

Guide méthodologique

Forages et prélèvements d'eau souterraine

Documents d'incidence ouvrage et prélèvement
Dossier de récolement

Préambule

Ce guide méthodologique a pour objectif de présenter aux foreurs et aux bureaux d'études le contexte technique et réglementaire à respecter pour la réalisation d'un forage de prélèvement d'eau souterraine.

Il fournit les liens utiles vers les sites Internet de référence.

Ce guide concerne :

- tout **ouvrage** souterrain soumis à déclaration au titre de la rubrique 1.1.1.0 relative à la nomenclature « Eau » donc dès que le débit d'exhaure prévu est supérieur à 1 000 m³/an,
- tout **prélèvement** soumis à déclaration ou autorisation au titre de la nomenclature « Eau » (rubrique 1.1.2.0) donc dès que le débit d'exhaure prévu est supérieur à 10 000 m³/an,
- la constitution des éléments d'information préalables aux **forages** et aux **prélèvements** réalisés dans une **Installation Classée pour la Protection de l'Environnement** (ICPE).

Ce guide ne concerne pas les ouvrages domestiques qui font l'objet d'une réglementation spécifique : si le débit est inférieur ou égal à 1 000 m³/an, l'ouvrage relève de la procédure « Forages domestiques » et doit être déclaré en mairie avec le [formulaire Cerfa n° 13837*02](#) : pour plus de précisions, consultez le site <https://www.service-public.fr/>.

Les références réglementaires sont consultables au chapitre 4. Les références techniques détaillées sont listées au chapitre 5.

Sommaire

1	Procédure de déclaration des forages et des prélèvements d'eau souterraine	6
1.1	ETAPE 1 : Déclaration au titre du code Minier	7
1.2	ETAPE 2 : Demande d'examen au cas par cas	7
1.3	ETAPE 3 : Document d'incidence ouvrage	8
1.3.1	Eléments à fournir pour obtenir le récépissé de déclaration (ou l'accusé de réception dans le cadre d'une ICPE)	8
1.3.2	Eléments à fournir après réception du récépissé de déclaration au titre du forage (ou accusé de réception pour les ICPE) et au moins un mois avant le début des travaux.....	12
1.4	ETAPE 4 : Rapport de fin de travaux.....	13
1.4.1	Nom et adresse du propriétaire	14
1.4.2	Déroulement général du chantier	14
1.4.3	Nombre de sondages, forages, puits, ouvrages souterrains effectivement réalisés	14
1.4.4	Eléments à recueillir en cours de foration	14
1.4.5	Résultats des pompages d'essais	15
1.4.6	Compte rendu des travaux de comblement.....	16
1.5	ETAPE 5 : Document d'incidence prélèvement.....	17
1.5.1	Nom, adresse et téléphone du demandeur	17
1.5.2	Localisation précise du forage.....	17
1.5.3	Caractéristiques du forage réalisé.....	18
1.5.4	Eléments d'information obtenus en cours de foration.....	18
1.5.5	Caractéristiques du projet de prélèvement	19
1.5.6	Incidences prévisibles sur le milieu	19
1.5.7	Dispositif de surveillance des débits et des niveaux et qualité de la nappe	20
1.5.8	Mesures restrictives et mesures compensatoires.....	20
1.5.9	Entretien de l'ouvrage prévu.....	21
1.5.10	Documents graphiques à joindre au dossier	21
1.6	Autres réglementations applicables.....	21
2	Où trouver les éléments d'informations nécessaires aux documents d'incidence ?.....	22
2.1	SIGES Bretagne	22
2.2	Les masses d'eau souterraines.....	22
2.3	Le SDAGE et les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)	23
2.4	Les plans de prévention des risques naturels	23
2.4.1	Qu'est-ce qu'un Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN)?	23

2.4.2	Où vous renseigner ?	24
2.5	Les périmètres de protection	24
2.5.1	Les périmètres de protection liés 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)	24
2.5.2	Les périmètres de protection des eaux minérales et de source	26
2.6	Les périmètres de protection des stockages souterrains de gaz, d'hydrocarbures ou de produits chimiques	26
2.7	Inventaire des forages d'eau dans un rayon de 500 m	26
3	Recommandations techniques pendant et après la réalisation du forage	27
3.1	Repérage des niveaux pyriteux	27
3.2	Repérage des profondeurs et des débits des arrivées d'eau successives	27
3.3	Suivi de la qualité des arrivées d'eau	29
3.3.1	Les nitrates	29
3.3.2	La conductivité (salinité)	29
3.4	Cimentation de l'espace annulaire	34
3.4.1	Objectif de la cimentation	34
3.4.2	Définition de la partie à cimenter	34
3.4.3	Le laitier	35
3.4.4	L'injection	35
3.5	Protection de la tête du forage	36
3.6	Essais de pompage : tests de l'ouvrage et de la nappe	36
3.6.1	Mise en œuvre des essais	36
3.6.2	Test de l'ouvrage : essai de puits par paliers	39
3.6.3	Test de la nappe : essai par pompage long à débit constant	40
4	Références réglementaires	46
5	Références techniques	47

Liste des illustrations

Illustration 1 : critères d'implantation à respecter	9
Illustration 2 : exemple de formulaire de réception des travaux (Annexe C de la norme NF X 10-999)	13
Illustration 3 : débit instantané - profondeur de foration	28
Illustration 4 : débit instantané – profondeur de foration.....	28
Illustration 5 : graphiques débit instantané – profondeur de foration et teneurs en nitrates – profondeur de foration	29
Illustration 6 : zone polluée par l'eau salée	30
Illustration 7 : biseau salé.....	30
Illustration 8 : secteurs potentiellement vulnérables aux intrusions salines en Bretagne (Lucassou et al., 2019).....	31
Illustration 9 : exemples de conductimètres portatifs	31
Illustration 10 : exemple d'implantation de forages en bord de mer	32
Illustration 11 : exemples d'exploitation de forages en bord de mer (remontée d'eau salée par pompage)	33
Illustration 12 : effet de la répartition du prélèvement sur plusieurs forages.....	34
Illustration 13 : protection d'une tête de forage (BRGM).....	36
Illustration 14 : tableau des caractéristiques des ouvrages suivis	38
Illustration 15 : fréquence des mesures durant le pompage	38
Illustration 16 : tableau de relevés des mesures.....	38
Illustration 17 : tableau de données des essais par paliers.....	39
Illustration 18 : exemple de courbes caractéristiques d'essais par paliers.....	39
Illustration 19 : schématisation des rabattements liés aux effets de deux pompages.....	42
Illustration 20 : présentation de l'évolution des rabattements en fonction de la nature des limites..	42
Illustration 21 : exemple de courbes caractéristiques de rabattement.....	43
Illustration 22 : carte des précipitations moyennes sur la Bretagne (1997-2006).....	44
Illustration 23 : carte des normales de pluies efficaces (mm) - Moyennes annuelles sur la période 1946-2001 (MEEDDM, 2005).....	45

Lexique

AELB	Agence de l'Eau Loire Bretagne
AEP	Alimentation en Eau Potable
ARS	Agence Régionale de Santé
DDPP	Direction Départementale de la Protection des Populations
DDTM	Direction Départementale des Territoires et de la Mer
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DUP	Déclaration d'Utilité Publique
DUPLOS	Déclaration Unique pour les Ouvrages Souterrains
GMI	Géothermie de Minime Importance
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
LEMA	Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques du 30 décembre 2006
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PPRN	Plan de Prévention des Risques Naturels
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SIGES	Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines

1 Procédure de déclaration des forages et des prélèvements d'eau souterraine

La procédure administrative se déroule en plusieurs étapes. Tout d'abord, il s'agit de déclarer l'ouvrage auprès des services instructeurs **avant** sa réalisation, puis de transmettre le dossier de récolement **après** réalisation de l'ouvrage et enfin de déclarer le prélèvement. Les étapes sont les suivantes :

- **Etape 1** : Déclaration préalable du forage au titre du Code Minier (article L411-1) pour tout ouvrage de plus de 10 m de profondeur
- **Etape 2** : Article R122-2 Code Environnement – Demande d'examen au cas par cas préalable à la réalisation éventuelle d'une évaluation environnementale, pour les forages de plus de 50 m de profondeur
- **Etape 3** : Document d'incidence « ouvrage » - Eléments à fournir pour obtenir le récépissé de déclaration (ou l'accusé de réception pour les ICPE)

Attention : ce récépissé, attribué pour les dossiers complets, ne permet pas forcément d'entreprendre les travaux puisqu'un délai de 2 mois est prévu pour s'opposer à une opération soumise à déclaration (un dossier complet n'est pas forcément régulier).

Des éléments complémentaires sont à fournir après réception du récépissé et au moins 1 mois avant le début des travaux.

- **Etape 4** : Rapport de fin de travaux (dont le dossier de récolement)
- **Etape 5** : Document d'incidence « prélèvement » (pour les prélèvements soumis à déclaration ou à autorisation au titre de la nomenclature « Eau » - rubrique 1.1.2.0) - Eléments à fournir pour obtenir le récépissé de déclaration (ou l'accusé de réception pour les ICPE).

Attention : ce récépissé, attribué pour les dossiers complets, ne permet pas forcément la mise en service du forage puisqu'un délai de 2 mois est prévu pour s'opposer à un prélèvement soumis à déclaration et de 9 mois pour un prélèvement soumis à autorisation.

Ces deux dernières étapes peuvent être conjointes si le prélèvement prévu est supérieur à 10 000 m³/an. Hors ICPE, dans le cas d'un prélèvement supérieur à 1 000 m³/an et inférieur à 10 000 m³/an, il n'est pas nécessaire de réaliser l'étape 5.

1.1 ETAPE 1 : Déclaration au titre du code Minier

La déclaration préalable au titre du Code Minier (article L411-1) est obligatoire pour tout ouvrage de plus de 10 m de profondeur. Elle doit être effectuée au plus tard **1 mois avant le début des travaux**.

A compter du 1^{er} juin 2021, cette déclaration s'effectue à partir du portail de Déclaration Unique pour les Ouvrages Souterrains (DUPLOS), accessible à l'adresse <https://duplos.brgm.fr/#/>.

Ce lien est également disponible sur la page dédiée aux forages du site internet de la [DREAL Bretagne](#).

Ergonomique, cet outil permet également d'accéder à l'application **web Dialog**, pour la description technique des ouvrages et la réalisation en ligne de coupes prévisionnelles ou rapports de fin de forage.

Des tutoriels sont en ligne pour faciliter la télédéclaration sur DUPLOS :

- Présentation de DUPLOS : <https://youtu.be/JrHOXo3smbS>
- Déclarer un nouvel ouvrage sur DUPLOS : <https://youtu.be/Bu5LG0cOZWQ>

1.2 ETAPE 2 : Demande d'examen au cas par cas

Les forages d'approvisionnement en eau d'une profondeur supérieure ou égale à 50 m sont susceptibles d'être soumis à évaluation environnementale à la suite d'un examen au cas par cas (cf. décret n°2016-1110 du 11 août 2016 modifiant la nomenclature annexée à l'article R.122-2 du Code de l'Environnement).

Le formulaire de demande d'examen au cas par cas ([formulaire CERFA 14734](#)) ainsi que la notice explicative sont téléchargeables à l'adresse suivante : <https://entreprendre.service-public.fr/vosdroits/R15289>.

La consultation préalable de la [notice](#) destinée à aider au remplissage correct du formulaire est vivement conseillée.

Pour plus d'informations, consultez la page dédiée à l'examen au cas par cas des projets sur le site de la [DREAL Bretagne](#).

La démarche d'évaluation environnementale porte sur les projets dans leur globalité. Les éléments à fournir dans le cadre de l'examen au cas par cas doivent donc permettre d'apprécier les incidences environnementales du forage et du futur prélèvement (préservation qualitative et quantitative de la ressource en eau, incidences sur les milieux superficiels).

1.3 ETAPE 3 : Document d'incidence ouvrage

Rubrique 1.1.1.0 : forage

Document d'incidence ouvrage : article R 214-32 du Code de l'Environnement

Arrêté du 11 septembre 2003 fixant des prescriptions générales

Arrêtés départementaux forages (voir liens au chapitre 4)

Forages réalisés dans une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE)

Obligation d'information du Préfet fixée par les articles

R 181-46 (autorisation), R 512-54 (déclaration) et R512-46-23 (enregistrement)

du Code de l'Environnement

Le document d'incidence ouvrage présente les incidences de toute opération intervenant sur la ressource en eau, le milieu aquatique, l'écoulement, le niveau et la qualité des eaux. Il prend la forme d'un rapport établi par une personne compétente en hydrogéologie, doit être adapté à l'importance de l'ouvrage, et comprendre notamment les éléments indiqués ci-dessous. Il s'agit d'une **déclaration d'intention préalable aux travaux**, qui doit être transmise avant le début des travaux, pour tout ouvrage souterrain destiné à effectuer un prélèvement dès lors que le débit d'exhaure prévu est supérieur à 1 000 m³/an.

Le dossier de déclaration doit être conforme à l'article R214-32 du Code de l'Environnement.

1.3.1 Eléments à fournir pour obtenir le récépissé de déclaration (ou l'accusé de réception dans le cadre d'une ICPE)

Nom (ou raison sociale), adresse et téléphone du demandeur

Localisation du projet de forage

- **Commune, lieu-dit, référence cadastrale**, coordonnées en Lambert 93, description de l'emplacement
- **Contraintes du site**

L'ouvrage doit respecter les **distances minimales** vis-à-vis d'éventuelles pollutions (Illustration 1), comme préconisé dans la réglementation en vigueur (article 4 de l'arrêté¹ du 11 septembre 2003). Il doit également tenir compte des orientations, restrictions ou interdictions applicables à la zone concernée, en particulier lorsqu'il s'agit d'une zone d'expansion de crues et d'une zone où existent :

¹ Arrêté du 11 septembre 2003 modifié portant application du décret n°96-102 du 2 février 1996 et fixant les prescriptions générales applicables au sondage, forage, y compris les essais de pompage, 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 et relevant de la rubrique de la rubrique 11 1.0 de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié. Voir annexe 4.

