



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

Document à accès immédiat

# Méthodologie pour la mise en place d'un système de suivi et d'alerte des eaux souterraines exploitées pour l'eau potable en Ile-et-Vilaine

Rapport final

**BRGM/RP-73084-FR**

Version 1 du 12 février 2024

Étude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM

**F. Lucassou, A. Boisson**

## Vérificateur :

Nom : Emmanuelle ROUXEL

Fonction : Hydrogéologue

Date : 12/10/2023

Signature :

## Approbateur :

Nom : Pauline DRZEWIECKI

Fonction : Directrice régionale Bretagne

Date : 16/10/2023

Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM  
est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : [qualite@brgm.fr](mailto:qualite@brgm.fr)



## Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

## Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctq> ou par ce code :



**Mots clés :** hydrogéologie, eau potable, seuils de gestion, Bretagne, Ille-et-Vilaine

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**F. Lucassou, A. Boisson** (2024) – Méthodologie pour la mise en place d'un système de suivi et d'alerte des eaux souterraines exploitées pour l'eau potable en Ille-et-Vilaine. Rapport final V1. BRGM/RP-73084-FR, 80 p.

© BRGM, 2024, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.  
IM003-MT008-P2-20/01/2022

## Synthèse

Le Syndicat Mixte de Gestion de l'eau potable de l'Ille-et-Vilaine (SMG Eau 35) a pour principale mission de sécuriser l'Alimentation en Eau Potable (AEP) du département d'Ille-et-Vilaine, sur le plan qualitatif et quantitatif.

Dans ce cadre, le SMG Eau 35 a sollicité le BRGM pour proposer une méthodologie permettant de définir des seuils de gestion sur les captages d'eau souterraine pour l'AEP du département d'Ille-et-Vilaine (seuils de vigilance et d'alerte) afin de garantir l'exploitation des ouvrages AEP. L'objectif est de développer une méthode simple à mettre en œuvre pour les syndicats d'eau potable, permettant de relier les niveaux piézométriques observés dans les ouvrages exploités à d'éventuelles difficultés de pompage.

Dans un premier temps, les critères à prendre en compte pour pouvoir définir le niveau minimum admissible dans chaque ouvrage puis des seuils de gestion ont été listés.

Une grille de détermination du niveau minimum admissible a été réalisée, en concertation avec les hydrogéologues des syndicats du pôle grand ouest. Cet outil permet de définir sur chaque ouvrage souterrain le **niveau piézométrique minimum admissible**, à partir des informations disponibles sur l'ouvrage.

Le BRGM a ensuite co-construit avec le SMG Eau 35 et avec la collaboration des syndicats d'eau du Pôle Ouest une méthodologie théorique de définition des seuils de gestion pour couvrir les différents cas de figure possibles (contextes et connaissances disponibles). Il a été décidé de raisonner en termes de lame d'eau exploitable, afin de pouvoir déterminer l'état de la ressource par rapport à un niveau minimum admissible. Plusieurs méthodes ont été proposées pour fixer des seuils de vigilance et d'alerte sur les ouvrages souterrains exploités pour l'eau potable (taux de remplissage entre le niveau minimum admissible et le niveau maximum, prise en compte des rabattements, prise en compte de la baisse estivale de productivité, analyse des données de volume).

Le BRGM propose de retenir et de tester la méthodologie du **taux de remplissage**, qui consiste à fixer des seuils entre le niveau minimum permettant de prélever dans l'ouvrage sans conséquence négative (niveau minimum admissible) et le niveau maximum connu dans l'ouvrage, la différence entre ces deux niveaux étant appelée zone de battement d'exploitation. Le BRGM propose de fixer deux **seuils** par rapport à cette zone de battement d'exploitation correspondant à **50% de remplissage de cette zone (seuil de vigilance) et à 30% de remplissage (seuil d'alerte)**. Ces seuils permettent d'indiquer quelle réserve en eau est encore disponible, en traduisant cette réserve sous forme de niveau. Ces taux de remplissage doivent être ajustés en fonction des ouvrages, du contexte hydrogéologique et de l'impact du franchissement de ces seuils sur la productivité des ouvrages.

**Enfin, la méthode du taux de remplissage a été testée sur 3 ouvrages exploités d'Ille-et-Vilaine** (deux forages et un puits), situés dans des contextes géologiques distincts (socle/sédimentaire), avec des exploitants différents. Des visites de site ont été réalisées sur ces 3 ouvrages, les suivis disponibles ont été analysés et enfin des seuils de vigilance et d'alerte ont été calculés à partir de la méthode du taux de remplissage.

La méthode n'a pu être complètement validée car les 3 ouvrages choisis disposent de chroniques courtes et parfois peu fiables : il faudra donc vérifier la pertinence de ces seuils et les relier à

d'éventuelles difficultés pompage puis revoir ces seuils si nécessaires dans quelques années pour les adapter à l'exploitation de l'ouvrage.

L'analyse des critères permettant de fixer des seuils et les visites de sites réalisées amènent aux principaux constats suivants sur les ouvrages AEP souterrains d'Ille-et-Vilaine :

1. la position du repère de mesure, de la sonde de mesure et l'unité (hauteur d'eau, profondeur, altitude) sont souvent mal connues,
2. les chroniques de suivi des niveaux sont parfois peu fiables (précision de la sonde, unité de mesure, valeurs aberrantes, ...),
3. la position des équipements dans les ouvrages est relativement bien connue grâce à des inspections caméra réalisées récemment par le SMG Eau 35.

De ce fait et afin de permettre d'avancer sur la problématique, le BRGM préconise les actions suivantes pour chacun de ces constats :

### **1. Position du repère de mesure et de la sonde :**

- a. vérifier la position de la sonde à chaque dépose de la pompe et à chaque intervention sur l'ouvrage, en mesurant la longueur du câble du capteur de pression ;
- b. compléter une fiche de vie par ouvrage pour bancariser les différents événements pouvant affecter la chronique, la production ou les rabattements : historique des ruptures d'approvisionnement, de l'entretien des ouvrages, des nettoyages et changements de pompe, des changements de sonde ;
- c. mettre un repère visuel sur chacun des ouvrages et sur chaque sonde pour identifier facilement le repère de mesure.

### **2. Fiabilité des chroniques :**

- a. poursuivre l'acquisition et la bancarisation de données piézométriques dans les ouvrages AEP souterrains, fiabiliser les chroniques et les nettoyer en supprimant les valeurs peu fiables ;
- b. réaliser régulièrement des mesures manuelles de contrôle des enregistrements de la sonde de niveau ;
- c. envisager une homogénéisation des données bancarisées à l'échelle du département, en proposant un format de transmission des données (a minima niveau minimum et maximum journalier, unité, débit moyen, volume journalier) et en intégrant ces données dans un outil dédié (par exemple seQoya, développé par Aquasys, en Ille-et-Vilaine) ;
- d. bancariser les chroniques de volumes, de temps de pompage et/ou de débit de la pompe pour disposer d'autres mesures parfois plus fiables que les niveaux, pouvant également servir à l'étude de l'évolution de la productivité des ouvrages.

### **3. Position des équipements :**

- a. réaliser des diagnostics caméra dans les ouvrages pour préciser l'équipement de l'ouvrage (crépines, barbacanes, pompe).

**Ainsi, les solutions proposées sont perfectibles et ne sont pas définitives** car elles n'ont pu être testées à grande échelle dans le cadre de ce projet : des évolutions seront donc à prévoir en fonction des résultats des tests qui seront menés sur des chroniques plus longues et fiabilisées. Il sera peut-être nécessaire de disposer de méthodes différentes en fonction des départements (contextes hydrogéologiques différents).

Il est proposé que les différents syndicats d'eau intéressés testent les méthodologies proposées (taux de remplissage, prise en compte des rabattements, baisse de productivité estivale) et fassent un retour d'expérience lors des prochaines rencontres de hydrogéologues des syndicats départementaux d'eau potable du Grand Ouest. Les seuils pourront être affinés dans quelques années et les pourcentages de remplissage pertinents sur chaque ouvrage pourront être définis. Il est en particulier important de vérifier la compatibilité des seuils qui seront définis par cette méthode avec ceux déjà fixés par les exploitants, par souci de cohérence et pour ne pas être en alerte systématique si le niveau minimum admissible est régulièrement dépassé.

**Ce projet a mis en évidence l'importance de l'acquisition et de la bancarisation de données fiables, préalablement à toute tentative de définition de seuils de gestion ou de prévision de l'évolution des niveaux dans un ouvrage.**

**Le projet S-eau-S a permis d'engager la réflexion** entre les différents syndicats d'eau départementaux du Grand Ouest et le BRGM sur la définition de seuils de gestion, l'utilité de ces seuils et la fiabilité des chroniques de suivi des niveaux dans les ouvrages souterrains exploités pour l'eau potable.



## Sommaire

1. Introduction .....	11
1.1. Contexte.....	11
1.2. Déroulement de l'étude .....	12
1.3. Description des captages AEP souterrains d'Ile-et-Vilaine.....	13
2. Exemples de mises en œuvre de seuils de gestion .....	15
2.1. Seuils d'alerte pour la gestion des eaux souterraines des nappes alluviales de Corse du Sud : une approche des seuils en fonction de l'état de remplissage des ressources.....	15
2.2. Réseau de suivi des ressources en eau souterraine utilisée pour l'AEP dans le Maine- et-Loire : une approche des seuils en fonction des niveaux à ne pas dénoyer.....	17
2.3. Conclusion sur les études existantes .....	18
3. Connaissances préalables nécessaires pour fixer des seuils de gestion par ouvrage .....	19
3.1. Disponibilité et qualité des données de suivi .....	19
3.1.1. <i>Acquisition des données</i> .....	19
3.1.2. <i>Bancarisation des données et état des données disponibles</i> .....	20
3.2. Qu'est-ce que le niveau minimum admissible ?.....	21
3.3. Description des critères.....	22
3.3.1. <i>Position des équipements</i> .....	22
3.3.2. <i>Géométrie de l'aquifère</i> .....	24
3.3.3. <i>Critères secondaires</i> .....	25
3.4. Bilan : Grille de détermination du niveau minimum admissible .....	25
4. Propositions de méthodes pour définir des seuils de gestion.....	29
4.1. Qu'est-ce qu'un seuil de gestion ?.....	29
4.2. Description des méthodes .....	30
4.2.1. <i>Taux de remplissage entre le niveau minimum admissible et le niveau maximum</i> 30	
4.2.2. <i>Prise en compte des rabattements</i> .....	32
4.2.3. <i>Prise en compte d'une baisse de productivité estivale</i> .....	35
4.2.4. <i>Analyse des données de volumes</i> .....	36
4.3. Conclusions sur les méthodes proposées .....	37
5. Validation de la définition de seuils basée sur le taux de remplissage .....	39
5.1. Méthode de validation : test sur 3 sites .....	39
5.2. MEDREAC – Forage de la Bouexière .....	40
5.2.1. <i>Description de l'ouvrage</i> .....	40
5.2.2. <i>Compte-rendu de la visite de site</i> .....	44
5.2.3. <i>Suivi disponible</i> .....	48
5.2.4. <i>Définition de seuils de gestion</i> .....	49
5.2.5. <i>Conclusion pour le site de Médréac</i> .....	51
5.3. PLES DER – Forage de la Ferrière FE5.....	52
5.3.1. <i>Description de l'ouvrage</i> .....	52
5.3.2. <i>Compte-rendu de la visite de site</i> .....	53
5.3.3. <i>Suivi disponible</i> .....	56
5.3.4. <i>Définition de seuils de gestion</i> .....	57
5.3.5. <i>Conclusion pour le site de Plesder</i> .....	59
5.4. BALAZE – Puits de La Guérinière .....	60
5.4.1. <i>Description de l'ouvrage</i> .....	60
5.4.2. <i>Compte-rendu de la visite de site</i> .....	65
5.4.3. <i>Suivi disponible</i> .....	68

5.4.4. Définition de seuils de gestion .....	69
5.4.5. Conclusion pour le site de Balazé.....	71
6. Conclusions .....	73
7. Bibliographie .....	77

## Liste des illustrations

Illustration 1 : Carte des unités de captages d'eau potable en Ile-et-Vilaine (Source : Observatoire des services d'eau potable en Ile-et-Vilaine – édition 2021 – SMG Eau 35) .....	12
Illustration 2 : Répartition des prélèvements pour l'eau potable en Ile-et-Vilaine. A gauche : répartition entre eau de surface et eau souterraine ; à droite : volume produit par aquifère (Source : Observatoire des services d'eau potable en Ile-et-Vilaine – édition 2021 – SMG Eau 35).....	14
Illustration 3 : Nature (à gauche) et aquifères captés (à droite) par les captages AEP souterrains d'Ile-et-Vilaine .....	14
Illustration 4 : Exemple d'utilisation d'un abaque pour obtenir la valeur de l'épaisseur de la nappe en pourcentage de sa valeur normale et en valeur absolue, à partir d'une mesure piézométrique observée au mois de juin (Caballero, 2005).....	17
Illustration 5 : Précision de la mesure et écart maximum toléré entre une mesure manuelle et une mesure par capteur de pression (Rouxel et al., 2023).....	19
Illustration 6 : Eléments à ne pas dénoyer dans un puits ou un forage et conséquences en cas de dénoyage.....	22
Illustration 7 : Principaux types de puits – A : Puits à barbacanes – B : puits à drains rayonnants (extrait de Collin, 2004).....	23
Illustration 8 : Grille à compléter par les syndicats d'eau pour fixer le niveau minimum admissible dans l'ouvrage .....	26
Illustration 9 : Informations complémentaires à renseigner.....	28
Illustration 10 : Représentation schématique des notions de «niveau minimum admissible», de «seuils de gestion», de «lame d'eau» .....	29
Illustration 11 : Coupe théorique et seuils de gestion : vigilance (50% de la zone de battement) et d'alerte (30%) .....	31
Illustration 12 : Calculs automatiques des seuils. En haut : seuils à 50% et 30%, en bas : possibilité de choisir le % de remplissage .....	32
Illustration 13 : Gamme de valeurs 0% - 100% : raisonnement en niveau statique (à gauche) ou dynamique (à droite) .....	33
Illustration 14 : Proposition de seuils avec la méthode proposée par le SDE 61 en niveau statique (source : SDE 61) .....	34
Illustration 15 : Proposition de seuils avec la méthode du battement d'exploitation proposée par le BRGM (source : SDE 61) .....	34
Illustration 16 : Comparaison entre les niveaux piézométriques annuels et les productions par site de différents types. L'année 2011 représente l'année la plus sèche de la série temporelle (2011-2020) et l'année 2012 l'année la plus humide. De haut en bas sont présentés : les niveaux au	

piézomètre de Landrévarzec, la production de Kergaouledan (puits) et de Botcarn F1 (forage). Les lignes rouges et bleues représentent respectivement les médianes et moyennes mensuelles et les lignes vertes la production de l'année mentionnée (Boisson et al., 2023) .....	36
Illustration 17 : Avantages et inconvénients des méthodes proposées pour fixer des seuils de gestion .....	37
Illustration 18 : Caractéristiques des 3 ouvrages visités.....	39
Illustration 19 : Bassin de Médréac - Extrait de la carte géologique 1/50 000 (feuille n°281 Caulnes, Paris et al., 1977) .....	40
Illustration 20 : Coupe géologique du forage de la Bouexière - BSS000VRRD (Banque de données du Sous-Sol).....	41
Illustration 21 : Coupe géologique et technique du forage de la Bouexière (Véolia Eau, 2008, d'après le rapport BRGM 78-SGN-267-BPL, 1978) .....	42
Illustration 22 : Coupe technique synthétique de l'avant-puits du forage de la Bouexière (Véolia Eau, 2008).....	43
Illustration 23 : Tête du forage de la Bouexière. La flèche jaune indique le repère de mesure (photographies BRGM - 09/02/2023).....	44
Illustration 24 : Fiche ouvrage complétée par le BRGM lors de la visite du 09/02/2023 .....	45
Illustration 25 : Extrait du rapport de diagnostic GHI du 07/02/2023 (GHI, 2023) .....	46
Illustration 26 : Mesures de la tête de l'ouvrage réalisées par le BRGM lors de la visite .....	47
Illustration 27 : Mesures piézométriques manuelles (en statique et en pompage) et comparaison aux valeurs relevées sur la supervision lors de la visite.....	47
Illustration 28 : Evolution des niveaux d'eau et des volumes prélevés au forage de la Bouexière sur la période 2009-2019 (source : SMP OUEST 35) .....	48
Illustration 29 : Evolution du niveau piézométrique sur le forage de la Bouexière entre 2018 et 2023 (source : seQoya) .....	49
Illustration 30 : Grille de définition du niveau minimum admissible sur le forage de Médréac ...	50
Illustration 31 : Grille de calcul des seuils sur le forage de Médréac.....	51
Illustration 32 : Mise en parallèle des seuils calculés (en profondeur par rapport au sol), de la coupe de l'ouvrage et de la chronique de niveau.....	51
Illustration 33 : Tête du forage de la Ferrière. La flèche jaune indique le repère de mesure (photographies BRGM – 03/03/2023).....	52
Illustration 34 : Comparaison de la position des premières crépines entre la coupe technique initiale du forage (BSS, à gauche) et la coupe technique d'après l'inspection caméra (GHI, 2021a, à droite).....	53
Illustration 35 : Fiche ouvrage complétée lors de la visite du 03/03/2023 .....	55
Illustration 36 : Mesures de la tête de l'ouvrage réalisées par le BRGM lors de la visite .....	56
Illustration 37 : Mesures piézométriques manuelles (en statique et en pompage) et comparaison aux valeurs relevées sur la supervision lors de la visite.....	56
Illustration 38 : Evolution du niveau piézométrique et du débit sur le forage de la Ferrière FE5 entre 2017 et 2023 (source : seQoya) et comparaison à la coupe de l'ouvrage. En rouge : niveau de la sonde de mesure.....	57
Illustration 39 : Grille de définition du niveau minimum admissible sur le forage de Plesder .....	58

Illustration 40 : Grille de calcul des seuils sur le forage de Plesder .....	58
Illustration 41 : Mise en parallèle des seuils calculés (en profondeur par rapport au sol), de la coupe de l'ouvrage et de la chronique de niveau .....	59
Illustration 42 : Plan schématique du site de la Guérinière sur fond Géoportail (Calligée, 2018) .....	61
Illustration 43 : Puits de la Guérinière (à gauche) et chambre de pompage (à droite – photographie BRGM - 03/03/2023).....	61
Illustration 44 : Position des barbacanes selon le diagnostic caméra réalisé en 2015 (LogHydro, 2015) .....	62
Illustration 45 : Position des barbacanes selon le diagnostic caméra réalisé en 2021 (GHI, 2021b) .....	63
Illustration 46 : Coupe technique du puits de la Guérinière à Balazé (Calligée, 2018, d'après coupe de 1982).....	64
Illustration 47 : Synoptique de l'unité de production de la Guérinière à Balazé – A gauche : tableau de commande de la station de la Guérinière (photographie BRGM – 03/03/2023) – A droite : extrait du synoptique de la SAUR (Calligée, 2018).....	64
Illustration 48 : Fiche ouvrage complétée lors de la visite du 03/03/2023 .....	66
Illustration 49 : Mesures de la tête de l'ouvrage réalisées par le BRGM lors de la visite .....	67
Illustration 50 : Mesures piézométriques manuelles (en statique et en pompage) et comparaison aux valeurs relevées sur la supervision lors de la visite .....	67
Illustration 51 : Evolution du niveau piézométrique sur le site de la Guérinière entre 2013 et 2023 (source : seQoya) .....	68
Illustration 52 : Baisse de productivité observée pour un niveau dynamique inférieur à 113,75 m NGF.....	69
Illustration 53 : Grille de définition du niveau minimum admissible sur la chambre de pompage (à gauche) et le puits de la Guérinière (à droite) à Balazé.....	70
Illustration 54 : Grille de calcul des seuils sur la chambre de pompage de Balazé .....	70
Illustration 55 : Mise en parallèle des seuils calculés (en altitude) et de la chronique de niveau.....	71
Illustration 56 : Périodes en vigilance et en alerte entre 2017 et 2022 d'après les seuils calculés à Balazé.....	71

# 1. Introduction

## 1.1. CONTEXTE

Le Syndicat Mixte de Gestion de l'eau potable de l'Ille-et-Vilaine (SMG Eau 35) a pour principale mission de sécuriser l'Alimentation en Eau Potable (AEP) du département d'Ille-et-Vilaine, sur le plan qualitatif et quantitatif.

