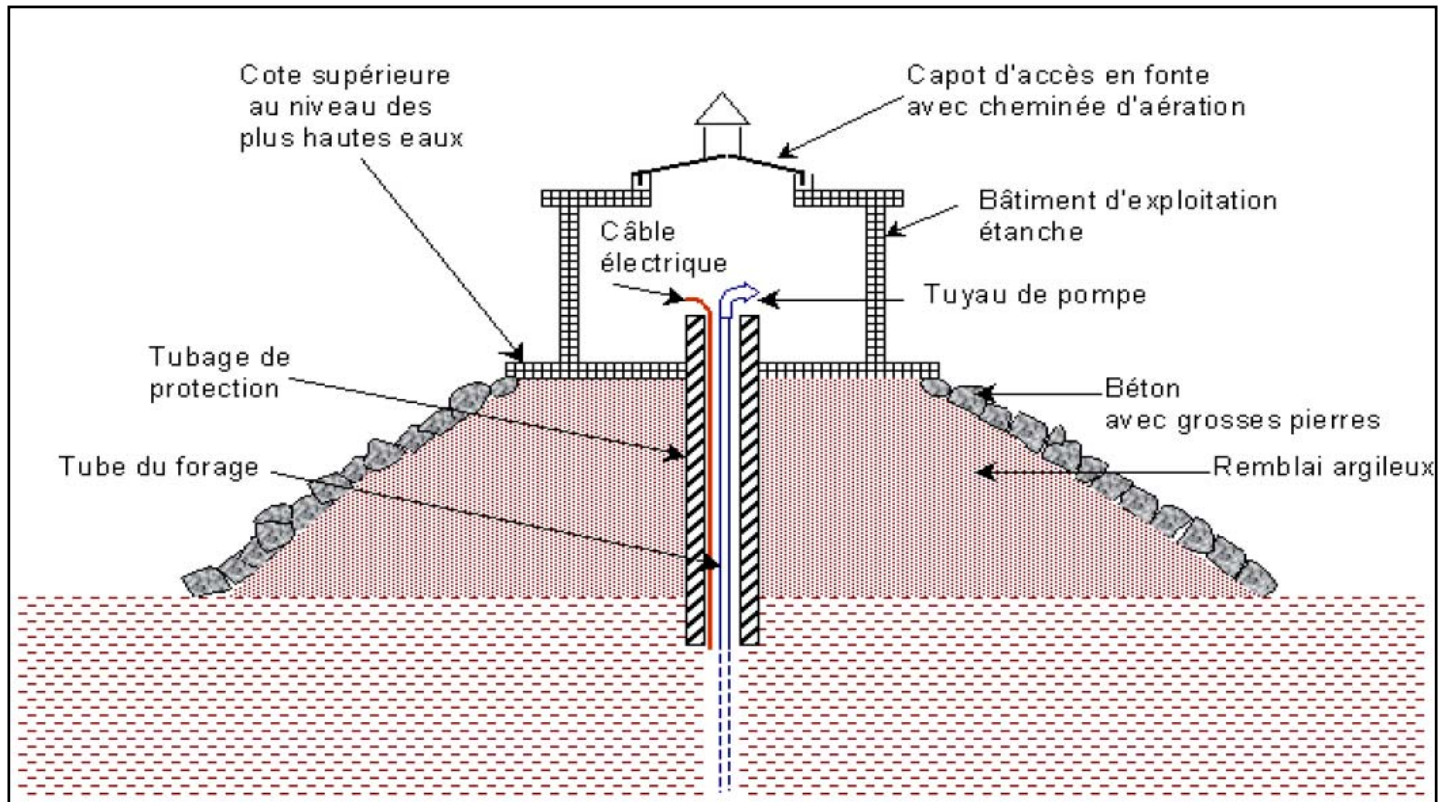


Illustration 16 - Configuration de captage en zone inondable.
Source documentaire BRGM

Ce dispositif n'est à envisager qu'en cas d'impossibilité stricte de mise en œuvre d'autres solutions. Les installations électriques sont placées hors de la zone inondable. Le câble de la pompe immergée doit passer à travers un presse-étoupe.

Captage en zone inondable

2) Tête de puits submersible

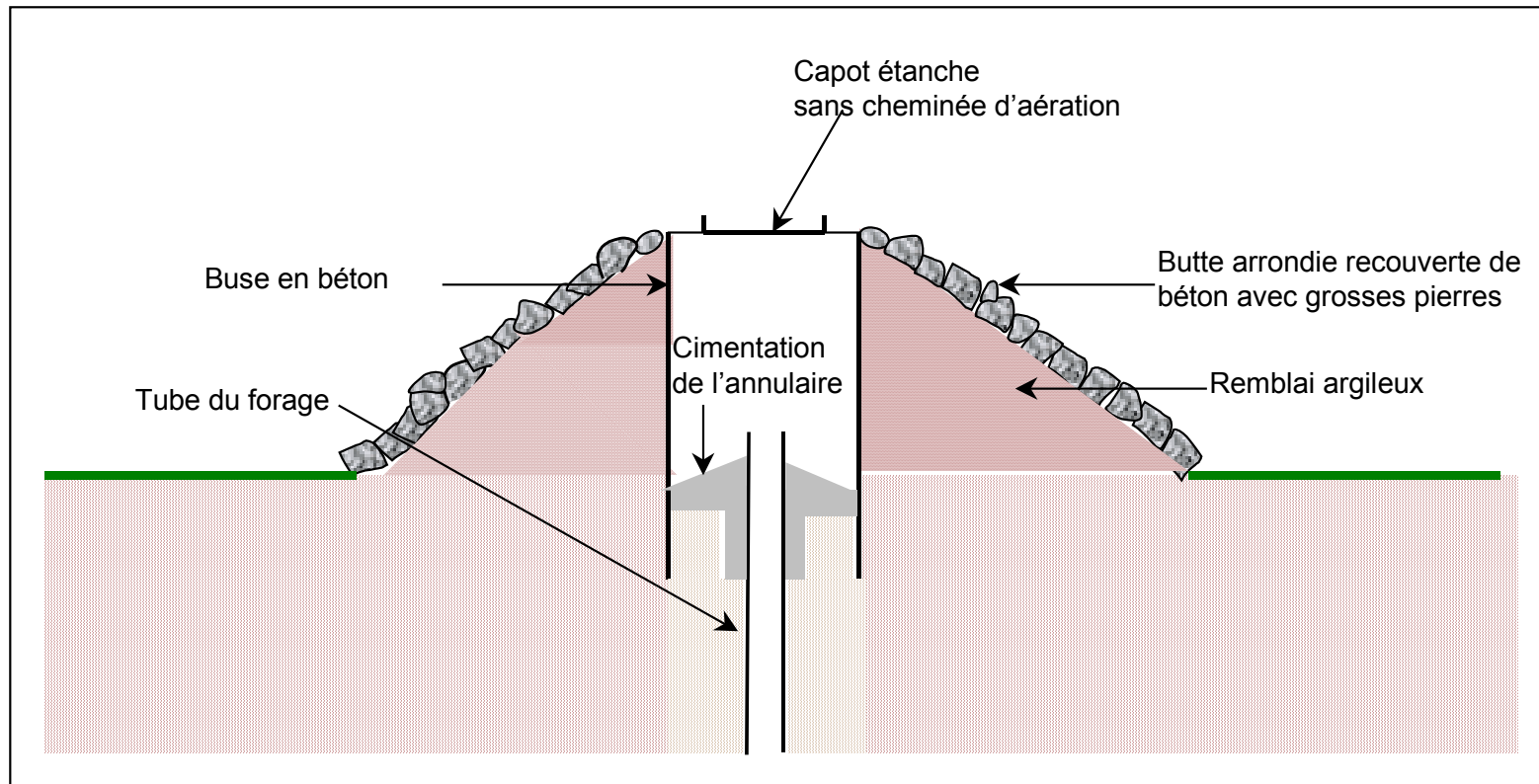


Illustration 17 - Configuration de captage en zone inondable .

Tête de puits submersible

Source documentaire BRGM

Ce dispositif n'est à envisager qu'en cas d'impossibilité stricte de mise en œuvre d'autres solutions.

Fiche 8 – Tests de pompages

Dispositions techniques spécifiques de l'arrêté « forage » du 11 septembre 2003 (article 9).

L'objectif des pompages d'essai

L'objectif des essais de pompage est double :

1) Vérifier les capacités de production

- *Le pompage d'essai est réalisé en vue de s'assurer des capacités de production du forage.*
- *Pour un débit de prélèvement envisagé supérieur à 80 m³/h :*
 - ◆ *Pompage de courte durée comportant trois paliers de débits croissants et,*
 - ◆ *Pompage de longue durée (minimum 12 heures) à un débit supérieur ou égal au débit définitif de prélèvement envisagé.*

2) Evaluer l'influence du futur prélèvement sur les ouvrages voisins

- *Le pompage doit permettre de préciser l'influence du prélèvement sur les captages destinés à l'alimentation en eau potable (AEP) et les forages légalement exploités dans un rayon de 500 mètres.*
- *Si le débit de prélèvement définitif envisagé est supérieur à 80 m³/h, l'influence des pompages est suivie sur au moins trois points dans un rayon de 500 mètres, sous réserve de leur existence et de l'accord des propriétaires.*
- *Le suivi de l'influence du pompage peut être remplacé par le calcul théorique du rayon d'influence du prélèvement envisagé si les caractéristiques hydrogéologiques de la nappe sont connues.*

Les tests de pompage interviennent après les opérations de nettoyage et de développement du forage. Ils sont d'autant plus importants que le prélèvement envisagé est élevé. Ils peuvent être réduits pour des forages effectués en vue de la surveillance des eaux souterraines. On distingue les **essais de puits** et les **essais de nappe**.

Les essais de puits par paliers de pompage

Ce type d'essai, dit de courte durée, réalisé à débits croissants de durée constante, vise à s'assurer des capacités de production du forage. L'essai permet de déterminer le débit à ne pas dépasser en cours d'exploitation (**débit critique**) sous peine de détérioration de l'ouvrage et le **débit d'exploitation optimum**. Les caractéristiques de la pompe dépendent des résultats obtenus.

Les tests consistent en 3 à 5 pompages à débit croissant mais de durée constante (1 à 2 h) espacés d'un temps d'arrêt au moins équivalent permettant à la nappe de retrouver son niveau d'équilibre initial. Les débits des différents paliers sont choisis sur la base du débit atteint en fin de développement. La durée est à moduler en fonction du débit escompté. Le pompage doit être accompagné de la mesure simultanée des niveaux d'eau dans le forage.

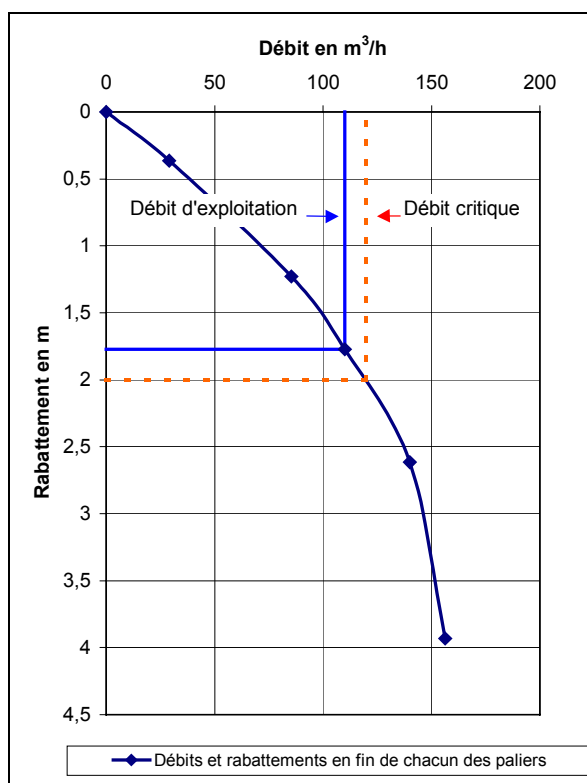


Illustration 18 - Pompage par paliers de débit : courbe caractéristique
Source documentaire BRGM

La **courbe caractéristique** montre une pente régulière dans sa partie initiale et une partie terminale qui s'incurve. La partie incurvée révèle des turbulences dans l'écoulement de l'eau souterraine vers la pompe qui, à terme peuvent endommager celle-ci, déstabiliser le massif de gravier et provoquer l'apparition d'eau turbide. Il convient donc de ne pas dépasser un débit critique que l'on situe graphiquement au point d'inflexion de la courbe caractéristique. Le débit d'exploitation sera fixé à 10% en dessous de ce débit critique.

D'autres facteurs peuvent également conduire à réduire le débit d'exploitation : ne pas dénoyer les crépines ni la pompe (contrainte sur le rabattement) et respecter les éventuelles contraintes liées à l'influence du forage sur les puits voisins.

L'arrêté fixe à 3 le nombre minimum de paliers mais il est évident que plus le nombre de paliers sera grand, meilleure sera la détermination du débit optimum.

Le pompage d'essai de longue durée à débit constant (essai de nappe)

Il permet de tester le comportement de la nappe, de mesurer les caractéristiques de l'aquifère lorsque les niveaux peuvent être suivis dans des ouvrages influencés, (utilisables comme piézomètres). Il permet d'identifier la présence de limites (limite étanche, colmatage des berges d'une rivière ou réalimentation par la rivière...) avec détermination de la distance de cette limite au forage d'essai. La **durée de l'essai** est un compromis entre le coût de l'opération et le besoin de vérifier qu'il n'existe pas « d'effet limite » : l'atteinte d'une limite par le cône de dépression se traduit en effet par des inflexions plus ou moins prononcées (fonction du type de limites) de la courbe « rabattement-temps ». Un test de 2 h ou de 4 h ne permet pas de juger du

comportement de la nappe. L'arrêté « forage » fixe un minimum de 12 heures pour apprécier l'impact du prélèvement dans l'environnement immédiat du forage. En vue de la demande d'autorisation de prélèvement et pour des prélèvements importants ou bien lorsque la ressource présente une sensibilité particulière, des tests de plus longue durée sont préconisés. Un test de 24 h est un strict minimum ; la durée la plus communément admise est de 72 heures.

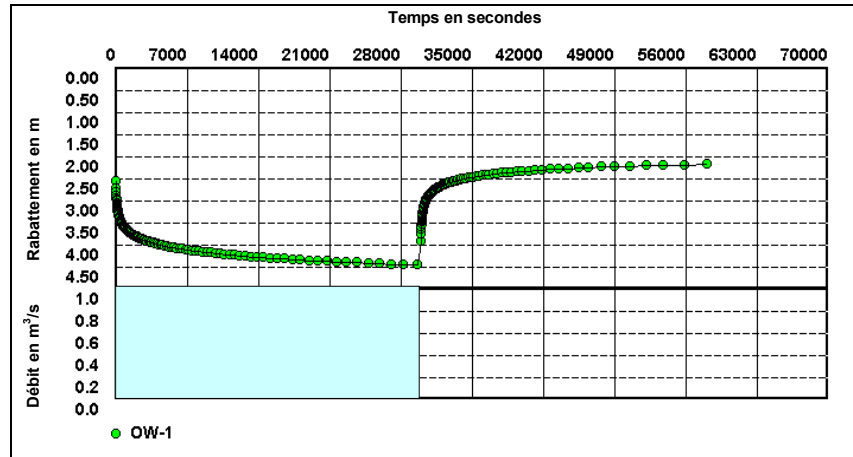


Illustration 19 - Évolution des rabattements en fonction du temps lors d'un essai à débit constant
Source documentaire BRGM

Les mesures de niveau doivent être poursuivies après l'arrêt du pompage. Elles peuvent être interprétées et confirmer l'interprétation des mesures relevées en cours de pompage ou les remplacer partiellement lorsque la turbulence induite par la pompe ne permet pas d'obtenir des mesures fiables. Il n'existe pas de méthode d'interprétation simple et universelle. L'interprétation des essais est actuellement rendue plus rapide par l'existence de logiciels présentant plusieurs méthodes.