- un Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) ainsi qu'un Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE),
- un plan de prévention des risques naturels (PPRN),
- 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,
- un périmètre de protection des stockages souterrains de gaz, d'hydrocarbures ou de produits chimiques.

Se reporter au chapitre 2 pour savoir où trouver les informations nécessaires à l'élaboration du document d'incidence ouvrage.

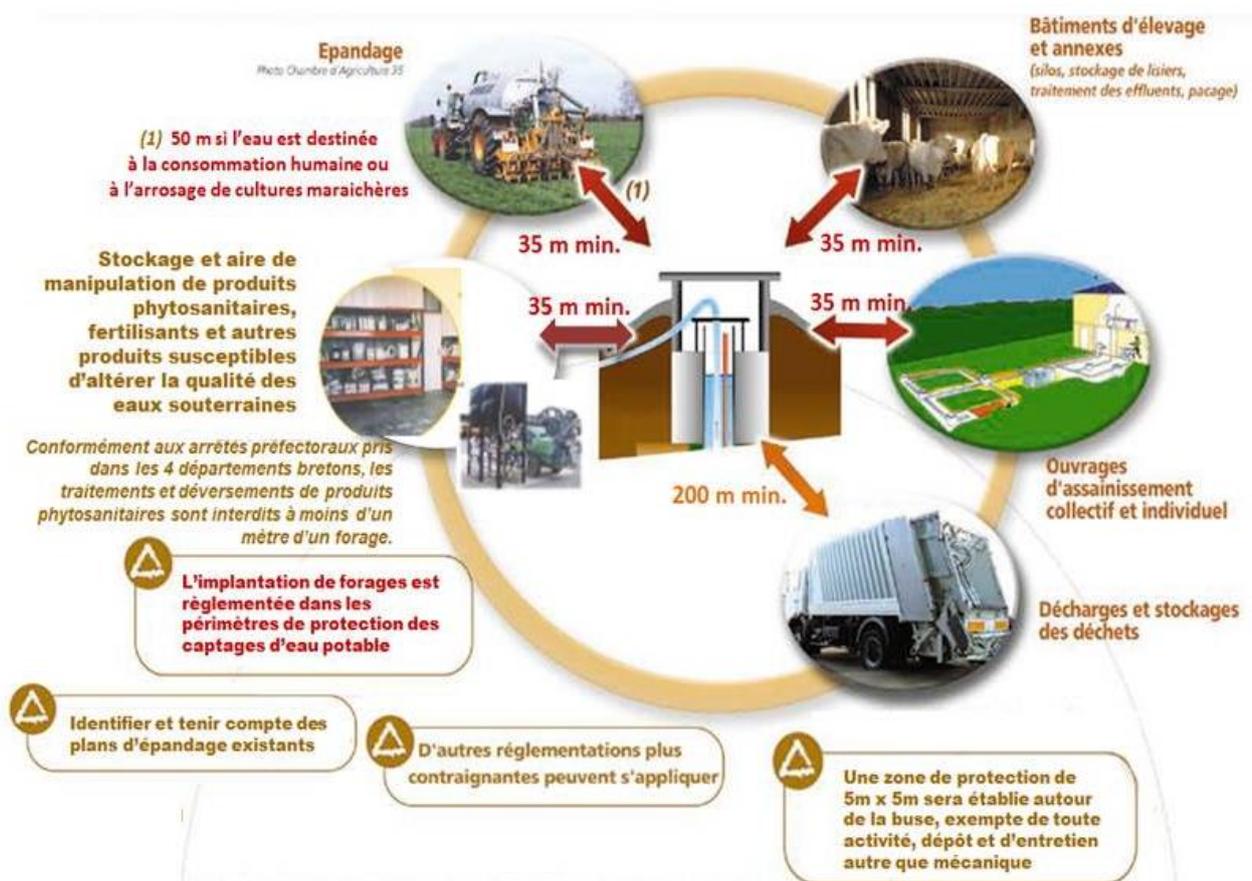


Illustration 1 : critères d'implantation à respecter

Si la pente du terrain est supérieure à 7 %, le forage doit se situer à plus de 100 m (au lieu de 35 m pour une pente inférieure 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'installations classées pour la protection de l'environnement.

Caractéristiques du projet de forage

- **Profondeur totale en mètres,**
- **Géologie et hydrogéologie :**

A partir des cartes géologiques et des renseignements obtenus sur les forages voisins :

- Coupe géologique prévisionnelle au droit de l'ouvrage. Faire ressortir les niveaux argileux,
- Nature pédologique des sols,
- Type d'aquifère sollicité : fracturé ou sédimentaire, niveau piézométrique (si une carte piézométrique existe, elle devra être fournie), sens d'écoulement de la nappe, productivité prévisionnelle (débit/rabattement),
- Qualité de la nappe.

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), ...
- **Pré-tubage** :
 - 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).
- **Si nécessaire : nature et granulométrie du gravier**
- **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 en vue de prévenir toutes pollutions du milieu.

Premières informations sur le projet de prélèvement

- **Prélèvements envisagés** :
 - Débit nominal de la pompe (m³/h)
 - Capacité totale maximale de la pompe (m³/h)
 - Débit journalier maximum (m³/j) prélevé
 - Débit annuel maximum (m³/an) prélevé
- **Préciser la ou les rubriques de la nomenclature concernée(s) par le projet** : rubriques police de l'eau et/ou rubrique ICPE
- **Utilisation de l'eau prévue** : justifier les besoins en eau au regard de l'activité et justifier de l'absence d'alternative au prélèvement
 - Irrigation : grandes cultures, arboriculture, pépinière, horticulture, maraichage, golf, terrain de sport...
 - Eau potable : individuelle ou collective
 - Industrie (préciser l'usage),
 - Elevage (préciser l'usage),

- Autre usage (préciser la nature).

- **Préciser la présence éventuelle de stockage** : nature de l'ouvrage, volume

Incidences prévisibles sur le milieu

- **Description succincte mais claire de l'environnement immédiat**
- **Sources de pollution potentielles dans un rayon minimum de 200 m** (ce rayon est à adapter à l'importance du projet) et dispositifs de prévention des pollutions :
 - 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 canalisation d'eaux usées ou transportant des matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines,
 - zones inondables, cotes des plus hautes eaux connues au droit du projet,
 - voies de communication.
- **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 (voir chapitre 1.4.7) :
 - report sur la carte IGN à 1/25 000,
 - indice national de la Banque de données du Sous-Sol (code BSS) s'il existe,
 - usage : en cas de captage pour l'alimentation d'eau potable, préciser le maître d'ouvrage et s'il existe un périmètre de protection effectif ou projeté (à localiser sur plan),
 - distance au projet,
 - profondeur de l'ouvrage,
 - hauteur de cimentation de la tête de l'ouvrage,
 - niveau statique (avec la date de la mesure) à l'arrêt (sans pompage),
 - débit d'exploitation journalier et annuel,
 - si ces données sont disponibles : aquifère capté, cote du 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.
- **Inventaire des cours d'eau, plans d'eau et zones humides dans un rayon de 500 m** (ce rayon pourra être élargi si le contexte l'impose), en précisant les référentiels utilisés.
- **Notice d'incidence sur les sites Natura 2000.**

Documents graphiques à joindre au dossier

- **Localiser le ou les projets sur un extrait cadastral,**
- **Sur un plan de localisation à 1/25 000 en couleur correctement centré, reporter :**
 - 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 cours d'eau, plans d'eau et zones humides,
 - les périmètres de protection des captages d'alimentation d'eau potable définis ou en projet ou autre périmètre,
 - les principales sources de pollutions.

1.3.2 Éléments à fournir après réception du récépissé de déclaration au titre du forage (ou accusé de réception pour les ICPE) et au moins un mois avant le début des travaux

Le déclarant communique au service en charge de la police des eaux souterraines (ou au préfet pour les ICPE), 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 cotes précises entre lesquelles seront faites les recherches d'eau souterraines,
- les dispositions techniques prévues pour équiper ou combler les sondages ou forages,
- les modalités envisagées pour les essais de pompage.

1.4 ETAPE 4 : 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. Afin que le compte rendu des travaux soit complet, les éléments suivants sont à recueillir ou à réaliser pendant les travaux. Pour tous les ouvrages, un dossier de récolement doit être transmis parallèlement aux services de la police de l'eau (DDTM / DDPP / UD DREAL du département concerné) et au BRGM.

La norme NF X 10-999 propose un fichier récapitulatif des données de forage après travaux (Illustration 2). Ce document ne constitue qu'un élément du rapport de fin de travaux et ne dispense pas de compléter le reste du dossier.

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

Illustration 2 : exemple de formulaire de réception des travaux (Annexe C de la norme NF X 10-999)

1.4.1 Nom et adresse du propriétaire

1.4.2 Déroulement général du chantier

Dates des différentes opérations et difficultés et anomalies éventuellement rencontrées.

1.4.3 Nombre de sondages, forages, puits, ouvrages souterrains effectivement réalisés

Le déclarant doit indiquer pour chacun d'eux :

- s'ils sont ou non conservés pour la surveillance ou le prélèvement d'eaux souterraines,
- leur localisation précise sur un fond de carte IGN au 1/25 000,
- les références cadastrales de la ou les parcelles sur lesquelles ils sont implantés
- et, pour ceux conservés pour la surveillance des eaux souterraines ou pour effectuer un prélèvement :
 - leurs coordonnées géographiques (en Lambert 93),
 - la cote de la tête du puits, forage ou ouvrage par référence au nivellement de la France,
 - leurs modalités d'équipement (diamètre et nature des tubages, conditions de réalisation,
 - le code national BSS (Banque du Sous-Sol) attribué par le BRGM.

1.4.4 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 :

Durant la réalisation du forage, il convient de relever les éléments suivants (voir chapitre 2) :

- La **coupe géologique** détaillée avec aspect des terrains traversés (altérés, fracturés, ...) et repérage des niveaux où la **pyrite** (sulfure de fer FeS_2) est présente. Lors de l'exploitation de l'ouvrage, il conviendra de **ne jamais dénoyer ces niveaux pyriteux** en pompage afin d'éviter leur oxydation qui engendre une acidification de l'eau et la mise en solution d'oxydes de fer (couleur rouille), ce qui peut entraîner une dégradation de la qualité de l'eau, le colmatage des crépines, de la pompe et à terme du terrain. La présence de cette pyrite noyée peut contribuer à la dénitrification naturelle de l'eau.
- La présence de **quartz** qui est un indice de fracturation.
- **Les profondeurs et les débits des arrivées d'eau successives**. 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 (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 afin de 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.

1.4.5 Résultats des pompages d'essais

Les résultats des pompages d'essais, leur interprétation et l'évaluation de l'incidence de ces pompages sur la ressource en eau souterraine et sur les ouvrages voisins suivis (conformément à l'article 9 de l'arrêté du 11 septembre 2003) doivent figurer dans le rapport de fin de travaux ainsi que dans le dossier d'incidence au titre du prélèvement (rubrique 1.1.2.0). Les tests de l'ouvrage et les tests de la nappe, **décrits avec davantage de précisions dans le chapitre 2.6** (mise en œuvre, interprétation, ...), 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 (essai de pompage par paliers) – voir § 3.6.2:**

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 (paliers) mais de durée constante (1 à 2h), 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 (essai de pompage longue durée) – voir § 3.6.3 :**

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

- la zone d'influence du pompage pour le débit testé et de 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, ni impact sur le milieu naturel.

Il consiste en un pompage à débit constant sur une durée de 12 heures à 8 semaines, déterminée selon le critère « volume du débit d'exploitation journalier maximal exploité au moins une fois dans l'année », de préférence en période de décharge de nappe (période de basses eaux).

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 adaptées à un report des mesures **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 (voir § 3.6.3).

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.

Ces pompages d'essai seront complétés en cours d'exploitation 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.

1.4.6 *Compte rendu des travaux de comblement*

Le dossier indiquera les dispositions techniques des ouvrages abandonnés et sondages réalisés en cours de travaux, en cohérence avec les prescriptions de l'arrêté du 11 septembre 2003, rappelées dans la plaquette d'information « Le forage en Bretagne » et telles que rendues obligatoires pour les installations, ouvrages, travaux et activités (IOTA) au titre de la Loi sur l'eau par l'article L214-3-1 du Code de l'Environnement, et conformément aux prescriptions techniques en vigueur (cf. norme AFNOR NFX 10-999).

Il devra notamment contenir les informations suivantes :

- Date de réalisation des travaux de comblement,
- Aquifère précédemment surveillé ou exploité par les ouvrages abandonnés,
- Coupes géologique et techniques des ouvrages abandonnés et information sur l'état des tubages et sur la cimentation,
- Information sur les techniques utilisées pour le comblement.

1.5 ETAPE 5 : Document d'incidence prélèvement

Rubrique 1.1.2.0 : prélèvements

Document d'incidence prélèvement : article R 214-32 du Code de l'Environnement

Arrêtés du 11 septembre 2003 fixant des prescriptions générales

Nota : le seuil d'entrée dans la nomenclature Eau est le volume total prélevé annuellement (pour la rubrique

1.1.2.0) :

de 10 000 à 200 000 m³/an : déclaration

supérieur à 200 000 m³/an : autorisation

Arrêtés départementaux forages (voir liens au chapitre 4)

Prélèvements réalisés dans une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE)

Obligation d'information du Préfet fixée par les articles

R 181-46 (autorisation), R 512-54 (déclaration) et R512-46-23 (enregistrement)

du Code de l'Environnement

Le document d'incidence prélèvement est rédigé après réalisation de l'ouvrage. Il présente les incidences de toute opération intervenant sur la ressource en eau, le milieu aquatique, l'écoulement, le niveau et la qualité des eaux. Il prend la forme d'un rapport établi par une personne compétente en hydrogéologie, doit être adapté à l'importance de l'ouvrage, et comprendre notamment les éléments mentionnés ci-dessous.

Le document d'incidence prélèvement peut être groupé avec le rapport de fin de travaux (étapes 4 et 5).