Dans ce cadre, le SMG Eau 35 a sollicité le BRGM pour définir des seuils de gestion sur les captages d'eau souterraine pour l'AEP du département d'Ille-et-Vilaine (seuils de vigilance et d'alerte) afin de garantir l'exploitation des ouvrages AEP.

En Ille-et-Vilaine, l'AEP est assurée à hauteur de 74% par des captages d'eau superficielle et à hauteur de 26% par 52 unités de captages d'eau souterraine (source : Observatoire des services de l'eau potable d'Ille-et-Vilaine – édition 2021 – SMG Eau 35 - Illustration 1), comprenant une centaine d'ouvrages souterrains (sur lesquels ont été prélevés plus de 16 millions de m<sup>3</sup> d'eau en 2019), dont 5 sont des captages prioritaires.

L'Observatoire des services d'eau potable en Ille-et-Vilaine (édition 2020 du SMG Eau 35) évoque clairement un déséquilibre à l'horizon 2030 entre les besoins en eau potable et les ressources disponibles. Les besoins ont dépassé les prévisions estimées et les récentes sécheresses de 2016, 2017 et 2022 ont mis en évidence la fragilité des ressources et des systèmes d'approvisionnement. Il précise également, qu'une meilleure connaissance des captages souterrains d'eau potable permettrait d'en améliorer la gestion et d'optimiser les « performances ». A l'échelle du département, cette connaissance serait un outil nécessaire pour la sécurisation durable de l'approvisionnement en eau potable.

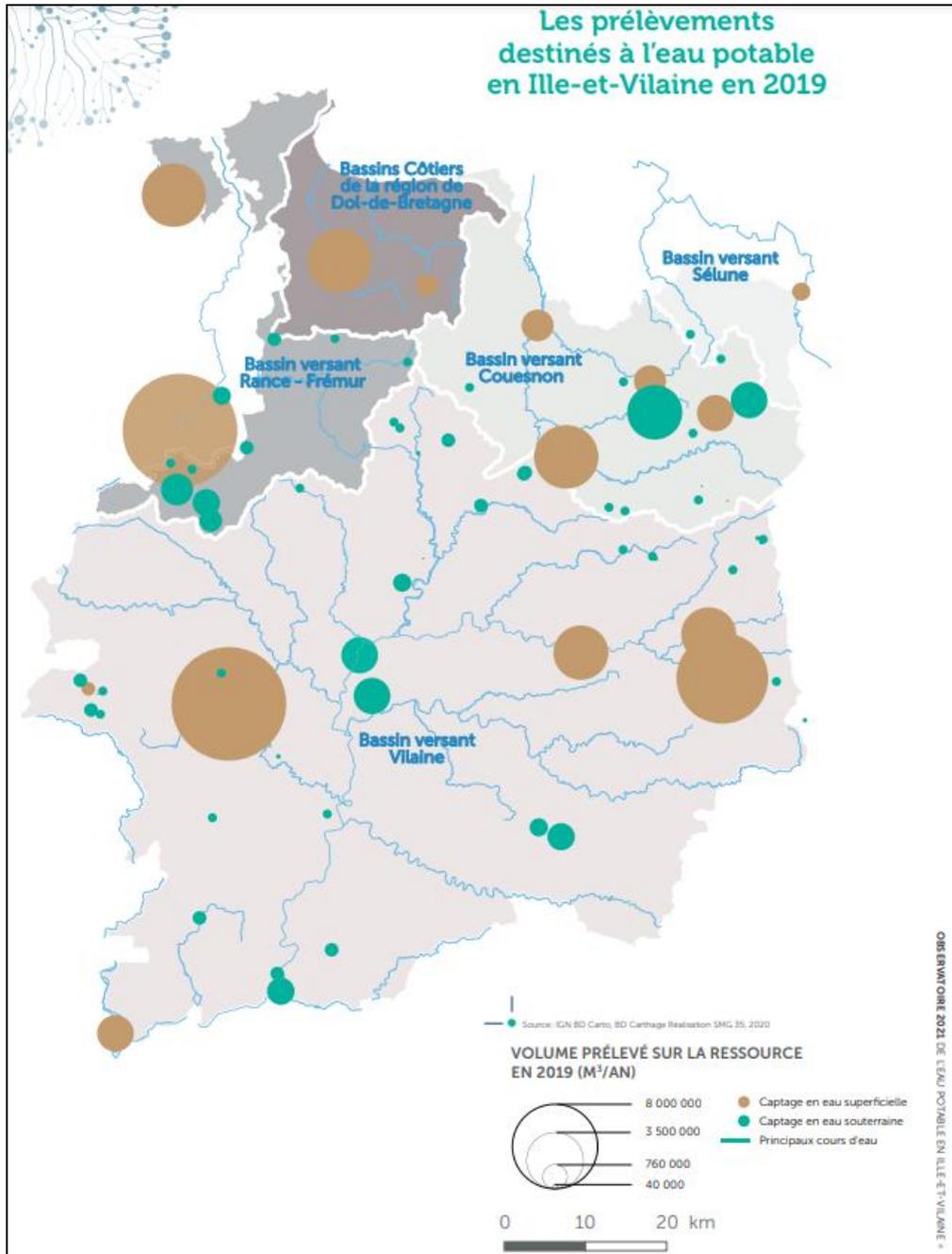


Illustration 1 : Carte des unités de captages d'eau potable en Ile-et-Vilaine (Source : Observatoire des services d'eau potable en Ile-et-Vilaine – édition 2021 – SMG Eau 35)

## 1.2. DEROULEMENT DE L'ETUDE

Le projet S-eau-S, objet du présent rapport, a pour objectif de définir une méthodologie pour la mise en place d'un système de Suivi et d'alerte des eaux Souterraines exploitées pour l'eau potable en Ile-et-Vilaine. Ce projet concerne uniquement l'aspect quantitatif.

Fort de son expérience suite à la mise en place du réseau de suivi AEP dans le département du Maine-et-Loire, le BRGM a étudié la faisabilité d'une méthodologie permettant de définir des

seuils de gestion (vigilance et alerte) sur les ouvrages souterrains exploités pour l'AEP, en fonction des données disponibles sur les différents ouvrages.

Dans un premier temps, une synthèse bibliographique des études existantes a été réalisée puis les données nécessaires à la définition de seuils de gestion ont été listées. Ensuite, le BRGM a co-construit avec le SMG Eau 35 une méthodologie théorique de définition des seuils de gestion pour couvrir les différents cas de figure possibles (contextes et connaissances disponibles). Plusieurs réunions de travail ont été organisées pour échanger sur les différentes possibilités de définition de seuils : à l'initiative du SMG Eau 35, les représentants du pôle des syndicats départementaux d'eau potable du grand Ouest (Ille-et-Vilaine, Côtes d'Armor, Morbihan, Manche, Orne, Loire-Atlantique et Vendée) ont été associés à ces réunions de travail.

Enfin, le BRGM a testé la mise œuvre cette méthodologie sur trois ouvrages souterrains exploités pour l'eau potable en Ille-et-Vilaine, avant de pouvoir envisager ultérieurement un déploiement plus global (phase non comprise dans le présent projet).

Une réunion de travail a été organisée au lancement du projet (28/04/2022) afin de bien définir les notions de seuils et les objectifs de gestion quantitative associés, avec le BRGM, le SMG Eau 35, le Conseil départemental du Finistère, la Cellule eau du Bassin Rennais et les hydrogéologues du pôle des syndicats départementaux d'eau potable du grand Ouest (Ille-et-Vilaine, Côtes d'Armor, Morbihan, Manche, Orne, Loire-Atlantique et Vendée).

Les participants partagent l'objectif de définition des seuils dans le cadre de cette étude : il s'agit de **définir des seuils pour garantir l'exploitation des ouvrages AEP, sous la forme d'un seuil de vigilance et d'un seuil d'alerte**. Il n'a pas été envisagé de définir des seuils statistiques, jugés non représentatifs dans ce contexte d'ouvrage exploité. L'objectif est ici de pouvoir déterminer la disponibilité de l'ouvrage pour la production d'eau potable. L'utilisation de tels seuils pourrait également permettre de suivre l'évolution de l'état des ouvrages (anticipation du colmatage des ouvrages en particulier).

Par ailleurs, l'existence de suivis piézométriques dans les ouvrages AEP (niveaux piézométriques minimum et maximum journaliers et volumes prélevés) et de seuils de gestion permettent de disposer d'outils pour discuter avec les exploitants et d'optimiser la gestion de la ressource.

### 1.3. DESCRIPTION DES CAPTAGES AEP SOUTERRAINS D'ILLE-ET-VILAINE

En Ille-et-Vilaine, 52 unités de captages souterrains comprenant une centaine d'ouvrages assurent 26% de l'approvisionnement en eau potable du département (Illustration 2).

Il s'agit essentiellement de forages (52 % des ouvrages souterrains). On trouve également 27 % de puits, essentiellement à barbacanes. Il existe seulement 2 puits à drains destinés à l'AEP en Ille-et-Vilaine, à Langon, dans les alluvions de la Vilaine. L'Ille-et-Vilaine a la particularité d'être alimentée en eau potable par plusieurs drains (21 % des ouvrages). Dans le cadre de la présente étude, il a été décidé de ne pas fixer de seuils pour les drains, dont l'écoulement se fait de manière gravitaire et pour lesquels il n'existe que des chroniques de volumes.

Les ouvrages AEP d'Ille-et-Vilaine captent majoritairement les formations de socle (63 % des ouvrages - Illustration 3), soit les altérites dans les puits, soit le socle fissuré, soit l'ensemble du profil d'altération. Les formations sédimentaires tertiaires concernent 31 % des ouvrages AEP souterraine mais elles représentent 55 % du volume d'eau souterraine destinée à l'AEP dans le département (SMG Eau 35, 2021 ; Boisson et al., 2021). Enfin, quelques ouvrages sont situés dans les alluvions.

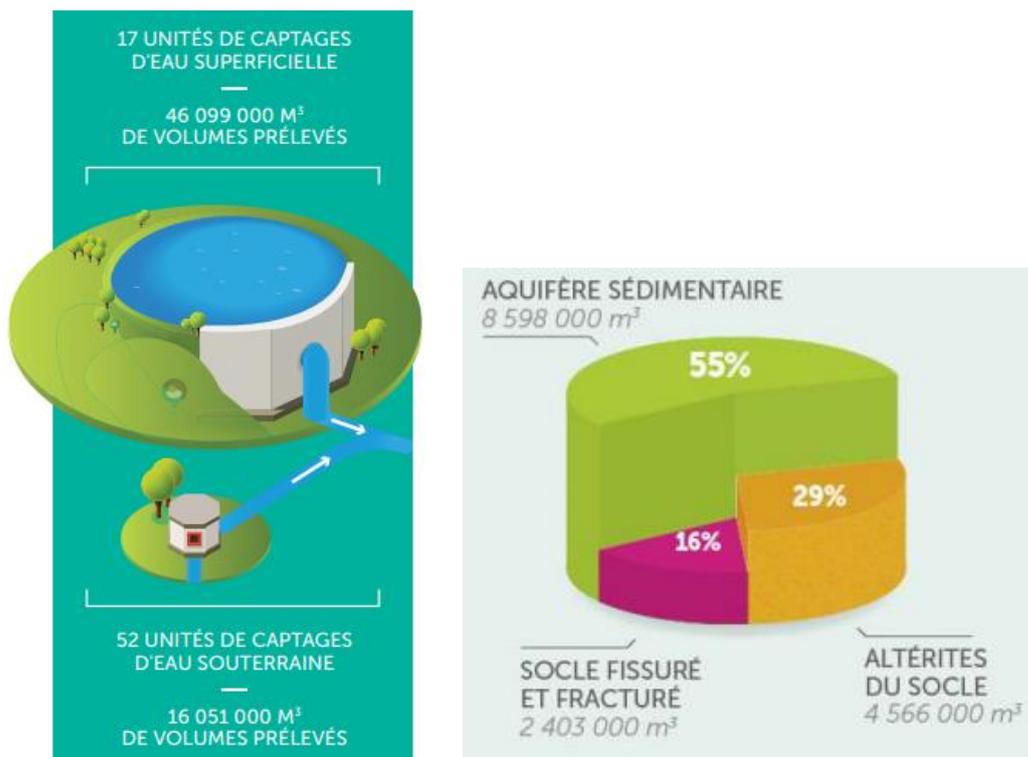


Illustration 2 : Répartition des prélèvements pour l'eau potable en Ile-et-Vilaine. A gauche : répartition entre eau de surface et eau souterraine ; à droite : volume produit par aquifère (Source : Observatoire des services d'eau potable en Ile-et-Vilaine – édition 2021 – SMG Eau 35)

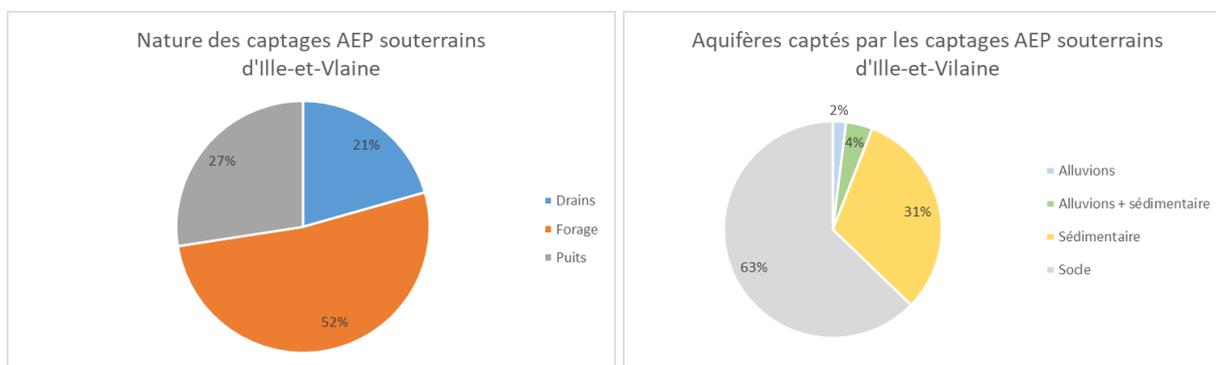


Illustration 3 : Nature (à gauche) et aquifères captés (à droite) par les captages AEP souterrains d'Ile-et-Vilaine

Seuls les contextes rencontrés en Ile-et-Vilaine seront traités dans cette étude (socle, sédimentaire et alluvions). Le cas particulier du karst, non rencontré en Ile-et-Vilaine, ne sera pas traité.

Aucun ouvrage AEP ne capte un aquifère strictement captif en Ile-et-Vilaine (présence locale de lentilles argileuses).

## 2. Exemples de mises en œuvre de seuils de gestion

Peu de références bibliographiques sont disponibles sur la définition de seuils de gestion dans des ouvrages exploités pour l'eau potable. Les indicateurs piézométriques<sup>1</sup> existants sont généralement mis en place sur des piézomètres de suivi de la ressource en eau souterraine et non sur des ouvrages exploités, soumis à des variations piézométriques quotidiennes liées aux pompages.

Quand ils existent, les seuils d'alerte et de vigilance sont fixés par les exploitants des ouvrages AEP sans méthodologie homogène et précise, par exemple 1 ou 2 m au-dessus de la pompe, selon l'ouvrage considéré.

Deux méthodes de définition des seuils sur des nappes ou ouvrages exploités pour l'AEP ont été recensées dans la littérature, en Corse et dans le Maine-et-Loire, et sont présentées ci-dessous.

### 2.1. SEUILS D'ALERTE POUR LA GESTION DES EAUX SOUTERRAINES DES NAPPES ALLUVIALES DE CORSE DU SUD : UNE APPROCHE DES SEUILS EN FONCTION DE L'ETAT DE REMPLISSAGE DES RESSOURCES

En Corse, le BRGM a mis en place un indicateur relatif à l'état de remplissage des principales nappes d'eau souterraine de Corse du Sud, pour que les services de l'Etat puissent l'intégrer dans le protocole de gestion des pénuries d'eau élaboré pour le département (Caballero, 2005).