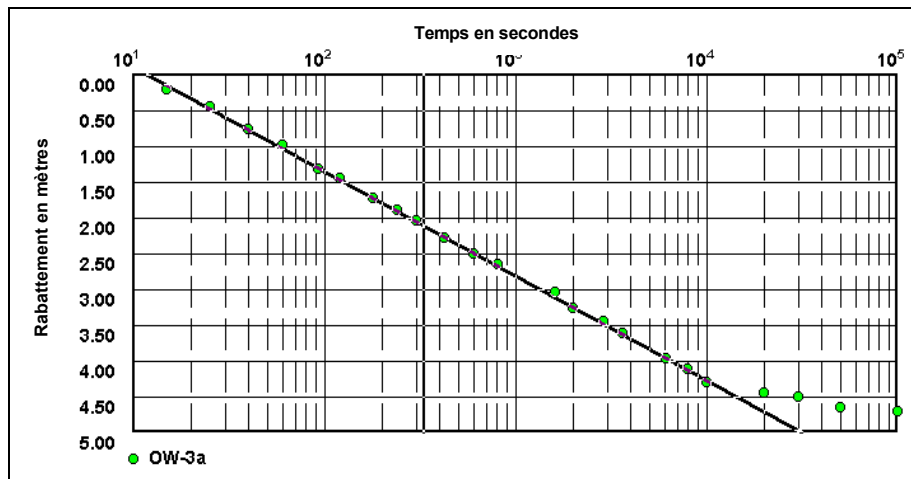


Illustration 20 - Exemple d'interprétation simple d'un essai à débit constant
Source documentaire BRGM

Pendant les essais en nappe libre, toutes les précautions doivent être prises pour prévenir toute infiltration des eaux pompées à proximité du forage.

Fiche 9 – Rapport de fin de travaux

Dispositions techniques spécifiques de l'arrêté « forage » du 11 septembre 2003 (article 10).

Délais de communication au préfet

- *Le rapport de fin de travaux est communiqué au préfet **deux mois maximum** après les travaux*

Contenu du rapport de fin de travaux

- *Déroulement général du chantier : dates des différentes opérations, difficultés et anomalies rencontrées*
- *Nombre de forages effectivement réalisés en indiquant pour chacun d'eux s'ils sont conservés, leur localisation précise sur fond de carte IGN au 1/25 000, les références cadastrales de la parcelle sur laquelle ils sont implantés*
- *Coordonnées géographiques (en Lambert II étendu), cote NGF de la tête du forage, code national BSS (Banque du sous-sol) attribué par le service géologique régional du BRGM pour les forages conservés pour la surveillance des eaux souterraines ou pour effectuer un prélèvement de plus de 80 m³/h*
- *Pour tout forage, coupe géologique avec indication du ou des niveaux des nappes rencontrées et coupe technique de l'installation précisant les caractéristiques des équipements : diamètres et nature des cuvelages ou tubages, conditions de réalisation (méthode et matériaux utilisés lors de la foration, volume des cimentations, profondeurs atteintes, développement effectués...)*
- *Modalités d'équipement des ouvrages conservés*
- *Compte rendu des travaux de comblement des ouvrages abandonnés*
- *Résultat des pompages d'essais, interprétation et évaluation de l'incidence de ces pompages sur la ressource en eau souterraine et sur les ouvrages voisins*
- *Résultats d'analyses d'eau le cas échéant*
- *Informations relatives aux sondages de reconnaissance préalable pour un forage destiné à l'AEP*

Le logiciel **GesFor** pour la collecte des données de forage permet de préparer les documents de chantier et la rédaction du rapport de forage. Un exemple de rapport est présenté en annexe A3.

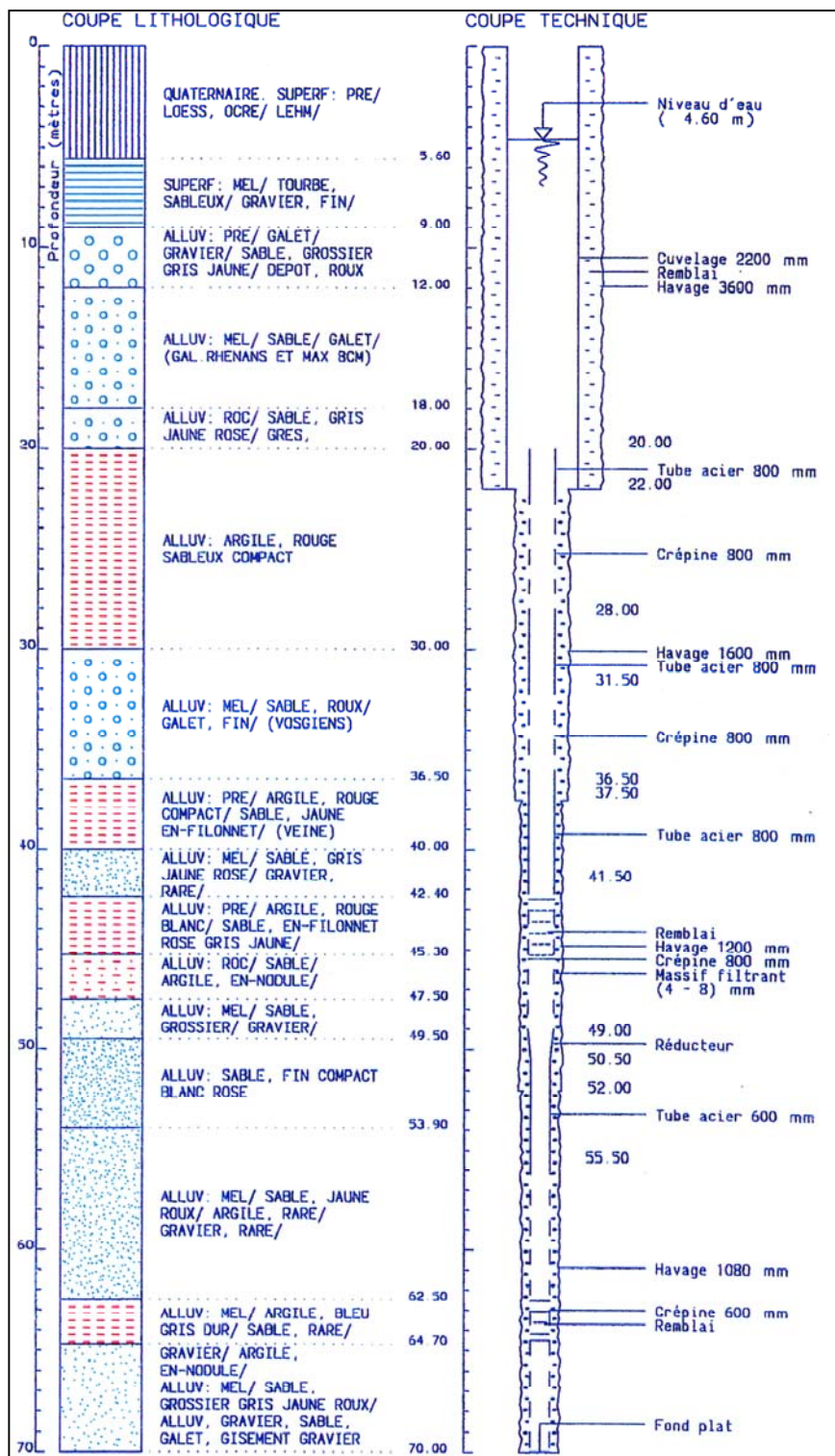


Illustration 21 - Exemple de coupe géologique et de coupe technique en milieu géologique très stratifié (si information détaillée requise)
Source documentaire Antéa

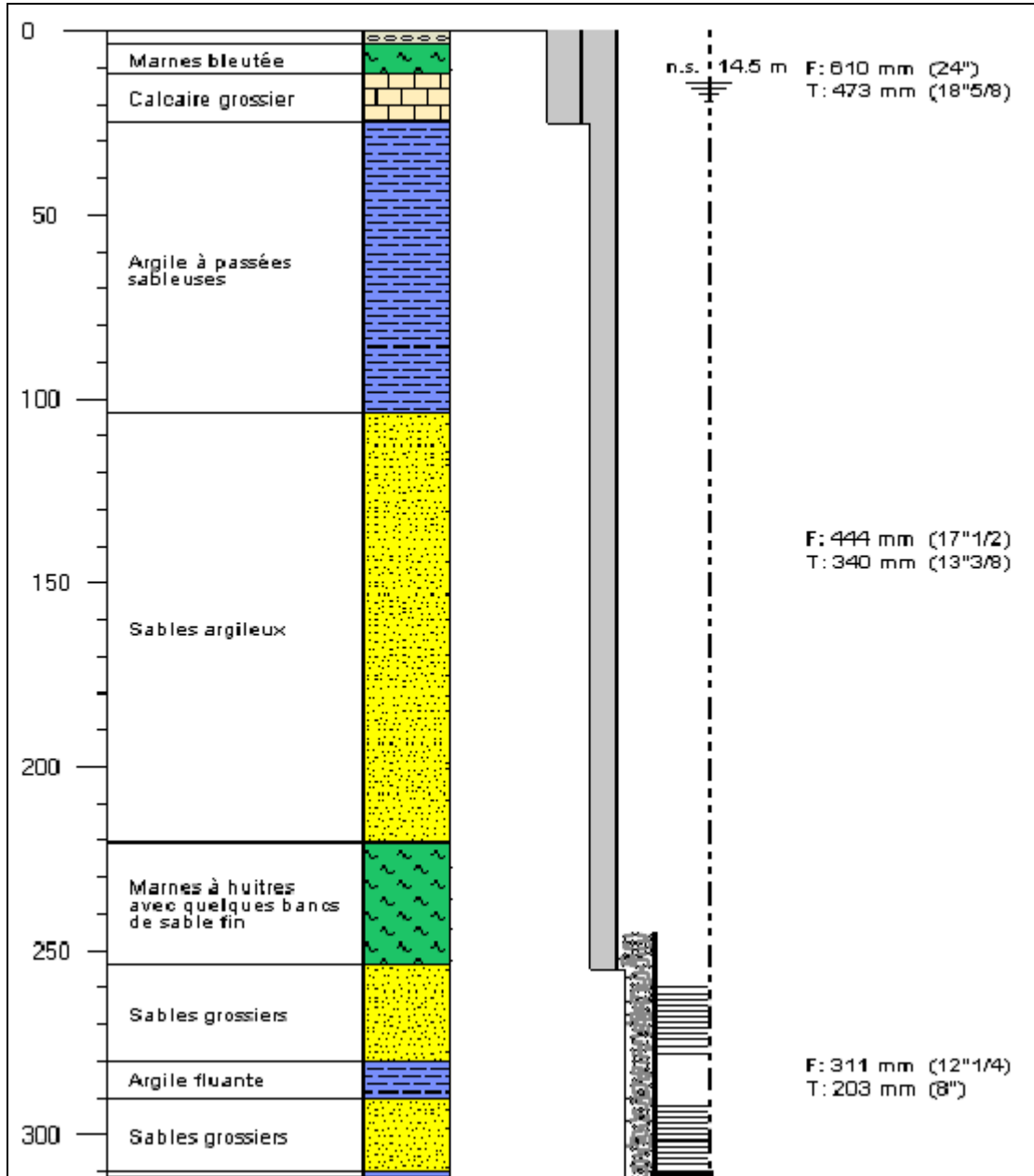


Illustration 22 - Exemple de coupe géologique et de coupe technique en milieu géologique peu stratifié
 Source documentaire BRGM, sortie du logiciel GESFOR



Fiche 10 – Surveillance de l'état du forage

Dispositions techniques spécifiques de l'arrêté « forage » du 11 septembre 2003 (article 11).

Tous les forages doivent être surveillés et entretenus :

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

Cas particulier des forages inclus dans un périmètre de protection d'un captage pour l'alimentation en eau potable ou lorsque les forages interceptent plusieurs aquifères superposés :

- *Inspection périodique (minimum tous les dix ans) en vue de vérifier l'étanchéité de l'installation concernée et l'absence de communication entre les eaux prélevées ou surveillées et les eaux de surface ou celles d'autres formations aquifères interceptées par l'ouvrage. L'inspection porte en particulier sur l'état et la corrosion des matériaux tubulaires (cuvelages, tubages...)*
- *Compte rendu de l'inspection adressé au préfet dans un délai de trois mois suivant l'inspection*

Au-delà des prescriptions réglementaires minimales sont exposées, ci-après, quelques recommandations pour optimiser le fonctionnement de l'installation.

L'exploitant peut intervenir sur le fonctionnement de son installation. En revanche, il ne peut intervenir sur l'évolution naturelle de la nappe ni sur l'évolution des pompages au voisinage mais il doit pouvoir en tenir compte. Ainsi, l'exploitant devra s'assurer si :

- la ressource diminue, naturellement ou à cause de prélèvements au voisinage, afin de l'intégrer dans la gestion de son installation,
- son forage se maintient en bon état de fonctionnement ou se dégrade avec un risque, dans un premier temps, d'augmentation des charges d'exploitation et, dans un deuxième temps, d'arrêt d'exploitation.

Contrôle des pertes de charge du forage d'exhaure

Effectuer au moins tous les semestres un contrôle des **pertes de charge du forage**. La fréquence est à adapter si une augmentation des pertes de charge est constatée. Il est souhaitable d'assurer un suivi régulier.

Contrôle du fond du forage

Effectuer un contrôle du **fond du forage**, à l'occasion de chaque remontée de pompe et au moins tous les trois ans environ. Un **comblement** brutal ou progressif et continu du forage traduit un dysfonctionnement qu'il faudra traiter. Le contrôle se fait soit simplement avec une **sonde lestée** soit avec du matériel plus sophistiqué (**diagaphies**⁸). A noter que la sonde lestée ne permet pas toujours de contrôler la présence de dépôts gélatineux à très faible consistance mais néanmoins colmatants.

⁸ Opérations réalisées au moyen de sondes ou d'instruments descendus dans un forage, permettant de mesurer et d'enregistrer des paramètres physiques et géométriques qui informent notamment sur la profondeur et la nature des terrains aquifères (carottage électrique), la porosité relative des formations (carottage acoustique), les vitesses de courants verticaux et les zones productrices de l'aquifère (micromoulinet), la présence et la qualité de la cimentation derrière le tubage (« cement bond logging » – CBL)...

Contrôle du sommet du gravier

Selon la configuration du forage effectuer au moins une fois par semestre le contrôle du sommet du gravier additionnel. Si ce niveau diminue régulièrement cela traduit soit la création de cavités dans le terrain, soit un **entraînement de particules** du terrain et/ou du massif filtrant. Après inspection de l'intérieur du forage pour mettre en évidence les détériorations éventuelles du tubage et/ou des crépines, une ou plusieurs actions correctives seront à réaliser : ajout de gravier, chemisage du tubage en place, remplacement des crépines, diminution de débit d'exploitation...

Contrôle de l'état intérieur du forage

La périodicité du contrôle de l'état intérieur du forage sera définie en fonction du contexte hydrogéologique et de l'utilisation du forage : AEP, irrigation... Fixée dans certains cas à 10 ans par l'arrêté, elle pourra être réduite à 3 ou 5 ans dans des cas particuliers. Ce contrôle se fait par une **inspection vidéo par caméra immergée**. L'idéal est d'effectuer également une autre diagraphie : le « Cement bond logging » ou **CBL pour vérifier la présence et la qualité de la cimentation derrière le tubage**.

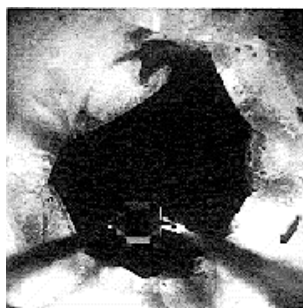


Illustration 23 -Inspection vidéo d'un tubage endommagé
Source documentaire inconnue

Nettoyage du forage

Pour les forages utilisés pour la production d'eau potable en particulier, prévoir un nettoyage du forage tous les 6 à 10 ans environ. Il comprend un **curage** des éventuels sédiments déposés en fond du forage, un **brossage des tubages et crépines** et éventuellement un **traitement chimique**. Ceci suppose qu'une machine de « servicing » puisse accéder au droit du forage. Dans des cas rares, lorsque le dosage est inadéquat, il peut y avoir des projections (par exemple avec de l'acide ou du peroxyde d'hydrogène) canalisées par le tubage du forage.