1.5.1 Nom, adresse et téléphone du demandeur

1.5.2 Localisation précise du forage

- **Commune, lieu-dit, référence cadastrale**, coordonnées en Lambert 93, description de l'emplacement

L'ouvrage doit respecter les **distances minimales** vis-à-vis d'éventuelles pollutions, comme préconisées dans la réglementation en vigueur (cf. illustration 1). Il doit également tenir compte des orientations, restrictions ou interdictions applicables à la zone concernée, en particulier lorsqu'il s'agit d'une zone d'expansion de crues et d'une zone où existent :

- un Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE),
- un plan de prévention des risques naturels,
- 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,
- un périmètre de protection des stockages souterrains de gaz, d'hydrocarbures ou de produits chimiques.

Le dossier déposé doit également fournir les justificatifs permettant de s'assurer du respect des **dispositions du SDAGE** et des SAGE concernés.

1.5.3 *Caractéristiques du forage réalisé*

- **Coupe technique,**
- **Profondeur totale en mètres,**
- **Pré-tubage :**
 - 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).
- **Si nécessaire : nature et granulométrie du gravier**
- **Cimentation :**
 - hauteur de cimentation (m), cotes de la cimentation réalisée,
 - volume de ciment injecté et hauteur de la collerette,
 - dosage du laitier, quantité utilisée et méthode de mise en place
- **Protection en tête :**
 - caractéristiques et dimension.

1.5.4 *Éléments d'information obtenus en cours de foration*

Ces éléments sont contenus dans le rapport de fin de travaux.

- **Déroulement général du chantier**
- **Nombre de sondage, forages ou puits effectivement réalisés, travaux de comblement réalisés pour les ouvrages abandonnés**
- **Géologie et hydrogéologie :**
 - coupe géologique : nature, état, couleur des terrains traversés avec les cotes,
 - niveaux pyriteux rencontrés avec les profondeurs correspondantes,
 - indication du ou des niveaux des nappes rencontrées avec les débits correspondants.
- **Résultats des analyses d'eau effectuées :** conductivité, teneur en nitrates et, le cas échéant, teneur en sulfates et fer
- **En bord de mer :** contrôles de salinité/conductivité,
- **Résultats des pompages d'essais (voir § 3.6) :**
 - Durée, paliers, débits correspondants et mode d'exécution,
 - Interprétation et incidence du prélèvement sur la ressource en eau souterraine et sur les ouvrages voisins,
 - Pour les prélèvements soumis à autorisation : incidence et sur le réseau hydrographique superficiel se trouvant dans le cône de rabattement,
 - Niveau de l'eau sous le sol (nappe au repos), avec indication du repère des mesures.

1.5.5 Caractéristiques du projet de prélèvement

- **Estimation des prélèvements :**
 - Débit nominal de la pompe (m³/h)
 - Capacité totale maximale de la pompe (m³/h)
 - Débit journalier maximum (m³/j) prélevé
 - Débit annuel maximum (m³/an) prélevé
 - Justification de la cohérence du prélèvement avec les résultats des essais de pompage.
- **Caractéristiques du matériel (type de pompe, courbe caractéristique de la pompe, numéro de compteur) avec schéma descriptif du fonctionnement de l'installation.**
 - **Préciser la ou les rubriques de la nomenclature concernée(s) par le projet :** rubriques police de l'eau et/ou rubrique ICPE
- **Utilisation de l'eau prévue :** justifier les besoins en eau au regard de l'activité et justifier de l'absence d'alternative au prélèvement
 - Irrigation (préciser l'usage),
 - Eau potable : individuelle ou collective,
 - Industrie (préciser l'usage),
 - Elevage (préciser l'usage),
 - Autre usage (préciser la nature).
- **Préciser la présence éventuelle de stockage :** nature de l'ouvrage, volume
- **Dispositif de prévention des pollutions des eaux par les carburants et autres produits susceptibles d'altérer la qualité de l'eau**

1.5.6 Incidences prévisibles sur le milieu

- **Rappel des éléments fournis dans le dossier d'incidence relatif au forage, le cas échéant mis à jour selon les éléments recueillis lors du chantier**
- **Estimer la zone d'alimentation du forage**

Méthode d'approximation théorique de détermination de la zone d'alimentation :

La superficie au sol (S) impliquée dans l'alimentation en eau du forage sera estimée à partir du pourcentage de la pluie efficace qui s'infiltré (I), avec une fourchette basse de 40% et une fourchette haute de 60 %.

$$S = \text{volume annuel d'eau souterraine prélevé} / \text{pluie efficace infiltrée} = V / I$$

Rappel : la Pluie Efficace (P.E.) est la somme de la quantité de pluie qui ruisselle et de celle qui s'infiltré (P.E. = R + I)

Le document devra préciser sur les deux zones prédéterminées (40 et 60% évoqués ci-dessus) centrées sur le futur forage :

- **L'incidence prévisible ou possible de l'ouvrage sur la ressource exploitable de la nappe**, par rapport à toutes les ressources du bassin versant concerné par le forage, en tenant compte des prélèvements déjà existants et du risque de tarissement de la nappe, en tenant compte des interactions possibles avec des ouvrages voisins : les résultats devront fournir les caractéristiques de rabattement et être interprétés de façon à faire apparaître les conséquences sur l'utilisation des ouvrages influencés, principalement si ceux-ci sont à destination d'eau potable.

L'estimation des rabattements doit se faire avec des méthodes adaptées aux aquifères de socle, ou par modélisation mathématique en annexant au dossier une notice de présentation du logiciel utilisé.

- **L'influence sur les plans d'eau et sur les eaux superficielles (cours d'eau et zones humides), et l'incidence sur le régime du ou des cours d'eau et des zones humides. Des moyens de mesures adaptés (piézomètres, mesures de débit, ...) devront être mis en place afin de déterminer l'impact du prélèvement sur les eaux superficielles.**
- **Les conséquences sur le régime des cours d'eau situés en dehors des périmètres pré déterminés et localisés en aval du projet sur le même bassin versant.**
- **En bordure de mer :** les mesures envisagées afin de contrôler la salinité/conductivité de l'eau en cours d'exploitation afin d'éviter les risques potentiels vis à vis de l'invasion du biseau d'eau salée.

1.5.7 Dispositif de surveillance des débits et des niveaux et qualité de la nappe

Indiquer les moyens de surveillance prévus.

Le moyen de comptage et d'évaluation doit être constitué d'un compteur volumétrique (ou horaire), sans possibilité de remise à zéro dont le relevé est consigné sur un registre (volumes prélevés mensuellement et annuellement, relevés de l'index en fin d'année). La mesure en continu du volume constitue la règle générale.

L'installation doit permettre de relever le niveau statique de la nappe, en passant dans un tube guide une sonde piézométrique manuelle lumineuse et/ou sonore, pour éventuellement ajuster les prévisions d'exploitation. Elle doit également permettre le prélèvement d'échantillons d'eau brute.

En cas de raccordement à une installation alimentée par un réseau public, en l'absence de déconnexion physique des deux réseaux, un disconnecteur sera obligatoirement installé à l'aval immédiat du compteur d'eau du forage.

Dans le cas d'autorisation au titre du prélèvement :

En cas de proximité de cours d'eau, de plan d'eau ou de zone humide susceptible 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 celui d'un piézomètre (petit sondage) localisé sur l'autre rive.

Un suivi de la qualité de l'eau en cours d'essai permet de vérifier qu'il n'y aura pas d'évolution défavorable de celle-ci au cours du temps.

1.5.8 Mesures restrictives et mesures compensatoires

Ces mesures sont obligatoires dans le cas d'un prélèvement soumis à autorisation au titre de la nomenclature « eau » et adaptées selon l'importance du prélèvement dans le cadre d'une ICPE.

En fonction des impacts et autres usages mis en évidence dans le dossier, le projet doit proposer des mesures compensatoires, restrictives ou correctives. Cela peut être par exemple une augmentation de la profondeur de cimentation, une protection accrue en tête, limitation des prélèvements...

1.5.9 Entretien de l'ouvrage prévu

Un entretien régulier permet d'assurer une bonne durée de vie de l'installation et de garantir la protection de la ressource. L'article 11 de l'arrêté du 11 septembre 2003 (forage) préconise une inspection périodique, au minimum tous les dix ans.

1.5.10 Documents graphiques à joindre au dossier

- **Localiser le ou les forages, puits ou sondages sur un extrait cadastral,**
- **Sur un plan de localisation à 1/25 000** en couleur correctement centré, reporter :
 - le ou les ouvrages réalisé(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 d'alimentation d'eau potable définis ou en projet ou autre périmètre,
 - Principales sources de pollutions.
- **Tous documents permettant une meilleure compréhension du dossier.**

1.6 Autres réglementations applicables

En cas d'usage alimentaire de l'eau (mise à disposition de salarié, fabrication de produits, ...) : le prélèvement est soumis à autorisation au titre du Code de la Santé Publique, ou à déclaration pour un usage strictement familial.

Les prélèvements à usage domestique ($\leq 1000 \text{ m}^3/\text{an}$) relèvent de la déclaration en mairie (Décret n°2008-652 du 2 juillet 2008 et Article L2224-9 du Code Général des Collectivités Territoriales).

2 Où trouver les éléments d'informations nécessaires aux documents d'incidence ?

2.1 SIGES Bretagne

Le site Internet SIGES Bretagne (Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines de Bretagne - <http://sigesbre.brgm.fr/>) est un portail dédié aux eaux souterraines de la région. Entièrement gratuit et libre d'accès, le SIGES est utilisable et compréhensible par tous, et s'adapte au niveau de spécialisation de l'utilisateur.

Plusieurs articles concernent les forages d'eau :

- [Recensement des forages d'eau](#),
- [Prescriptions techniques](#),
- [Un forage, quelles démarches ?](#)

L'[espace cartographique](#) du SIGES Bretagne permet de visualiser et superposer différentes couches d'informations mais aussi d'interroger ces couches (données de la Banque du Sous-Sol, piézomètres, masses d'eau souterraines, SAGE, carte géologique, secteurs potentiellement vulnérables aux intrusions salines...).

La rubrique [Consultation des données](#) permet notamment de :

- rechercher une masse d'eau souterraine ou une entité BD LISA (Onglet Référentiel hydrogéologique)
- accéder à la fiche « Ma Commune » (onglet Commune) qui rassemble toutes les informations relatives aux eaux souterraines disponibles sur chaque commune bretonne (présentation du territoire, géologie, hydrogéologie (masses d'eau souterraine, entités BD LISA, résultats du projet SILURES), Quantité/Qualité (ADES, restrictions d'eau...), vulnérabilité (aléa remontée de nappes, ...), usage (SAGE, prélèvements d'eau), bibliographie). Cette fiche est téléchargeable en pdf.

2.2 Les masses d'eau souterraines

Les masses d'eau constituent le référentiel cartographique élémentaire de la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE – directive 2000/60/CE). Les masses d'eau souterraines constituent l'une des 5 catégories de masses d'eau (plan d'eau, cours d'eau, de transition et côtières). Ces masses d'eau servent d'unité d'évaluation de la qualité des eaux. L'état chimique et quantitatif est évalué pour chaque masse d'eau souterraine.

Pour plus d'informations, consulter le site Internet [SIGES Bretagne](#) (Espace [cartographique](#) ou rubrique [Consultation des données](#)).

2.3 Le SDAGE et les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)

La **Loi du 16 décembre 1964**, première grande loi française sur l'eau, organise la gestion de l'eau autour des six grands bassins hydrographiques français, issus d'un découpage naturel selon les lignes de partage des eaux.

La Bretagne appartient au territoire du bassin Loire-Bretagne (Agence de l'Eau Loire Bretagne : AELB).

La Loi sur l'Eau du 3 janvier 1992 a défini pour chaque Agence de l'eau un **Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE)**. Il est établi en application de l'article L212-1 du Code de l'Environnement. Le SDAGE du bassin Loire-Bretagne comprend notamment un chapitre sur la gestion quantitative (chapitre 7). Le pétitionnaire doit s'assurer de la compatibilité du projet avec les dispositions de ce chapitre.

La LEMA (Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques) du 30 décembre 2006 est venue conforter le rôle des SDAGE en imposant l'élaboration d'un Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) chaque fois que cela s'avère nécessaire pour atteindre les objectifs environnementaux du SDAGE. Les SAGE, qui doivent être compatibles avec les orientations fondamentales et les objectifs du SDAGE, constituent une déclinaison locale de ses enjeux.

A quoi sert un SAGE ?

- il fixe les objectifs de qualité à atteindre dans un délai donné,
- il répartit l'eau entre les différentes catégories d'usagers,
- il identifie et protège les milieux aquatiques sensibles,
- il définit des actions de développement et de protection des ressources en eau et de lutte contre les inondations.

La portée juridique

A l'issue de sa préparation et après une phase de consultation, le SAGE est approuvé par arrêté préfectoral. Toutes les décisions prises dans le domaine de l'eau par les services de l'Etat et les collectivités publiques devront alors être compatibles avec le SAGE.

L'état d'avancement des SAGE sur le territoire Loire-Bretagne est consultable sur le site : <http://www.gesteau.eaufrance.fr/sage/> (permet d'obtenir de la documentation par commune).

Pour savoir sur quel SAGE se trouve une commune, consultez l'espace cartographique du [SIGES Bretagne](#).

2.4 Les plans de prévention des risques naturels

2.4.1 Qu'est-ce qu'un Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN)?

Le Plan de Prévention des Risques Naturels est un document réalisé par l'Etat qui régit l'utilisation des sols en fonction des risques naturels auxquels ils sont soumis. Cette réglementation va de l'interdiction de construire à la possibilité de construire sous certaines conditions. Les principaux risques en France sont les inondations (d'origine fluviale ou maritime), l'érosion côtière, les mouvements de terrain, les avalanches, les séismes, les incendies de forêts et outre-mer les cyclones et les éruptions volcaniques.

Les documents réglementant l'occupation du sol (P.L.U., schéma d'aménagement, ...) doivent prendre en compte les risques naturels. Ainsi, le PPRN doit être annexé au P.L.U. de la commune.