Cet indicateur a été construit sur la base de l'analyse des séries piézométriques existantes sur ces différentes nappes. Pour chaque nappe, un abaque permettant de relier les niveaux piézométriques mesurés dans le piézomètre de suivi de cette nappe (influencé ou non par les pompages) avec l'état de la nappe en termes de remplissage a été élaboré (Illustration 4). Ces abaques (un par nappe) permettent de connaître la situation de la nappe pour chaque mois de la période d'étiage (épaisseur de la nappe en valeur absolue et en pourcentage de son épaisseur « normale »<sup>2</sup>) et deux seuils sont proposés pour déclencher des alertes dont l'importance varie avec la diminution de l'épaisseur saturée de la nappe.

#### a) Contraintes identifiées

Cette étude a mis en évidence plusieurs contraintes liées à l'utilisation des chroniques de suivi piézométrique d'un ouvrage AEP :

- Niveaux influencés : cette étude a rappelé que l'analyse statistique des chroniques piézométriques d'un ouvrage AEP (ou d'un piézomètre influencé par des pompages AEP) intègre à la fois des fluctuations naturelles de la nappe et les influences anthropiques liées à l'exploitation de l'ouvrage, ce qui pose problème quant à la signification des fréquences de retour des événements. En effet, les niveaux actuellement observés sur un ouvrage exploité peuvent être très différents de la chronique plus ancienne si les pompages ont augmenté ou diminué fortement sur l'ouvrage. Par exemple, on peut observer des niveaux

---

<sup>1</sup> Variable de contrôle de l'état d'une ressource en eau souterraine soumise à des règles de gestion et associée à un piézomètre (ou plusieurs) de suivi de l'évolution de cette ressource (Seguin, 2009).

<sup>2</sup> Epaisseur normale de la nappe au sens statistique, issue d'un calcul.

correspondant à une période de retour de fréquence rare, qui pourraient être interprétés comme une situation alarmante, alors qu'il n'y a en réalité aucune difficulté sur le terrain : ces niveaux correspondent uniquement à un nouvel équilibre de la nappe suite à une augmentation des prélèvements.

- Lien avec d'éventuelles difficultés d'exploitation : il faut pouvoir relier les niveaux piézométriques observés aux éventuelles difficultés de pompage sur le terrain. Si le niveau minimum dans un ouvrage est très bas (sous les premières crépines par exemple), mais que ceci n'entraîne pas de difficulté de pompage ou de baisse de productivité de l'ouvrage à long terme, ce niveau ne pose pas réellement problème.
- Qualité des données de suivi : cette étude a montré que ces chroniques présentent un grand nombre de lacunes dues à des problèmes techniques (foudre, dérive des capteurs, ...) qui les rendent difficilement exploitables.

*b) Méthodologie adoptée*

L'étude mise en œuvre a ainsi préférentiellement travaillé sur le critère d'épaisseur de nappe plutôt qu'à partir du niveau piézométrique statistique. Pour cela, il a été envisagé de relier l'épaisseur saturée d'une nappe alluviale ou sédimentaire à un état de remplissage de la nappe. L'épaisseur de la nappe peut être calculée par la différence entre la profondeur par rapport au sol du niveau piézométrique et la profondeur du substratum de la nappe. Pour relier l'épaisseur saturée de la nappe à un état de la réserve en eau dans l'aquifère, les valeurs statistiquement normales de cette épaisseur ont été calculées à partir des valeurs statistiquement normales des niveaux piézométriques pour chaque mois. Ainsi, il a été possible de relier le niveau piézométrique mesuré à l'état de la réserve en eau de la nappe, en la présentant en pourcentage de son épaisseur normale. L'indice ainsi construit et basé sur la comparaison de l'épaisseur « normale » et de l'épaisseur calculée à l'instant de la mesure, permet de mieux décrire la situation de la nappe au regard de l'exploitation de sa réserve en eau.

Deux seuils indicateurs ont été définis pour permettre d'aider à la gestion de l'exploitation de la nappe :

- un seuil d'alerte à 50% de remplissage pour provoquer une surveillance particulière du fait que la nappe est à moitié vide par rapport à son épaisseur normale ;
- un seuil de crise à 30 % pour arrêter le pompage ou suivre en continu le niveau piézométrique. Lorsque l'épaisseur de la nappe diminue, l'effet du pompage sur le rabattement s'aggrave car la transmissivité diminue. Le seuil de 30% permet de marquer le fait que le pompage peut conduire à une baisse de l'épaisseur de la nappe beaucoup plus rapide que prévu par les abaques.

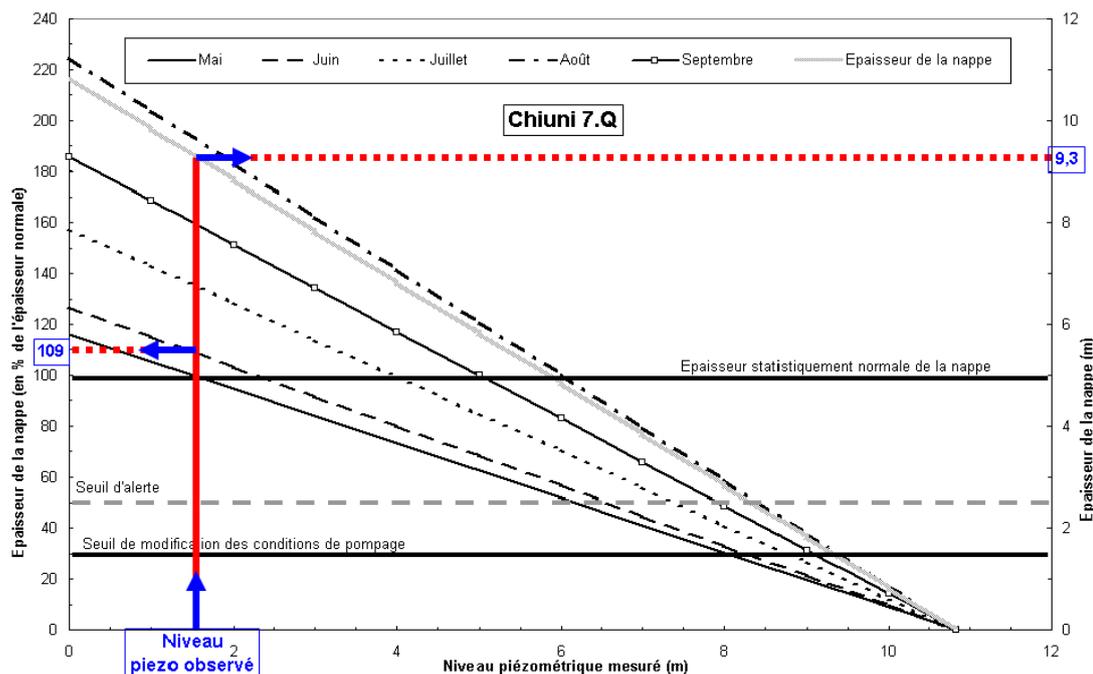


Illustration 4 : Exemple d'utilisation d'un abaques pour obtenir la valeur de l'épaisseur de la nappe en pourcentage de sa valeur normale et en valeur absolue, à partir d'une mesure piézométrique observée au mois de juin (Caballero, 2005)

## 2.2. RESEAU DE SUIVI DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE UTILISEE POUR L'AEP DANS LE MAINE-ET-LOIRE : UNE APPROCHE DES SEUILS EN FONCTION DES NIVEAUX A NE PAS DENOYER

Dans le cadre du réseau de suivi des ressources en eau souterraine utilisée pour l'AEP dans le Maine-et-Loire (réseau AEP49), des seuils de vigilance et d'alerte ont été établis par le BRGM pour chaque ouvrage AEP en fonction de la position des équipements à protéger dans les ouvrages (aspiration de la pompe, toit de l'aquifère sédimentaire, crépines, drains, ...).

Cette méthode a été privilégiée pour s'assurer de la bonne cohérence des seuils utilisés par l'ensemble des acteurs (exploitants et hydrogéologues) à l'échelle des ouvrages de production d'eau potable et ainsi constituer une clé de lecture de la situation commune pour tous.

Cette méthode est par ailleurs rendue possible car la connaissance des ouvrages et les chroniques piézométriques acquises dans les ouvrages a été fiabilisée. Le fonctionnement du réseau AEP49 intègre en effet des actions pour améliorer l'acquisition des données de suivi dans les ouvrages AEP (analyse et correction de chroniques, vérification régulière des niveaux, ...). Ainsi vérifiés et fiabilisés, ces paramètres (connaissance des ouvrages et chroniques piézométriques) deviennent alors exploitables.

Lors de la mise en place de ce réseau, étant donné le peu d'historique de chronique, des seuils d'alerte ont dans un premier temps été fixés en fonction de l'équipement connu des ouvrages (crépines, pompe - Rouxel, 2012). La position du seuil par rapport aux équipements a été fixée en fonction du type d'aquifère. Par exemple, pour les ouvrages sollicitant les alluvions de la Loire (très réactifs et peu profonds), les seuils d'alerte se situent 50 cm au-dessus de l'équipement à préserver, situé le plus haut dans l'ouvrage. Les quelques historiques de chroniques ont permis

dans un second temps de vérifier que le seuil fixé était bien applicable (seuil abaissé en cas de dépassement trop fréquent) et de fixer des seuils de vigilance, plus hauts que les seuils d'alerte.

Ces seuils ont été par la suite ajustés et tenus à jour en fonction des informations transmises par les exploitants (Rouxel et al., 2021).

### **2.3. CONCLUSION SUR LES ETUDES EXISTANTES**

Les deux exemples présentés ci-dessus ont des objectifs différents : gestion de la ressource en eau (Corse) ou gestion des ouvrages (Maine-et-Loire).

La méthode développée en Corse (cf. 2.1) est intéressante car elle relie les niveaux piézométriques mesurés avec l'état de la nappe en termes de remplissage, pour une gestion globale de la ressource, mais elle nécessite la présence d'un piézomètre de suivi de la nappe exploitée pour l'eau potable.

La méthode utilisée en Maine-et-Loire (cf. 2.2) pour fixer des seuils de gestion est uniquement basée sur les équipements à protéger dans les ouvrages exploités, ce qui permet d'assurer la continuité de l'exploitation de l'eau souterraine mais ne donne pas d'information en termes de remplissage de la nappe.

### 3. Connaissances préalables nécessaires pour fixer des seuils de gestion par ouvrage

Comme indiqué dans le chapitre précédent, peu d'études sont disponibles sur la méthode de définition de seuils de gestion dans des ouvrages exploités pour l'eau potable. Néanmoins les travaux réalisés par les différents syndicats d'eau départementaux et par le BRGM permettent de lister les critères nécessaires pour fixer ces seuils de gestion.

Ainsi la définition de seuils de gestion nécessite préalablement d'avoir une bonne connaissance des ouvrages de production, de la géométrie et des caractéristiques de l'aquifère sollicité mais nécessite aussi la présence d'un suivi piézométrique sur ces ouvrages.

L'objectif de cette étude est d'améliorer la gestion de la ressource vis-à-vis des ouvrages. Le critère de base est donc de connaître le seuil de rupture de chaque ouvrage (niveau minimum admissible), détaillé ci-dessous.

#### 3.1. DISPONIBILITE ET QUALITE DES DONNEES DE SUIVI

##### 3.1.1. Acquisition des données

La détermination et l'utilisation de seuils basés sur des niveaux piézométriques dans un captage d'eau potable nécessite en prérequis la présence d'un **dispositif d'enregistrement des niveaux piézométriques** dans ce captage en continu (niveau minimum et/ou maximum), à une fréquence suffisamment fine (*a minima* journalière), sur une **période de suivi** assez longue (5 ans minimum), avec une **unité de mesure** connue (profondeur par rapport à un repère de mesure, altitude ou hauteur d'eau), ainsi qu'un **repère de mesure** bien identifié (et, dans l'idéal, nivelé). La qualité de ces données doit pouvoir être appréciée (fiabilité des mesures, présence de lacunes, valeurs aberrantes, ...).

Dans les captages AEP souterrains, la mesure de niveau, si elle existe, est généralement réalisée par des sondes pressiométriques (par exemple de marque HITEC ou Paratronix) : il s'agit d'une « mesure de pression différentielle entre la surface du liquide et la position du transmetteur immergé. La pression est convertie en signal électrique [...] et conditionnée en boucle 4/20mA. » (HITEC, [CP5219 \(hitec.fr\)](http://www.hitec.fr)). « Le signal est égal à 4 mA, capteur hors d'eau à pression atmosphérique et il est égal à 20 mA pour une colonne d'eau égale à la pleine échelle de mesure. » Les sondes utilisées pour le suivi piézométrique dans les ouvrages AEP donnent des valeurs parfois peu précises de par leur mode de fonctionnement (Illustration 5).

Plage de mesure du capteur	Précision de la mesure	Ecart maximum toléré entre la mesure manuelle et la valeur enregistrée
0-10 m	+++	10 cm
0-15 m	++	15 cm
0-20 m	+	20 cm
0-40 m	-	40 cm
...	--	...

Illustration 5 : Précision de la mesure et écart maximum toléré entre une mesure manuelle et une mesure par capteur de pression (Rouxel et al., 2023)

En 2023, une très grande majorité des captages AEP souterrains d'Ille-et-Vilaine est équipée de sondes de suivi du niveau piézométrique en continu mais la longueur, la fréquence d'acquisition (journalière, horaire, 15 min) et la fiabilité des chroniques sont très variables selon les ouvrages. Ce suivi est assuré par les exploitants.

En parallèle du suivi des niveaux piézométriques dans l'ouvrage, il existe généralement un dispositif de comptage des volumes (ou des débits horaires), sur chaque ouvrage, avec une fréquence d'acquisition donnée, une période de suivi parfois différente de la chronique de niveau. Les données de volume doivent être transmises dans le cadre du Rapport sur le Prix et la Qualité du Service (RPQS), document public obligatoire (Code Général des Collectivités Territoriales) devant être produit tous les ans par chaque service d'eau et d'assainissement pour rendre compte aux usagers du prix et de la qualité du service rendu pour l'année écoulée. C'est pourquoi les chroniques de volumes des ouvrages AEP sont souvent plus fiables et plus longues que les chroniques de niveau.

Un appareil de télétransmission est généralement utilisé par les exploitants pour transmettre les enregistrements des appareils de mesure présents dans les ouvrages AEP (sonde piézométrique, débitmètre) vers une supervision. Les mesures sont ainsi transmises en continu. Un automate est parfois installé pour commander automatiquement la mise en route et l'arrêt de la pompe en fonction des niveaux piézométriques mesurés par la sonde.

Il existe parfois un suivi des niveaux dans des piézomètres situés à proximité des captages d'eau potable, ou sur un piézomètre du réseau piézométrique national de surveillance situé à proximité du champ captant (mais non influencé). Ces mesures peuvent présenter un intérêt pour déterminer des seuils mais il n'existe pas de tels suivis dans le département d'Ille-et-Vilaine, c'est pourquoi la réflexion sur ce point n'a pas été menée dans le cadre de cette étude.

### **3.1.2. Bancarisation des données et état des données disponibles**

La bancarisation des données et la disponibilité des données de suivi piézométrique et de volume est variable en fonction de l'exploitant du captage et de la collectivité gestionnaire de l'ouvrage.

Pour le SMG Eau 35, les données de suivis des niveaux piézométriques et des volumes sont bancarisées dans l'outil de gestion des données pour la sécurisation et le suivi de l'approvisionnement en eau potable seQoya, développé par la société privée Aquasys. Les données sont accessibles depuis le site web Maïna, observatoire de l'eau potable en Ille-et-Vilaine, avec login et mot de passe.

L'analyse des chroniques de niveaux de nappe (statiques et dynamiques) disponibles dans les ouvrages AEP souterrains d'Ille-et-Vilaine et réalisée dans le cadre de cette étude a mené aux constats suivants :

- les suivis piézométriques sont limités sur de nombreux sites : 50% des ouvrages (puits et forages) disposent d'un suivi piézométrique bancarisé au SMG Eau 35,
- l'ancienneté des données est très variable : 74% des ouvrages suivis le sont depuis 2013, 10% depuis 2017 et 16% depuis le 01/01/2018 (chiffres SMG Eau 35, 20223),
- les données bancarisées sont très hétérogènes (chroniques horaires, minimum/maximum journalier, ...),
- l'unité de mesure n'est pas toujours clairement identifiée (profondeur par rapport à un repère de mesure, altitude, hauteur d'eau au-dessus de la sonde de mesure),

- les repères de mesure ne sont pas clairement identifiés et la connaissance de leur position est souvent approximative,
- pour les mesures en hauteur d'eau, la position de la sonde de mesure dans l'ouvrage n'est pas toujours connue, ce qui rend impossible la conversion de la chronique en profondeur ou en altitude et permet donc seulement d'effectuer une comparaison relative des données,
- il existe de nombreuses incertitudes sur la fiabilité des mesures en l'absence de mesures manuelles de contrôle et sur l'unité de mesure (hauteur d'eau au-dessus de la sonde, altitude, profondeur ou encore rabattement).

### 3.2. QU'EST-CE QUE LE NIVEAU MINIMUM ADMISSIBLE ?

Dans un premier temps, il est important de définir le niveau piézométrique minimum admissible dans chaque ouvrage exploité, à partir de l'équipement et des caractéristiques des ouvrages : il correspond au niveau le plus bas pouvant être atteint dans l'ouvrage, c'est-à-dire un seuil de rupture en-dessous duquel l'exploitation n'est plus garantie. Ce niveau dépend des caractéristiques de l'aquifère et de l'ouvrage.

La détermination du rabattement maximum acceptable dans un ouvrage est « conventionnelle et dépend à la fois des conditions physiques (nappe libre ou captive, profondeur du niveau piézométrique et du substratum de l'aquifère) et des conditions économiques (une hauteur de refoulement maximale peut être fixée) » (Forkasiewicz, 1976).

La productivité d'un puits est le débit maximum qui peut être pompé dans l'ouvrage pendant une durée définie sans que le rabattement induit par le pompage ne dépasse le rabattement maximum admissible (Forkasiewicz, 1978). Ce rabattement maximum admissible est imposé par des contraintes physique et technique du complexe aquifère/ouvrage (débit critique et rabattement critique correspondant) et des contraintes socio-économiques (coût de production de l'eau) (Detay, 1993).