Respect absolu du débit maximum d'exploitation

Chaque forage est livré avec un **débit maximum d'exploitation** qu'il ne faut **jamais dépasser**, même très temporairement. En cas de dépassement on risque de réorganiser différemment la granulométrie des particules autour du forage et « d'arracher » des particules du terrain ou du massif filtrant, de créer des « ponts de sable » c'est à dire des zones où le massif filtrant n'est plus correctement en place et laisse passer des flux de particules, entraînant alors une **abrasion** des crépines, de la pompe, de la colonne d'exhaure et de tous les matériels en aval, ainsi qu'un **colmatage** de la crépine, de la pompe avec le risque de surchauffe du moteur. Une attention particulière est portée sur les conditions d'exploitation de la nappe et/ou du forage. Si celles-ci viennent à changer de façon significative, le débit maximal peut être revu à la baisse.

Les pompes immergées

La pompe est l'équipement indispensable à la fourniture d'eau. Il est impératif de respecter les préconisations du constructeur :

- ne pas dépasser le **nombre maximal de démarrages par heure**,
- ne pas chercher à se placer sous le **débit minimal de fonctionnement** préconisé ni, bien sur, au-delà du **débit maximal**,
- ne pas faire fonctionner en eau trop chargée de particules, même si les pompes immergées de forage ont une certaine tolérance au sable.

Si des sédiments se déposent, en tenir compte pour prévenir les risques de colmatage. Si la pompe aspire des sédiments, il y a **risque de colmatage** de la crépine de la pompe, gêne pour le refroidissement du moteur et risque de surchauffe, risque d'entrave à la libre rotation de l'hydraulique de la pompe.

Le fonctionnement du **clapet anti-retour de la pompe** est à contrôler au moins une fois par an.

Contrôler au moins tous les trimestres les **paramètres électriques de la pompe**, qui sont de bons indicateurs indirects de dysfonctionnements : consommation électrique, puissance, tension, intensité absorbée, résistance entre phases, fréquence en sortie de variateur, isolation électrique du câble et du moteur.

Vérifier le bon fonctionnement des **électrodes de niveau** trimestriellement. Parfois, une gangue se forme autour de l'électrode et l'isole du milieu, faussant les résultats.

Contrôler tous les mois la temporisation de la montée en débit progressive. Eviter de laisser les pompes à l'arrêt total plus d'un mois. Faire tourner chaque pompe au moins 8 h/mois. Contrôler chaque pompe en atelier au moins tous les trois ans.

La colonne d'exhaure

Il convient de contrôler visuellement **l'état de la tête de colonne** et à chaque remontée de pompe **l'état des tubages** (traces de corrosion, de dépôts intérieurs ou extérieurs), des brides ou des filetages. Le matériau de la colonne d'exhaure doit être adapté à la chimie de l'eau (ce qui suppose qu'une analyse d'eau soit faite). Il peut aussi être employé une colonne souple (type Wellmaster) qui n'est pas sensible à la corrosion.

Contrôle de la tête du forage ou de la cave de la tête du forage

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

Le compteur volumétrique ou débitmètre

Le choix du compteur devra être adapté au débit horaire et à la pression d'utilisation. Il conviendra de suivre les consignes du constructeur pour l'installation du matériel et son ré étalonnage périodique. Certains types de compteurs ne tolèrent pas une eau chargée en particules.



Fiche 11 – Conditions d'abandon d'un forage

Dispositions techniques spécifiques de l'arrêté « forage » du 11 septembre 2003 (articles 12 et 13).

Raisons d'abandon d'un forage

- *Le propriétaire ne souhaite pas faire les travaux de réhabilitation nécessaires, notamment à l'issue d'une inspection.*
- *Le forage a été réalisé dans la phase de travaux de recherche, mais n'est pas destiné à l'exploitation.*
- *Suite aux essais de pompage ou tout autre motif, le déclarant ne souhaite pas poursuivre l'exploitation du forage.*

Obligation de comblement d'un forage abandonné

- *Tout forage abandonné doit être comblé par des techniques appropriées permettant de garantir l'absence de circulation d'eau et l'absence de transfert de pollution.*

Le cuvelage doit être comblé par du béton maigre jusqu'au niveau du sol pour prévenir le risque d'effondrement par corrosion.

Cas des forages inclus dans un périmètre de protection d'un captage AEP ou des forages qui interceptent plusieurs aquifères superposés

- *Communication au préfet, au **minimum un mois avant les travaux**, des modalités de comblement comprenant : la date prévisionnelle des travaux, l'aquifère précédemment surveillé ou exploité, une coupe géologique représentant les différents niveaux géologiques et les formations aquifères présentes au droit du forage, une coupe technique précisant les équipements en place, des informations sur l'état des cuvelages ou tubages et de la cimentation de l'ouvrage et les techniques ou méthodes qui seront utilisés.*
- *Compte rendu des travaux adressé au préfet dans un délai de **deux mois suivant la fin des travaux de comblement**, avec les éventuelles modifications par rapport au document transmis préalablement. Cette formalité met fin aux obligations d'entretien et de surveillance de l'ouvrage.*

Cas des forages se trouvant dans les autres cas

- *Rapport de travaux adressé au préfet dans un délai de **deux mois suivant la fin des travaux de comblement**, avec les références de l'ouvrage comblé, l'aquifère précédemment surveillé ou exploité à partir de cet ouvrage, les travaux de comblement effectués. Cette formalité met fin aux obligations d'entretien et de surveillance de l'ouvrage.*

Cas des forages qui ne sont pas conservés à la suite des travaux de foration

- *Comblement dès la fin des travaux*
- *Les modalités de comblement figurent dans le rapport de fin de travaux.*

Les illustrations 24 et 25 précisent les modalités de comblement.

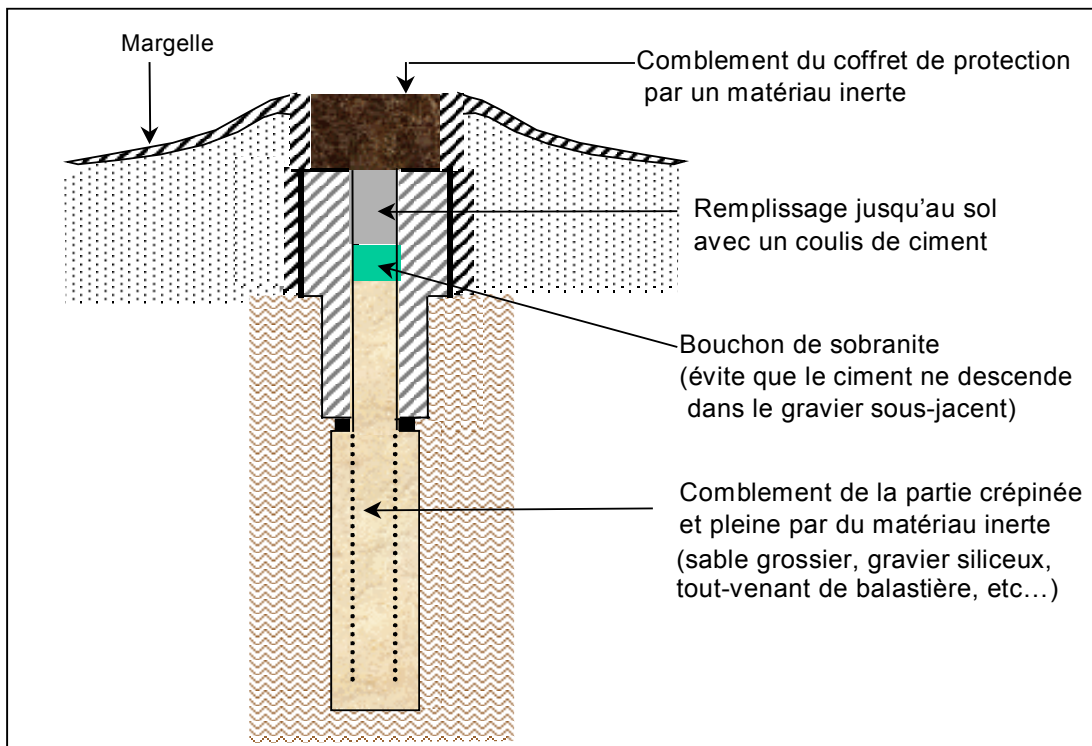


Illustration 24 - Exemple d'un forage abandonné après exploitation et comblé.
Source documentaire BRGM : d'après la plaquette « Le forage en Bretagne »

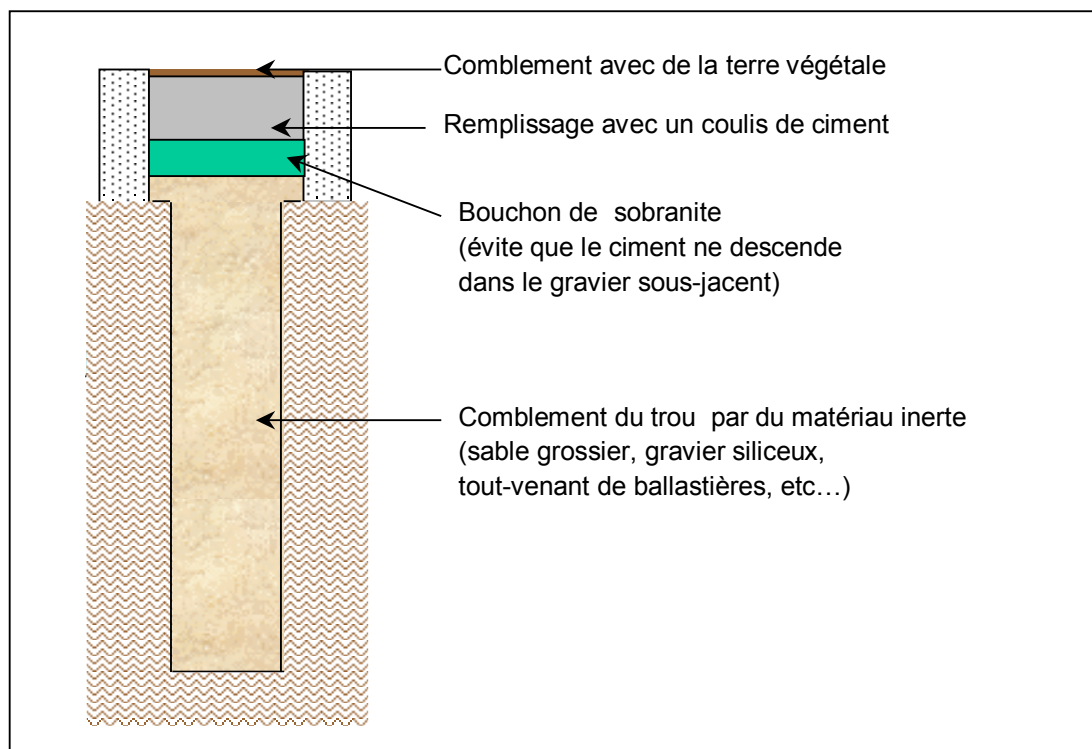


Illustration 25 - Exemple d'un forage non conservé, jugé improductif, non équipé et comblé.
Source documentaire BRGM : d'après la plaquette « Le forage en Bretagne »

Fiche 12 – Ce qu'il faut retenir de l'arrêté « forages »

Article	Condition minimales imposées par l'arrêté	A quoi faut-il penser
Art. 4	Distances minimales de sécurité (hors ouvrages de surveillance ICPE ou cas particuliers) par rapport à certaines sources de pollution. Connaissance préalable de la géologie et de l'hydrogéologie du secteur	Respecter les distances, sauf cas particuliers à justifier Faire appel à un hydrogéologue lorsque la ressource en eau souterraine est mal connue ou si sa répartition est hétérogène, préalablement à l'intervention du foreur
Art. 7	Cimentation de l'annulaire par injection sous pression par le bas : - dans la partie supérieure du forage - au droit de chaque formation aquifère non exploitée Vérification du volume de ciment injecté	Réaliser les cimentations au droit de toutes les formations non captées et, le cas échéant, dans l'espace annulaire entre deux tubages, par injection du laitier sous pression de bas en haut. Le volume théorique de laitier doit être majoré pour tenir compte des hors profils
Art. 7	Un même ouvrage ne doit pas capter plusieurs aquifères distincts superposés	Réaliser une éventuelle expertise, en cas de doute, sur le caractère distinct des aquifères
Art. 7	Coupe géologique de l'ouvrage et niveau des nappes	Faire établir une coupe géologique au cours ou à l'issue des travaux (version « foreur » a minima) et noter les venues d'eau
Art. 8	Protection de la tête du forage : - margelle bétonnée - local ou chambre de comptage - tête de forage (notamment en zone inondable) - capot de fermeture	Assurer l'absence de risque d'infiltration des eaux dans un forage débouchant dans un local Suivre les prescriptions techniques détaillées de l'arrêté
Art. 8	Mesure du niveau de l'eau dans le forage	Installer un tube guide sonde dans le forage lorsque cela est possible
Art. 8	Identification de l'ouvrage par une plaque portant les références du récépissé de déclaration	Maintenir la plaque en bon état
Art. 9	Tests de pompage S'assurer des capacités de production Si débit envisagé > 80 m ³ /h : - pompage de 3 paliers de courte durée - pompage de longue durée (minimum 12 heures) à un débit supérieur ou égal au débit définitif de prélèvement envisagé - influence du pompage sur 3 points dans un rayon de 500 m	Obtenir une évaluation du débit critique à ne pas dépasser et du débit optimal d'exploitation (débit / rabattement) Obtenir les résultats des pompages d'essai pour toute demande d'autorisation
Art. 13	Comblement des ouvrages abandonnés par des techniques appropriées	Le marché à conclure avec le foreur doit prévoir le comblement des forages improductifs s'il est prévu la réalisation de plusieurs forages. Devis à prévoir si la productivité est insuffisante

ANNEXES

A1 - Informations à fournir lors de la réalisation de sondages, forages, puits et ouvrages souterrains relevant de la rubrique 1.1.0 de la nomenclature définie au titre de la loi sur l'eau⁹

***Ce document est à utiliser pour présenter :
avant travaux, le dossier de déclaration devant contenir le document d'incidence (article 29 du décret 93-742 du 29 mars 1993)
après les travaux, le compte rendu
et de façon plus générale, suivre les prescriptions générales de l'arrêté « forage » du 11 septembre 2003.***

Il est applicable à tout ouvrage soumis à déclaration au titre de la rubrique 1.1.0 de la nomenclature loi sur l'eau, c'est à dire tout ouvrage destiné à la surveillance des eaux souterraines et tout ouvrage destiné à effectuer un prélèvement dès que le débit d'exhaure prévu est supérieur à 1000 m³/an.

Ces documents sont obligatoires au regard de l'article 29 du décret 93-742 du 29 mars 1993 et doivent être préalables à la réalisation de l'ouvrage (exception faite du rapport de fin de travaux).

Rappel : le **document d'incidence** présente les incidences de toute opération intervenant sur la ressource en eau, le milieu aquatique, l'écoulement, le niveau et la qualité des eaux. Dans le cas des forages il **prend la forme d'une note** établie par le pétitionnaire, un bureau d'étude ou toute autre personne compétente en hydrogéologie. Cette note est adaptée à l'importance de l'ouvrage et à la sensibilité de la ressource en eau recherchée ; elle doit comprendre notamment les éléments indiqués ci-dessous.