L'élaboration du PPRN est conduite par les services de l'Etat. Il est réalisé sous l'autorité du Préfet de département, qui l'approuve après consultation des communes et enquête publique. Le PPR est néanmoins réalisé en étroite concertation avec les communes concernées, et ce dès le début de son élaboration.

Le PPRN est un document simple et souple : il peut traiter d'un seul type de risque ou de plusieurs, et s'étendre sur une ou plusieurs communes.

Servitude d'utilité publique : le PPRN s'impose à tous : particuliers, entreprises, collectivités, ainsi qu'à l'Etat - notamment lors de la délivrance du permis de construire.

Le PPRN est la seule procédure spécifique à la prise en compte des risques naturels dans l'aménagement. La loi instituant les PPRN abroge les anciennes procédures de prise en compte des risques naturels dans l'aménagement et précise que celles déjà approuvées valent PPRN.

L'élaboration du PPRN débute en général par l'analyse historique des principaux phénomènes naturels ayant touchés le territoire étudié ou, dans le cas des inondations et des submersions marines, par la modélisation d'un événement centennal. Après cette analyse, on dispose d'une cartographie, dite carte des aléas, qui permet d'évaluer l'importance des phénomènes prévisibles. Cette carte, après une concertation avec les différents partenaires locaux (et après une analyse des enjeux locaux en termes de sécurité et d'aménagement), forme la base de la réflexion qui va conduire au PPRN.

Le document final du PPRN est composé :

- d'un rapport de présentation qui contient l'analyse des phénomènes pris en compte, ainsi que l'étude de leur impact sur les personnes et sur les biens, existants et futurs. Ce rapport indique aussi les principes d'élaboration du PPRN et les cartes d'aléas y sont intégrées ,
- d'une carte réglementaire qui précise les différentes zones réglementées par le PPRN,
- d'un règlement qui précise les règles s'appliquant à chaque zone.

Les PPRN de la région Bretagne traitent de 3 types de risques : les inondations fluviales principalement, la submersion marine et les mouvements de terrains.

2.4.2 Où vous renseigner ?

Auprès de la DDTM (Direction Départementale des Territoires et de la Mer) de votre département.

Le site Internet de la préfecture de votre département présente de façon régulière l'état d'avancement des PPRN.

2.5 Les périmètres de protection

2.5.1 Les périmètres de protection liés 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)

➤ Motivation et objectifs de l'action

Assurer la mise en œuvre réglementaire de la protection des ressources en eau d'alimentation, par l'instauration des périmètres de protection par voie de déclaration d'utilité publique (DUP) instaurant les servitudes. Les périmètres de protection ont vocation à identifier et prévenir les pollutions accidentelles surtout d'origine locale. Pour les prélèvements d'eaux souterraines (eaux de socle : aquifères très locaux) et de surface, les périmètres de protection sont complétés par une politique départementale d'acquisition foncière et de boisement, qui préserve également la ressource vis à vis des pollutions diffuses d'origine agricole (les nitrates et les pesticides tout particulièrement) de façon efficace dans de nombreux cas.

➤ **Bases réglementaires et nature juridique de l'action**

La protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine est obligatoire.

Cette obligation relève :

- des articles L.1321.1 à 10 et R1321.1 à 63 du Code de la Santé Publique, qui impose les périmètres de protection autour des captages d'eau destinée à la consommation humaine, et de ses textes d'application;
- du code de l'environnement et de ses textes d'application.

Cette protection est à l'initiative de la collectivité responsable de la production d'eau.

➤ **Territoire d'application**

Au niveau de chacun des points de captage des eaux destinées à l'alimentation en eau potable (AEP) des populations.

➤ **Modalités de mise en œuvre en Bretagne, procédures, description du contenu de l'action**

La mise en place des périmètres de protection a pour objectif de préserver la ressource, contre les pollutions accidentelles, ponctuelles et locales. Trois types de périmètres peuvent être définis :

- un **périmètre immédiat** est établi autour de l'ouvrage. Il est clos et propriété de la collectivité. Toutes les activités autres que celles liées à l'exploitation et à l'entretien des ouvrages et périmètre sont interdites ;
- un **périmètre rapproché** : zone de protection étendue autour et en amont du point de captage en fonction des caractéristiques du système aquifère capté et des risques liés au contexte socio-économique. Toutes les activités susceptibles de nuire à la qualité des eaux y sont interdites ou réglementées. Une réglementation est proposée pour les habitations, les bâtiments agricoles, les règles d'épandage et les pratiques agricoles. A l'intérieur du périmètre rapproché, un secteur sensible peut être défini (dans les Côtes d'Armor, l'Ille-et-Vilaine et le Morbihan). Les contraintes y sont plus fortes, elles réglementent l'usage du sol ; dans ce cas le secteur du périmètre rapproché qui n'est pas sensible est dit complémentaire ;
- un **périmètre éloigné** (facultatif) lorsque des installations ou sites induisent des risques particuliers qui nécessitent une surveillance.

Chaque captage est un cas particulier pour lequel les prescriptions et les servitudes sont précisées dans un **arrêté préfectoral de DUP consultable auprès de la collectivité concernée et auprès de l'ARS Bretagne (Agence Régionale de Santé)**.

La procédure de mise en place des périmètres de protection est généralement longue entre l'étude préalable de faisabilité et l'inscription aux hypothèques des servitudes : de l'ordre de 5 ans.

La cartographie des périmètres de protection est disponible sur demande auprès de l'ARS Bretagne : cf. article <http://sigesbre.brgm.fr/Cartographie-des-perimetres-de-protection.html> pour davantage d'informations.

2.5.2 Les périmètres de protection des eaux minérales et de source

La seule eau minérale de la Bretagne est celle de Plancoët (groupe Nestlé) et il existe plusieurs eaux de source exploitées pour l'embouteillage :

- pour les Côtes d'Armor : Plancoët (sources Sassay et Sainte Alix - société des eaux minérales d'Ogeu),
- pour le Finistère : Eau des Montagnes d'Arrée (Commana) et Cristalline - Isabelle (Saint Goazec), ces deux dernières appartenant au groupe Sources ALMA,
- pour l'Ille-et-Vilaine : la Société des eaux de source de Paimpont commercialise sous deux appellations, à savoir : "Le Pas du Houx - eau conditionnée" et "Brocéliande - eau conditionnée",
- pour le Morbihan : aucune eau de source embouteillée.

Il faut se renseigner auprès de l'exploitant pour connaître les périmètres de protection liés à ces ressources.

2.6 Les périmètres de protection des stockages souterrains de gaz, d'hydrocarbures ou de produits chimiques

Les tracés des canalisations enterrées des conduites de gaz sont consultables en mairie et dans les agences de Gaz de France. Un site Internet <http://www.protys.fr> permet d'obtenir les coordonnées des exploitants de gaz pour chaque commune de France.

2.7 Inventaire des forages d'eau dans un rayon de 500 m

Concernant l'inventaire de tous les forages d'eau dans un rayon de 500 m autour de l'ouvrage, le BRGM recense tous les ouvrages de plus de 10 m de profondeur déclarés depuis 1974 : ils sont disponibles sous forme numérique sur le site Internet InfoTerre (<http://infoterre.brgm.fr/>) pour ceux dont la localisation exacte est connue.

Les puits et les ouvrages de moins de 10 m de profondeur ne sont pas répertoriés et il est nécessaire de faire une prospection de terrain pour les retrouver. Ils sont, de plus, très fréquemment exploités, certains comme source d'eau potable.

3 Recommandations techniques pendant et après la réalisation du forage

Pour davantage d'informations, se reporter à la plaquette [« Le forage d'eau en Bretagne »](#).

3.1 Repérage des niveaux pyriteux

Comme expliqué précédemment (voir § 1.4.4 et 1.5.4), il est important de repérer les niveaux pyriteux rencontrés en cours de foration et de noter leur profondeur :

- quand elle est dénoyée, la pyrite produit de l'eau acide et de l'oxyde de fer (couleur rouille), ce qui peut entraîner une dégradation de la qualité de l'eau, le colmatage des crépines et de la pompe et à terme du terrain
- quand elle reste noyée, elle participe à la dénitrification naturelle de l'eau (ce phénomène produit également du fer et de l'acide mais en quantité beaucoup plus faible)

Pour ces deux raisons, il est important de connaître ces niveaux pyriteux et de ne pas les dénoyer en pompage. C'est pourquoi, pour limiter les rabattements en exploitation (baisse de la nappe), il est préférable de pomper à un **faible débit et sur une longue période** plutôt qu'à un débit important sur un temps court.

3.2 Repérage des profondeurs et des débits des arrivées d'eau successives

Il faut veiller à la préservation des arrivées d'eau principales et ne jamais les dénoyer car cela entraînerait des pertes de charges anormales dans le forage, la mobilisation de particules, l'aération du terrain, le colmatage des crépines et de la pompe et à terme du terrain.

- Si une zone fracturée et productrice est bien individualisée, il faudra veiller à ne jamais dénoyer cette zone en pompage.

Exemple 1 (Illustration 3) : la zone productrice principale se situe en dessous de 36 m. Le niveau de nappe pompé ne devra pas descendre en-dessous de cette cote.

3.-

Coupe géologique
sommaire

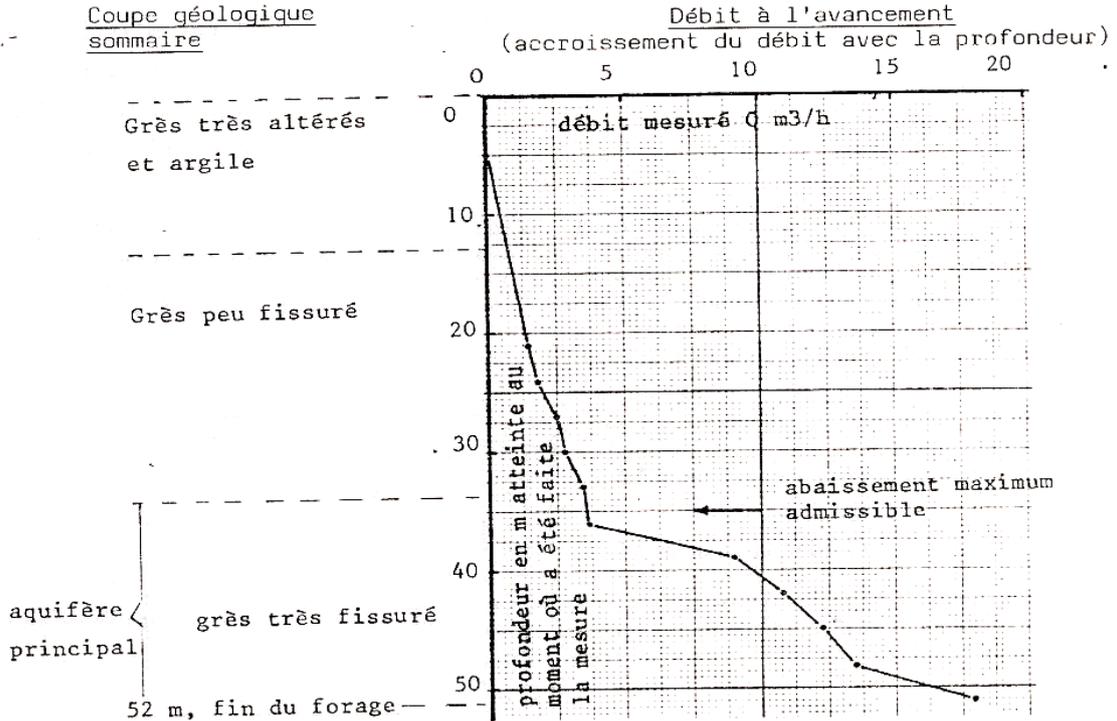


Illustration 3 : débit instantané - profondeur de foration

Exemple 2 (Illustration 4) : Le débit instantané du forage étant de 36 m³/h, l'abaissement maximal du niveau sous l'influence des pompages conseillé ne devra pas dépasser la profondeur correspondant à $36/3 = 12 \text{ m}^3/\text{h}$, soit 19 m.

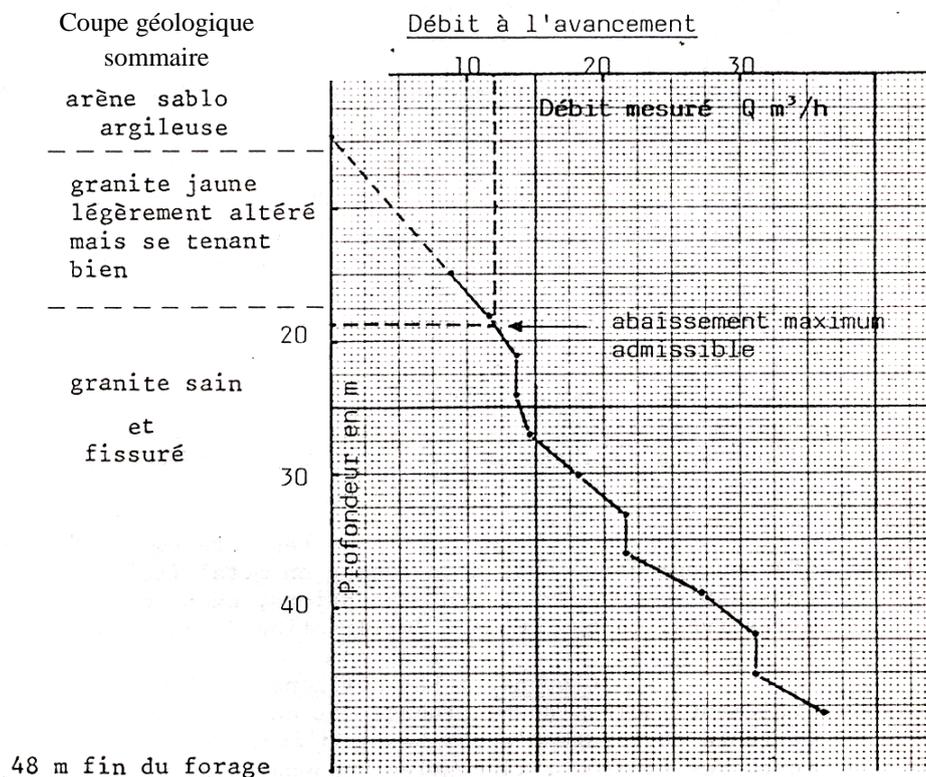


Illustration 4 : débit instantané – profondeur de foration

3.3 Suivi de la qualité des arrivées d'eau

3.3.1 Les nitrates

La mesure régulière des teneurs en nitrates des différentes arrivées d'eau permet d'observer la profondeur à partir de laquelle le phénomène de dénitrification se met en place s'il existe. Cela permet d'isoler, par la cimentation, les niveaux d'eau supérieurs, riches en nitrates, des milieux plus profonds peu nitrates et d'obtenir, en pompage, une eau de bonne qualité.