Les différentes contraintes d'exploitation des ouvrages (forages et puits), conduisant à la détermination du niveau minimum admissible, ont été recensées dans le cadre de cette présente étude :

- **position des équipements** (voir 3.3.1) :
  - ne pas dénoyer la pompe,
  - ne pas dénoyer les crépines d'un forage,
  - ne pas dénoyer les drains ou les barbacanes des puits,
- **géométrie de l'aquifère** (voir 3.3.2) :
  - ne pas dénoyer le toit d'un aquifère captif,
  - ne pas dénoyer les arrivées d'eau préférentielles (dans un aquifère de socle),
  - ne pas générer un rabattement excessif dans un aquifère sédimentaire,
  - ne pas dénoyer les niveaux pyriteux pour éviter la libération d'oxydes de fer,
  - pour les ouvrages situés en bord de mer, ne pas descendre le niveau dynamique en dessous du zéro NGF,
- **réglementation** : respecter, s'il existe, le seuil fixé par l'arrêté d'autorisation. Il s'agit du seuil prioritaire à prendre en compte mais qui peut être modifiable si sa pertinence venait à être remise en cause.

Ces différents critères sont détaillés dans les paragraphes suivants (3.3.1 et 3.3.2) ainsi que dans le tableau suivant (Illustration 6).

	Éléments à ne pas dénoyer	Conséquences si dénoyage
<b>Équipement</b>	Pompe	Prélèvement impossible
	Crépines (forage)	Colmatage, déstabilisation du terrain
	Drains ou barbacanes (puits)	Colmatage, baisse de productivité
<b>Aquifère</b>	Arrivées d'eau préférentielles (dans le socle)	Pertes de charge, colmatage
	Toit aquifère captif	Modification de la chimie et du comportement hydrodynamique
	2/3 épaisseur aquifère libre sédimentaire	Pertes de charge
	Niveaux pyriteux	Oxydation, colmatage
	Zéro NGF (sur le littoral)	Biseau salé
<b>Règlementation</b>	Seuil défini dans l'arrêté d'autorisation	Contrainte réglementaire

Illustration 6 : Éléments à ne pas dénoyer dans un puits ou un forage et conséquences en cas de dénoyage

### 3.3. DESCRIPTION DES CRITERES

#### 3.3.1. Position des équipements

##### a) Pompe

Il est impossible de poursuivre le prélèvement dans un ouvrage AEP si la crépine de la pompe est dénoyée (arrêt du pompage). La profondeur de la crépine de la pompe constitue donc un seuil déterminant, impossible à dépasser. Cependant, il est possible de modifier la position de la pompe dans l'ouvrage, à condition d'avoir une chambre de pompage (tubage plein) plus profonde prévue à cet effet, pour ne pas pomper face aux crépines.

La position de la pompe dans les ouvrages est souvent connue de manière approximative : la profondeur donnée peut correspondre à la bride de la pompe ou à la crépine de la pompe, avec parfois plusieurs dizaines de centimètres d'écart.

*Le BRGM recommande de mesurer précisément la profondeur de la pompe à l'occasion d'une opération de nettoyage ou de remplacement, lorsque la pompe est redescendue dans l'ouvrage.*

##### b) Crépine

Dans un forage, la position des crépines est connue sur la coupe technique de l'ouvrage et peut être vérifiée par inspection caméra.

Il est recommandé de ne pas dénoyer les crépines pour éviter un vieillissement prématuré de l'ouvrage dû au colmatage par précipitation (suite à la modification des conditions redox) et à la déstabilisation du terrain. Ceci est particulièrement vrai dans les aquifères de socle, en cas de présence de niveaux pyriteux, dont le dénoyage pourrait engendrer la précipitation d'oxydes de fer (ou de manganèse) sur les crépines.

Driscoll et al., 1986, et Kruseman et De Ridder, 1974 indiquent que les considérations théoriques et l'expérience démontrent qu'une hauteur crépinée comprise seulement entre le tiers et la moitié de l'épaisseur de l'aquifère libre est optimale, quand la lithologie est homogène. Quand l'aquifère est hétérogène (dans le socle par exemple), ces considérations ne s'appliquent pas car il est plutôt recherché de capter les horizons les plus transmissifs.

Il arrive fréquemment que les crépines d'un ouvrage AEP soient dénoyées, sans pour autant poser un problème immédiat lors de l'exploitation de l'ouvrage. D'autre part, les crépines ont parfois été positionnées trop hautes dans l'ouvrage et au-dessus des arrivées d'eau.

Ainsi, ce critère n'est donc pas toujours pertinent pour fixer le niveau minimum admissible dans l'ouvrage. La position des crépines de l'ouvrage doit néanmoins être connue pour en juger.

### c) Drains / barbacanes

Les puits sont des ouvrages verticaux peu profonds à parois maçonnées (pierres, anneaux de béton, ...) et réalisés en gros diamètre. Les arrivées d'eau peuvent se faire à plusieurs niveaux :

- puits à barbacanes (Illustration 7 – A) : les barbacanes sont de petits conduits placés autour du puits, inclinés vers le bas, destinés à alimenter en eau le puits sans que les terrains environnants ne rentrent dans le puits. Les barbacanes sont généralement disposées en ligne autour du puits, pour avoir un rabattement irrégulier.
- puits à drains (Illustration 7 - B) : un puits à drains est constitué d'un cuvelage en béton de grand diamètre. Tout autour du puits, des drains horizontaux (en acier) sont foncés sur quelques dizaines de mètres de longueur. Ils permettent de capter des horizons parfois peu épais et sont généralement des ouvrages très productifs.

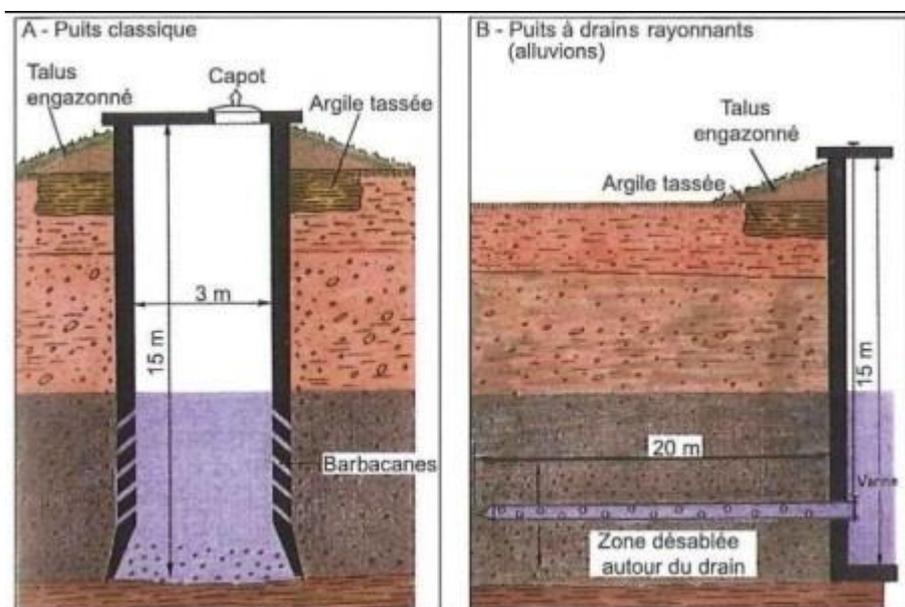


Illustration 7 : Principaux types de puits – A : Puits à barbacanes – B : puits à drains rayonnants (extrait de Collin, 2004)

Comme pour les crépines, il est fortement déconseillé de dénoyer les drains et les barbacanes des puits afin de ne pas colmater l'ouvrage et de maintenir la réalimentation du puits.

Ainsi, la profondeur des drains et des barbacanes – déterminants pour la réalimentation du puits - doit être connue.

### 3.3.2. Géométrie de l'aquifère

#### a) Arrivées d'eau

Dans un forage captant un aquifère de socle, les arrivées d'eau préférentielles non occultées par la cimentation ne doivent pas être dénoyées pour éviter des pertes de charge anormales et le colmatage des équipements et du terrain.

Si la première arrivée d'eau est très faible, il est possible de ne pas en tenir compte (mais il aurait été préférable de l'occulter).

#### b) Toit de l'aquifère captif

Le toit d'un aquifère captif ne doit pas être dénoyé pendant l'exploitation, sous peine de modification de la chimie et du comportement hydrodynamique de l'aquifère (Saltel et Dewandel, 2016).

#### c) Dénoyage d'un aquifère libre

L'hypothèse de Dupuit consiste à admettre que la répartition des pressions est hydrostatique sur toute verticale : la pente de la surface libre est peu inclinée donc les écoulements sont horizontaux et perpendiculaires aux crépines. Au-delà d'un dénoyage trop fort de l'aquifère, la composante verticale devient trop importante, entraînant des pertes de charge plus importantes et le non-respect des hypothèses des écoulements souterrains sur lesquelles sont basées les interprétations.

En aquifère libre, le rabattement maximum admissible diffère selon les auteurs :

- Castany, 1998 : le rabattement maximum admissible ne doit pas dépasser un tiers de l'épaisseur d'un aquifère à nappe libre ;
- Detay, 1993 : limite de rabattement équivalente à un tiers de l'épaisseur mouillée de l'aquifère ;
- Driscoll et al., 1986, puis Lauga, 1990 démontrent qu'un **rabattement supérieur aux 2/3 de l'épaisseur aquifère libre n'est pas recommandable**, du point de vue économique. Le faible gain de débit effectué au-delà de cette limite s'effectue en effet au prix d'une dépense énergétique disproportionnée.
- La norme sur les forages d'eau (NF X10-999) indique explicitement qu'il est nécessaire de « conserver 1/3 de l'épaisseur mouillée pour une nappe libre ».

Selon des critères d'ordre technique, le rabattement doit être limité à 1/3 de l'épaisseur d'un aquifère libre sédimentaire. Selon la norme et des critères d'ordre économique, il serait possible de dénoyer au maximum les 2/3 de l'épaisseur d'un aquifère libre sédimentaire. Cependant, les crépines et les arrivées d'eau se trouvent généralement au-dessus de la limite des 2/3 de l'épaisseur mouillée, qui ne constituera donc pas a priori un critère limitant.

Par ailleurs, pour ce qui concerne la hauteur crépinée, Kruseman et De Ridder, 1974 indiquent que les considérations théoriques et l'expérience démontrent qu'une hauteur crépinée comprise seulement entre le tiers et la moitié de l'épaisseur de l'aquifère libre est optimale, quand la lithologie est homogène.

#### d) Niveaux pyriteux

Il est recommandé de ne pas dénoyer les niveaux pyriteux lors de l'exploitation de l'ouvrage, afin d'éviter leur oxydation qui engendre une acidification de l'eau et la mise en solution d'oxydes de fer, ce qui peut entraîner une dégradation de la qualité de l'eau, le colmatage des crépines, de la pompe et à terme du terrain (Guide méthodologique Forages et prélèvements d'eau souterraine, 2022).

#### e) Zéro NGF en milieu littoral

En milieu littoral, il est recommandé de ne pas descendre le niveau dynamique en pompage en dessous du zéro NGF, afin de limiter les risques de remontée du biseau salé.

### 3.3.3. Critères secondaires

D'autres critères doivent être vérifiés lors du calcul du niveau minimum admissible.

Par exemple, la position de la sonde de mesure dans l'ouvrage doit être vérifiée : de la précision de sa localisation dépend la fiabilité de la chronique piézométrique. D'autre part, si la sonde est positionnée trop haut dans l'ouvrage et que le niveau dynamique descend sous le niveau de la sonde, celle-ci devient inutile pour fixer des seuils et alerter sur le franchissement de ces seuils. Enfin, la connaissance précise de la position de la pompe est indispensable pour convertir des hauteurs d'eau en profondeur par rapport au repère de mesure ou par rapport au sol.

*Le BRGM recommande de vérifier la position de la sonde à chaque dépose de la pompe et à chaque intervention sur l'ouvrage. Pour cela, il est possible de mesurer la longueur du câble du capteur de pression en sortant délicatement le capteur de pression de l'ouvrage, en mesurant la longueur du câble entre le détecteur du capteur et le marquage correspondant au repère de mesure puis en replaçant le capteur dans l'ouvrage en veillant à ce que le marquage se retrouve bien au niveau du repère de mesure (Rouxel et al., 2023).*

### 3.4. BILAN : GRILLE DE DETERMINATION DU NIVEAU MINIMUM ADMISSIBLE

Dans le cadre de cette étude, une grille de détermination du niveau minimum admissible a été réalisée sous Excel (feuille Excel SeauS\_seuils\_gestion\_AEP.xlsx transmise au SMG 35 et disponible dans le SIGES Bretagne). Cet outil permet de définir sur chaque ouvrage souterrain le **niveau piézométrique minimum admissible**, à partir des informations disponibles sur l'ouvrage et selon les critères détaillés précédemment. Il s'agit du niveau le plus bas admissible dans l'ouvrage. La connaissance de ce niveau minimum admissible (ou profondeur maximale admissible) constitue un préalable à la définition de seuils de gestion.

La grille de détermination doit être complétée pour chaque ouvrage avec certaines informations indispensables ou non (mise à jour des données indispensables à renseigner en fonction des premiers champs complétés), à l'aide de listes déroulantes, de calculs automatiques (Illustration 8).

Les champs à renseigner concernent les caractéristiques de l'aquifère, l'autorisation administrative, les caractéristiques de l'ouvrage, le suivi du niveau dynamique et le cas particulier du littoral.

Toute personne souhaitant définir des seuils de gestion dans un ouvrage souterrain exploité pour l'AEP (syndicat d'eau, collectivité, exploitant, ...) peut compléter ce tableau préalablement à la définition de seuils de gestion. Il peut choisir les équipements qui lui semblent pertinents (exemple : ne pas prendre en compte la première crépine si le forage est mal conçu et crépiné trop haut, ou ne pas tenir compte de la première arrivée d'eau si son débit est très faible).

Les valeurs sont à renseigner en **profondeur par rapport au sol** et une conversion automatique en m NGF est effectuée dans la colonne de droite si l'altitude du sol au droit de l'ouvrage est renseignée. Le BRGM a été décidé de privilégier des valeurs en profondeur par rapport au sol et non en profondeur par rapport à un repère car les repères de mesure peuvent changer entre le moment où le forage est réalisé (coupe géologique et technique) et l'équipement de l'ouvrage puis pendant son exploitation. Un tableau de conversion de la profondeur par rapport au repère de mesure en profondeur par rapport au sol a été intégrée à la feuille de calcul.

	Donnée indispensable	Valeur (profondeur par rapport au sol en m)	Valeur (m NGF)
<b>Caractéristiques aquifère</b>	Type d'aquifère	x	
	Type de nappe	x	
	Profondeur du toit de la nappe ( <i>pour nappe captive</i> )		NR
	Profondeur du substratum de la nappe ( <i>pour sédimentaire/alluvial</i> )		NR
<b>Autorisation administrative</b>	1- Seuil fixé par l'arrêté d'autorisation		NR
<b>Caractéristiques ouvrage</b>	Type d'ouvrage	x	
	Altitude du sol au droit de l'ouvrage (m NGF)		
	Ouvrage nivelé		
	Description du point nivelé		
	Profondeur de l'ouvrage		
	Hauteur du repère de mesure par rapport au sol	x	
	Description du repère de mesure		
	2- Profondeur début crépine (tubage) ou drain ou barbacane	x	NR
	3- Profondeur 1ère arrivée d'eau non occultée sous cimentation ( <i>pour socle</i> )		NR
4- Profondeur crépine de la pompe	x	NR	
Profondeur du trop-plein ( <i>pour puits</i> )		NR	
<b>Suivi niveau dynamique</b>	Existence chroniques de niveau (pas de temps journalier)	x	
	Période de suivi		
	Unité des chroniques de niveau	x	
	Fiabilité de la chronique (mesures manuelles, dérive, vérification unité de mesure...)	x	
	Profondeur de la sonde de mesure	x	NR
	Nature du repère de mesure de la sonde ( <i>si différent pour la sonde</i> )		
	Profondeur du repère de mesure par rapport au sol		NR
	Type de sonde de mesure / précision (gamme de mesure)		
	Niveau maximum observé (niveau statique)	x	NR
	Date niveau maximum		
Niveau dynamique minimum observé	x	NR	
Hauteur colonne d'eau maximale ( <i>pour sédimentaire</i> )	automatique	/	
<b>Cas particulier littoral</b>	Secteur vulnérable aux intrusions salines		
	Profondeur théorique biseau salé	automatique	Sans objet

Niveau dynamique minimum admissible = seuil de rupture	automatique	0.00	NR
Comparaison au niveau minimum observé		OK	
Comparaison position sonde de mesure		OK	
Critère(s) limitant(s)			
Possibilité de modifier le seuil minimum (pompe, sonde, arrêté)			
Informations manquantes pour le calcul du niveau minimum		Profondeur début crépine/drain/barbacane - Profondeur crépine pompe - Seuil fixé par arrêté	

Illustration 8 : Grille à compléter par les syndicats d'eau pour fixer le niveau minimum admissible dans l'ouvrage

Il faut noter que le niveau minimum observé dans l'ouvrage n'est pas toujours connu avec précision si la sonde de mesure est mal positionnée dans l'ouvrage (trop haut dans l'ouvrage par

exemple) ou si sa position est mal connue. La comparaison de ce niveau minimum observé avec le seuil de rupture n'est donc pas toujours précise.

Dans tous les cas, avant de compléter ce tableau, le BRGM recommande de s'assurer avec l'exploitant que la chronique de niveau est fiable (en réalisant une mesure piézométrique manuelle pour la comparer à la mesure de la sonde automatique) et de nettoyer la chronique en supprimant les valeurs aberrantes (altitude supérieure à l'altitude de l'ouvrage lors du retrait de la sonde, ...).

Lorsque les données indispensables ont été complétées, la feuille de calcul fournit plusieurs résultats automatiquement (cases grisées en bas de la feuille) :

- niveau dynamique minimum admissible = seuil de rupture : niveau minimum à ne pas franchir ;
- comparaison au niveau minimum observé : indique si le niveau minimum observé dans l'ouvrage est plus bas que le niveau dynamique minimum admissible calculé ;
- comparaison à la position de la sonde de mesure : indique si la sonde est bien positionnée dans l'ouvrage ou si elle est au-dessus du niveau minimum admissible (elle doit dans ce cas être approfondie pour pouvoir servir d'alerte jusqu'au niveau minimum admissible) ;
- informations manquantes pour le calcul du niveau minimum parmi les informations suivantes : profondeur du début de la crépine ou du drain ou des barbacanes, profondeur de la crépine de la pompe, seuil fixé par l'arrêté préfectoral.