La procédure administrative se déroule en 3 étapes (les 2 premières peuvent être conjointes) :

- Etape 1 : éléments à fournir pour obtenir le récépissé de déclaration
- Etape 2 : éléments complémentaires à fournir après réception du récépissé et au moins 1 mois avant le début des travaux
- Etape 3 : rapport de fin de travaux

ETAPE 1 : Eléments à fournir pour obtenir le récépissé de déclaration

Identification et coordonnées du demandeur

- Nom et prénom ou raison sociale
- Adresse
- Téléphone

Localisation du projet de forage

- Commune
- Lieu-dit
- Référence cadastrale
- Coordonnées en Lambert II étendu
- Description de l'emplacement du projet

⁹ Adapté d'après les documents des services instructeurs des régions Bretagne et Pays de Loire

Environnement proche du projet de forage et contraintes du site

Le projet doit respecter les distances minimales vis à vis d'éventuelles pollutions, comme préconisées dans l'arrêté. Il doit également tenir compte des orientations, restrictions ou interdictions applicables à la zone concernée.

1) Il convient de préciser si l'emplacement est situé :

- Dans une zone inondable ou couverte par un plan de prévention des risques naturels
- Dans un périmètre de protection lié à un prélèvement d'eau destiné à la consommation humaine (déclaré d'utilité publique par arrêté préfectoral ou simplement proposé par l'avis d'un hydrogéologue agréé) ou un périmètre de protection des sources d'eau minérale naturelle
- Dans un périmètre de protection des stockages souterrains de gaz, d'hydrocarbures ou de produits chimiques
- Dans une zone couverte par un schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE)

2) Description succincte, mais claire, de l'environnement immédiat et des sources de pollution potentielles dans un rayon minimum de 200 m (ce rayon est à adapter à l'importance du projet) ; les citer et préciser les distances correspondantes :

- Bâtiments d'élevage
 - Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (activité à préciser)
 - Décharges (ordures ménagères, déchets industriels et autres)
 - Stockage (engrais solides ou liquides, produits phytosanitaires, hydrocarbures liquides, lisiers, fumiers, etc...)
 - Zones d'épandage (boue de station d'épuration, lisiers, matières de vidanges...)
 - Rejets d'eaux usées (assainissement individuel, infiltrations...)
 - Existence de canalisations d'eaux usées ou transportant des matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines (notamment en zone urbaine)
 - Zones inondables, cotes des plus hautes eaux connues au droit du projet
 - Voies de communication
- Si certaines distances réglementaires ne peuvent pas être respectées, préciser les mesures et précautions complémentaires proposées afin de déroger à ces distances

3) Inventaire de tous les forages dans un rayon de 500 m (ce rayon pourra être élargi, si le contexte géologique l'impose) avec les renseignements suivants :

- Report sur la carte à 1/25 000 de tous les forages inventoriés
- Code BSS (s'il existe)
- Usage : en cas de captage pour l'AEP, préciser le maître d'ouvrage et s'il existe indiquer le périmètre de protection effectif ou projeté (à localiser sur plan)
- Distance au projet et, si possible :
- Profondeur de l'ouvrage
- Niveau statique (avec la date de la mesure) à l'arrêt (sans pompage)
- Débit d'exploitation journalier et annuel
- Inventaire des cours d'eau et plans d'eau dans un rayon de 500 m (ce rayon pourra être élargi si le contexte l'impose)

Caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des terrains et de l'aquifère concernés par le projet

- Description de la géologie et de l'hydrogéologie des terrains concernés à partir des cartes géologiques, de la consultation de la BSS, des renseignements obtenus sur les forages voisins
- Coupe géologique prévisionnelle des terrains au droit de l'ouvrage. Faire ressortir les niveaux argileux
- Nature pédologique des sols de surface

- Description de l'aquifère sollicité : formation sédimentaire ou formation de socle, aquifère libre ou captif, fissuré, fracturé ou karstique), niveau piézométrique moyen de la nappe et variations annuelles (si une carte piézométrique existe, elle devra être fournie), sens d'écoulement de la nappe, présence d'aquifères superposés, productivité prévisionnelle (débit/rabattement)
- Usage de l'aquifère recherché : préciser si cet aquifère est déjà exploité et à quelles fins (industrie, AEP, irrigation)
- Qualité de la nappe : préciser si elle est polluée (nitrates, phytosanitaires), corrosive, ferrugineuse...
- Si ces données sont disponibles pour l'aquifère recherché : cote par rapport au sol, débit à la foration, rabattement maximal, débit spécifique ($m^3/h/m$), transmissivité (m^2/s) et coefficient d'emmagasinement de la nappe exploitée

Caractéristiques techniques du projet de forage

Pour tous ces paramètres, les références doivent être citées.

- Technique de foration :
 - ◆ Marteau fond de trou
 - ◆ Rotary à l'eau
 - ◆ Rotary à la boue (type de boue)
 - ◆ autre
- Pré tubage prévu :
 - ◆ Diamètre du pré forage (mm)
 - ◆ Hauteur du pré forage (m)
 - ◆ Diamètre intérieur/extérieur du pré tubage (mm)
 - ◆ Nature
- Tubage :
 - ◆ Diamètre de foration (mm)
 - ◆ Diamètre intérieur/extérieur du tubage (mm)
 - ◆ Nature
 - ◆ Hauteur crépinée
 - ◆ Pourcentage de vide (largeur des fentes)
 - ◆ Nature et granulométrie du gravier si nécessaire
- Cimentation :
 - ◆ Mode opératoire
 - ◆ Hauteur de cimentation (m), cotes de la cimentation prévue
 - ◆ Nature
- Déblais de forage, boues et eaux extraites
 - ◆ Devenir des déblais
 - ◆ Dispositif de traitement envisagé en vue de prévenir toutes pollutions du milieu
 - ◆ Destination des eaux d'exhaure lors des prélèvements

Lorsque certaines des dispositions prévues ne sont pas conformes à celles fixées par l'arrêté, il convient afin d'obtenir la dérogation correspondante, d'expliquer pourquoi elles ont été retenues et comment la préservation de la ressource en eau souterraine reste néanmoins assurée.

Usage prévu du forage

- Destination de l'ouvrage : surveillance des eaux souterraines ou prélèvement ?
- Si prélèvement préciser :
 - ◆ Capacité maximale de la pompe (m³/h)
 - ◆ Débit journalier maximum (m³/j) prévu
 - ◆ Débit annuel maximum (m³/an) prévu

NB : si certains de ces éléments ne peuvent être fournis à l'étape 1 ils seront fournis à l'étape 2.

Documents graphiques à joindre au dossier

- Localiser le ou les projets sur un extrait cadastral
- Reporter sur un plan de localisation à 1/25 000^{ème} en couleur correctement centré :
 - ◆ Le ou les ouvrages projeté(s) et le ou les ouvrages déjà exploité(s)
 - ◆ Les autres ouvrages (forages et puits) du secteur dans un rayon de 500 m, en différenciant les usages (industrie, loisir, alimentation en eau potable...)
 - ◆ Les périmètres de protection des captages AEP définis ou en projet ou autre périmètre
 - ◆ Les principales sources de pollutions.

ETAPE 2 : Eléments à fournir après réception du récépissé de déclaration au titre du forage et au moins un mois avant le début des travaux

Le déclarant communique au service en charge de la police des eaux souterraines, en simple exemplaire, les éléments suivants (s'ils n'ont pas été fournis au moment du dépôt du dossier de déclaration) :

- Les dates de début et fin des travaux, le nom de la ou des entreprises retenues et les différentes phases prévues dans le déroulement des travaux
- Les références cadastrales des parcelles et les cotes précises entre lesquelles seront faites les recherches d'eau souterraine
- Les dispositions techniques prévues pour équiper ou combler les sondages ou forages
- Les modalités envisagées pour les essais de pompage

ETAPE 3 : Rapport de fin de travaux

Un rapport de fin de travaux doit être transmis au préfet **dans les deux mois maximum suivant la fin des travaux**. Son contenu est fixé par l'article 10 de l'arrêté du 11 septembre 2003.

Le rapport de fin de travaux devra comporter les éléments suivants :

- Nom et adresse du demandeur
- Numéros d'enregistrement du ou des projets par le service instructeur et le BRGM (code BSS)
- Dates des différentes opérations et difficultés et anomalies éventuellement rencontrées
- Localisation sur fond IGN au 1/25 000 des sondages, forages, puits ou ouvrages souterrains effectivement réalisés, en indiquant pour chacun d'eux s'ils sont ou non conservés pour la surveillance ou le prélèvement d'eaux souterraines
- Coupes géologiques pour chaque forage, puits, sondage ou ouvrage souterrain avec indication du ou des niveaux des nappes rencontrées et de leur productivité (débit)
- Coupes techniques des installations précisant les caractéristiques des équipements, notamment les diamètres et la nature des tubages et les conditions de réalisation (méthode et matériaux utilisés lors de la foration, volume des cimentations, développements effectués...)
- Compte rendu des travaux de comblement pour les forages abandonnés
- Volume annuel (m³/an) de prélèvement prévu et capacité maximale des pompes qui seront installées (m³/h)

Afin que le compte rendu des travaux soit complet, les éléments suivants sont à recueillir ou à réaliser pendant les travaux.

Éléments à recueillir en cours de foration

Les relevés et tests suivants sont à mettre en œuvre pour apprécier les incidences de l'exploitation d'un forage sur le milieu :

- **La coupe géologique détaillée** avec repérage des niveaux particuliers (présence de pyrite...)

Remarque : en cas de présence de niveaux pyriteux, lors de l'exploitation de l'ouvrage il conviendra de ne jamais dénoyer ces niveaux pyriteux afin d'éviter leur oxydation qui engendre une acidification de l'eau et la mise en solution d'oxydes de fer. La présence de cette pyrite noyée peut contribuer à la dénitrification naturelle de l'eau.

- **Les profondeurs et les débits des arrivées d'eau successives**

Remarque : il faut préserver les arrivées d'eau principales (c'est-à-dire ne jamais les dénoyer en cours d'exploitation) afin d'éviter les pertes de charges anormales dans le forage et le colmatage de l'équipement, mais également du terrain.

- **La qualité de ces différentes arrivées d'eau**, notamment la conductivité, les teneurs en nitrates et, le cas échéant, les teneurs en sulfates et en fer

Remarques : si les analyses ne sont pas réalisées en cours de foration, il est nécessaire de constituer et conserver les échantillons selon les normes en vigueur dans un conditionnement adapté et de les traiter rapidement. La connaissance de ces paramètres permet de déterminer la hauteur de la cimentation à mettre en œuvre. Celle-ci devra colmater toutes les arrivées d'eau de mauvaise qualité et empêcher le mélange des eaux de qualités différentes. En tout état de cause, la mesure de la teneur en sulfates et en fer sera faite en fin de réalisation de l'ouvrage, les résultats étant à indiquer dans le rapport de fin de chantier.

- **Les problèmes rencontrés lors de la cimentation**, en particulier le **volume de ciment** prévu par le calcul et le volume de ciment réellement injecté
- **En bordure de mer : les mesures envisagées pour contrôler la salinité** de l'eau en cours de foration afin d'éviter les risques potentiels vis à vis de **l'invasion du biseau d'eau salée**. Dans tous les cas de figure, le rabattement de la nappe ne devra pas descendre sous la cote zéro NGF. Pour cela, la pompe sera située au-dessus de ce niveau.

Réalisation des pompages d'essais

Les tests de l'ouvrage et tests de la nappe décrits ci-dessous sont un **préalable nécessaire à la déclaration ou autorisation du prélèvement**, ainsi qu'à la garantie de bonne exploitation de l'ouvrage.

- **Test de l'ouvrage** : les tests des ouvrages renseignent sur les caractéristiques des forages et ne préjugent en rien de ce que peut fournir la nappe de façon pérenne. Ils consistent en 3 à 5 pompages à débit croissant mais de durée constante (1 à 2 h), espacés d'un temps d'arrêt au moins équivalent permettant à la nappe de retrouver son niveau d'équilibre initial. Ces essais conduisent à la détermination du débit maximal d'exploitation (débit critique) sans risque d'apparition de pertes de charges anormales pouvant provoquer des dégradations de l'ouvrage. **Ce débit critique doit être absolument respecté, sous peine de détérioration de l'ouvrage.**
- **Test de la nappe** : les tests de la nappe et l'interprétation des données doivent figurer dans le dossier au titre du prélèvement (rubriques 1.1.1 et 4.3.0). Le critère « volume du débit d'exploitation journalier maximal exploité au moins une fois dans l'année » sera retenu pour déterminer la durée de l'essai de la nappe. Pour une meilleure interprétation, il est préférable d'effectuer les tests en période de décharge de nappe.
 - ◆ **Pour les débits journaliers inférieurs ou égaux à 20 m³/j**, il est conseillé de faire le test de la nappe à **débit constant sur une durée de 12 heures.**

- ◆ **Pour les débits journaliers supérieurs à 20 m³/j et inférieurs ou égaux à 150 m³/j**, il est conseillé de faire le test de la nappe par pompage à **débit constant sur une durée de 24 à 72 heures**. Le débit de l'essai par pompage doit être inférieur au débit critique déterminé lors du test de l'ouvrage, adapté aux caractéristiques de la pompe et tiendra compte des limites de rabattement imposées par les niveaux pyriteux et/ou le niveau des arrivées d'eau principales qu'il ne faut, en aucun cas, dénoyer. Le niveau de l'eau sera mesuré, simultanément pour une durée de temps écoulé depuis le début de l'essai, dans le forage lui-même et dans la mesure du possible sur au moins **un ou plusieurs ouvrages proches**. Les mesures seront reportées sur un graphique où le rabattement est exprimé en fonction du Logarithme du temps : $\text{rabattement} = f(\log(\text{temps}))$, le temps étant exprimé en secondes (ou en minutes) et le rabattement en mètres.
- ◆ **Pour les débits journaliers supérieurs au moins une fois dans l'année à 150 m³/j**, il est recommandé de faire le test de la nappe par pompage à **débit constant sur une durée de 6 à 8 semaines**, cette durée ayant comme finalité l'observation de l'effet des limites étanches encadrant la zone sollicitée par le pompage. Si celles-ci apparaissent rapidement, il ne sera pas nécessaire de prolonger l'essai. Par contre, l'observation d'une diminution des rabattements en fonction du temps ne pourra entraîner l'arrêt de cet essai avant les 8 semaines de pompage. Le débit de l'essai par pompage sera inférieur au débit critique déterminé lors du test de l'ouvrage, adapté aux caractéristiques de la pompe et tiendra compte des limites de rabattement imposées par les niveaux pyriteux et/ou le niveau des arrivées d'eau principales qu'il ne faut, en aucun cas, dénoyer. Le niveau de l'eau sera mesuré simultanément, pour une durée de temps écoulé depuis le début de l'essai, dans le forage lui-même ainsi que dans au moins **un ou plusieurs ouvrages situés dans la zone influencée par le pompage**. Les mesures seront reportées obligatoirement sur un graphique où le rabattement est exprimé en fonction du Logarithme du temps : $\text{rabattement} = f(\log(\text{temps}))$, le temps étant exprimé en secondes (ou en minutes) et le rabattement en mètres. L'inventaire de tous les ouvrages déjà existants trouve ici sa justification. Si besoin, il peut être nécessaire de mettre en place plusieurs sondages (piézomètres) qui serviront de points d'observation.

Le test de la nappe par pompage permet de déterminer les caractéristiques de celle-ci : transmissivité et coefficient d'emmagasinement et les limites de l'aquifère. Ces paramètres permettent d'appréhender :

- ◆ la zone d'influence du pompage pour le débit testé et faire des extrapolations pour d'autres conditions d'exploitation du forage
- ◆ les possibilités de réalimentation de la nappe
- ◆ par voie de conséquence, les ressources renouvelables pouvant alimenter le forage.

Le test de la nappe par pompage permet d'ajuster les volumes prélevés dans la nappe en fonction de ses possibilités de renouvellement sans risque de surexploitation ni détérioration du milieu par précipitation d'oxydes métalliques.

➤ **Dans le cas d'une autorisation au titre du prélèvement**

En cas de proximité de cours d'eau ou de plan d'eau susceptibles de se retrouver dans le cône de rabattement (zone influencée par le pompage), il y a nécessité de suivre l'évolution des niveaux de celui-ci au cours du pompage ainsi que de celui d'un piézomètre (petit sondage) localisé sur l'autre rive.