Exemple 3 (Illustration 5) : les teneurs en nitrates sont de 70 mg/l dans les niveaux d'eau supérieurs (échelle du bas du graphique, courbe en pointillés) et au niveau d'une petite faille à 32 m, les teneurs en nitrates chutent brutalement et tombent à 15 mg/l. Il faut cimenter la tête d'ouvrage de 0 à 32 m de profondeur.

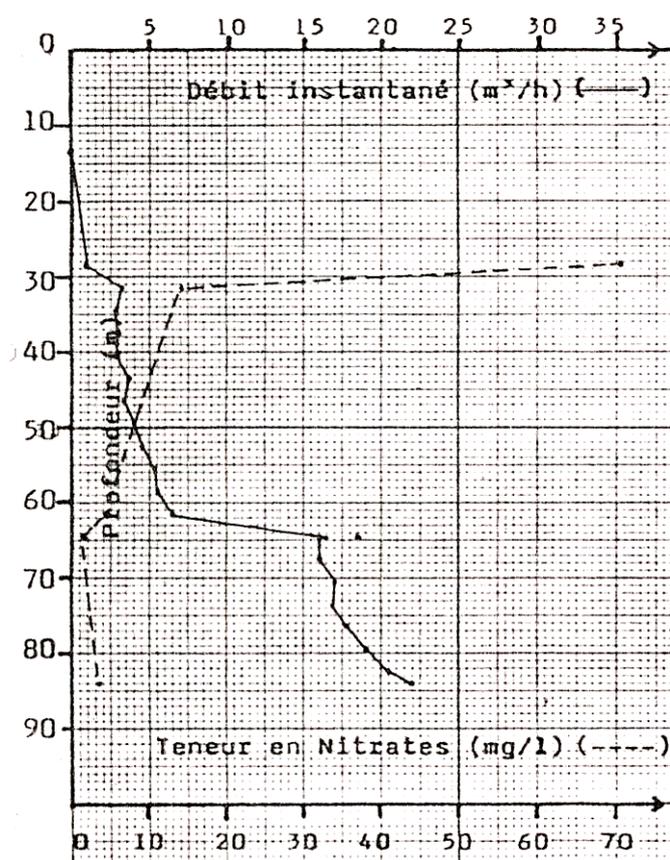


Illustration 5 : graphiques débit instantané – profondeur de foration et teneurs en nitrates – profondeur de foration

Pour en savoir plus sur la dénitrification : [Qu'est-ce que la dénitrification ?](#)

3.3.2 La conductivité (salinité)

Pour plus d'informations, se reporter à la plaquette [« Forages d'eau en milieu littoral »](#).

La mauvaise réalisation d'un forage et/ou la mauvaise gestion de l'eau souterraine en bordure du littoral et des rivières où l'eau salée est susceptible de remonter (rias ou abers), peuvent provoquer une pollution de la nappe d'eau douce par **remontée de l'eau salée** (Illustration 6).

Cette pollution, quand elle est établie, est irréversible. Toute la zone aquifère localisée autour du forage mal implanté, trop profond et/ou surexploité, est touchée et provoque la pollution de tous les ouvrages du secteur (l'étendue de la pollution est proportionnelle au rabattement provoqué par le pompage).

De plus, quand la nappe se situe près du niveau du sol, la concentration de sels dans les terrains superficiels peut conduire une limitation des usages dans tout le secteur.



Illustration 6 : zone polluée par l'eau salée

Une **introduction d'eau salée pollue définitivement le forage** et la ressource environnante. L'eau salée de la mer est plus dense que l'eau douce. De ce fait, en bordure de mer et le long des rias, l'eau douce flotte sur l'eau salée et la limite entre les deux milieux (interface) prend un profil en biseau (« le biseau salé »). L'eau salée pénètre sous le continent sur une distance variable d'un secteur à l'autre et peut dépasser le kilomètre (Illustration 7).

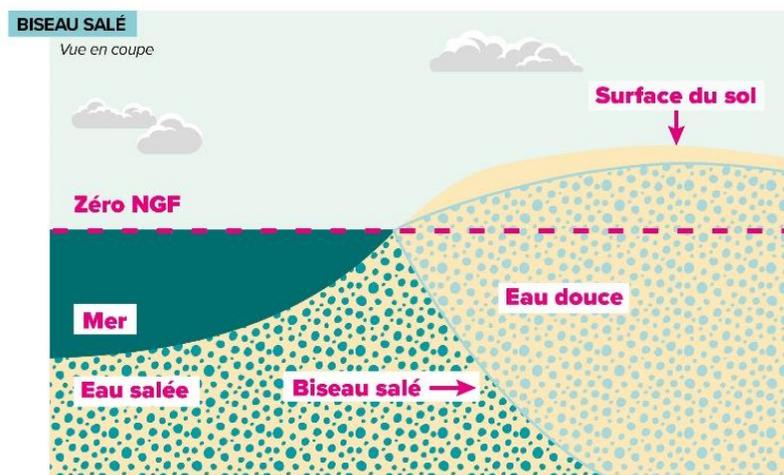


Illustration 7 : biseau salé

Préconisations au cours de la réalisation du forage

Lors de la réalisation d'un forage, il ne faut **jamais traverser ce biseau salé** car cela provoque la remontée de l'eau salée dans l'eau douce et une pollution à long terme de celle-ci.

L'étude régionale « Sensibilité des aquifères côtiers bretons aux intrusions salines » (Lucassou et al., 2019) a permis de cartographier les secteurs potentiellement vulnérables aux intrusions salines en Bretagne (Illustration 8). Ils sont consultables et téléchargeables dans [l'Espace cartographique](#) du SIGES Bretagne (couche « Secteurs potentiellement vulnérables aux intrusions salines » dans le thème « Vulnérabilité » en bas du catalogue des couches) et sur le visualiseur [GéoBretagne](#).

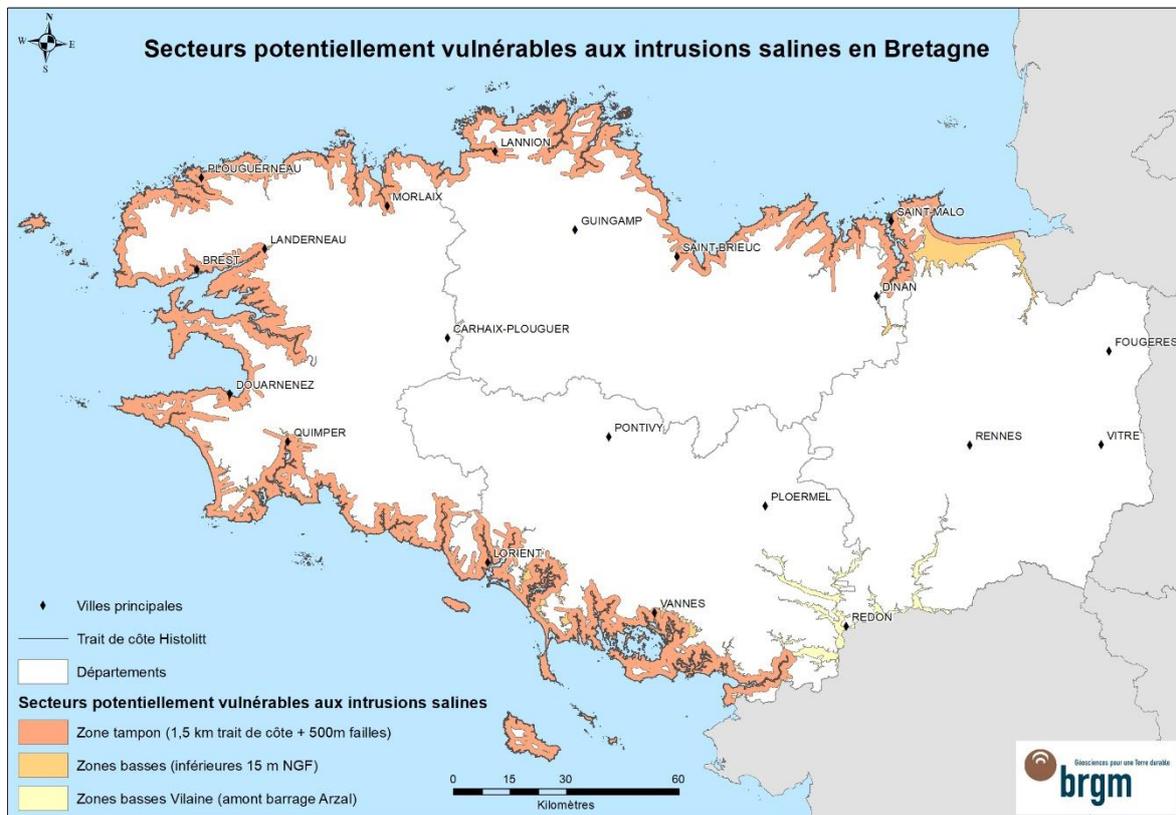


Illustration 8 : secteurs potentiellement vulnérables aux intrusions salines en Bretagne (Lucassou et al., 2019)

La conductivité de l'eau (capacité à laisser passer le courant électrique), caractérisée par les teneurs en minéraux dissous dans l'eau, peut se mesurer sur le terrain grâce à un appareil simple d'emploi, petit et robuste : le conductimètre (Illustration 9).



Illustration 9 : exemples de conductimètres portatifs

Le **conductimètre** portatif de terrain est simple d'emploi, robuste et peu onéreux. Il existe également des conductimètres de poche, très simples d'utilisation, utilisables pour un suivi de la conductivité lors de l'exploitation du forage.

L'eau douce bretonne a une conductivité naturelle de 50 à 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ alors que l'eau de mer a une conductivité de 55 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En mesurant, en continu, la conductivité de l'eau qui sort du forage au cours de son exécution, on peut observer toute augmentation de celle-ci. En bordure de mer, la valeur d'alerte de la conductivité est de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (attention à l'unité de mesure !). A 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, il faut absolument arrêter la foration car cela signifie que le forage traverse la zone de transition entre l'eau douce et l'eau salée (biseau salé).

Attention : cette mesure de conductivité en foration ne garantit pas toute remontée du biseau salé lors des pompages ultérieurs. Un suivi de la conductivité régulier lors de l'exploitation du forage est fortement conseillé en zone littorale.

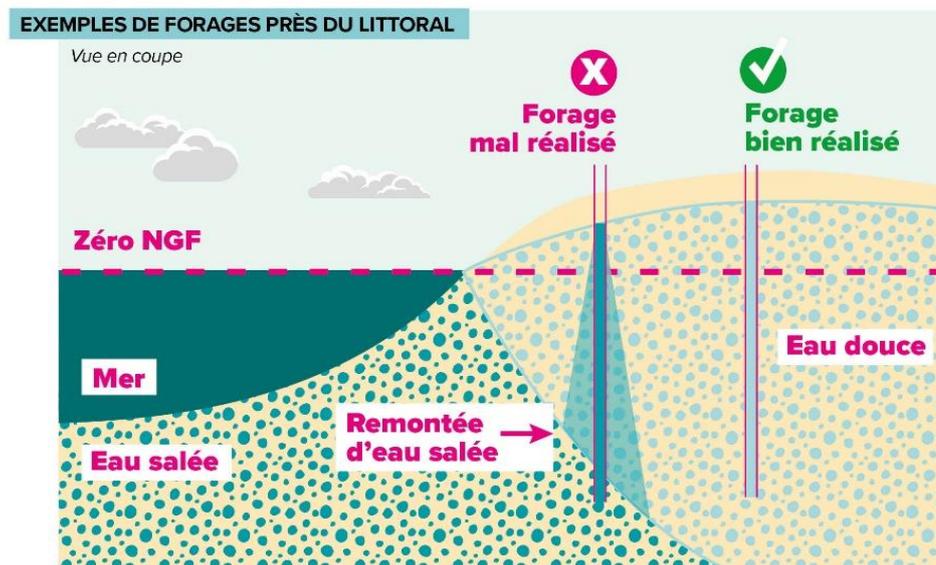


Illustration 10 : exemple d'implantation de forages en bord de mer

La conductivité doit également être suivie en continu lors des essais de pompage pour mettre en évidence une éventuelle augmentation de celle-ci et une contamination par de l'eau saumâtre.

En bord de mer, les **puits de gros diamètre** doivent être préférés par rapport à un forage. La profondeur du forage doit être limitée au maximum, afin de limiter les risques d'intrusions salines.

Préconisations au cours d'exploitation du forage

L'existence du biseau salé restreint singulièrement les possibilités d'exploitation des forages car les prélèvements d'eau doivent rester dans la lentille d'eau douce : or, un rabattement de 1 mètre dans l'eau douce provoque la remontée du biseau salé de 40 mètres, du fait de la différence de densité entre les deux milieux (Illustration 11).

Afin de garantir la pérennité des captages d'eau existants et à venir dans les secteurs vulnérables, différentes recommandations ont été proposées dans l'étude régionale sur les intrusions salines (Lucassou et al., 2019) :

- contrôle du niveau dynamique de la nappe en pompage pour éviter un rabattement excessif (limitation de la baisse du niveau d'eau dans le forage pour éviter une remontée du biseau salé),
- installation de la pompe au-dessus du niveau de la mer (zéro NGF) pour limiter le rabattement du niveau de nappe,
- suivi de la conductivité pendant l'exploitation pour vérifier l'absence d'augmentation : l'exploitant doit proposer des mesures de gestion si la conductivité dépasse 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et continue à augmenter de manière significative, au regard des risques forts d'intrusions salines,
- diminution du débit de pompage et augmentation du temps de pompage pour limiter les rabattements,
- répartition des prélèvements sur plusieurs ouvrages (éviter de pomper fortement sur un seul ouvrage et préférer une répartition du débit souhaité sur plusieurs ouvrages).