Deux autres informations peuvent être complétées par l'utilisateur :

- critère(s) limitant(s) : indiquer quel est l'élément correspondant au niveau minimum admissible (pompe, crépine/drain/barbacane, seuil réglementaire, épaisseur dénoyée de l'aquifère libre, toit de la nappe captive) ;
- possibilité de modifier le seuil minimum (pompe, sonde, arrêté) : indiquer si le critère limitant est modifiable (on peut envisager d'approfondir la pompe si elle constitue le critère limitant et que la conception d'ouvrage le permet ou de demander la modification du seuil fixé par l'arrêté d'autorisation si sa pertinence est remise en cause).

Des informations complémentaires concernant le mode d'exploitation de l'ouvrage peuvent être renseignées en-dessous du tableau (Illustration 9) :

- l'utilisateur peut indiquer si les crépines ou les arrivées d'eau sont souvent dénoyées (afin de vérifier si ce critère est important ou pas à prendre en compte dans le calcul du niveau minimum admissible, en fonction de l'impact de ce dénoyage sur l'exploitation du forage),
- s'il existe une électrode de coupure et/ou des seuils de vigilance et d'alerte fixés par l'exploitant (les seuils qui seront déterminés par la suite devront être cohérents avec ceux de l'exploitant),
- l'existence d'autres informations permettant de réfléchir aux seuils, en cas de données manquantes dans la grille précédemment remplie (chroniques de volumes, essai par palier).

Le mode d'exploitation de l'ouvrage ne devrait pas entrer en compte pour la détermination des seuils mais il est tout de même important de le prendre en considération, pour vérifier l'adéquation des seuils avec l'exploitation actuelle de l'ouvrage.

<b>Mode d'exploitation de l'ouvrage</b>	Dénoyage fréquent des crépines
	Dénoyage fréquent des arrivées d'eau
	Existence de seuils exploitant
	Seuil de vigilance exploitant
	Seuil d'alerte exploitant
	Profondeur électrode coupure
	Existence d'un variateur de débit de la pompe
	Périodicité changement de pompe
	Existence de chroniques de volumes pompés / distribués
	Existence d'un essai de pompage par paliers (date)
	Rabattement critique (correspondant au débit critique)
	Exploitation habituelle des ouvrages du champ captant (alternance, simultané, arrêt, saison, ...)

*Illustration 9 : Informations complémentaires à renseigner*

## 4. Propositions de méthodes pour définir des seuils de gestion

### 4.1. QU'EST-CE QU'UN SEUIL DE GESTION ?

A partir du niveau minimum admissible défini et pour répondre au besoin des hydrogéologues du pôle des syndicats départementaux d'eau potable du grand Ouest de développer une méthode simple à mettre en œuvre leur permettant de relier les niveaux piézométriques observés dans les ouvrages exploités à des éventuelles difficultés de pompage. Il s'agit de **définir des seuils pour garantir l'exploitation des ouvrages AEP, sous la forme d'un seuil de vigilance et d'un seuil d'alerte**. Il s'agit de deux niveaux de seuil : le franchissement du premier, le seuil de vigilance, va entraîner une première série de mesures pour éviter la rupture d'approvisionnement ; le franchissement du deuxième, le seuil d'alerte, déclenchera des mesures complémentaires, à définir par les exploitants.

**Il est proposé de définir des seuils idéaux**, si toutes les informations nécessaires à leur définition sont connues ou bien de définir des seuils par défaut à préciser plus tard quand davantage de données auront été acquises.

Comme présenté précédemment (cf. 2.1), l'analyse statistique des chroniques piézométriques d'un ouvrage AEP intègre à la fois des fluctuations naturelles de la nappe et les influences anthropiques liées à l'exploitation de l'ouvrage, ce qui pose problème quant à la signification des fréquences de retour des événements. **Dans le cadre de cette étude, il a donc été décidé de raisonner en termes de lame d'eau exploitable, afin de pouvoir déterminer l'état de la ressource par rapport à un niveau plancher (niveau minimum admissible - Illustration 10).**

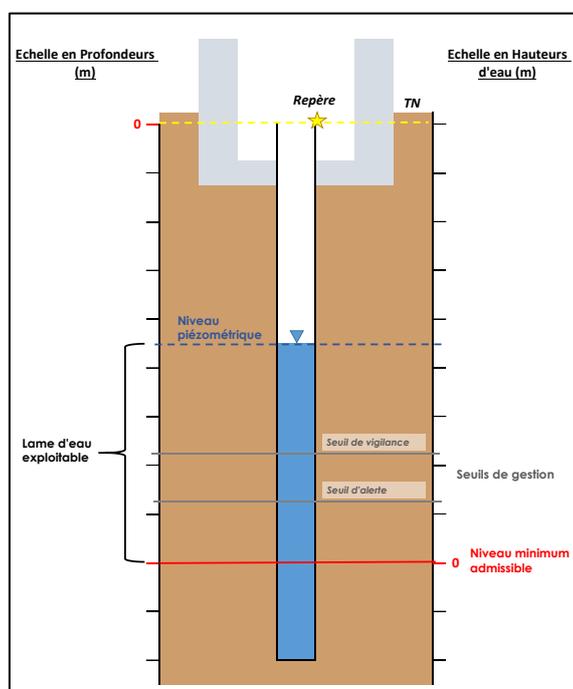


Illustration 10 : Représentation schématique des notions de «niveau minimum admissible», de «seuils de gestion», de «lame d'eau»

Suite aux avis recueillis lors des réunions de travail avec les hydrogéologues du pôle des syndicats départementaux d'eau potable du grand Ouest, les syndicats d'eau souhaiteraient également :

- pouvoir être alertés sur une perte de productivité à une certaine échéance ;
- obtenir une information sur un volume restant ou sur un nombre de jours avant rupture.

Ces éléments, nécessitant une analyse plus poussée des chroniques et d'établir des prévisions, ne font pas l'objet de la présente étude.

**Quatre méthodes de détermination des seuils de gestion sont décrites dans le chapitre suivant :**

- taux de remplissage entre le niveau minimum admissible et le niveau maximum,
- prise en compte du rabattement,
- prise en compte de la baisse de productivité estivale,
- analyse des données de volume.

## 4.2. DESCRIPTION DES METHODES

### 4.2.1. Taux de remplissage entre le niveau minimum admissible et le niveau maximum

#### a) Principe

**Le SMG Eau 35 a proposé de fixer des seuils entre le niveau minimum permettant de prélever dans l'ouvrage sans conséquence négative et le niveau maximum connu dans l'ouvrage.** Le niveau minimum à prendre en compte doit être le niveau minimum admissible précédemment défini et non le niveau minimum connu dans l'ouvrage, car l'atteinte du niveau minimum connu n'engendre pas forcément de problème d'exploitation.

Il a été décidé d'appeler **zone de battement d'exploitation**, la zone comprise entre le niveau statique maximal connu dans l'ouvrage et le niveau minimum admissible.

On peut considérer que le niveau dynamique dans l'ouvrage varie entre 0% (nappe vide, plus exploitable, seuil de rupture atteint, correspondant au niveau minimum admissible) et 100% (nappe pleine, exploitabilité maximale).

Le BRGM propose de fixer deux **seuils** par rapport à cette zone de battement d'exploitation (Illustration 11), correspondant à 50% de remplissage de cette zone (seuil de vigilance) et à 30% de remplissage (seuil d'alerte). Ces seuils permettent d'indiquer quelle réserve en eau est encore disponible, en traduisant cette réserve sous forme de niveau.

Faute d'historique de chronique de suivi piézométrique dans l'ouvrage, ces pourcentages à 30 et 50% peuvent être fixés arbitrairement dans un premier temps (vigilance lorsque la moitié du « réservoir » est vide et alerte lorsque les deux-tiers sont vides). Ces seuils sont à définir et à ajuster pour chaque ouvrage en fonction du contexte hydrogéologique et de l'impact du franchissement de ces seuils sur la productivité des ouvrages. Ils peuvent être adaptés en mettant en parallèle l'historique des chroniques piézométriques et les difficultés de production sur l'ouvrage ou pourront être adaptés ultérieurement si l'historique est actuellement insuffisant : la pertinence des seuils pourra être évaluée en fonction des problèmes d'exploitation rencontrés sur l'ouvrage à l'avenir.

**Ainsi, les seuils de gestion fixés selon ce procédé ont vocation à donner une indication sur l'état quantitatif de la ressource sollicitée.**

Les écueils identifiés à ce stade sont les suivants :

- Dans un ouvrage présentant de fortes pertes de charge, il est probable que le seuil à 50 % soit fréquemment dépassé.
- Lors des différentes réunions de travail avec les syndicats départementaux d'eau potable du grand Ouest, il a été souligné l'importance de la date de franchissement du seuil : un franchissement d'un seuil en mars n'aura pas le même impact sur la production qu'un franchissement de ce même seuil en septembre.

Cette méthodologie a été testée sur 3 ouvrages d'Ile-et-Vilaine (voir chapitre 5).

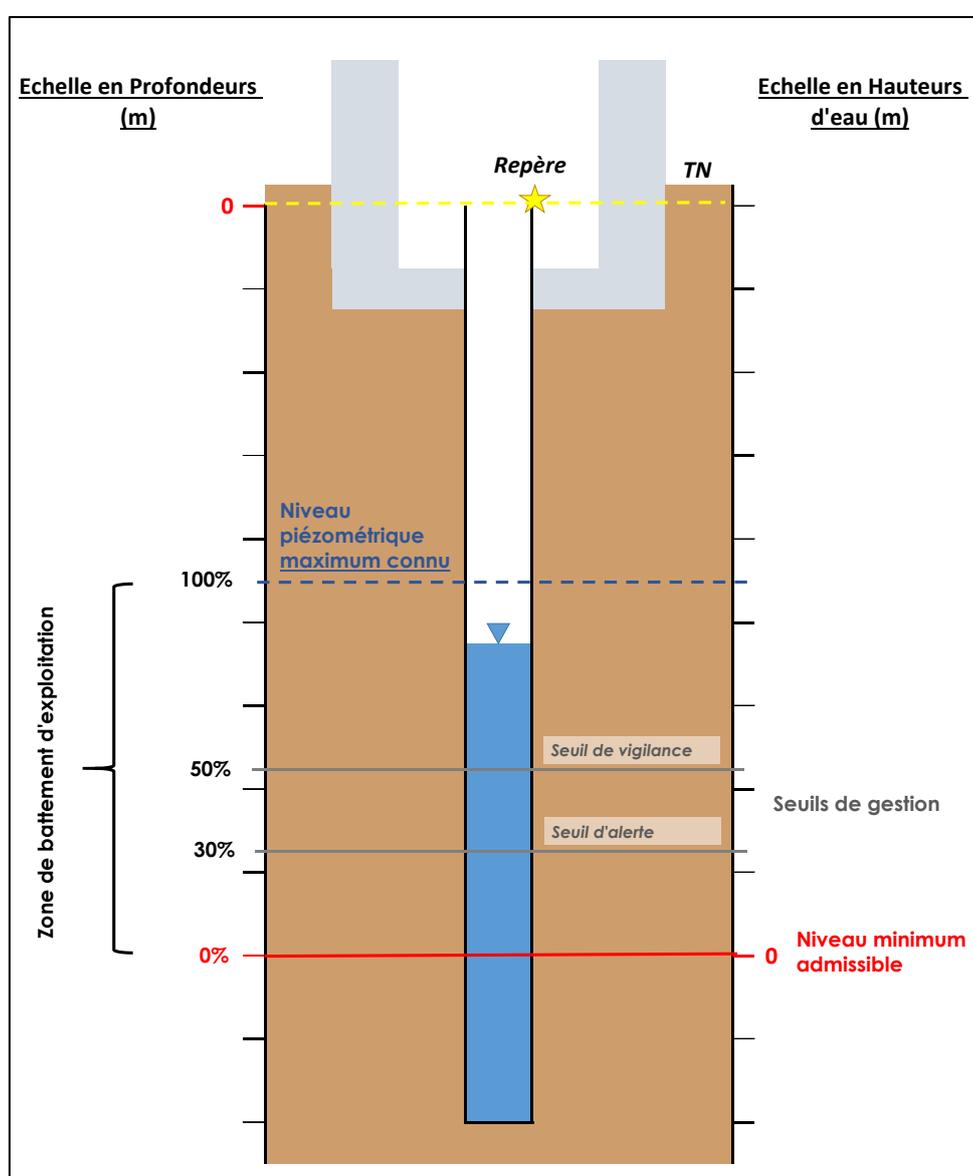


Illustration 11 : Coupe théorique et seuils de gestion : vigilance (50% de la zone de battement) et d'alerte (30%)

b) Outil de calcul

Ces seuils sont calculés automatiquement dans le 2<sup>ème</sup> onglet de la feuille Excel SeauS\_seuils\_gestion\_AEP.xlsx, à partir des informations renseignées dans la grille de détermination du niveau minimum admissible (Illustration 12, encadré rouge en haut) ou bien l'utilisateur peut choisir un autre seuil de rupture si le niveau minimum admissible calculé précédemment ne lui paraît pas pertinent ainsi que des valeurs autres que 30 et 50% pour fixer les seuils (Illustration 12, encadré gris en bas). Ce tableau permet également de calculer le taux de remplissage actuel en fonction du niveau dynamique actuel.

Calcul automatique des seuils		Pourcentage de remplissage	Profondeur par rapport au sol (en m)	Altitude (m NGF)	Hauteur d'eau (m au-dessus de la sonde)
Niveau statique maximum	Automatique		0.00	NR	NR
Seuil de rupture	Automatique	0%	0.00	30.00	NR
Hauteur de la zone de battement d'exploitation	Automatique		0.00		
Seuil d'alerte	Automatique	30%	0.00	30	NR
Seuil de vigilance	Automatique	50%	0.00	30	NR
Niveau dynamique actuel	A renseigner				
Taux de remplissage actuel	Automatique	NR			

Autre calcul des seuils		Pourcentage de remplissage	Profondeur par rapport au sol (en m)	Altitude (m NGF)	Hauteur d'eau (m au-dessus de la sonde)
<i>Possibilité d'indiquer un seuil de rupture différent si le niveau dynamique minimum admissible calculé ne semble pas pertinent</i>					
<i>Possibilité d'indiquer des % de remplissage différents pour fixer les seuils de vigilance et d'alerte</i>					
Niveau statique maximum	Automatique		0.00	NR	NR
Seuil de rupture	A renseigner	0%		30.00	NR
Hauteur de la zone de battement d'exploitation	Automatique		0.00		
Seuil d'alerte	% à renseigner	0%	0.00	30	NR
Seuil de vigilance	% à renseigner	0%	0.00	30	NR
Niveau dynamique actuel	A renseigner				
Taux de remplissage actuel	Automatique	NR			

Illustration 12 : Calculs automatiques des seuils. En haut : seuils à 50% et 30%, en bas : possibilité de choisir le % de remplissage

#### 4.2.2. Prise en compte des rabattements

a) Méthode proposée par le Syndicat départemental de l'eau de l'Orne

- Principe

**Dans le cadre de cette étude, le Syndicat départemental de l'eau de l'Orne (SDE 61) a proposé une méthode de définition des seuils prenant en compte le rabattement réel induit par l'exploitation de l'ouvrage.**

Deux possibilités ont été testées par le SDE 61 pour fixer une plage de valeurs 0% (nappe vide) – 100% (nappe pleine) :

- A partir du niveau statique : soit entre 2 niveaux statiques (Illustration 13 à gauche)
  - o nappe « pleine », indicateur à 100 % = niveau statique maximum de la chronique,

- nappe « vide », indicateur à 0 % = niveau statique correspondant au niveau dynamique minimum admissible lorsqu'on lui applique le rabattement considéré (soit : niveau dynamique minimum admissible + rabattement).

Ce niveau correspond au niveau statique pour lequel une mise en production n'est plus permise car elle engendrera le dépassement du seuil de rupture.

- A partir du niveau dynamique : soit entre 2 niveaux dynamiques (Illustration 13 à droite)
  - nappe « pleine », indicateur à 100 % = niveau dynamique correspondant au niveau statique maximum de la chronique lorsqu'on lui ôte le rabattement considéré (soit : niveau statique maximum de la chronique – rabattement).

Ce niveau correspond au niveau dynamique lorsque la nappe est à son plus haut niveau connu en statique,

  - nappe « vide », indicateur à 0% = niveau dynamique minimum admissible.

*Avec rabattement = maximum de la différence [maximum journalier – minimum journalier]*

Avec cette méthode, l'indicateur est calé sur une gamme 0-100% fixée entre 2 niveaux dynamiques (Illustration 13 à droite) ou 2 niveaux statiques (Illustration 13 à gauche) et non entre un niveau statique (niveau statique maximum de la chronique) et un niveau dynamique (niveau minimum admissible), comme dans la méthode du taux de remplissage présentée en section 4.2.1.

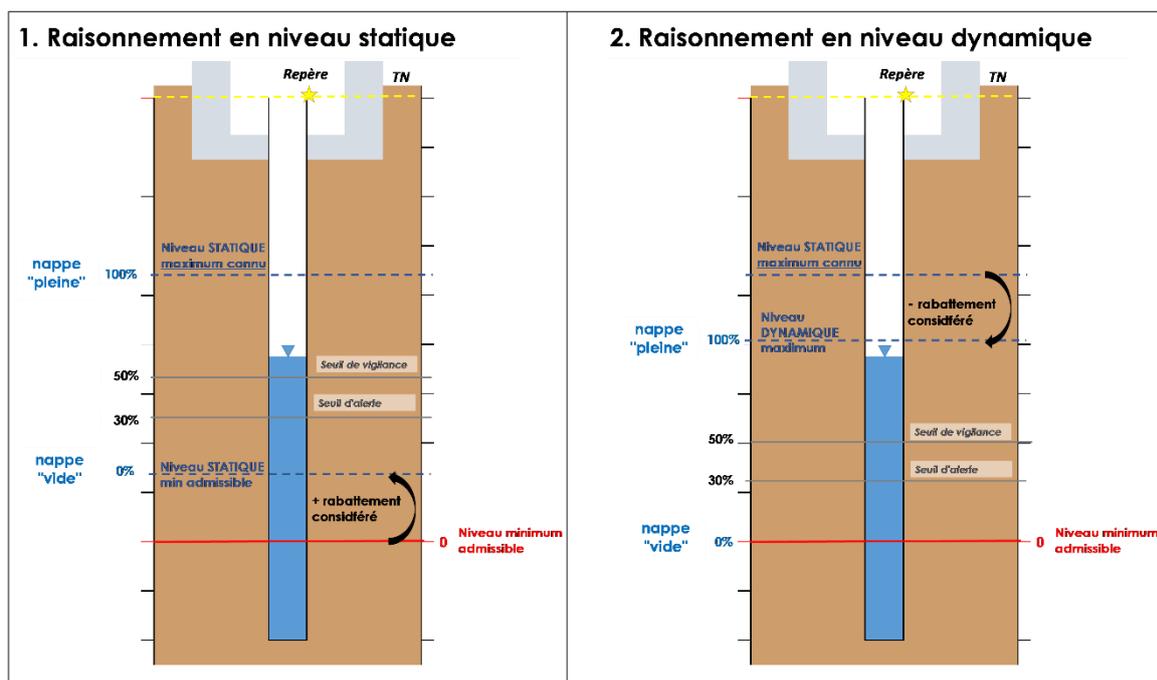


Illustration 13 : Gamme de valeurs 0% - 100% : raisonnement en niveau statique (à gauche) ou dynamique (à droite)

b) Test de la méthode proposée et avis

Pour tester la méthode, le SDE 61 a tenté de définir des seuils de vigilance (50%) et d'alerte (30%) sur un ouvrage, en fixant la gamme 0-100% entre 2 niveaux statiques (Illustration 14). En

parallèle, le BRGM a tenté de définir des seuils sur ce même ouvrage à partir de la méthode précédemment décrite en section 4.2.1 et visualisable en Illustration 15), prenant en compte le battement d'exploitation.