➤ **Suivi de la qualité de l'eau**

Un suivi de la qualité de l'eau en cours d'essai constituera un état initial permettant de vérifier l'évolution de celle-ci au cours du temps. Durant l'exploitation les résultats obtenus au cours des pompages d'essai seront complétés par :

- ◆ un contrôle permanent des débits pompés (compteur)
- ◆ un contrôle régulier de la qualité de l'eau (adapté à la réglementation liée à l'usage de l'eau) et des niveaux de la nappe pour ajuster les prévisions d'exploitation.

Compte rendu des travaux de comblement

Le dossier indiquera les dispositions techniques des ouvrages abandonnés et des sondages réalisés en cours de travaux.

- Dans un périmètre de protection d'un captage AEP, les travaux de comblement doivent faire l'objet d'une information préalable du préfet au **minimum un mois avant les travaux**.
- Le compte rendu de travaux de comblement doit contenir les informations principales suivantes :
 - ◆ date des travaux
 - ◆ aquifère précédemment surveillé ou exploité
 - ◆ coupe géologique représentant les différents niveaux géologiques et les formations aquifères présentes au droit du forage
 - ◆ coupe technique précisant les équipements en place
 - ◆ informations sur l'état des cuvelages ou tubages
 - ◆ informations sur la cimentation de l'ouvrage
 - ◆ informations sur les techniques ou méthodes utilisées



A2 - Sources d'informations

1. Accès aux données de forages (banque du sous-sol)

Le portail <http://infoterre.brgm.fr/> permet l'accès aux banques de données numériques du BRGM, notamment aux données des forages enregistrés dans la **banque du sous-sol (BSS)**. Toutes ces données peuvent être recherchées puis cartographiées dynamiquement sur la zone d'intérêt définie interactivement par l'utilisateur. La définition de la zone d'intérêt peut s'effectuer par recherche géographique ou par mots-clés. Par ailleurs, les informations peuvent être obtenues auprès du Service géologique régional et au Centre de consultation à la Maison de la géologie, rue Claude Bernard à Paris.

2. Accès aux données sur les eaux souterraines : la banque de données ADES et le Référentiel Hydrogéologique (BD RHF)

Le BRGM est chargé de fédérer toutes les informations (réseaux, points de mesures, résultats des mesures...) et de développer tous les outils informatiques spécifiques à l'acquisition, à la gestion et à la diffusion des données sur les eaux souterraines dans la banque ADES. Toutes ces données doivent satisfaire à un langage commun pour pouvoir être utilisées facilement par les acteurs de l'eau, selon le standard établi par le SANDRE (Secrétariat d'Administration Nationale des Données Relatives à l'Eau). ADES est disponible sur Internet : <http://ades.rnde-tm.fr/>

Le référentiel hydrogéologique (BD RHF) est une nomenclature de toutes les nappes d'eau de France. Il comporte une carte de découpage et de répartition ainsi qu'un ensemble de fiches descriptives, à raison d'une fiche par unité aquifère. Ce référentiel est consultable sur le site du Réseau National des Données sur l'Eau (RNDE) : <http://www.rnde.tm.fr>. Il peut être mis à disposition sous la forme de CD-ROM.

3. Accès aux données sur les sites pollués ou potentiellement pollués

Le site Internet « Forum Actualités Sites Pollués » <http://www.fasp.info> diffuse l'information relative aux outils méthodologiques pour la gestion des sites (potentiellement) pollués et l'accès aux données d'inventaires :

- **base de données BASOL** sur les sites et sols pollués (ou potentiellement pollués) appelant une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif. Ce recensement des sols pollués par département et par ville est également disponible à la DRIRE ;
- **base de données BASIAS** créée avec les données des Inventaires Historiques Régionaux (IHR) des sites industriels et activités de service, en activité ou non. Cette base est également accessible directement au moyen de l'adresse suivante : <http://basias.brgm.fr>.

En plus de ces bases de données d'autres sources d'information existent :

- la carte géologique de la France à 1/50 000
- les fonds documentaires constitués par les études hydrogéologiques réalisées dans les secteurs considérés et qui peuvent être détenus par des organismes publics tels que : DRIRE, DIREN, DDASS, DDAF, BRGM, collectivités locales...

4. Points de contact

Agences de l'eau : portail commun : <http://www.eaufrance.com/>
Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse : <http://www.eaurmc.fr>
Agence de l'eau Rhin-Meuse : <http://www.eau-rhin-meuse.fr>
Agence de l'eau Adour-Garonne : <http://www.eau-adour-garonne.fr>
Agence de l'eau Loire-Bretagne : <http://www.eau-loire-bretagne.fr>
Agence de l'eau Artois-Picardie : <http://www.eau-artois-picardie.fr>
Agence de l'eau Seine-Normandie : <http://www.aesn.fr>

MISE ou DDAF du département : accessibles à partir du site Internet de la Préfecture ou du ministère de l'agriculture : <http://www.agriculture.gouv.fr/>

Liste des Directions Régionales de l'Industrie et de la Recherche sur <http://www.drire.gouv.fr/>

Liste des Directions Régionales de l'Environnement sur <http://www.ecologie.gouv.fr/regions/>

Liste des Services Géologiques Régionaux sur <http://www.brgm.fr/BRGMFrance/les2.htm>

5. Accès aux textes réglementaires

<http://www.legifrance.gouv.fr>
<http://www.adminet.com/jo/index.phtml>

- Prescriptions générales applicables aux sondage, forage, création de puits ou d'ouvrage souterrain soumis à déclaration : DEVE0320170A
- Prescriptions générales applicables aux prélèvements soumis à déclaration : DEVE0320171A
- Prescriptions générales applicables aux prélèvements soumis à autorisation : DEVE0320172A



A3 - Le logiciel GESFOR pour la collecte des données de forage


Pour faciliter la collecte des informations techniques recueillies lors d'un forage, une licence du logiciel **GesFor** est disponible gratuitement auprès du BRGM qui en assure la diffusion. Ce logiciel, au-delà de la description technique et géologique des ouvrages directement compatibles avec la banque du sous-sol, permet de :

- Préparer des documents de chantiers (formulaires de mesures, check liste, etc.)
- Préparer des déclarations Code Minier et loi sur l'eau
- Dessiner des coupes techniques et géologiques des ouvrages
- Tracer des courbes de décharge à partir des relevés de pompage
- Rédiger un rapport de forage
- Exporter un dossier d'ouvrage dans la Banque du sous-sol ou dans une base de données GesFor
- Gérer les archives de travaux.

Ce logiciel et sa notice d'usage au format Acrobat® ont été diffusés auprès des foreurs par le BRGM en 2003. Une nouvelle version est fournie dans le kit forage sur CD-R en complément au présent document. Un dossier de forage sous GesFor est présenté ci-après.

DOSSIER TECHNIQUE

FORAGE D'EAU 1


CITEC QUALITE

Entreprise: CISSE
Client: SOCIETE DE FORAGE A
Maître d'oeuvre: BUREAU D'ETUDE

Lieu de forage : La Source

Coordonnées : X 500 000 (m/Å) Y 2 000 000 (m/Å) **Altitude :** 45 m
Zone UTM Nord fuseau 20 métrique (Artilles)

Date début de forage :	12/01/2000	Resp. l/Œuvre :	MR LAMBALLE
Date fin de forage :	15/02/2000	Resp. l/Œuvre :	Mlle GALAMBERT
Œuvre :	Foreuse 1	Responsable Chantier :	P.GAUJHIER

Date début pompage :	15/02/2000	Profondeur hydrostatique s/Œ :	14.50 m
Date fin de pompage :	18/02/2000	Débit maxi. d'essai :	220.00 m ³ /h
		Rabatement correspondant :	22.30 m

Notes : Forage à vérifier régulièrement

Coordonnées - @Apport mètres ou yards m - mètres m3A - mètres cube par seconde PAGE: 1

Illustration 26 - Exemple de présentation d'un dossier par le logiciel GESFOR

Source documentaire BRGM

AVANCEMENT DES TRAVAUX
FORAGE D'EAU 1



CISE

Cliant: SOCIETE DE FORAGE A
Maitre d'oeuvre: BUREAU D'ETUDE
Lieu de l'ouvrage: La Source

Du	Au	Travaux réalisés
12/01/2000		: Transport du matériel
13/01/2000	20/01/2000	: Installation du chantier
21/01/2000		: Forage 24" de à 10 m, rencontre d'une souche
24/01/2000		: Forage 24" de 10 à 25 m, tubage 18"5/8, cimentation
25/01/2000		: Forage 17"1/2 de 25 à 35 m
26/01/2000		: Forage 17"1/2 de 35 à 70 m
27/01/2000		: Forage 17"1/2 de 70 à 125 m
28/01/2000		: Forage 17"1/2 de 125 à 170 m
31/01/2000		: Forage 17"1/2 de 170 à 210 m
01/02/2000		: Forage 17"1/2 de 201 à 255 m
02/02/2000		: Contrôle de trou, tubage 13"3/8, circulation
03/02/2000		: Cimentation
04/02/2000		: Attente de prise 48h
07/02/2000		: Forage 12"1/4 de 255 à 290 m
08/02/2000		: Forage 12"1/4 de 290 à 312 m
09/02/2000		: Contrôle du trou, équipement captant
10/02/2000		: Installation de l'air-ilt
11/02/2000		: Développement à l'air-ilt
14/02/2000		: Développement à l'air-ilt débit =0
15/02/2000		: Contrôle du niveau de gravier et complément 250 l
16/02/2000		: Essai de pompage par paliers, début d'essai longue durée
17/02/2000		: Essai de pompage longue durée
18/02/2000		: Essai de pompage longue durée
19/02/2000		: Essai de pompage longue durée
21/02/2000	23/02/2000	: Rempliment

TRONCONS de L'OUVRAGE
FORAGE D'EAU 1



CISE

Cliant: SOCIETE DE FORAGE A
Maitre d'oeuvre: BUREAU D'ETUDE
Lieu de l'ouvrage: La Source

LITHOLOGIE

De	à	Libellé
0.00	4.00	Remblai argileux
4.00	12.00	Marnes bleutée
12.00	25.00	Calcaire grossier
25.00	104.00	Argile à passées sableuses
104.00	221.00	Sables argileux
221.00	254.00	Marnes à huîtres avec quelques bancs de sable fin
254.00	280.00	Sables grossiers
280.00	290.00	Argile fluante
290.00	310.00	Sables grossiers
310.00	312.00	Argile compacte

FORAGE

De	à	Ø "	Ø mm	Mode de forage	Fluide de forage
0.00	25.00	24"	610.00	ROTARY	BENTONITE
25.00	255.00	17"1/2	444.00	ROTARY	BENTONITE
255.00	312.00	12"1/4	311.00	ROTARY	BOUE-POLYMERE

TUBAGE

De	à	Ø "	Ø mm	Epais	Ecre	Nature matériau	Type	Slot	Wide %
0.00	24.50	18"5/8	473.00	8.54	120	ACIER-API	TUBE-PLEIN		
0.00	255.00	13"3/8	340.00	6.75	135	ACIER-API	TUBE-PLEIN		
245.00	260.00	8"	203.00	4.00	45	INOX-AISI-304	TUBE-PLEIN		
260.00	278.00	8"	203.00	4.00	45	INOX-AISI-304	FILENROULE	1.00	18
278.00	292.00	8"	203.00	4.00	45	INOX-AISI-304	TUBE-PLEIN		
292.00	308.00	8"	203.00	4.00	45	INOX-AISI-304	FILENROULE	1.00	18
308.00	311.00	8"	203.00	4.00	45	INOX-AISI-304	TUBE-PLEIN		

CIMENTATION

De	à	Ø "	Ø mm	Nature du ciment	Méthode de pose	Vol. m3
0.00	100.00	13"3/8	340.00	CPA 55	Sous pression	18.50
330.00	450.00	18"5/8	473.00	Remblai	Gravitaire	3.50

Epais =Epaisseur (mm) Ecre =Rést. à l'écrasement (bar) Slot (mm) Canal =Canalisation Minimax (mm) PAGE: 3

Illustration 27 - 2 "pages écran" issues du logiciel GESFOR
Source documentaire BRGM

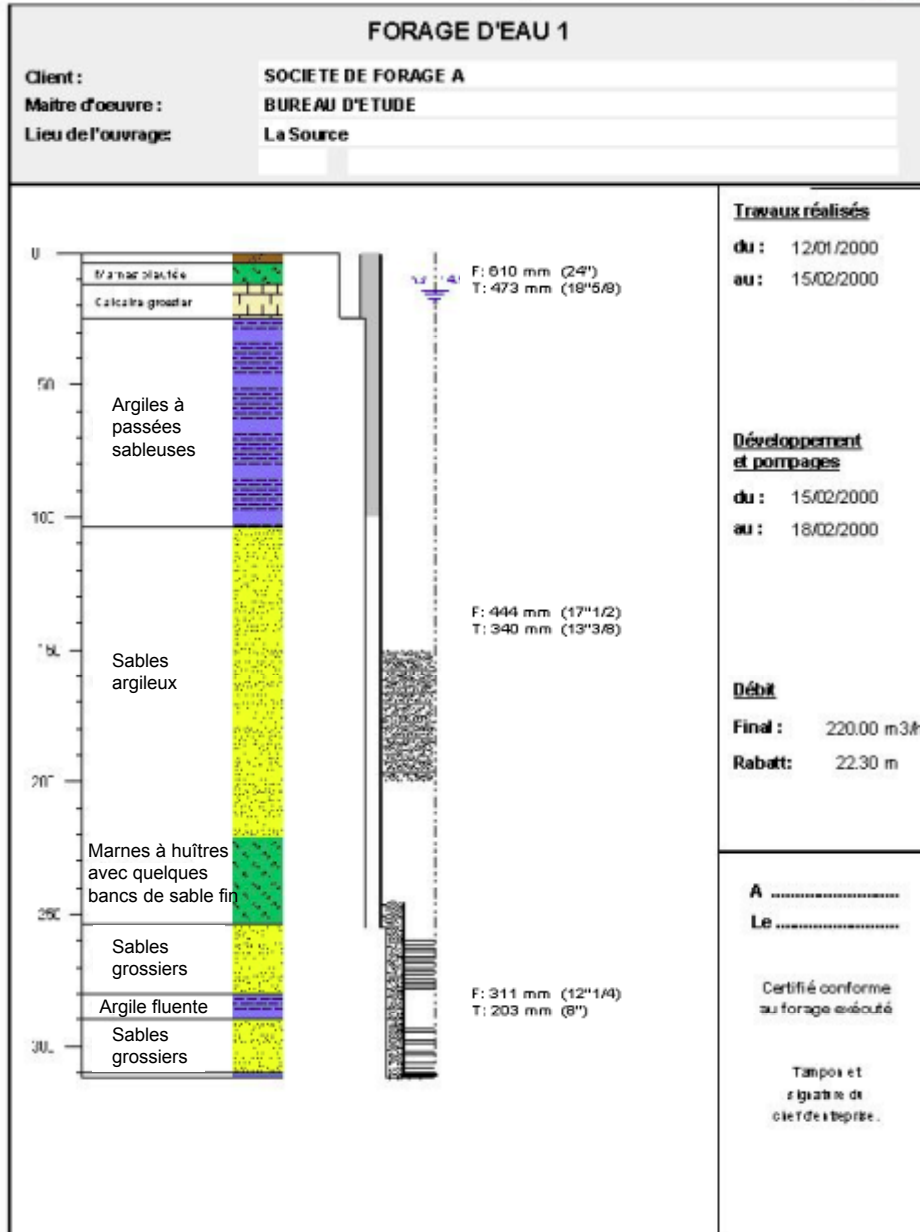


Illustration 28 - Coupe lithologique et technique présentée par le logiciel GESFOR
Source documentaire BRGM