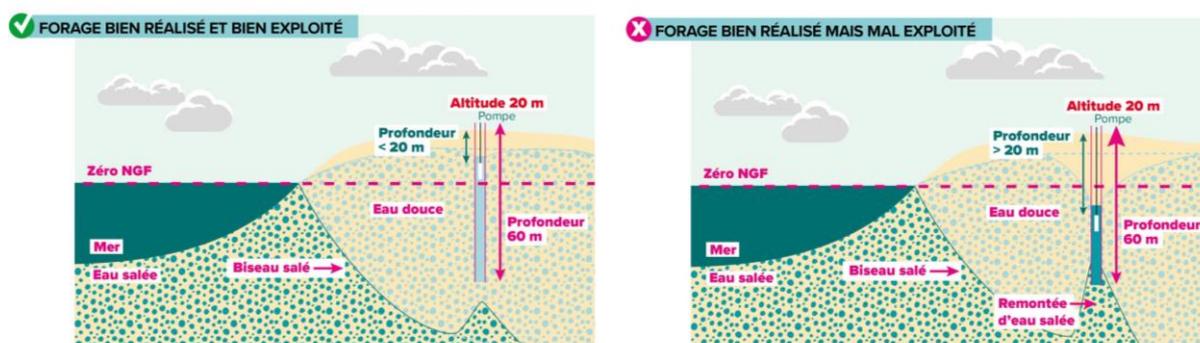


Illustration 11 : exemples d'exploitation de forages en bord de mer (remontée d'eau salée par pompage)

Pour un forage situé à 30 m d'altitude, la pompe devra être installée à moins de 30 m de profondeur par rapport au sol. Ainsi, en pompage, le niveau de l'eau ne pourra pas descendre en dessous du zéro NGF.

Gestion de l'exploitation de l'eau douce sur la bordure littorale

Pour **limiter les rabattements** (baisse du niveau) de la nappe en bordure littorale, il y a deux possibilités

- soit obtenir le volume souhaité en pompant à un **débit faible durant un temps long**. Par exemple : pour obtenir 20 m³/jour, il est préférable de pomper 1 m³/h pendant 20 heures plutôt que 5 m³/h pendant 4 heures. Le rabattement sera beaucoup plus faible dans le premier cas que dans le second. Cela revient à privilégier des pompes de faible puissance en bordure de mer.
- soit réaliser **plusieurs ouvrages exploités à faible débit**, chacun créant un faible rabattement sur chaque ouvrage, plutôt que de pomper un débit important sur un seul ouvrage (Illustration 12). En effet, un forage seul risque de provoquer un fort rabattement, de faire remonter le biseau salé et ainsi de polluer le forage et son environnement immédiat.

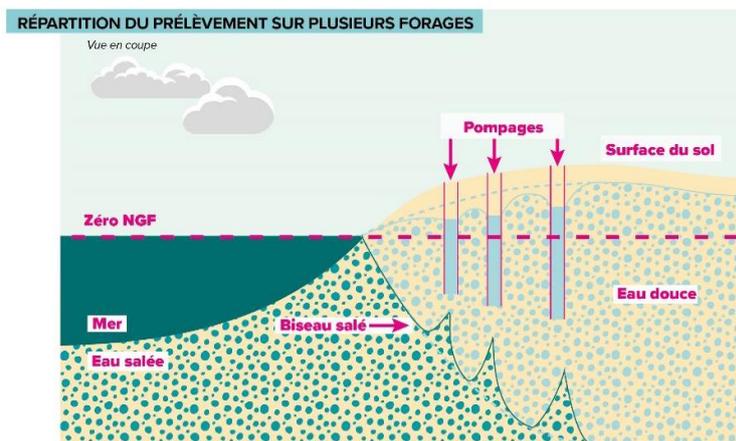


Illustration 12 : effet de la répartition du prélèvement sur plusieurs forages

Règlementation

L'arrêté ministériel du 11 septembre 2003 a prévu une assise réglementaire afin d'éviter les pollutions par l'eau salée. En effet, dans l'article 6, il est indiqué :

« En vue de prévenir les risques pour l'environnement et notamment celui de pollution des eaux souterraines ou superficielles, le déclarant prend toutes les précautions nécessaires lors de la réalisation des sondages, forages, puits et ouvrages souterrains, puis lors de leur exploitation par prélèvements d'eaux souterraines, notamment dans les cas suivants :

- en bordure du littoral marin ou à proximité des eaux salées ... »

Les professionnels ainsi que les particuliers doivent respecter cette réglementation.

3.4 Cimentation de l'espace annulaire

3.4.1 Objectif de la cimentation

La cimentation a pour objectif :

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

Les ciments commercialisés sont de nature et d'aptitude très variables selon leur utilisation. Les ciments doivent être choisis en fonction de leurs aptitudes à résister aux éventuelles agressions, tant chimiques que mécaniques, du terrain et des formations géologiques traversées contenant des eaux souterraines, tout en assurant la meilleure étanchéité annulaire du tubage

3.4.2 Définition de la partie à cimenter

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

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

Dans tous les cas, **l'espace annulaire, entre le terrain et le tubage le plus externe**, doit avoir une **épaisseur minimale de 5 cm** afin de permettre la mise en œuvre de la cimentation. La colonne de laitier doit reposer au-dessus du toit de la nappe captée soit:

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

Les forages doivent être cimentés à partir du toit de la nappe captée sur toute la hauteur jusqu'au niveau du sol. En région de socle, où parfois le toit de la nappe ne peut être déterminé avec précision, il faut cimenter sur toute la hauteur altérée. Pour éviter toute percolation des eaux de surface et afin d'occulter les arrivées d'eau de mauvaise qualité, la **hauteur minimum est de 10 m**.

3.4.3 Le laitier

Le laitier est composé d'eau et de ciment soigneusement mélangés. La densité est supérieure à 1,7.

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

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

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

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

3.4.4 L'injection

L'injection est à effectuer sous pression par le bas dès l'achèvement de la mise en place du tubage définitif et en continu avec des cannes de 1" à 2", voire plus suivant l'annulaire. Elles sont placées de chaque côté du tube, entre le terrain et le tubage le plus externe et descendues à la cote requise pour l'injection et retirées par tranche de 5 m à 6 m.

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

Il convient 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.

3.5 Protection de la tête du forage

Un ouvrage clos protégeant la tête du tubage doit être réalisé, avec une dalle bétonnée périphérique en forme de dôme (margelle de 3 m² minimum et de 30 cm de hauteur) permettant d'évacuer les eaux de pluie et de ruissellement. Cette protection de la tête du forage assure la continuité de l'étanchéité garantie par la cimentation annulaire avec le milieu extérieur. Cette protection est rendue obligatoire par l'arrêté du 11 septembre 2003 et les arrêtés préfectoraux départementaux.

La tête de forage est fermée par un regard muni d'un couvercle amovible fermé à clé et s'élève à au moins 50 cm au-dessus du terrain naturel (Illustration 13). Cette fermeture permet notamment de prévenir tout acte de vandalisme.



Illustration 13 : protection d'une tête de forage (BRGM)

3.6 Essais de pompage : tests de l'ouvrage et de la nappe

Les pompages d'essai concernent tous les ouvrages en vue d'une exploitation des eaux souterraines et notamment ceux nécessitant la connaissance des paramètres hydrodynamiques, ils sont cadrés par la Loi sur l'Eau. Ils se déroulent en deux phases :

- **Test de l'ouvrage (ou essai de puits).** Il permet, à partir de pompages à débit constant de courte durée (1 à 2 h), par paliers de débit non enchainés, d'établir la carte d'identité de l'ouvrage et d'évaluer ses capacités de production compte tenu de ses caractéristiques (profondeur, diamètre, équipement...).
- **Test de la nappe sollicitée (ou essai de nappe).** Il permet de caractériser la nappe, d'évaluer ses capacités de production et d'apprécier la qualité de l'eau. Ce sont des essais longs (de quelques jours à plusieurs semaines) à débit constant.

Les caractéristiques de la pompe dépendront des résultats obtenus au cours des essais de pompage.

3.6.1 Mise en œuvre des essais

Aménagements

Les aménagements nécessaires aux tests sont les suivants :

- installation de la pompe dans le forage et de son exhaure nettoyés et désinfectés si nécessaire (avec un tube en petit diamètre pour descendre la sonde de mesure des niveaux de nappe) ;

- vanne de réglage du débit (en dessous du débit critique) ;
- aménagement de l'exhaure de façon à ce que l'eau rejetée ne puisse pas se ré-infiltrer dans le terrain (suffisamment loin, en dehors du cône d'appel du pompage, dans le sens de la pente...);
- aménagement du contrôle du débit par chronométrage du remplissage d'un bac : le tuyau d'exhaure doit reposer sur un chevalet et le bac doit pouvoir être déplacé en dessous (ne pas soulever le tuyau car cela modifie le débit) ;
- éviter toutes nuisances par les rejets d'eau du pompage en prévoyant un aménagement adapté ;
- éviter toute pollution par déversement d'hydrocarbures en cas d'alimentation de la pompe par un groupe électrogène.

Matériel

Le matériel pour la mise en œuvre des essais est le suivant :

- chronomètre ;
- sonde de mesure graduée, sonore ou lumineuse, pour les suivis des niveaux, ou centrale d'acquisition automatique ;
- mètre ruban ;
- bacs étalonnés de dimension adaptée au débit pompé, éventuellement compteur électrique ;
- bordereaux de relevé, crayon.

Préparation des essais

Avant le démarrage des essais, il convient de :

- Réaliser un inventaire des ouvrages, déclarés ou connus du maître d'ouvrage, alentours dans un rayon de 500 m, pour sélectionner les piézomètres à inclure dans le suivi en précisant si ces points sont utilisés ou non ;
- En présence d'autres ouvrages exploitant la même ressource, il convient de connaître le régime d'exploitation de chacun de ces ouvrages notamment pendant la durée de l'essai. Pour la définition de débit d'exploitation du forage soumis à l'essai, il convient de tenir compte des débits des forages environnants pour estimer l'incidence sur la nappe ;
- Indiquer ce qui est pris comme niveau repère pour les mesures (ex : bord externe du tube P.V.C. diamètre 125 mm) et sa hauteur par rapport au sol ;
- Relever les niveaux initiaux de la nappe de tous les points d'eau contrôlés (ils servent de référence pour calculer le « rabattement (s) » = différence entre un niveau mesuré pour un temps donné en pompage et le niveau de référence avant pompage ;
- Noter le volume du récipient de contrôle des débits ou le relevé du compteur (volumétrique ou horaire).

Dans le cas d'une autorisation au titre du prélèvement : en cas de proximité de cours d'eau ou de plan d'eau susceptible 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 celui d'un piézomètre (petit sondage) localisé sur l'autre rive.

Un **suivi de la qualité de l'eau** en cours d'essai permet de vérifier qu'il n'y aura pas d'évolution défavorable de celle-ci au cours du temps. A proximité du littoral, la conductivité devra être suivie pendant le pompage.

Chaque ouvrage suivi (forage seul pour les essais par paliers, forage et piézomètres pour les essais de nappe), devra être caractérisé :

	forage	piézomètre 1	piézomètre 2
Nom du propriétaire			
Adresse du point de mesure			
Coordonnées X (lambert 2 étendu)			
Coordonnées y (lambert 2 étendu)			
Altitude : Z(m)			
N°BSS (banque de données du sous-sol)			
origine du repère des mesures de niveaux			
hauteur repère-sol (m)			
Distance au forage pompé (m)			
Profondeur de l'eau/repère avant pompage (m)			

Illustration 14 : tableau des caractéristiques des ouvrages suivis

Protocole de suivi

Les mesures des niveaux se feront à la fréquence suivante :

Temps (t) écoulé depuis le début du pompage ou de la remontée	Fréquence des mesures
de 0 min à 15 min	1 min
de 15 min à 30 min	5 min
de 30 min à 60 min	10 min
de 1 h à 2 h	15 min
de 2 h à 4 h	30 min
de 4 h à 8 h	1 h
de 8 h à 18 h	2h
de 18 h à 24 h	3 h
de 24 h à 36 h	4 h
de 36 à 60 h	6 h
de 60 h à 160 h	8 h
de 7 j à 8 j	1 fois/j
de 8 h à 30 j	1 fois tous les 2 jours
de 30 j à 60 j	1 fois tous les 3 jours

Illustration 15 : fréquence des mesures durant le pompage

Les relevés des mesures de niveaux seront reportés sur un bordereau de type suivant :

Date	heure	Débit (m ³ /h)	Temps (mn) pompage	FORAGE		Piezomètre 1	
				Profondeur eau/repère (m)	rabattement(m)	Profondeur eau/repère (m)	rabattement(m)
			0				
			1				
			2				
			3				
			,				
			,				

Illustration 16 : tableau de relevés des mesures

3.6.2 Test de l'ouvrage : essai de puits par paliers

Les essais de puits par paliers renseignent sur les caractéristiques des forages, compte tenu de leurs caractéristiques (profondeur, diamètre, équipement....) et ne préjugent en rien de ce que peut fournir la nappe de façon pérenne. Ils consistent en 3 à 5 pompages par paliers de débit croissant et de durée constante (1h à 2h), espacés d'un temps d'arrêt au moins équivalent permettant à la nappe de retrouver son niveau d'équilibre initial. Les débits sont toujours choisis inférieurs au débit instantané obtenu en fin de foration.

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 et d'écoulements turbulents pouvant entraîner de fines particules et conduire à la détérioration des crépines et de la pompe. **Le débit critique doit être absolument respecté, sous peine de détérioration de l'ouvrage.**

Dans le milieu de socle, **la durée de pompage et d'arrêt des différents paliers doit être au minimum de 1 heure** pour pouvoir observer correctement l'évolution des rabattements.