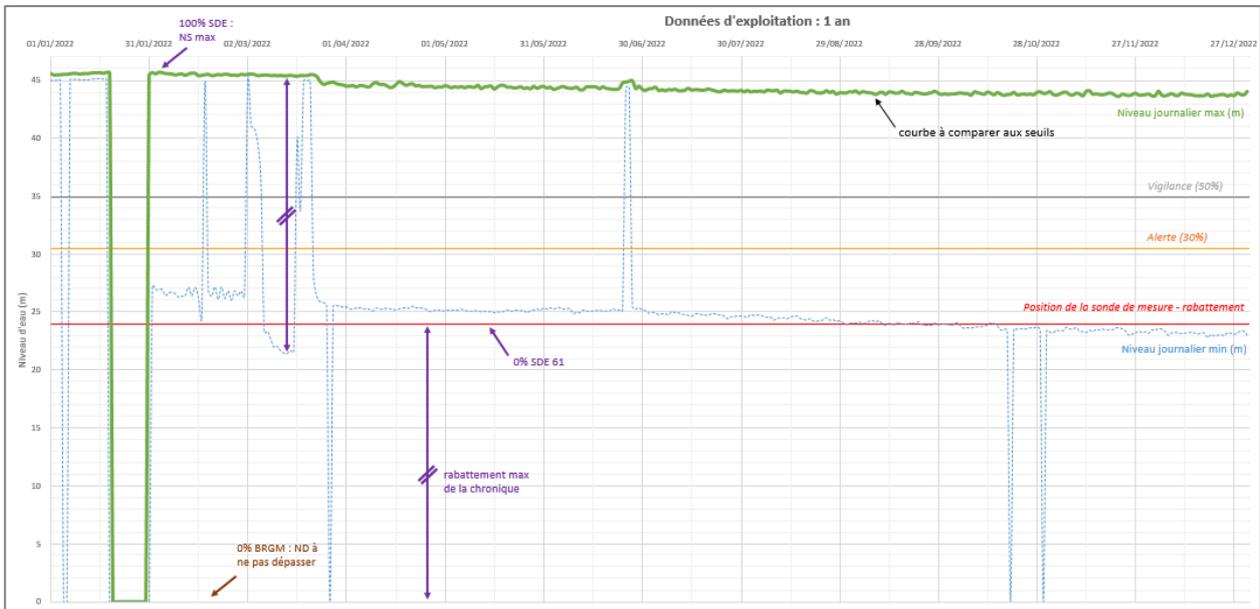


Illustration 14 : Proposition de seuils avec la méthode proposée par le SDE 61 en niveau statique (source : SDE 61)

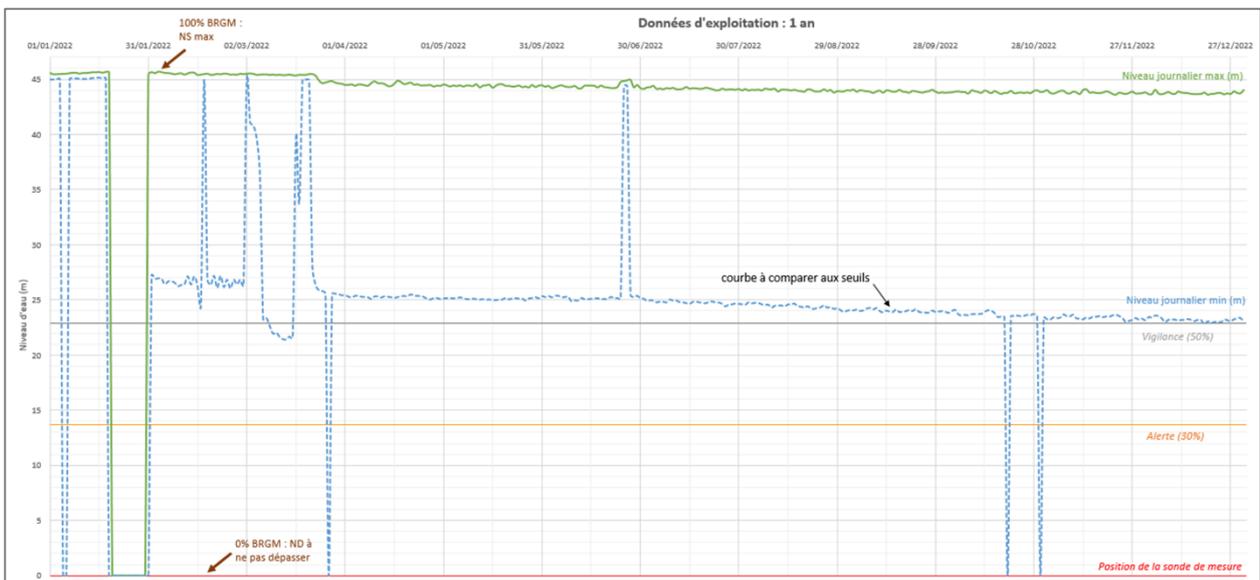


Illustration 15 : Proposition de seuils avec la méthode du battement d'exploitation proposée par le BRGM (source : SDE 61)

Les seuils étant calculés en niveau statique (NS) pour le SDE 61 et en niveau dynamique (ND) pour le BRGM, ils ne sont pas directement comparables.

Ainsi, les écueils identifiés à ce stade par le BRGM pour la méthode prenant en compte les rabattements proposée par le SDE 61 sont les suivants :

- le rabattement peut évoluer au cours du temps et indiquer un colmatage,
- le niveau dynamique pour un niveau statique donné peut changer en fonction du débit (nombreux ouvrages équipés de variateurs de débit), de l'état de l'ouvrage (colmatage) et de l'état de la nappe.

A noter que les problèmes d'exploitation apparaissent en régime dynamique. C'est pourquoi le SDE61 et le BRGM s'accordent pour préconiser la fixation des seuils sur la base d'un raisonnement en niveau dynamique et non en niveau statique. Aussi, il convient de porter une attention particulière à la courbe à comparer aux seuils selon le type de raisonnement choisi car le niveau dynamique minimum observé est un niveau qui ne pose pas forcément problème pour l'exploitation.

**Ainsi, la méthode proposée par le SDE 61 prenant en compte les rabattements, compliquée à définir et à calculer, apparaît inadaptée à la demande du SMG Eau 35.**

#### 4.2.3. Prise en compte d'une baisse de productivité estivale

*Dans le cadre de cette étude, le BRGM a proposé une méthode de définition des seuils prenant en compte la baisse de productivité estivale.*

##### a) Principe

**Le lien entre niveau piézométrique et disponibilité de la ressource a été mis en évidence dans le cadre du projet Eau pour demain (Boisson et al., 2023).**

**Une baisse de productivité estivale est parfois observée sur des puits, en-dessous d'un certain niveau piézométrique (Illustration 16) : ce niveau pourrait être utilisé comme seuil de vigilance.**

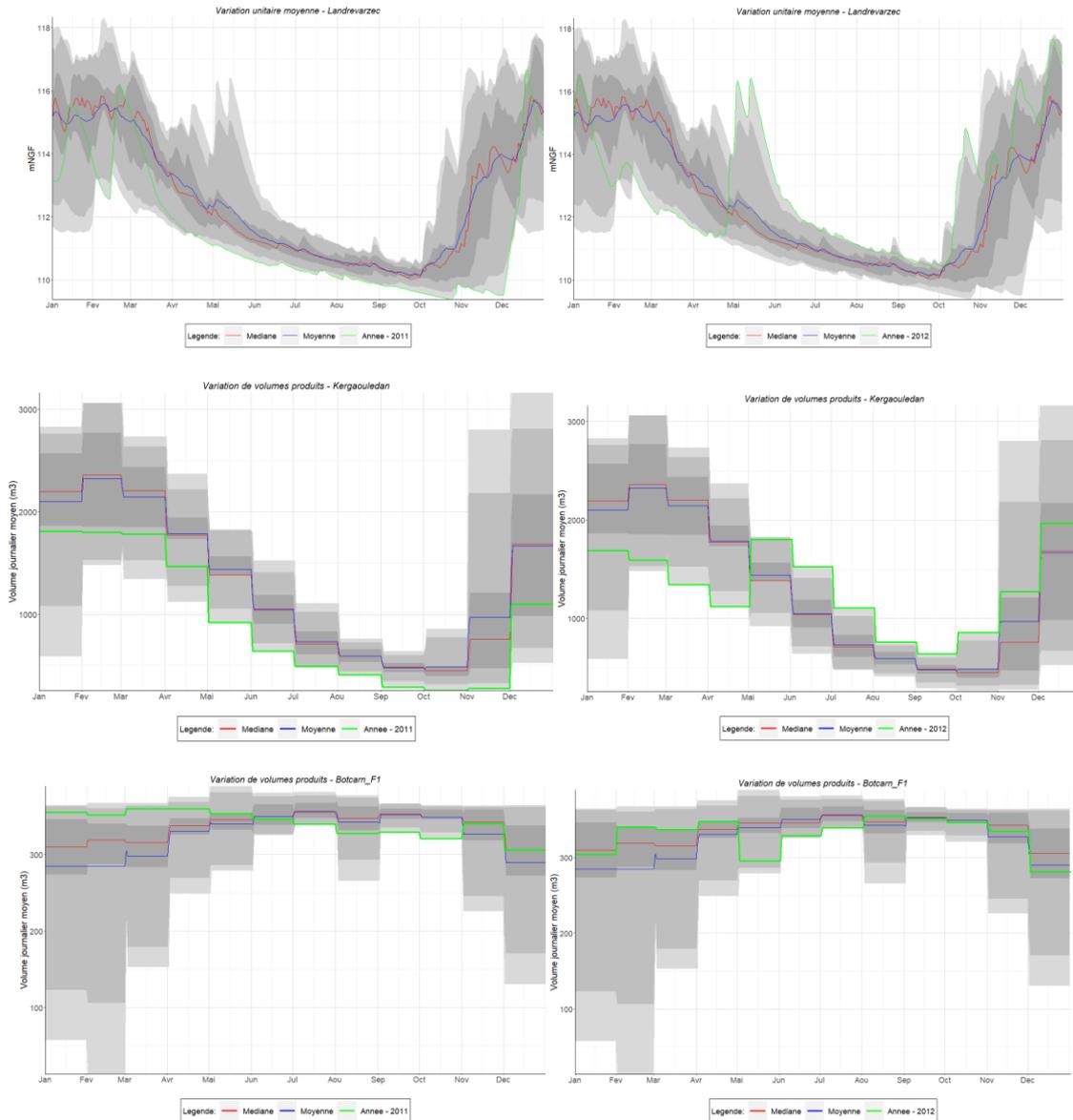
L'illustration 16 compare les niveaux piézométriques annuels (en haut) et les volumes journaliers moyens produits par sites de différents types (puits au milieu et forage en bas), sur la période 2011-2020. L'année 2011 représente l'année la plus sèche de la série temporelle et l'année 2012 l'année la plus humide. Les ressources de proche sub-surface (puits de Kergaouedan) connaissent une forte baisse de production l'été, en année sèche (année 2011, à gauche sur l'illustration 16) alors que la production sur le forage (Botcarn F1) reste relativement constante au cours de l'année et semble moins impactée que le puits en année sèche.

Cette baisse de productivité serait également observée sur certains forages du Morbihan d'après le syndicat Eau du Morbihan.

##### b) Mise en application

**Cette baisse de productivité n'étant pas observée dans l'ensemble des ouvrages AEP, elle ne peut pas constituer une méthode unique de détermination de seuils de gestion, objet de ce présent rapport, mais elle pourra être analysée par les syndicats d'eau sur les ouvrages concernés.**

## Méthodologie pour la mise en place d'un système de suivi et d'alerte des eaux souterraines exploitées pour l'eau potable en Ile-et-Vilaine



*Illustration 16 : Comparaison entre les niveaux piézométriques annuels et les productions par site de différents types. L'année 2011 représente l'année la plus sèche de la série temporelle (2011-2020) et l'année 2012 l'année la plus humide. De haut en bas sont présentés : les niveaux au piézomètre de Landrévarzec, la production de Kergaouledan (puits) et de Botcarn F1 (forage). Les lignes rouges et bleues représentent respectivement les médianes et moyennes mensuelles et les lignes vertes la production de l'année mentionnée (Boisson et al., 2023)*

### 4.2.4. Analyse des données de volumes

Faute de chroniques piézométriques suffisantes sur certains ouvrages, il semble intéressant d'analyser les chroniques de volume (cf. 3.1) ou de temps de pompage quotidien.

L'information sur le temps de pompage permettrait d'exclure de la chronique piézométrique les niveaux dynamiques lorsque le pompage est nul et d'exclure le niveau maximum journalier quand le pompage est continu. Cette information permettrait également de travailler sur la productivité (maximum journalier / débit).

De telles chroniques de volume ne sont actuellement pas disponibles en Ille-et-Vilaine (le débit indiqué dans les chroniques bancarisées est celui de la pompe, il ne s'agit que d'un débit moyen ou maximum journalier). Ces données ne peuvent donc pas être utilisées dans le cadre de cette étude.

#### 4.3. CONCLUSIONS SUR LES METHODES PROPOSEES

Plusieurs méthodes ont été identifiées dans le cadre de cette étude pour fixer des seuils de gestion sur les ouvrages AEP :

- taux de remplissage entre le niveau minimum admissible et le niveau maximum (SMG Eau 35 et BRGM),
- prise en compte des rabattements (SDE 61),
- baisse de productivité estivale (BRGM),
- analyse des données de volumes.

Compte-tenu des remarques formulées précédemment (sections 4.2.1 à 4.2.3) et des avantages et inconvénients de chaque méthode (Illustration 17), c'est la méthode du taux de remplissage qui a été retenue dans cette étude et qui a fait l'objet de test sur trois sites, présentés au chapitre suivant. Les autres méthodes pourront néanmoins être testées par les syndicats d'eau potable et un retour d'expérience pourra être envisagé ultérieurement.

Méthode	Avantages	Inconvénients
<b>Taux de remplissage</b>	Seuils fixés entre deux limites Indicateur de l'état quantitatif de la ressource Protection des équipements de production assurée	Seuils fixés à 30 et 50 % du remplissage de façon arbitraire À ajuster pour chaque ouvrage selon les difficultés de production connues
<b>Prise en compte des rabattements</b>	Seuils fixés entre deux limites (nappe "pleine" et nappe "vide") Prise en compte de la productivité de l'ouvrage Protection des équipements de production assurée	La valeur de rabattement considérée comme fixe pour cette méthode est en réalité variable dans le temps Méthode complexe à mettre en œuvre et à expliquer
<b>Baisse productivité estivale</b>	Prise en compte de la productivité Protection des équipements de production assurée	Pas applicable partout car baisse de productivité pas visible dans tous les ouvrages
<b>Analyse des données de volume</b>	Prise en compte de la productivité	<i>Non testée dans le cadre de cette étude (faute de données)</i>

*Illustration 17 : Avantages et inconvénients des méthodes proposées pour fixer des seuils de gestion*



## 5. Validation de la définition de seuils basée sur le taux de remplissage

### 5.1. METHODE DE VALIDATION : TEST SUR 3 SITES

Afin de valider la méthode de définition des seuils basée sur le taux de remplissage, des visites ont été réalisées conjointement par le SMG Eau 35 et le BRGM sur trois sites de captages souterrains variés (deux forages et un puits), situés dans des contextes géologiques distincts, avec des exploitants différents.

Les trois sites visités, choisis par le SMG Eau 35 en fonction des données disponibles, sont les suivants (Illustration 18) :

- Un forage exploitant la nappe des faluns, exploité par Veolia à Médréac, le 09/02/2023,
- Un forage situé dans le socle, exploité par SAUR à Plesder, le 03/03/2023,
- Un puits situé dans le socle, exploité par SAUR à Balazé, le 03/03/2023.

Commune	MEDREAC	PLESDER	BALAZE
Nom ouvrage	Bouexière	La Ferrière FE5	La Guérinière
Type d'ouvrage	forage	forage	puits à barbacanes
Aquifère	sédimentaire (faluns)	socle (altéré + fissuré) : cornéennes	socle (colluvions Grès armoricains)
Ouvrage nivelé	non	oui (2016)	oui
Exploitant	VEOLIA	SAUR	SAUR
Code BSS	BSS000VRRD	BSS000TNPB	BSS000XTKD

Illustration 18 : Caractéristiques des 3 ouvrages visités

L'objectif de ces visites était de confirmer ou compléter les informations à disposition du SMG 35 sur ces ouvrages (et bancarisées dans la base seQoya), de vérifier la position des différents équipements, de contrôler la fiabilité des chroniques de niveau par la réalisation de mesures manuelles et enfin de discuter de la pertinence des seuils avec les exploitants.

Plusieurs problèmes sont apparus lors de ces visites :

- position exacte de la sonde de suivi des niveaux souvent méconnue : intérêt de mesurer la longueur du câble de la sonde,
- imprécision des sondes de suivi des niveaux (30 cm pour une sonde 0-30 m) et absence de reparamétrage en cas de dérive,
- entre différents diagnostics caméra, les cotes des équipements relevées peuvent être différentes (importance de connaître le repère de mesure),
- la valeur de niveau lisible sur la supervision est parfois convertie en altitude et il n'est pas possible de revenir aux données brutes en hauteur d'eau si l'automaticien n'est pas présent sur site.