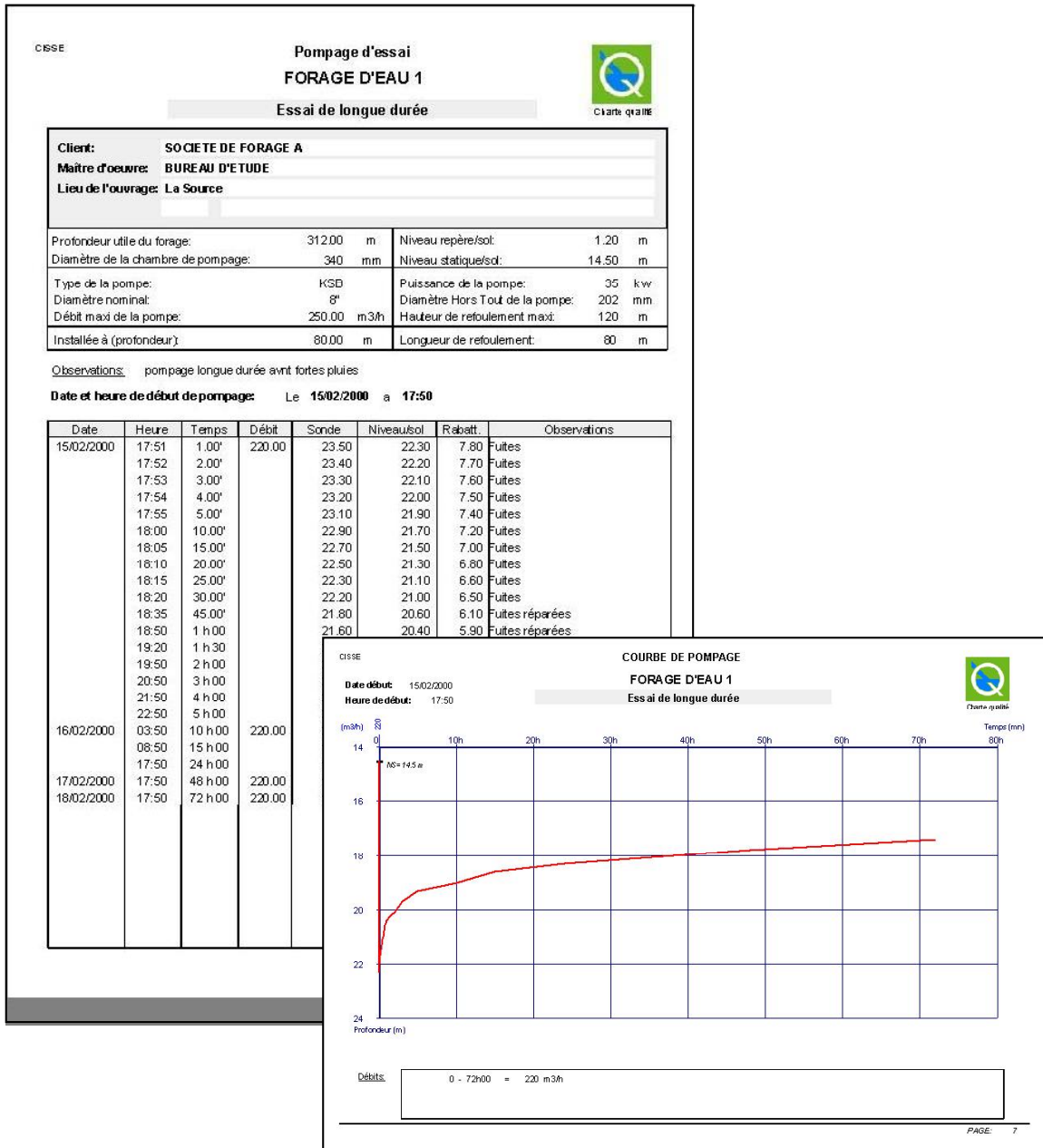


Illustration 29 - 2 "pages écran" du logiciel GESFOR relatives à un test de pompage Source documentaire BRGM



A4 - La banque de données du sous-sol

1. Description

La banque des données du sous-sol (BSS) est la base de données nationale des ouvrages souterrains déclarés sur le territoire français (code minier, code de l'environnement). Elle regroupe les informations techniques acquises lors des forages et collectées auprès des foreurs et des maîtres d'ouvrages.

Sa consultation peut se faire :

- sur le site InfoTerre™ ; le téléchargement de données sous format texte est possible
- dans chaque Service Géologique Régional à des horaires affichés dans chaque SGR
- au Centre National de Consultation de Paris (Tél : 0820 90 27 46)

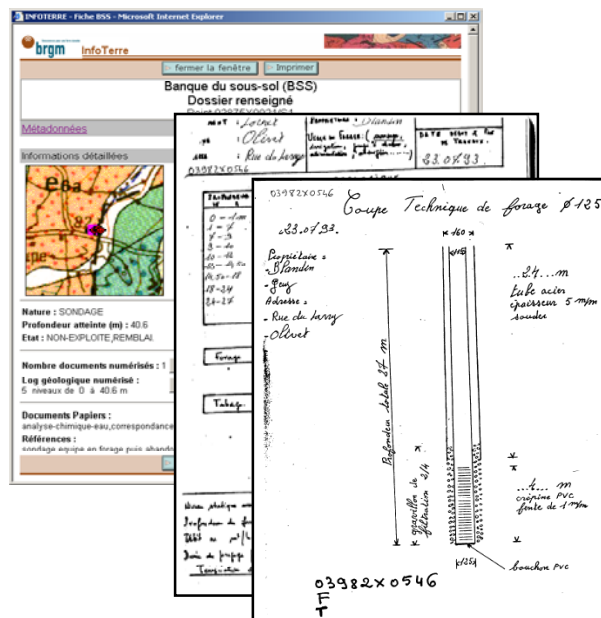


Illustration 30 - Informations extraites de la banque de données du sous-sol (BSS)
Source documentaire BRGM

2. Qu'est ce qu'un code BSS ?

Le code BSS identifie de façon unique le dossier de l'ouvrage souterrain au sein de la banque du sous-sol (BSS) du BRGM. Il permet de désigner « tout objet ayant trait à la géologie » notamment tout point d'eau d'origine souterraine qu'il s'agisse d'un puits, d'une source ou d'un forage.

Depuis 1997, le SANDRE a retenu le code BSS comme identifiant national des points d'eau d'origine souterraine. En effet ce code unique et stable permet d'identifier strictement chaque point d'eau, facilitant ainsi l'échange d'informations entre partenaires (maîtres d'ouvrages, DDASS, Agence de l'Eau, DIREN, ...).

Les caractéristiques techniques associées à ce code (coordonnées géographiques, profondeur et coupe géologique) permettent de localiser précisément les prélèvements et d'identifier les aquifères captés.

3. Comment est constitué un code BSS ?

Le code BSS est obtenu par concaténation d'un **indice** BSS (10 caractères obligatoires) et d'une **désignation** BSS (de 1 à 6 caractères), séparés par le caractère « / » :

- **L'indice BSS** est établi selon le principe du positionnement du point sur les cartes géologiques de la France (découpage IGN, numérotation BRGM) et se structure de la manière suivante :
 1. les quatre premiers chiffres de l'indice désignent le numéro BRGM de la carte IGN au 1/50 000^e sur laquelle le point d'eau est situé
 2. les deux caractères suivants : un chiffre suivi d'un « X » indiquent le huitième de carte où est localisé le point d'eau (cette carte peut être éventuellement subdivisée en trente-deux si la densité des points est importante ; dans ce cas, la lettre X est remplacée par A, B, C ou D)
 3. les quatre derniers chiffres correspondent à une numérotation chronologique des dossiers par ordre d'entrée dans la banque du sous-sol.
- **La désignation BSS**, information complémentaire sur le point d'eau, est séparée de l'indice BSS par un « / » ; il s'agit de lettre(s) ou de chiffre(s).

Exemple : 08035X0398/F

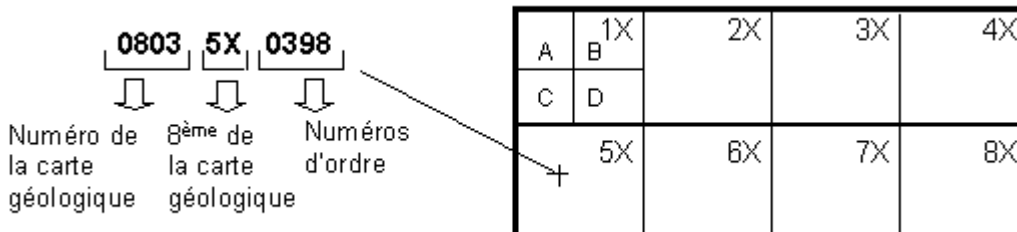
Afin de permettre les échanges de données, ce code doit être écrit strictement selon la règle ci-dessus, sans espace ni tiret et sans omettre les zéros en début d'indice et de désignation.

Exemples :

CORRECT : 08035X0398/F
A PROSCRIRE : **8035X398/F**
 803-5X-398/F
 0803 5X 0398/F
 803 5X 398/F
 803 5 398/F
 etc...

Exemple : **08035X0398**

Carte géologique 1/50.000e n° 0803 subdivisée en huitièmes :



4. Comment obtenir un code BSS ?

C'est le Service Géologique Régional du BRGM (SGR) qui, sur la base des informations transmises, attribue le code BSS à l'**ouvrage achevé**.

Pour obtenir ce code, les documents à transmettre au SGR sont :

- le nom du propriétaire de l'ouvrage et du déclarant (maître d'œuvre, entrepreneur)
- la localisation précise du forage : le département, la commune, le lieu-dit, les coordonnées X et Y, la zone Lambert correspondante et le plan de situation précis. Le report de la position du forage sur un extrait de carte IGN à 1/25 000 constitue la meilleure façon de procéder.
- la nature de l'ouvrage : à savoir forage, puits, source...

L'affectation des codes BSS s'effectue sous la responsabilité du BRGM par le correspondant BSS de chaque Service Géologique Régional concerné. Les coordonnées des services régionaux du BRGM sont consultables sur le site Internet <http://www.brgm.fr>.

L'ensemble des codes BSS attribués est stocké et géré dans la banque des données du sous-sol du BRGM consultable sur le site Internet <http://infoterre.brgm.fr/>.

Pour tout renseignement, il est possible de contacter directement le correspondant BSS du Service Géologique Régional concerné.

5. Le formulaire de déclaration

Le formulaire de déclaration est disponible dans l'outil « Gesfor », rubriques utilitaires, gestion des déclarations. Une fois complété, le formulaire est adressé au Préfet de département concerné (DRIRE ou service instructeur compétent s'il s'agit d'une procédure commune aux différentes réglementations).



A5 - Notions d'hydrogéologie

1. AQUIFÈRES - SYSTÈMES AQUIFÈRES - MASSES D'EAU

1.1.. Définition générale d'un aquifère

Un aquifère peut être défini comme un « *corps (couche, massif) de roches perméables à l'eau, à substrat et parfois à couverture de roches moins perméables, comportant une zone saturée¹ et conduisant suffisamment l'eau pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables* »

¹ La zone saturée d'un aquifère correspond à la zone du sous-sol dans laquelle l'eau occupe complètement les interstices des roches (illustration 31).

Une nappe est quant à elle définie comme « *ensemble de l'eau présente dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique.* »

Ces deux définitions sont celles retenues par le Comité National Français des Sciences Hydrologiques (<http://www.ciq.ensmp.fr/~hubert/termino.htm>).

La quantité d'eau qu'un aquifère emmagasine (réserve) dépend de ses dimensions (étendue, épaisseur) et de la porosité des roches qui le constituent; le débit qu'il écoule est quant à lui fonction de la perméabilité des roches. Suivant le type de porosité des formations rocheuses, on distingue classiquement :

Les aquifères à porosité d'interstices (illustration 32 a).

Dans ces formations (sables, grès, calcaires, craie) l'eau circule principalement entre les grains (sables, certains grès), mais aussi dans les fissures qui ont pu se développer dans la "masse".

La porosité efficace en nappe libre

Une partie de l'eau contenue au sein des pores, celle qui se situe à proximité des grains de la roche, est liée à ceux-ci par les forces de capillarité. Elle ne peut donc pas s'écouler au sein de la roche.

On définit donc une porosité efficace, qui est le rapport du volume d'eau gravitaire qu'un milieu poreux peut contenir en état de saturation puis libérer sous l'effet d'un drainage complet à son volume total.

Plus la taille des grains constitutifs de la roche est petite, plus ses pores sont eux-mêmes petits donc plus la part de l'eau liée est importante. La porosité efficace diminue donc avec le diamètre des grains et lorsque la granulométrie est variée. Elle dépend des formes d'arrangement des grains et de leur surface spécifique. Elle diminue avec la profondeur. La cimentation de la roche (remplissage d'une partie de la porosité par un ciment minéral qui lie les grains entre eux) contribue également à diminuer la porosité efficace.

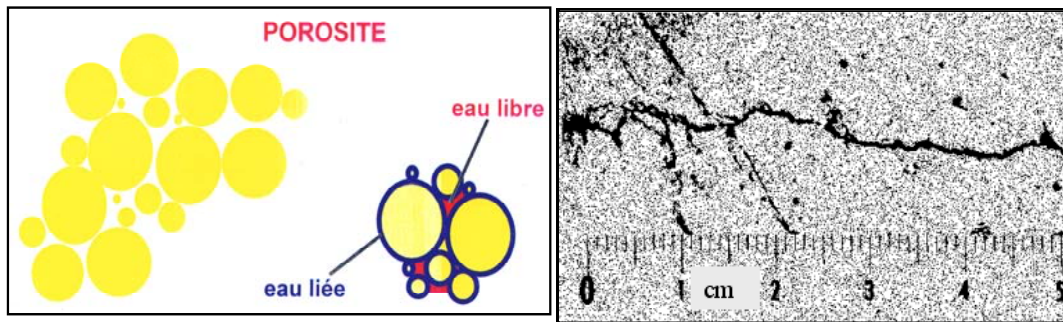
La porosité efficace varie suivant le type de roche allant par exemple de 2% pour la craie à 20-25 % pour une formation alluviale de sables et graviers (tableau page suivante).

Les aquifères fissurés/fracturés (illustration 32 b)

Les roches qui les constituent (granites, roches métamorphiques) sont très peu poreuses mais le réseau de fractures parfois bien développé qui les affecte peut en faire des aquifères intéressants.



Illustration 31 - Zone saturée et non saturée dans un aquifère
Source documentaire BRGM



a) Porosité d'interstice

b) Porosité de fissure

Illustration 32 - Porosité d'interstice et porosité de fissure
Source documentaire BRGM

Gravier	25 %
Sable, sable et gravier	20 %
Sable fin, grès	10 %
Argiles et graviers, graviers cimentés	5 %
Argile, lave	3 %
Craie	2 à 5 %

Ordres de grandeurs de la porosité efficace

Les formations karstiques

Dans certaines formations calcaires, les fissures et les joints entre strates ont pu s'élargir (dissolution du calcaire) et des chenaux de grande taille, parfois de véritables conduites souterraines, ont pu se développer : ce sont les réseaux karstiques.

1.2. Système aquifère

La définition donnée par J. Margat (*Carte et catalogue des principaux systèmes aquifères du territoire français - 1976*) est la suivante : « un système aquifère peut se définir comme un domaine continu circonscrit par des limites faisant obstacle à des propagations d'influence à l'extérieur et dans lequel toute impulsion, locale ou régionale, brève ou durable, peut influencer l'ensemble, à des degrés et à l'issue de temps différents, en déterminant ainsi une réponse du système. »

C'est un système physique fini et défini dans lequel les réactions à des actions projetées sont ainsi prévisibles, localisables et quantifiables.

1.3. Masse d'eau

L'article 2 de la Directive Cadre Européenne du 23 octobre 2000, établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, définit une masse d'eau souterraine comme « un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou plusieurs aquifères. » La Directive Cadre demande aux États membres d'identifier toutes les masses d'eau souterraine et de les rattacher à des districts hydrologiques. Les masses d'eau s'étendant sur plusieurs districts (dites trans-districts) seront rattachées au district hydrographique le plus proche ou le plus approprié.