Le tableau ci-après (Illustration 17) ainsi que l'illustration 18 en résultant sont obligatoires dans le document d'incidence.

Durée de pompage de chaque palier :		Durée de chaque arrêt entre les paliers :	
Débit (Q) (m ³ /h)	N1 : Niveau avant pompage	N2 : Niveau après pompage	Rabattement (s) (m) s = N2 - N1

Illustration 17 : tableau de données des essais par paliers

Les rabattements en fonction des débits sont reportés sur un graphique arithmétique (Illustration 18) avec en abscisse les débits (m³/h) et en ordonnées le rabattement final de chaque palier de débit.

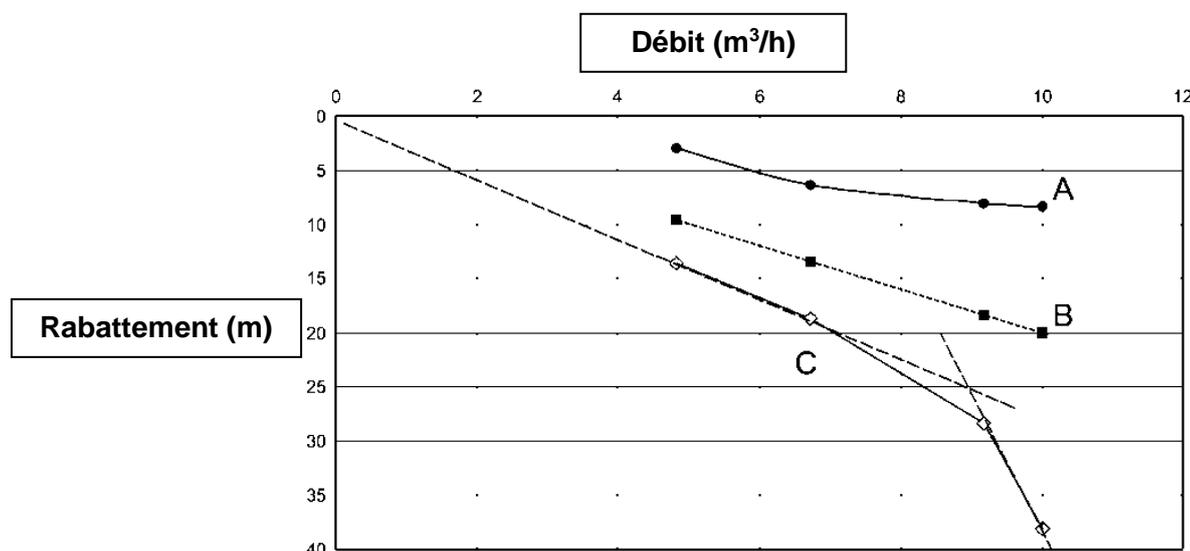


Illustration 18 : exemple de courbes caractéristiques d'essais par paliers

Courbe A : Débit d'exploitation non calculable. Courbe concave = développement en cours d'essai (à recommencer). Si on obtient une courbe caractéristique concave, l'ouvrage est en cours de développement, et l'essai par paliers n'est pas recevable, Il convient de le recommencer, après avoir mené à son terme le développement.

Courbe B : Débit d'exploitation $> 10 \text{ m}^3/\text{h}$. Courbe linéaire = débit critique non dépassé. Si la courbe est linéaire, le débit d'exploitation pourra être pris comme étant égal au débit maximal testé.

Courbe C : Débit critique $9 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow$ Débit d'exploitation $7 \text{ à } 8 \text{ m}^3/\text{h}$. Courbe convexe = débit critique dépassé. Il est alors déterminé graphiquement comme étant l'intersection des tangentes de la première et de la seconde partie de la courbe (point d'inflexion).

Il est recommandé d'exploiter l'ouvrage à un débit inférieur ou égal au débit critique.

3.6.3 Test de la nappe : essai par pompage long à débit constant

Il permet de caractériser la nappe, d'évaluer ses capacités de production, d'apprécier la qualité de l'eau et d'évaluer l'impact du forage sur le milieu naturel. Il doit être réalisé à un débit supérieur ou égal au débit de prélèvement envisagé.

Durée de l'essai

Les arrêtés forages départementaux préconisent les durées suivantes pour les essais de nappe, en fonction du débit d'exploitation :

- Débit $< 8 \text{ m}^3/\text{h}$: essai d'une durée supérieure ou égale à 12 h,
- Débit $\geq 8 \text{ m}^3/\text{h}$ et $< 80 \text{ m}^3/\text{h}$: essai d'une durée supérieure ou égale à 24h,
- Débit $\geq 80 \text{ m}^3/\text{h}$: essai d'une durée supérieure ou égale à 72h.

En s'appuyant sur les données obtenues par le test de l'ouvrage, il faut choisir le débit de pompage de façon à ce que le rabattement soit compatible avec un essai de longue durée et/ou les contraintes liées aux niveaux de terrain à ne pas dénoyer (arrivée d'eau principale, niveaux pyriteux).

Mise en œuvre

La mise en œuvre du test de la nappe est la même que pour le test de l'ouvrage, le suivi sera plus long et sur davantage de points d'observation et de mesures. La fréquence des mesures et les bordereaux de suivi ont été présentés précédemment (voir § 3.6.1). Cependant, si les mesures présentent des anomalies, on peut être amené à réaliser des mesures plus fréquentes.

Le débit de pompage du test de la nappe doit être inférieur au débit critique déterminé lors du test de l'ouvrage (essai par paliers de débits).

Pour une meilleure interprétation, les pompages d'essais doivent être réalisés de préférence **en basses eaux** et après une période de repos minimale de 12 h. Le débit doit être constant.

Concernant les ouvrages exploités situés dans un rayon de 200 à 500 m autour de l'ouvrage testé, il est préférable que leur pompe soit arrêtée avant le début de l'essai depuis un laps de temps suffisamment long. Par défaut, il convient de connaître le régime d'exploitation de chacun de ces ouvrages notamment pendant la durée de l'essai car il faudra en tenir compte pour la définition du débit d'exploitation du forage soumis à l'essai.

Ces ouvrages seront nommés « piézomètre », numérotés et leur distance au forage renseignée. Le niveau de l'eau sera mesuré, simultanément pour une durée de temps écoulée 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. La mise en place d'un tube dans le forage pour descendre sans danger la sonde de mesure pourra être nécessaire.

Interprétation

L'interprétation des essais renvoient à des notions hydrogéologiques. On rappellera les définitions de la Transmissivité (T) et du Coefficient d'emmagasinement (S) :

Transmissivité : $T=K.e$ (en m^2/s) : K étant la perméabilité du terrain (m/s) et, e, l'épaisseur de l'aquifère (m)

« Volume d'eau qui peut traverser un prisme d'aquifère :

- de longueur unitaire,
- de hauteur égale à celle de l'aquifère : e

sous l'effet d'une baisse de pression égale à l'unité »

Coefficient d'emmagasinement (: S (sans dimension)

« Volume d'eau que peut produire un prisme d'aquifère :

- de longueur unitaire
- de hauteur égale à celle de l'aquifère : e

sous l'effet d'une baisse de pression égale à l'unité » :

Dans le massif Armoricaïn, l'ordre de grandeur des valeurs de T sont comprises entre 1.10^{-3} et $1.10^{-6}m^2/s$ ou plus faible encore (dans ce dernier cas, les nappes ne sont pas exploitables), et celles de S entre 1.10^{-3} et 1.10^{-6} .

Plusieurs méthodes d'interprétation de test de nappe existent (aucune ne correspondant strictement au milieu de socle), cependant plusieurs approches sont généralement réalisées et on renverra, entre autres, vers les rapports cités en bibliographie (références techniques). La méthode choisie pour l'interprétation du test de la nappe doit être spécifiée et les éléments essentiels justifiant son utilisation doivent être présentés.

Quelle que soit la méthode, **un report des mesures 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, est obligatoire.** L'utilisation d'un graphique où le rabattement est exprimé en Logarithme du temps permet le report des données sur une longue période de pompage et d'observer, de visu, l'évolution de la nappe sous l'effet du pompage.

D'autres présentations pourront également être utilisées.

Le BRGM met gratuitement à disposition un logiciel appelé OUAIP qui est un OUtil d'Aide à l'Interprétation des Pompages d'Essai. Ce logiciel est téléchargeable à cette adresse : <http://www.brgm.fr/production-scientifique/logiciels-scientifiques/ouaip-outil-aide-interpretation-pompages-essais>.

Les effets de limites

Limite étanche :

Dans le milieu de socle, la zone productive se trouve dans un aquifère fracturé ou fissuré qui a une extension limitée. On observe alors sur l'évolution des rabattements, une accélération de la pente des rabattements, normalement le double pour une limite (cas 1 de l'illustration 20), le quadruple pour 2 limites.

Tout se passe comme si un deuxième pompage se mettait en place dans un forage fictif (ou image) placé symétriquement par rapport à la limite considérée comme étanche (Illustration 19).

Le calcul des rabattements se fait en tenant compte du rabattement lié au pompage et des rabattements liés au forage fictif :

$$s = s_1 \text{ (pompage)} + s_2 \text{ (pompage fictif)}$$

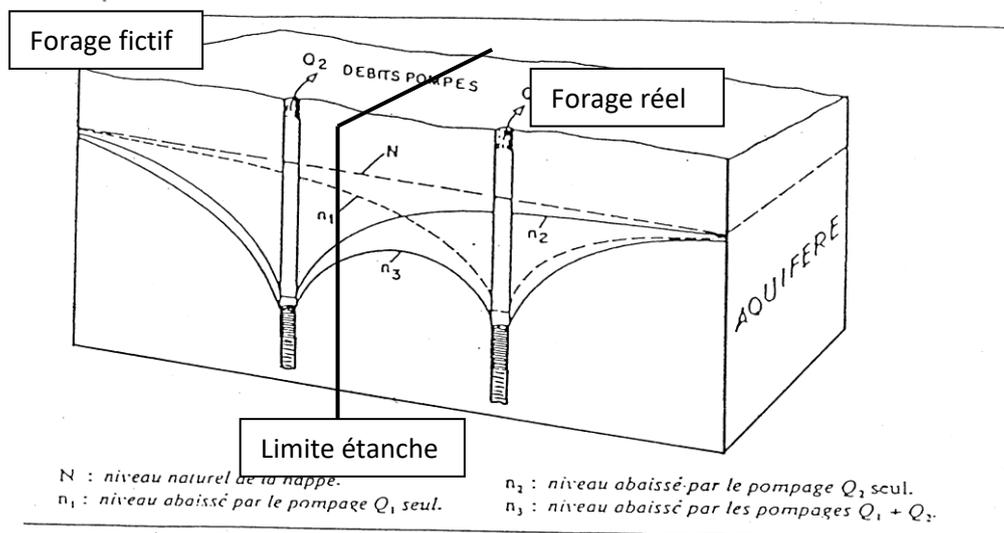


Illustration 19 : schématisation des rabattements liés aux effets de deux pompes

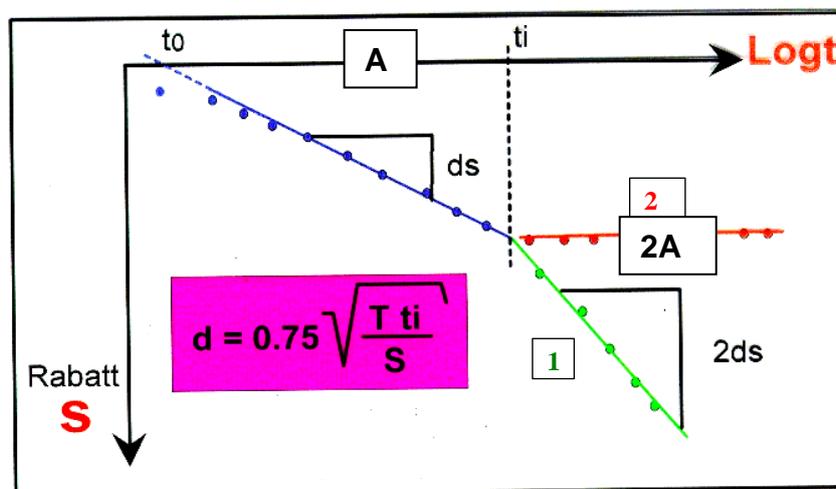


Illustration 20 : présentation de l'évolution des rabattements en fonction de la nature des limites

En début d'essai, les rabattements s'alignent sur une droite de pente A. Selon la nature de la limite bordant l'aquifère, les rabattements évoluent à partir du temps t_i :

- soit selon une pente double de la première (2A) comme dans le cas 1, la limite est une limite étanche,
- soit selon une droite horizontale comme dans le cas 2, la limite est une limite d'alimentation.

Limite d'alimentation :

Le cône de rabattement peut également solliciter une limite d'alimentation (cas 2 de l'illustration 20), ce qui provoque une stabilisation des rabattements. Tout se passe comme si un deuxième forage fictif se mettait en place, situé symétriquement par rapport à la limite considérée comme productrice, dans lequel un débit équivalent au débit pompé était injecté. Ce phénomène est très exceptionnel, quand il apparaît dans les essais réalisés dans des aquifères de socle, il correspond à une drainance des niveaux altérés sus-jacents à la zone fracturée dénoyés dans le cône de rabattement et n'est que temporaire.

Influence de la période de pompage

Sur des pompages réalisés sur un même ouvrage à des débits équivalents mais à des saisons différentes, l'évolution des rabattements peut être différente : par exemple en février, on peut observer une pseudo-stabilisation des niveaux (cas 1, Illustration 21) alors qu'elle n'apparaît pas du tout en septembre et que l'effet d'une limite étanche se marque dans l'accélération de la pente des rabattements (cas 3, Illustration 21).