Ces différents problèmes mettent en évidence l'importance de la définition précise du repère de mesure et l'utilité du diagnostic caméra qui permet de préciser la position des équipements des ouvrages par rapport à la coupe technique connue.

Les chapitres suivants présentent les visites réalisées sur chacun des trois sites test, avec pour chacun la description de l'ouvrage, le compte-rendu de la visite, l'analyse du suivi disponible et enfin un test de définition de seuils de gestion.

## 5.2. MEDREAC – FORAGE DE LA BOUEXIERE

### 5.2.1. Description de l'ouvrage

Le forage de La Bouexière (02816X0019/P - BSS000VRRD) est situé à 1,7 km au sud-est du bourg de Médréac. Il est implanté dans une dépression qui correspondrait à une ancienne exploitation de faluns (Boisson et Lucassou, 2020). Il a été réalisé en 1962. D'une profondeur de 35 m, il recoupe principalement des faluns miocènes (Illustration 19 à Illustration 23), sur environ 30 m d'épaisseur. Situé à 66 m d'altitude environ, cet ouvrage n'a pas été nivelé. Il est exploité par la Communauté de Communes de Saint-Méen Montauban.

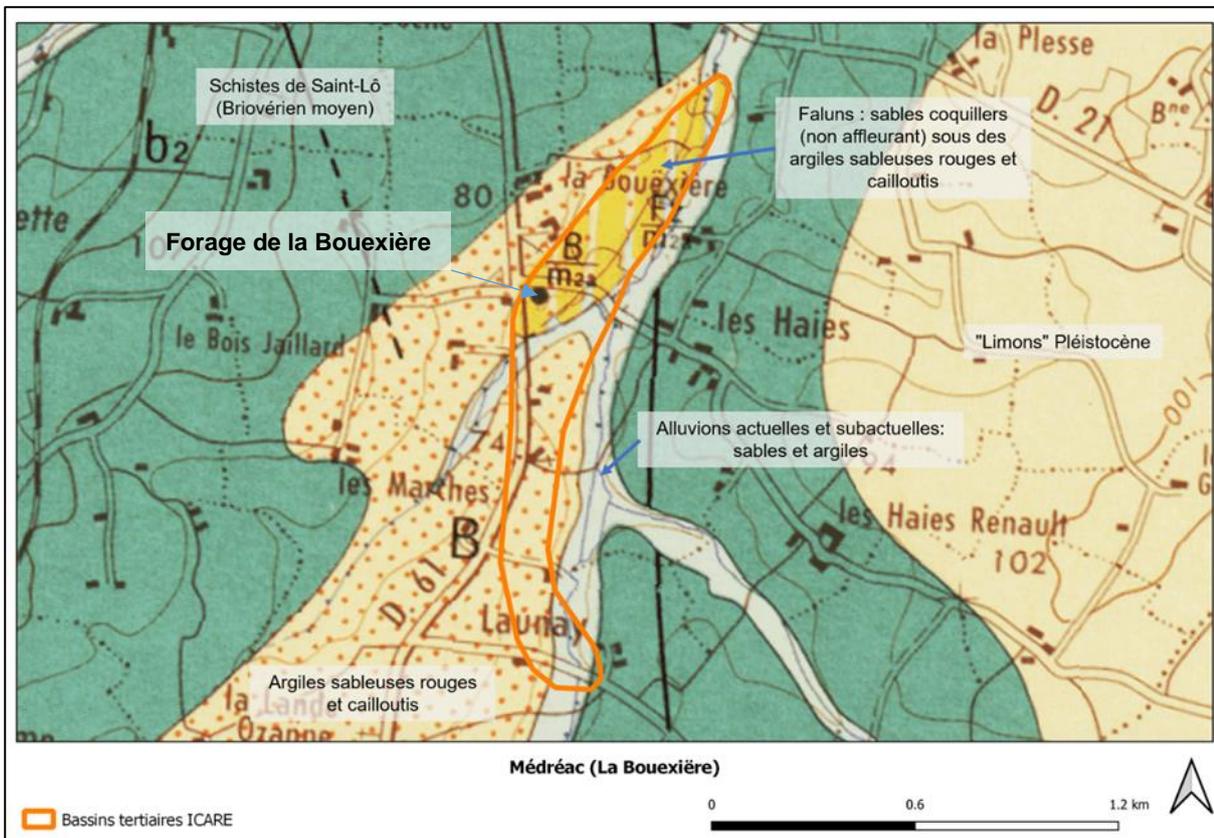


Illustration 19 : Bassin de Médréac - Extrait de la carte géologique 1/50 000 (feuille n°281 Caulnes, Paris et al., 1977)

Méthodologie pour la mise en place d'un système de suivi et d'alerte des eaux souterraines exploitées pour l'eau potable en Ille-et-Vilaine

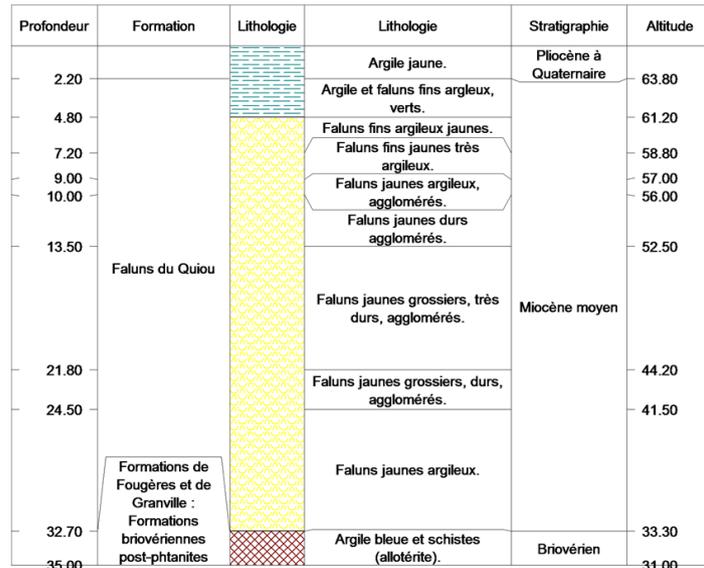


Illustration 20 : Coupe géologique du forage de la Bouexière - BSS000VRRD (Banque de données du Sous-Sol)

Méthodologie pour la mise en place d'un système de suivi et d'alerte des eaux souterraines exploitées pour l'eau potable en Ile-et-Vilaine

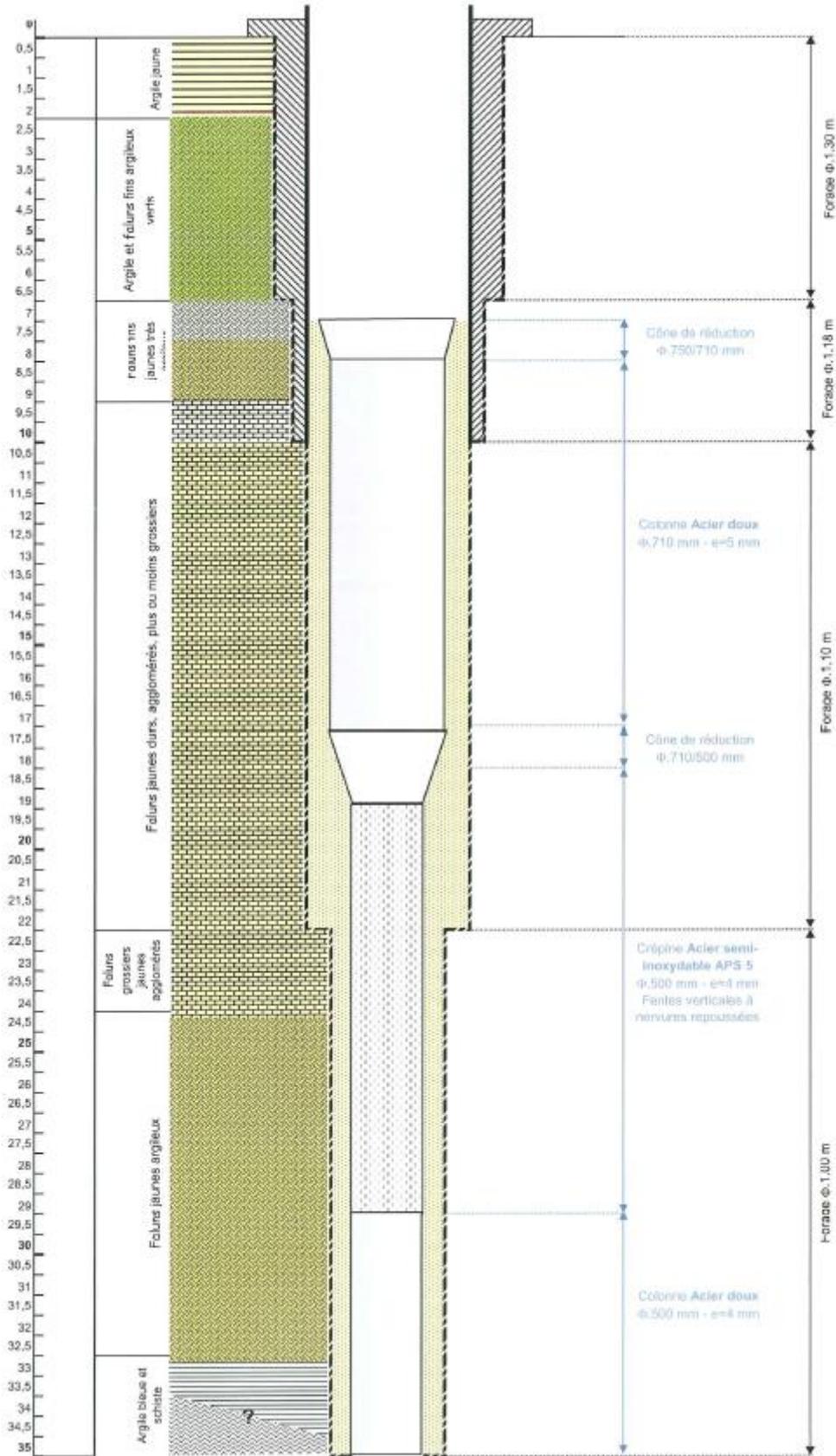


Illustration 21 : Coupe géologique et technique du forage de la Bouexière (Véolia Eau, 2008, d'après le rapport BRGM 78-SGN-267-BPL, 1978)

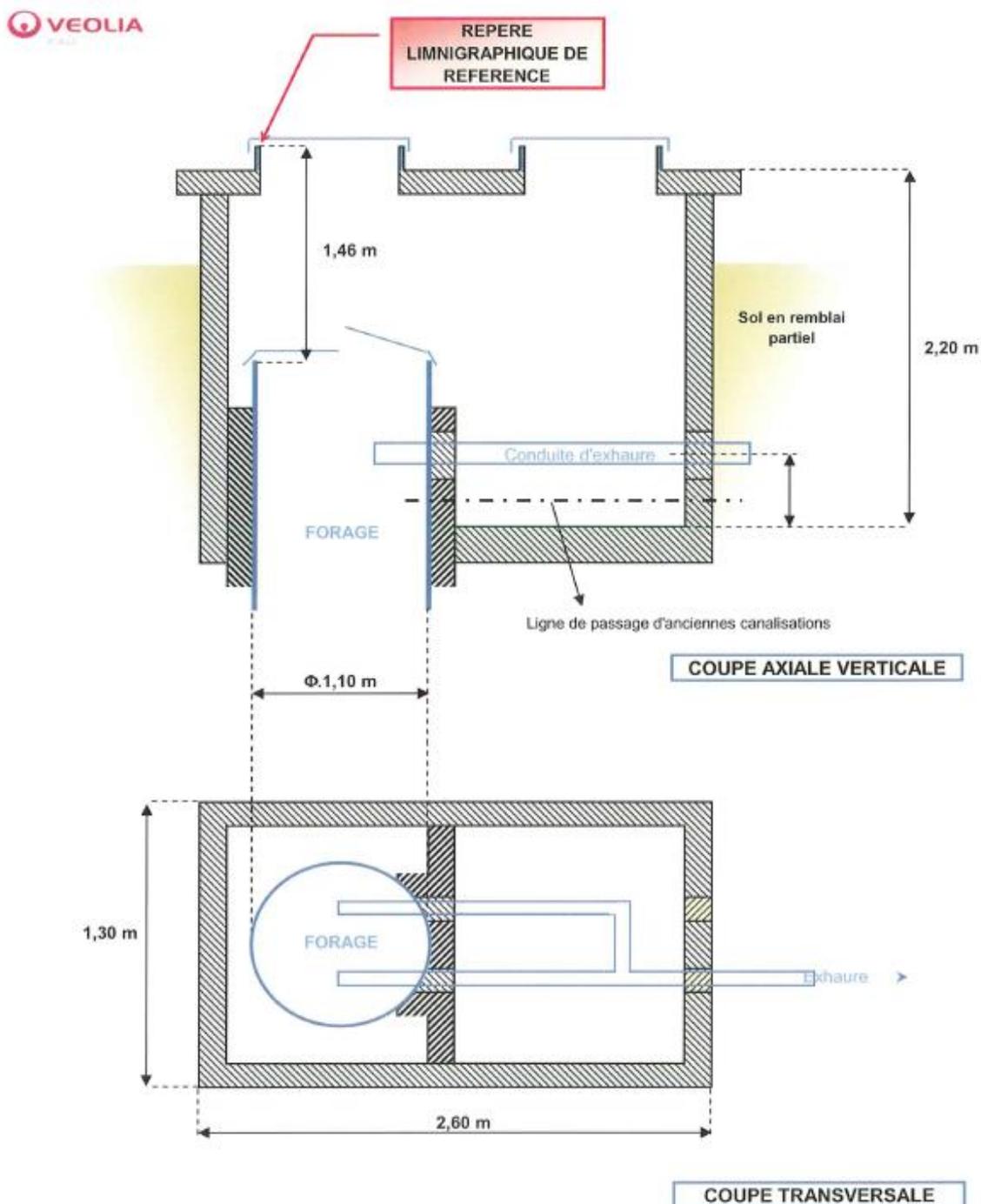


Illustration 22 : Coupe technique synthétique de l'avant-puits du forage de la Bouexière (Véolia Eau, 2008)

Un diagnostic de l'ouvrage a été réalisé par l'entreprise GHI du 07 au 09/02/2023 : diagnostic caméra, diagraphies (gamma-ray, température, conductivité, micromoulinet), essais de pompage par paliers. La visite de site réalisée par le SMG Eau 35 et le BRGM a eu lieu le 09/02/2023, à la fin des opérations de diagnostic, au moment où la pompe était remise en place dans l'ouvrage.



*Illustration 23 : Tête du forage de la Bouexière. La flèche jaune indique le repère de mesure (photographies BRGM - 09/02/2023)*

### 5.2.2. Compte-rendu de la visite de site

La visite du site a été réalisée le 09/02/2023 par le BRGM et le SMG Eau 35 en présence de trois employés de GHI (réalisant le diagnostic du site) et d'un technicien de Véolia (exploitant du captage).

- Connaissance de l'ouvrage

Le repère de mesure est le haut du tubage acier, au niveau du plancher de service dans la tête de l'ouvrage (Illustration 23).

Les coupes géologiques et techniques de l'ouvrage sont connues. **En revanche, les positions de la sonde de mesure et de la pompe sont connues de manière approximative** : la longueur du câble de la sonde n'a pu être mesurée lors de la visite (elle venait d'être réinstallée dans

l'ouvrage en même temps que la pompe et la colonne d'exhaure). La position de la sonde et celle de la pompe n'ont pas été relevées lors du diagnostic.

OUVRAGE	
Commune	MEDREAC
Nom de l'ouvrage	Bouexière
Type d'ouvrage	<input checked="" type="checkbox"/> forage <input type="checkbox"/> puits <input type="checkbox"/> source <input type="checkbox"/> drain
Code BSS	BSS000VRRD - 02816X0019/P
Code SISE-Eaux	035000225
Ouvrage nivelé	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non   Zsol estimé (BSS) = 66 mNGF
Connaissance	<input checked="" type="checkbox"/> coupe géologique <input checked="" type="checkbox"/> coupe technique
REPERE DE MESURE	
Description du repère	Margelle béton (fond chambre de pompage)
Position du repère (m/sol)	0,73
Cote du repère (m NGF)	65,27 m NGF (non nivelé)
Photo du repère	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
Repère matérialisé	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non
POMPE	
Références (marque et modèle)	2 pompes en alternance
Date d'installation	?
Diamètre (")	8
Variateur de débit :	
<input checked="" type="checkbox"/> oui :	
Débit d'exploitation min	100 m <sup>3</sup> /h pour [ ] m/HMT   avant nettoyage
Débit d'exploitation max	125 m <sup>3</sup> /h pour [ ] m/HMT
<input type="checkbox"/> non :	
Débit d'exploitation	[ ] m <sup>3</sup> /h pour [ ] m/HMT
Cote de la crépine de la pompe	14,2 m/repère   [ ] m NGF   60 cm au-dessus du bas de la pompe (Véolia), 13 à 15 m de prof. (GHI)
Cote de l'électrode de coupure	? m/repère   [ ] m NGF   juste au-dessus crépine pompe
Cote de l'électrode de reprise	[ ] m/repère   [ ] m NGF
Compteur volume / ouvrage	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
SONDE DE NIVEAU (capteur de pression)	
Références (marque et modèle)	Paratronic
Date d'installation	Pas changée récemment
Diamètre (mm)	
Cote de la sonde	13,2 m/repère   [ ] m NGF   non mesurée, 1 m au-dessus crépine pompe
Tube guide	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non
Plage de mesure (bar)	0-30 m
Type de sortie (mA)	4 - 20
Longueur du câble (m / repère)	non mesurée
Présence d'un repère sur le câble	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non
Valeurs enregistrées en	<input checked="" type="checkbox"/> hauteur d'eau / sonde <input type="checkbox"/> profondeur <input type="checkbox"/> cote NGF (altitude)   convertie en altitude pour envoi par Véolia <input type="checkbox"/> rabattement (déconseillé)
COLONNE D'EXHAURE (refoulement)	
Type de colonne	<input type="checkbox"/> souple <input type="checkbox"/> à bride <input checked="" type="checkbox"/> à raccords rapides <input type="checkbox"/> autre
Nature (acier, inox)	inox
Diamètre (mm)	150
Longueur totale (m)	
Pompe sortie, nettoyée et remise en place le 09/02/2023 (gain 25 m3/h)	

Illustration 24 : Fiche ouvrage complétée par le BRGM lors de la visite du 09/02/2023

Les données piézométriques sont acquises en hauteurs d'eau mais sont converties en altitude pour l'export des données et la bancarisation. **Or l'ouvrage n'a pas été nivelé et la position de la sonde n'est pas connue avec exactitude. La conversion effectuée ajoute donc des incertitudes aux mesures.**

*Le BRGM préconise de connaître avec précision la position de la sonde et de niveler l'ouvrage pour pouvoir effectuer cette conversion, sinon les mesures peuvent être comparées en relatif les unes par rapport aux autres mais pas par rapport à l'équipement de l'ouvrage.*

Il semble que l'exploitant ne dispose pas d'électrode de coupure dans l'ouvrage et n'ait pas défini de seuils de gestion.