La « masse d'eau souterraine » est un concept nouveau introduit par la Directive Cadre. La masse d'eau ne recouvre pas totalement des notions ou entités hydrogéologiques connues, tels que des systèmes aquifères. Elles sont à considérer comme constituant les unités de base à partir desquelles doit être évalué l'état quantitatif et qualitatif des ressources en eaux souterraines à l'échelle d'un district et donc jugée l'efficacité des mesures prises afin de respecter les exigences de la Directive pour garantir la préservation et si nécessaire la restauration de l'état de ces masses d'eau en vue d'atteindre le bon état.

Pour plus d'information, on pourra se référer au rapport: « *Mise en œuvre de la DCE. Identification et délimitation des masses d'eau souterraine. Guide méthodologique* » Rapport BRGM/RP-52266-FR - Janvier 2003 disponible sur les sites intranet et internet du ministère de l'écologie (rubrique directive cadre sur l'eau).

Des informations sur la délimitation cartographique sommaire des masses d'eau et leurs caractéristiques sont par ailleurs disponibles dans les DIREN et agences de l'eau. Un référentiel national est en cours de réalisation.

2. PRINCIPAUX TYPES D'AQUIFERES

Ils sont décrits dans le Référentiel Hydrogéologique Français BD RHF® (V2) (« *Référentiel hydrogéologique BD RHF. Guide méthodologique de découpage des entités* ». Rapport final - Rapport BRGM/RP-52261-FR - Janvier 2003). Le RHF est un découpage du territoire en entités hydrogéologiques réalisé selon des règles communes qui permettent de gérer et échanger des informations, agglomérer et bancariser des données dans le domaine des eaux souterraines. C'est un outil essentiellement cartographique, descriptif et de structuration de l'information.

Le RHF distingue 5 catégories d'aquifères (5 "thèmes"):

- alluvial,
- sédimentaire,
- de socle,
- de formation volcanique
- de formation intensément plissée.

Remarque : dans le Référentiel, les aquifères karstiques sont inclus dans le thème « sédimentaire » en tant qu'attribut de ce thème.

2.1. Aquifères alluviaux

Les formations alluviales englobent l'ensemble des dépôts de plaine alluviale ainsi que les terrasses connectées hydrauliquement avec les cours d'eau.

Relations nappe-cours d'eau

Les aquifères alluviaux, communiquent en général avec les cours d'eau. Le sens d'écoulement de l'eau souterraine dépend de la position relative de la surface piézométrique par rapport au niveau de l'eau dans la rivière. La rivière peut drainer la nappe et lui servir d'exutoire. La rivière peut alimenter la nappe, notamment en période de crue. En un même point, ces sens d'écoulement peuvent varier dans le temps en relation avec les saisons et les pompages en nappe (Illustration 33).

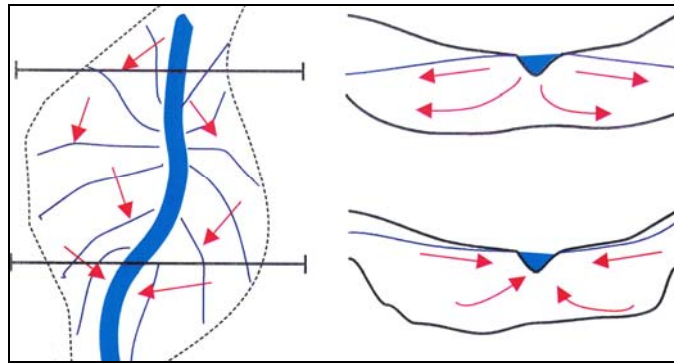


Illustration 33 - Exemple de relations nappe - rivière

Si le forage est situé à proximité d'une rivière, il peut provoquer ou renforcer les apports d'eau à la nappe depuis le cours d'eau (illustration 34). On parle alors de **recharge induite** de la nappe. Le débit pompé est un **mélange d'eau souterraine et d'eau de surface**.

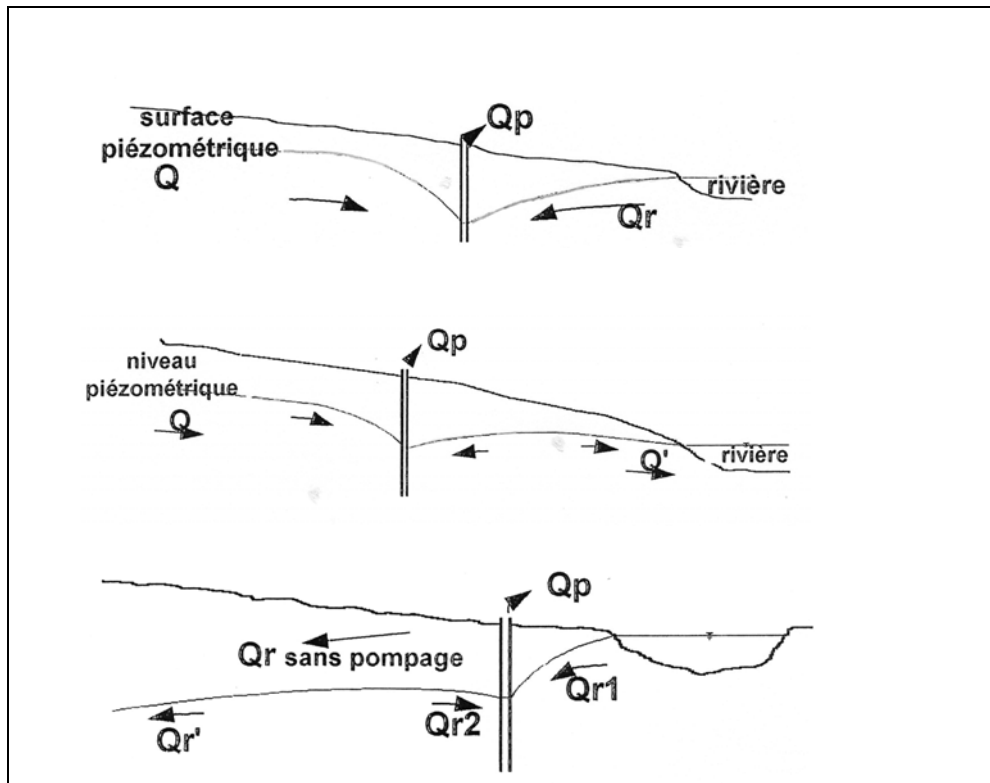


Illustration 34 - Exemple de relations nappe - rivière - forage

Les nappes alluviales peuvent jouer un rôle de relais hydraulique entre un horizon aquifère sous-jacent et le cours d'eau.

2.2. Aquifères sédimentaires

Un aquifère sédimentaire est défini (BD RHF® V2) comme un « ensemble des roches non métamorphiques peu ou pas déformées à l'exclusion des ensembles alluviaux en relation directe avec la rivière. »

Dans les grands bassins sédimentaires plusieurs aquifères peuvent se succéder verticalement. Ils sont séparés les uns des autres par des formations très peu perméables (les épontes). Mais malgré leur faible perméabilité les épontes permettent des échanges avec l'aquifère sus-jacent ou sous-jacent. Ces échanges peuvent atteindre des débits significatifs en raison des surfaces mises en jeu. Les formations aquifères superposées qui contiennent des nappes communiquant par drainance à travers des couches peu perméables et plus ou moins épaisses constituent un système aquifère multicouche.

Aquifères karstiques

Selon la définition du RHF, « un ensemble potentiellement karstique est un ensemble géologique dans lequel les roches carbonatées sont dominantes, où les écoulements superficiels sont rares en dehors des vallées principales (écoulements régionaux) et présentant, localement au moins, des formes karstiques (dépressions fermées, vallées sèches) ainsi que des sources à débit important au voisinage des vallées principales ».

Les karsts sont caractérisés par un réseau souterrain de conduits plus ou moins développé et profond. Les aquifères karstiques sont caractérisés par de très forts contrastes de perméabilité entre la matrice calcaire très peu perméable et les vides qui ont été générés en son sein. Ils sont le siège d'écoulements rapides (plusieurs mètres à quelques centaines de mètres par heure) dont la vitesse varie très significativement entre les périodes d'étiage et de crue.

2.3. Aquifères de socle

Les formations de socle englobent les formations magmatiques et métamorphiques. La ressource en eau est contenue principalement dans la couche d'altérites qui recouvrent la roche saine mais l'eau circule aussi à la faveur de la fracturation des roches : fractures horizontales liées à l'altération et fractures verticales d'origine tectonique.

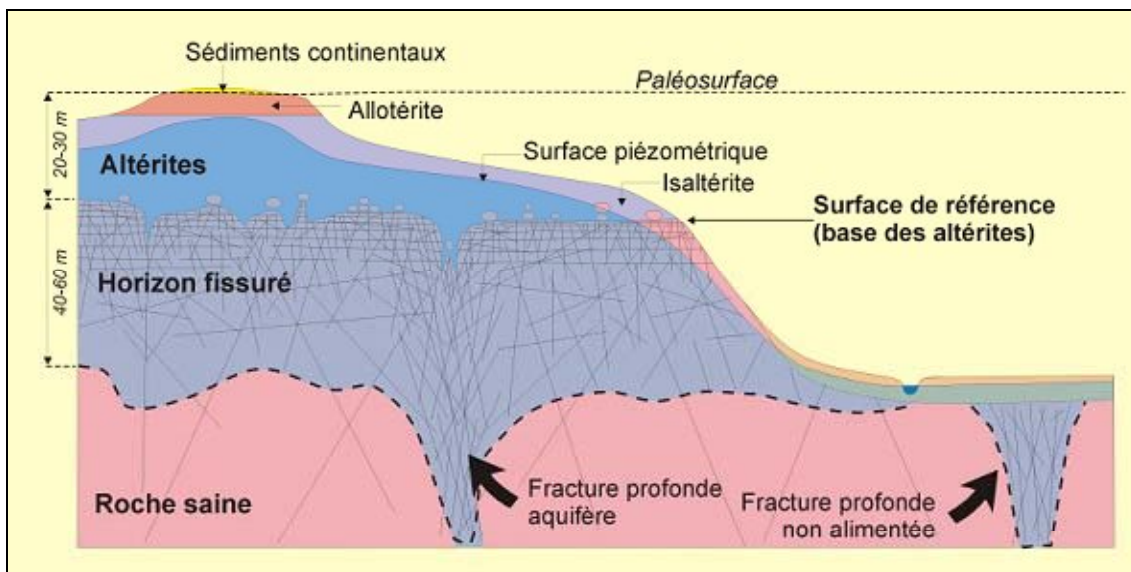


Illustration 35 - Structure type d'un aquifère de socle
Source documentaire BRGM

Un aquifère de socle peut donc être représenté comme une superposition d'horizons avec en surface la zone des altérites, en dessous l'horizon fissuré et en profondeur la roche saine parfois affectée de fractures profondes pouvant être aussi conductrices.

L'hétérogénéité spatiale de la ressource est plus importante qu'en zone sédimentaire.

2.4. Aquifères de formations volcaniques

Les entités volcaniques appartiendront aux massifs volcaniques tertiaires et quaternaires qui ont gardé une géométrie, une morphologie et/ou une structure volcanique identifiable (soit celle d'origine, soit celle résultant d'une évolution géomorphologique simple de type érosion, affaissement ou effondrement partiel...). Ainsi seront exclues les unités volcaniques dont le comportement hydrogéologique se rapproche de celui des formations de socle, suite aux processus de métamorphisme et de déformation qu'elles ont subis.

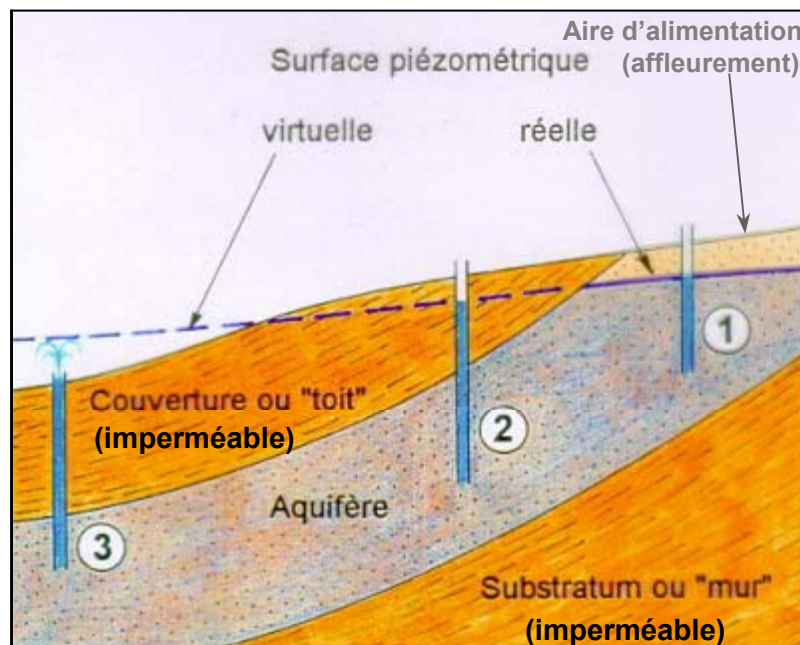
2.5. Aquifère de formations intensément plissées

Il s'agit de formations géologiques récemment plissées appartenant aux massifs montagneux alpins, pyrénéens, languedociens et jurassiens. Ces formations se caractérisent par des variations rapides de la lithologie (souvent latérales), de la stratigraphie et du métamorphisme, en rapport avec les déformations et les structurations des massifs montagneux.

3. NOTIONS D'HYDRODYNAMIQUE

3.1 Types de nappes

Selon les conditions morphologiques et géologiques, une nappe peut être **libre** (système aquifère « libre »), **captive** (système aquifère « captif »), être libre puis devenir captive (illustration 36) ou inversement être captive puis devenir localement libre par dénoyage de l'aquifère (pompages intenses).



En 1 la nappe est libre, en 2 elle est captive en 3, elle est captive et artésienne.

Illustration 36 - Nappe libre et captive
Source documentaire inconnue

- Une nappe libre repose sur une couche très peu perméable et elle est surmontée d'une zone non saturée au sein de la formation aquifère. C'est souvent la première nappe rencontrée depuis la surface.

Le niveau piézométrique correspond à la limite entre la zone non saturée et la zone saturée en eau. L'ensemble des niveaux piézométriques, mesurés dans les puits ou les forages et convertis en cotes NG, constitue la surface piézométrique de la nappe ou « surface libre ».

Cette surface libre varie essentiellement en fonction des fluctuations climatiques, notamment saisonnières. Elle varie aussi localement, en fonction des pompages effectués et des éventuelles réinjections en nappe.

Les pluies d'hiver permettent la recharge de la nappe (période dite de « hautes eaux »). En règle générale, à la fin de l'été une telle nappe s'est partiellement « vidangée » au droit de ses exutoires, sources et rivières.

Les cartes de la surface piézométrique apportent un grand nombre d'informations (sens d'écoulement de la nappe, axes de drainage...) et participent à l'identification des zones favorables à l'implantation d'un captage.

- Dans une nappe captive l'eau souterraine est confinée dans la formation aquifère entre deux formations géologiques très peu perméables. C'est le cas dans les formations aquifères profondes des bassins sédimentaires. Mais on peut également observer des nappes captives à quelques dizaines de mètres de profondeur.

Une nappe captive est mise charge (en pression) dans des secteurs parfois éloignés du lieu d'exploitation, dans les zones à surface libre de la nappe (« points hauts » des zones d'affleurements de la formation géologique) : c'est en effet l'altitude de la surface libre de la nappe qui induit les pressions observées à l'aval.

Lorsqu'un forage atteint une nappe captive, l'eau remonte dans le forage. Le niveau de l'eau stabilisé dans le forage représente le niveau piézométrique. Si le niveau piézométrique se situe au-dessus de la surface du sol, l'eau jaillit naturellement. On dit que le forage est artésien. La surface piézométrique d'une nappe captive n'indique pas la profondeur de l'eau sous la surface du sol mais la charge hydraulique dans les terrains aquifères. Elle informe sur la profondeur à partir de laquelle on peut pomper l'eau dans un forage.