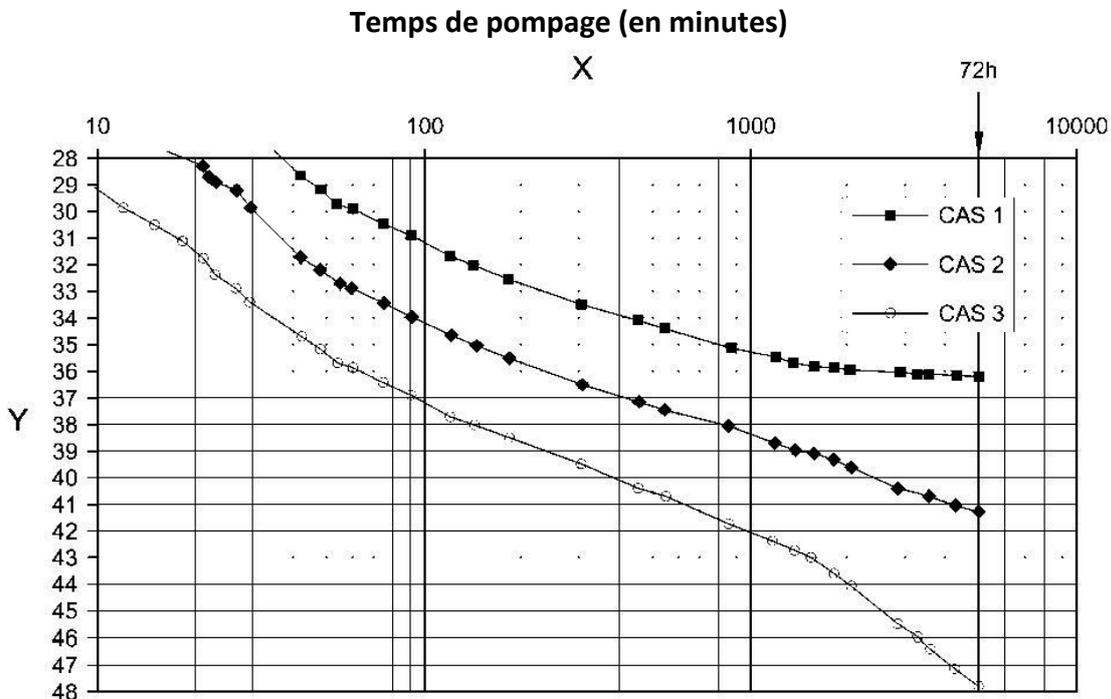


Illustration 21 : exemple de courbes caractéristiques de rabattement

Si les niveaux se stabilisent (cas 1, Illustration 21) ou si la pente est constante (cas 2, Illustration 21), le forage peut être exploité au débit souhaité, sous réserve que l'interférence générée sur les autres ouvrages reste compatible avec leur utilisation usuelle.

Si la pente augmente en cours de pompage (cas 3, Illustration 21), la ressource est limitée. Dans ce cas, il faut adapter le débit d'exploitation en tenant compte des rabattements plus importants générés par la présence d'une ou plusieurs limites étanches ou ne pas dépasser la durée de pompage correspondant à l'apparition de la rupture de pente.

Estimation de la zone d'infiltration nécessaire pour apporter le volume d'eau pompé

Ceci est une estimation très simpliste de la surface au sol nécessaire, compte tenu de la pluviométrie locale, pour apporter le volume d'eau pompé par le forage testé. Elle permet d'apprécier, rapidement, la faisabilité du projet, les ouvrages potentiellement concernés par le pompage et la zone à protéger du point de vue environnemental.

La **pluviométrie** varie en Bretagne, en moyenne par an, de 700 à 1400 mm (Illustration 22).

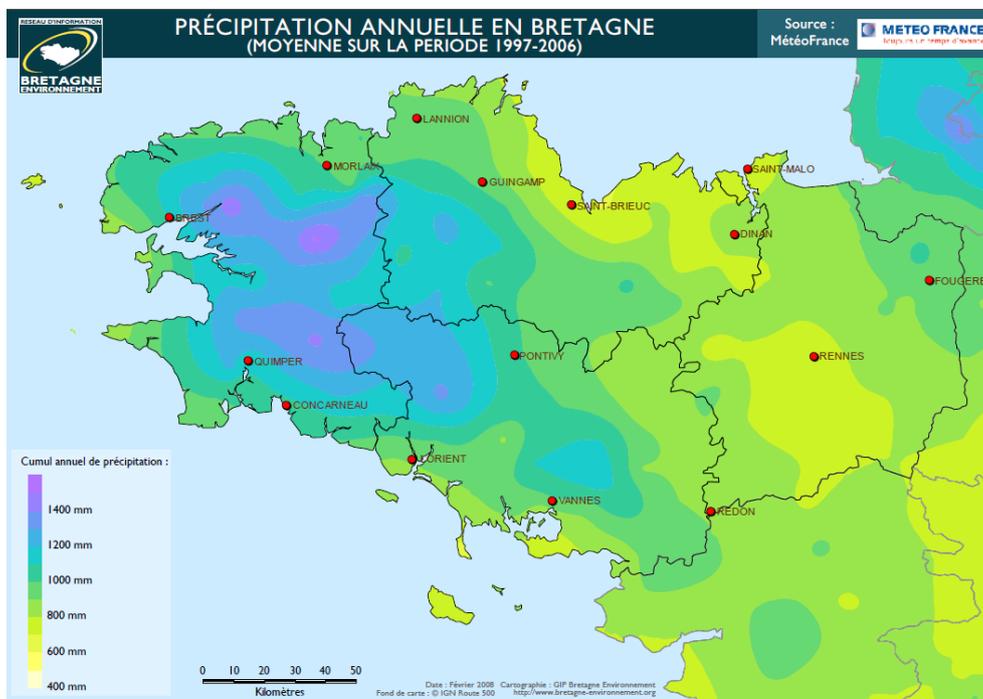


Illustration 22 : carte des précipitations moyennes sur la Bretagne (1997-2006)

La **pluviométrie efficace** (Illustration 23) est la quantité d'eau de pluie qui reste disponible pour l'infiltration ou le ruissellement, après saturation du sol, évaporation et évapotranspiration par les végétaux. En Bretagne, la pluviométrie efficace varie, en moyenne par an, de 100 à plus de 600 mm. Cette carte des normales de pluies efficaces par commune est consultable sur [l'espace cartographique du SIGES Bretagne](#).

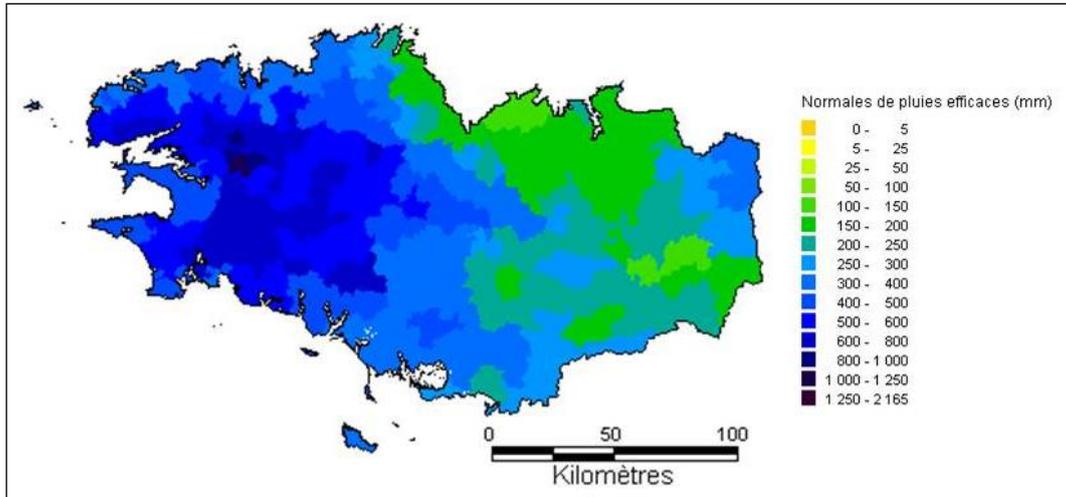


Illustration 23 : carte des normales de pluies efficaces (mm) - Moyennes annuelles sur la période 1946-2001 (MEEDDM, 2005)

La quantité de pluies efficaces (P.E.) qui rejoint les nappes est évaluée entre 40 et 60 % de celles-ci, ce qui correspond à l'infiltration.

La superficie au sol (S_p) impliquée dans l'alimentation en eau du forage sera estimée à partir de ces deux pourcentages potentiels d'infiltration.

$$S_p = Q_{\text{annuel}} / (40\% \text{ P.E.}) \text{ ou } Q_{\text{annuel}} / (60\% \text{ P.E.})$$

S_{p1} = volume annuel pompé dans le forage / 40% de la pluie efficace dans le secteur du forage

S_{p2} = volume annuel pompé dans le forage / 60% de la pluie efficace dans le secteur du forage

Si on assimile la superficie à un cercle $S_p = \pi r^2 \Rightarrow r = \sqrt{S_p / \pi}$

Exemple : Si le forage est exploité à 12 m³/h pendant 24 heures par jour sur 365 jours dans l'année, le débit annuel (Q_a) s'élève à : 12 x 24 x 365 = 105 120 m³. Si ce forage est dans un secteur où la pluviométrie efficace est de 350 mm/an = 0.35 m/an

$$S_{p1} = 105\,120 / (0.35 \times 40\%) = 750\,857 \text{ m}^2 \Rightarrow r_1 = \sqrt{750\,857 / 3.14} = 489 \text{ m}$$

$$S_{p2} = 105\,120 / (0.35 \times 60\%) = 500\,571 \text{ m}^2 \Rightarrow r_2 = 399 \text{ m}$$

Les distances trouvées sont d'un ordre de grandeur réaliste par rapport au terrain.

4 Références réglementaires

- [Article L411-1 du Code Minier](#) et [Portail de Déclaration Unifiée pour les Ouvrages Souterrains \(DUPLOS\)](#)
- [Arrêté du 11 septembre 2003 portant application du décret n° 96-102 du 2 février 1996 et fixant les prescriptions générales applicables aux sondage, forage, 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 et relevant de la rubrique 1.1.1.0 de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié](#)
- [Arrêté du 11 septembre 2003 portant application du décret n° 96-102 du 2 février 1996 et fixant les prescriptions générales applicables aux prélèvements soumis à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-3 du code de l'environnement et relevant des rubriques 1.1.2.0, 1.2.1.0, 1.2.2.0 ou 1.3.1.0 de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié](#)
- Code de l'environnement article R122-2 et décret n° 2016-1110 du 11 août 2016 relatif à la modification des règles applicables à l'**évaluation environnementale** des projets, plans et programme : [formulaire CERFA de demande d'examen au cas par cas](#)
- **Arrêtés préfectoraux départementaux forages :**
 - **Côtes d'Armor** : Arrêté fixant les dispositions applicables dans le département des Côtes-d'Armor pour la réalisation, l'entretien et l'exploitation des ouvrages de captage d'eau souterraine (11/08/2016), téléchargeable à l'adresse suivante <https://www.cotes-darmor.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-et-transition-energetique/Installations-classees-agricoles/Textes-reglementaires/Arrete-prefectoral-forage-11-aout-2016>
 - **Finistère** : Arrêté fixant les dispositions applicables dans le département du Finistère à la réalisation, l'entretien et l'exploitation des ouvrages de captage d'eau souterraine (13/04/2016), téléchargeable à l'adresse suivante http://sigesbre.brgm.fr/IMG/pdf/arrete_prefectoral_forages_finistere_13-04-2016_complet.pdf
 - **Ille-et-Vilaine** : Arrêté préfectoral fixant les dispositions applicables dans le département d'Ille-et-Vilaine pour la réalisation, l'entretien et l'exploitation des forages d'eau souterraine (11/01/2019), téléchargeable à l'adresse suivante http://www.ille-et-vilaine.gouv.fr/content/download/41432/294795/file/2019_01_11_AP35_Forages-1-1.pdf
 - **Morbihan** : Arrêté préfectoral fixant les dispositions applicables, dans le département du Morbihan pour la réalisation, l'entretien et l'exploitation des forages d'eau souterraine (15/02/2017), téléchargeable à l'adresse suivante http://www.morbihan.gouv.fr/content/download/32360/244733/file/Arrete_forage_56-2017.pdf

5 Références techniques

- Dewandel, Benoit (2018) - Méthodes analytiques d'estimation de l'impact quantitatif d'un prélèvement en nappe sur un cours d'eau – Problématique et solutions mathématiques - Rapport final. [BRGM/RP-67566-FR](#), 107 p., 1 ann.
- Forkasiewicz J. - Interprétation des données de pompages d'essai pour l'évaluation des paramètres des aquifères- [rapport BRGM 72 SGN 273 AME](#), 1972
- Gutierrez, Alexis (2016) - Note sur la réalisation et l'interprétation des pompages d'essais par paliers. Bonnes pratiques et exemples d'application avec le logiciel OUAIP. [BRGM/RP-65683-FR](#), 72 p.
- Klinka, Thomas ; Gutierrez, Alexis ; Elsass, J. ; Letat, Bruno (2020) - Manuel de OUAIP v2. Outil d'Aide à l'Interprétation des Pompages d'essai. Rapport final. [BRGM/RP-68509-FR](#), 136 p.
- Lucassou F., Schroëtter J.-M., Baptiste J., Coppo N., avec la collaboration de Beaubois F., Koch F., Tilloloy F., Mougin B., Laurent A., Croiset N. (2019) – Sensibilité des aquifères côtiers bretons aux intrusions salines. [Rapport BRGM RP-69012-FR](#), 227 p., 105 ill., 9 ann.
- Norme AFNOR NF X 10-999 (août 2014) - Forage d'eau et de géothermie. Réalisation, suivi et abandon d'ouvrages de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages
- Sites Internet :
 - GESTEAU : <http://www.gesteau.eaufrance.fr/sage/>
 - SIGES Bretagne : <https://sigesbre.brgm.fr/>
 - Formulaire d'auto-contrôle d'un forage (2016) : <https://sigesbre.brgm.fr/IMG/pdf/auto-controle-forage.pdf>
 - Plaquette « Le forage en Bretagne »
 - Plaquette « Forages en milieu littoral »
 - [Espace cartographique](#)