3.2 Variables et paramètres régissant les écoulements

Charge hydraulique

Dans un aquifère, que la nappe soit à surface libre ou captive, la charge hydraulique correspond à l'altitude à laquelle l'eau s'élève dans un piézomètre (illustration 37). Pour une nappe à surface libre, la charge hydraulique correspond donc à l'altitude de la surface libre. Il suffit de mesurer la profondeur de ce niveau et de connaître la cote du repère de mesure (sol, haut du tubage,...) par rapport à un plan de référence (par exemple le 0 NGF) pour obtenir la charge H :

$$H = z_{\text{niv}} = z_{\text{sol}} - P_{\text{niv}}$$

Gradient hydraulique

Etant donnés 2 points distants de L sur une même ligne de courant, c'est la différence de charge hydraulique entre ces deux points divisée par L (illustration 38).

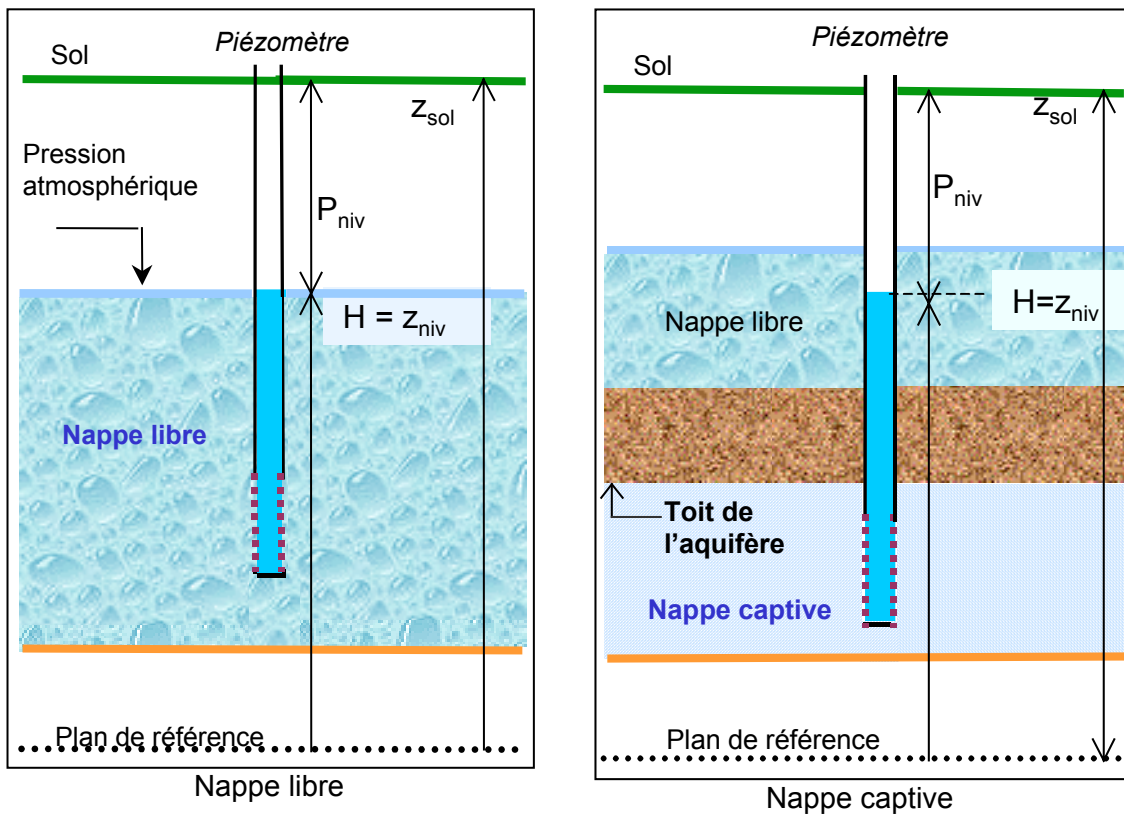
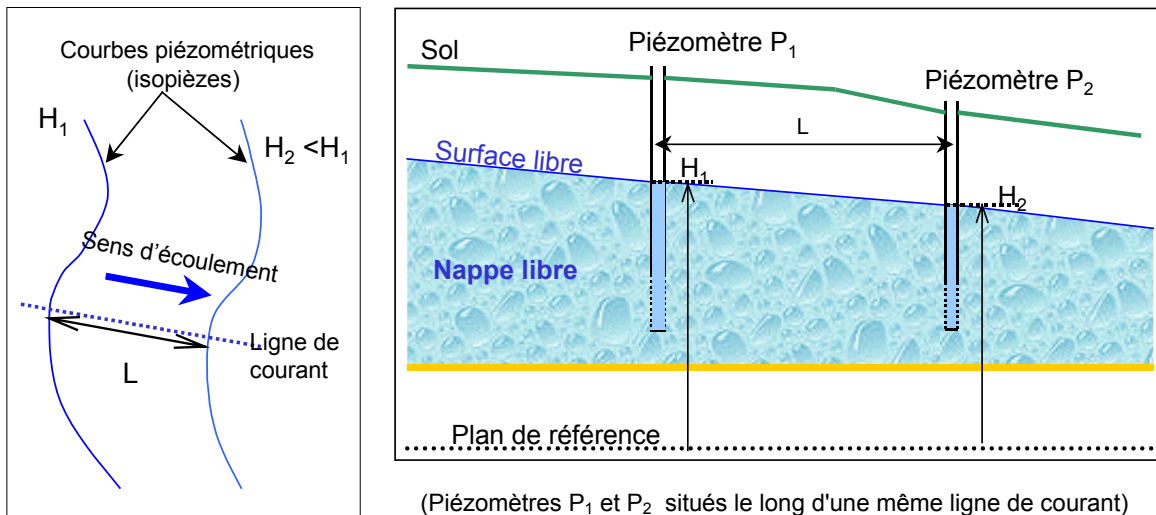


Illustration 37 - Charge hydraulique : cas d'une nappe libre et d'une nappe captive
Source documentaire BRGM



$$J = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

$$J = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

Illustration 38 - Gradient hydraulique
Source documentaire BRGM

Perméabilité et transmissivité

- **La perméabilité** est le paramètre qui caractérise et quantifie, à l'échelle macroscopique, **l'aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide.**

La perméabilité s'exprime en m/s. Le tableau ci-dessous fournit des ordres de grandeur.

Valeur de la Perméabilité	Classification hydrogéologique	Valeur de l'aquifère	Exemple de roche
10^{-2} à 10^{-4} m/s	perméable	très bon à bon	Sables et Gravier
10^{-5} m/s	assez perméable	assez bon	Calcaires gréseux
10^{-6} à 10^{-7} m/s	peu perméable	médiocre à mauvais	Limons, Marnes
égale ou inférieure à 10^{-8} m/s	très peu perméable	non aquifère	Argiles

D'après "Les eaux souterraines. Connaissance et gestion" J.J. Collin - 2004. BRGM Editions

La perméabilité d'une roche est grossièrement proportionnelle à la taille et à la fonction de distribution des grains qui la composent.

Les schémas ci-dessous illustrent les relations entre perméabilité, rabattement et débit d'exploitation des forages.

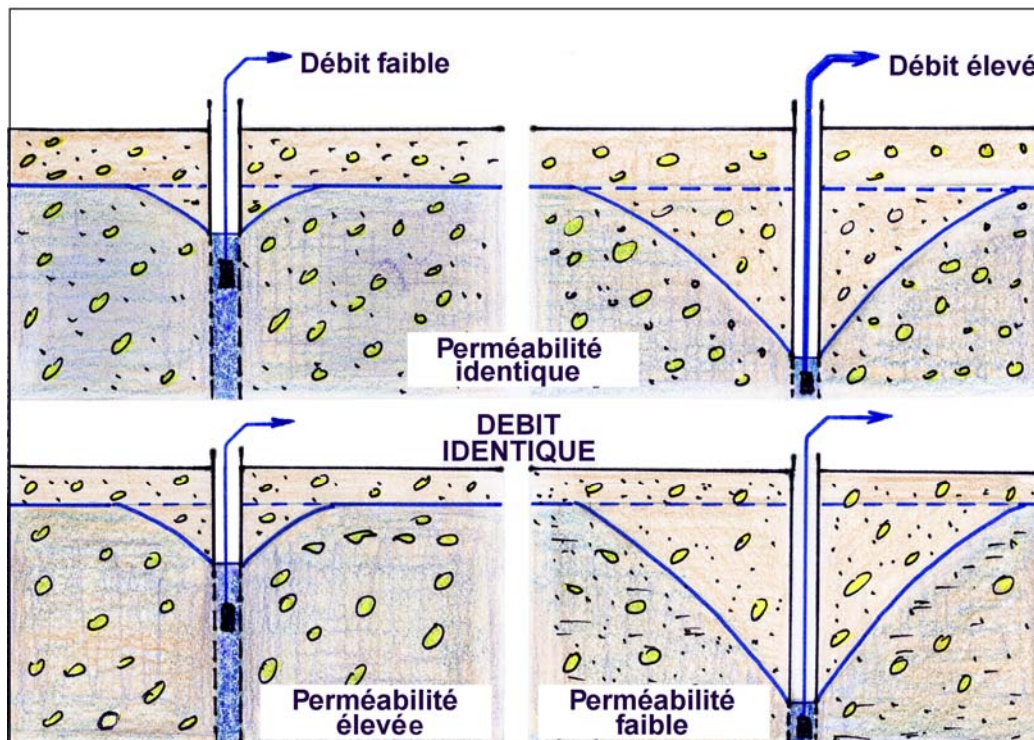


Illustration 39 - Relations perméabilité, débit, rabattement dans un captage
Source documentaire BRGM.

• **La transmissivité** est le paramètre qui détermine le débit d'eau s'écoulant par unité de largeur de la zone saturée d'un aquifère continu, mesurée selon une direction orthogonale à celle de l'écoulement, et par unité de gradient hydraulique. La transmissivité est égale au produit de la perméabilité moyenne de la tranche saturée de l'aquifère par son épaisseur mouillée. Elle s'exprime en m^2/s .

La transmissivité est une caractéristique essentielle qui **permet de prévoir les débits que l'on peut capter dans un forage**.

Ce paramètre est très couramment utilisé par les hydrogéologues car il peut être facilement déduit de l'interprétation de pompages d'essai.

La loi de Darcy

La loi de Darcy exprime que le débit souterrain Q au travers d'une section de passage A est proportionnel au gradient hydraulique J (défini ci-dessus), le coefficient de proportionnalité étant la perméabilité K :

$$Q = K.A.J = K.A. \frac{H_1 - H_2}{L}$$

Q (m^3/s) débit au travers de la section A
 K (m/s) perméabilité du milieu
 A (m^2) section de passage
 J gradient de charge hydraulique

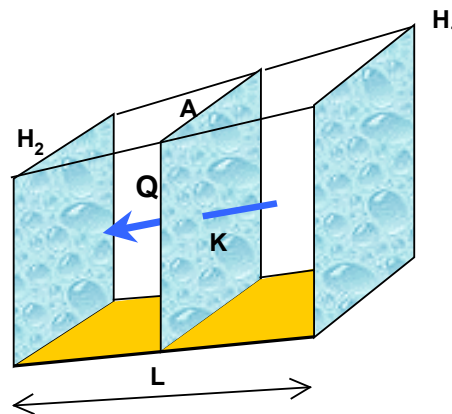


Illustration 40 - Débit au travers d'une section de milieu poreux
 Source documentaire BRGM

4.4. Coefficient d'emmagasinement

Le coefficient d'emmagasinement traduit la capacité de stockage-déstockage d'un aquifère. Il est défini comme le rapport du volume d'eau libéré ou emmagasiné par unité de surface de l'aquifère à la variation de charge hydraulique correspondante. Il est déduit de l'interprétation des pompages d'essai.

Nappe libre:

Le coefficient d'emmagasinement est une mesure du volume d'eau libéré par la nappe par unité de surface de l'aquifère pour une baisse de 1 m de sa surface libre. Le coefficient d'emmagasinement est sans dimension (exprimable aussi en %). Pour les nappes libres, le coefficient d'emmagasinement est assimilable à la porosité efficace (définie ci-dessus).

Nappe captive

C'est une mesure du volume d'eau extrait d'un aquifère captif par décompression de l'eau et du terrain sous l'effet d'une variation de charge de 1 m. Le volume extrait par unité de surface (en m^3/m^2) pour une épaisseur aquifère E et une variation de charge ΔH est donc :

$$V = (S_s \times E) \times \Delta H \quad (\text{en m}^3)$$

$S = S_s \times E$ est le coefficient d'emmagasinement (sans dimension)

S_s est le coefficient d'emmagasinement spécifique (en m^{-1}) fonction :

- de la compressibilité de l'eau β_w (en Pa^{-1})
- de la compressibilité des grains solides β_g (en Pa^{-1})
- de la compressibilité spécifique du terrain α (en Pa^{-1})
- de la porosité ω
- de la masse volumique de l'eau ρ_w (en kg/m^3)

Les compressibilités de la roche et de l'eau étant relativement faibles, les valeurs du coefficient d'emmagasinement des nappes captives sont beaucoup plus faibles (10^{-6} à 10^{-3}) que celles des nappes libres (0.01 à 0.15). Pour une même baisse de pression, le volume d'eau libéré par un aquifère libre est donc de plusieurs ordres de grandeur supérieur à celui libéré par un aquifère captif.

4.5. Autres paramètres

Épaisseur efficace

Elle est déduite avec précision à la suite de tests au micromoulinet, ce qui est rarement le cas. Au niveau d'une étude de préfaisabilité, faute de mieux, cette épaisseur est estimée égale à l'épaisseur totale de l'aquifère moins l'épaisseur des intercalations argileuses. Eventuellement, la réalisation d'une diaggraphie gamma-ray dans le forage permet d'apprécier le pourcentage relatif des passées argileuses de l'aquifère.

Productivité

La productivité d'un forage « est le débit maximum qui peut être pompé dans l'ouvrage, pendant une durée définie, sans que le rabattement induit par le pompage ne dépasse le rabattement maximum admissible » (M. Detay - 1993 - Le forage d'eau).

Le rabattement maximum admissible s_{max} est quant à lui imposé par les caractéristiques physiques et techniques de l'ensemble forage-aquifère : il doit être inférieur au rabattement critique s_c correspondant au débit critique Q_c évalué par les essais de puits (cf fiche 8): $s_{\text{max}} < s_c$. Des considérations économiques (coût de production de l'eau) peuvent aussi intervenir pour fixer le rabattement maximum admissible.

La productivité d'un aquifère dépend de l'extension du réservoir (épaisseur, étendue), de son aptitude à s'écouler et de sa réalimentation naturelle. C'est le premier paramètre à prendre en compte au stade initial d'un projet.

Orientation bibliographique

Anonyme - (1987) - Travaux de forage pour la recherche et l'exploitation d'eau potable - Marché de travaux - Cahier des clauses techniques générales - Bulletin Officiel - Fascicule N° 76 – Ministère de l'équipement, du logement, de l'aménagement du territoire et des transports.

COLLIN J.J. (2004) – Les eaux souterraines. Connaissance et gestion. Editions BRGM.

DETAY M. (1993) - Le forage d'eau ; réalisation, entretien, réhabilitation - MASSON .

GENETIER B. (1984) – La pratique des pompages d'essai en hydrogéologie. Manuels et méthodes N° 9 – Editions BRGM.

MABILLOT A. (1971) – Les forages d'eau – Guide pratique. 2^{ème} édition. Technique et Documentation.

MARGAT J. (1976) - Carte et catalogue des principaux systèmes aquifères du territoire français.

NORMAND M. (2003) - Mise en œuvre de la DCE. Identification et délimitation des masses d'eau souterraine. Guide méthodologique. Rapport BRGM/RP-52266-FR

PETIT V., HANOT F., POINTET T. (2003) - Référentiel hydrogéologique BD RHF. Guide méthodologique de découpage des entités. Rapport final.
Rapport BRGM/RP-52261-FR

SOURISSEAU B., DAUM J. R., LONGIN G. (1998) – Guide de bonne pratique et de contrôle des forages d'eau pour la protection de l'environnement – Manuels et méthodes N° 31 – Editions BRGM.