D'autre part, on note une différence entre les valeurs fournies par GHI lors du diagnostic réalisé du 07 au 09/02/2023 et les mesures effectuées par le BRGM lors de la visite de terrain du 09/02/2023 : la dalle béton de la tête de l'ouvrage est située à 0,44 m par rapport au terrain naturel d'après GHI (Illustration 25) et à 0,49 m par rapport au sol d'après le BRGM (Illustration 26). Le sol étant en pente au niveau de la tête de forage, les mesures peuvent en effet être différentes selon les opérateurs.



Illustration 25 : Extrait du rapport de diagnostic GHI du 07/02/2023 (GHI, 2023)

Méthodologie pour la mise en place d'un système de suivi et d'alerte des eaux souterraines exploitées pour l'eau potable en Ile-et-Vilaine

	Nature début (TN, margelle béton, rebord)	Nature fin (TN, margelle béton, rebord tubage,...)	Profondeur mesurée	Altitude calculée ou nivelée	Source (pour les données nivelées)
SOL				66 m (calculée)	carte IGN
H2	margelle béton ext	rebord capot métal	0.245		
H1	margelle béton fond	rebord capot métal	1.465		
hr	margelle béton fond	haut tubage inox	0		
H3	sol	margelle béton ext	0.49		
Repère	Nature : margelle béton fond ouvrage = haut tubage inox		-0.73	65.27	calculée

★ Point à niveler / cote NGF à connaître  
H1 Hauteur du rebord supérieur de la margelle béton par rapport à la dalle de fond  
H2 Hauteur du rebord supérieur de la margelle béton par rapport au sol  
hr Hauteur du repère par rapport à la dalle de fond

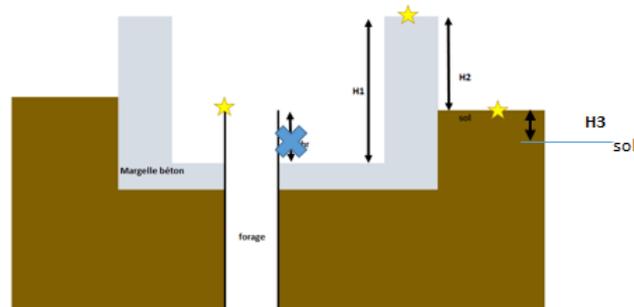


Illustration 26 : Mesures de la tête de l'ouvrage réalisées par le BRGM lors de la visite

- Vérification du suivi piézométrique dans l'ouvrage

Une comparaison du niveau piézométrique relevé par mesure manuelle et par mesure en continu (valeur lue sur le boîtier de supervision au moment de la mesure manuelle) a été effectuée par le BRGM lors de la visite (Illustration 27) :

- pompe à l'arrêt : avant la remise en marche de la pompe,
- pompe active : après redémarrage de la pompe, après stabilisation du niveau.

Le boîtier affiche des valeurs en hauteur d'eau. Celles-ci ont été converties en profondeur par rapport au repère de mesure (profondeur eau = profondeur sonde de pression – hauteur d'eau) pour pouvoir comparer les 2 mesures.

Date mesure	Heure	Pompe active (non / oui et débit)	Niveau mesuré (prof. / repère de mesure)	Repère mesure	Niveau capteur lu (hauteur d'eau)	Niveau capteur lu converti en prof./repère	Différence niveau mesuré / niveau lu	Somme profondeur + hauteur d'eau
09/02/2023	15h15	NON	6.25	margelle béton	7.29	5.91	0.34	13.54
09/02/2023	15h30	Oui (125 m <sup>3</sup> /h)	7.77	margelle béton	5.92	7.28	0.49	13.69

Illustration 27 : Mesures piézométriques manuelles (en statique et en pompage) et comparaison aux valeurs relevées sur la supervision lors de la visite

**L'écart relevé entre la mesure manuelle et la mesure en continu est de 34 cm quand la pompe est à l'arrêt et 49 cm quand la pompe est en fonctionnement.** La comparaison des mesures est plus fiable quand la pompe est à l'arrêt car le niveau piézométrique est stable. Néanmoins, un écart de 34 cm entre la mesure manuelle et la mesure en continu s'avère élevé pour une sonde 0-30 m (> 30 cm ; Illustration 5). Il conviendrait d'effectuer une nouvelle comparaison des mesures et de vérifier le paramétrage de la sonde en cas d'écart à nouveau supérieur à celui toléré.



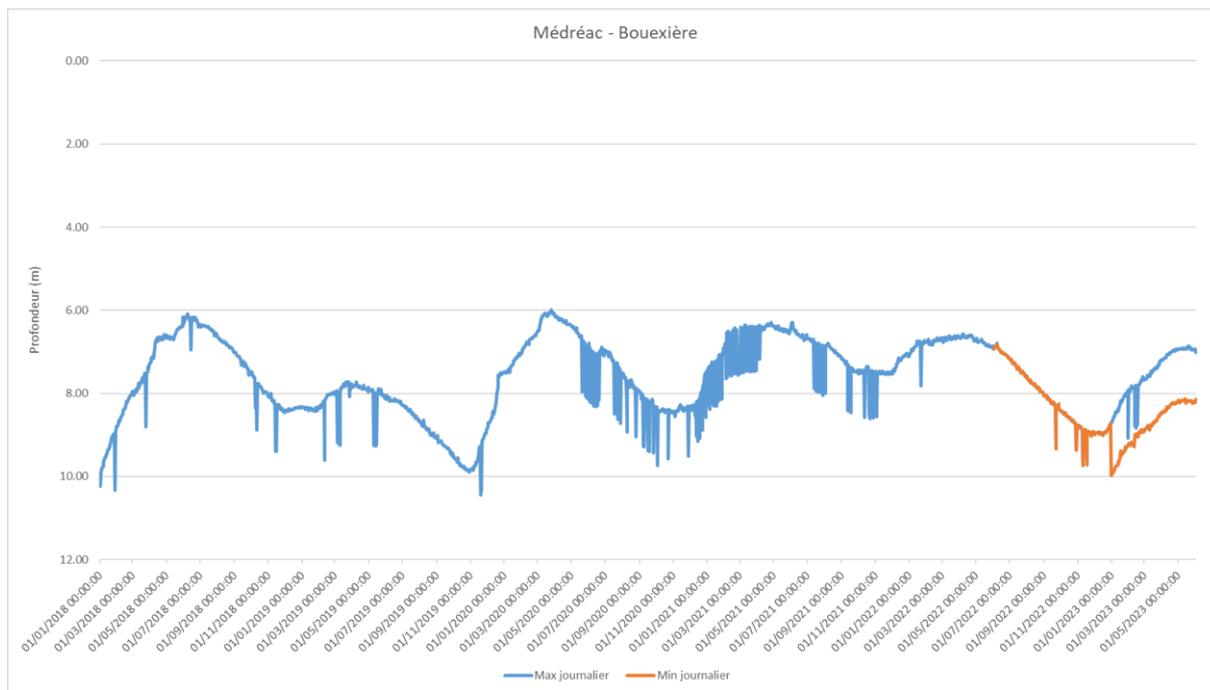


Illustration 29 : Evolution du niveau piézométrique sur le forage de la Bouexière entre 2018 et 2023 (source : seQoya)

L'évolution des niveaux d'eau mensuels dans le forage de la Bouexière a été analysée sur la période 1997-2018 dans le cadre du projet ICARE (Boisson et Lucassou, 2020) : « Les niveaux d'eau montrent une cyclicité saisonnière et des cycles pluriannuels, avec une tendance à la baisse qui semble particulièrement marquée et qui s'amplifie lors des événements extrêmes. En parallèle, une tendance à la hausse est observée au niveau des prélèvements » sur cette même période. La présence de cycles pluriannuels nécessite d'avoir une chronique suffisamment longue pour pouvoir déterminer des seuils de gestion pertinents.

#### 5.2.4. Définition de seuils de gestion

Le niveau minimum admissible a tout d'abord été déterminé sur cet ouvrage grâce à la grille de calcul élaborée dans le cadre de cette étude (Illustration 30).

Méthodologie pour la mise en place d'un système de suivi et d'alerte des eaux souterraines exploitées pour l'eau potable en Ile-et-Vilaine

	Donnée indispensable	Valeur (profondeur par rapport au sol en m)	Valeur (m NGF)
Caractéristiques aquifère	Type d'aquifère	x	Sédimentaire
	Type de nappe	x	Libre
	Profondeur du toit de la nappe ( <i>pour nappe captive</i> )		NR
	Profondeur du substratum de la nappe ( <i>pour sédimentaire/alluvial</i> )	x	32.7
Autorisation administrative	1- Seuil fixé par l'arrêté d'autorisation		NR
Caractéristiques ouvrage	Type d'ouvrage	x	Forage
	Altitude du sol au droit de l'ouvrage (m NGF)		66
	Ouvrage nivelé		Non
	Description du point nivelé		/
	Profondeur de l'ouvrage		35
	Hauteur du repère de mesure par rapport au sol	x	-0.73
	Description du repère de mesure		Margelle béton fond ouvrage = haut tubage acier
	2- Profondeur début crépine (tubage) ou drain ou barbacane	x	18.8
	3- Profondeur 1ère arrivée d'eau non occultée sous cimentation ( <i>pour socle</i> )		NR
	4- Profondeur crépine de la pompe	x	14.93
Profondeur du trop-plein ( <i>pour puits</i> )		NR	
Suivi niveau dynamique	Existence chroniques de niveau (pas de temps journalier)	x	Oui
	Période de suivi		1997-2018 (pas de temps mensuel) 2018-2023 (pas de temps journalier)
	Unité des chroniques de niveau	x	altitude m NGF
	Fiabilité de la chronique (mesures manuelles, dérive, vérification unité de mesure...)	x	FAIBLE : position de la sonde approximative, écart > 30 cm entre supervision et mesures manuelles, conversion des mesures en NGF mais absence de nivellement
	Profondeur de la sonde de mesure	x	13.93
	Nature du repère de mesure de la sonde ( <i>si différent pour la sonde</i> )		/
	Hauteur du repère de mesure par rapport au sol		-0.73
	Type de sonde de mesure / précision (gamme de mesure)		Paratronc (0-30 m)
	Niveau maximum observé (niveau statique)	x	5.98
	Date niveau maximum		26/03/2020
	Niveau dynamique minimum observé	x	10.45
	Date niveau minimum		10/11/2019
Hauteur colonne d'eau maximale ( <i>pour sédimentaire</i> )	<i>automatique</i>	26.72	
Cas particulier littoral	Secteur vulnérable aux intrusions salines		Non
	Profondeur théorique biseau salé	<i>automatique</i>	Sans objet

Niveau dynamique minimum admissible = seuil de rupture	<i>automatique</i>	14.93	51.07
Comparaison au niveau minimum observé		OK	
Comparaison position sonde de mesure		Sonde au-dessus du niveau minimum admissible	
Critère(s) limitant(s)		pompe	
Possibilité de modifier le seuil minimum (pompe, arrêté)		oui	
Informations manquantes pour le calcul du niveau minimum		Seuil fixé par arrêté	

Illustration 30 : Grille de définition du niveau minimum admissible sur le forage de Médréac

**Le niveau minimum admissible se situe à 14,93 m de profondeur par rapport au sol (Illustration 30) :** il correspond à la profondeur de la pompe. Ce niveau minimum pourrait éventuellement être abaissé si la pompe était positionnée plus en profondeur dans l'ouvrage, les crépines ne commençant qu'à 18,8 m de profondeur. Le niveau minimum observé sur l'ouvrage est situé au-dessus du niveau minimum admissible (10,45 m).

**La sonde de mesure est située au-dessus du niveau minimum admissible :** elle ne pourra plus servir d'alerte si le niveau descend en-dessous de la sonde et se rapproche de la pompe (en-dessous de 13,93 m de profondeur).

Des seuils d'alerte et de vigilance ont ensuite été calculés avec la méthode du battement d'exploitation (chapitre 4.2.1 et Illustration 31) :



D'autre part, un écart supérieur à 30 cm a été relevé entre les mesures piézométriques manuelles et automatiques. De nouvelles mesures manuelles devront être effectuées et comparées aux mesures enregistrées par la sonde automatique et le paramétrage de la sonde devra être vérifié.

**Des seuils de vigilance et d'alerte ont pu être calculés mais à partir d'une chronique courte (5 ans) et peu fiable : il faudra donc améliorer le suivi puis revoir ces seuils dans quelques années.**

### 5.3. PLESDER – FORAGE DE LA FERRIERE FE5

#### 5.3.1. Description de l'ouvrage

Le forage de La Ferrière, nommé FE5 (02457X00991/FE5 - BSS000TNPB) est situé à 1,5 km au nord de Plesder. Il a été réalisé en 2010. D'une profondeur de 133,5 m, il recoupe les cornéennes et schistes tachetés de l'auréole de métamorphisme de la granodiorite de Lanhélin (Illustration 34). Situé à 91 m d'altitude environ, cet ouvrage a été nivelé. Il est exploité par le syndicat Bretagne Romantique.

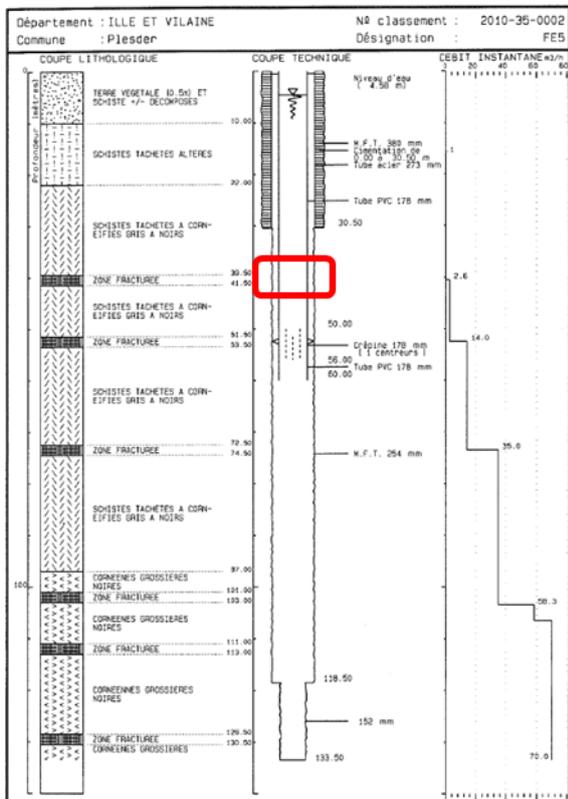


*Illustration 33 : Tête du forage de la Ferrière. La flèche jaune indique le repère de mesure (photographies BRGM – 03/03/2023)*

Un diagnostic de l'ouvrage a été réalisé par l'entreprise GHI en octobre 2021 : diagnostic caméra, diagraphies (gamma-ray, température, conductivité, micromoulinet), essais de pompage par paliers.

Ce diagnostic a mis en évidence que les premières crépines sont situées à 39,3 m de profondeur et non à 50 m comme indiqué sur la coupe technique de l'ouvrage (Illustration 34). Cette information est importante à prendre en compte pour le calcul du niveau minimum admissible dans l'ouvrage.

Le diagnostic a également permis de préciser la position de la pompe : « Le captage est équipé d'une pompe 6" [...] de 1,32 m de hauteur, installée à 36 m » (GHI, 2021).



PROFONDEUR (m)	COUPE TECHNIQUE D'APRES INSPECTION TELEVISEE
0 – 0.1	Tubage acier plein - Ø <sub>int</sub> 273 mm
0.1 – 39.3	Tubage PVC plein suspendu - Ø <sub>int</sub> 179 mm
39.3 – 43.4	Crépine PVC suspendue - Ø <sub>int</sub> 179 mm – fentes horizontales
43.4 – 51.3	Tubage PVC plein suspendu - Ø <sub>int</sub> 179 mm
51.3 – 55.2	Crépine PVC suspendue - Ø <sub>int</sub> 179 mm – fentes horizontales
55.2 – 59.0	Tubage PVC plein suspendu - Ø <sub>int</sub> 179 mm
59 – 118.6	Trou nu Ø254 mm
118.6 – 133.8	Trou nu Ø152 mm
133.8	Fin de l'inspection télévisée sur dépôts de floc jaune

Illustration 34 : Comparaison de la position des premières crépines entre la coupe technique initiale du forage (BSS, à gauche) et la coupe technique d'après l'inspection caméra (GHI, 2021a, à droite)

### 5.3.2. Compte-rendu de la visite de site

Une visite du site a été réalisée le 03/03/2023 par le BRGM et le SMG Eau 35 en présence d'un représentant du syndicat Bretagne Romantique et de deux représentants de la SAUR (exploitant du captage).

- Connaissance de l'ouvrage

Le repère de mesure est le haut du tubage acier (Illustration 33), mesuré à 70 cm par rapport au terrain naturel par GHI en 2021.

Les coupes géologiques et techniques de l'ouvrage sont connues ainsi que les positions de la sonde de mesure et de la pompe. Le plan de récolement indique une dalle nivelée à 92 m NGF, avant construction de la tête de l'ouvrage. La position de la sonde étant connue avec précision par l'exploitant, celle-ci n'a pas été sortie de l'ouvrage lors de la visite pour mesurer la longueur du câble.

Il semble que l'exploitant ne dispose pas d'électrode de coupure dans l'ouvrage et n'ait pas défini de seuils de gestion.

- Vérification du suivi piézométrique dans l'ouvrage

Une comparaison du niveau piézométrique relevé par mesure manuelle et par mesure en continu (valeur lue sur le boîtier de supervision au moment de la mesure manuelle) a été effectuée lors de la visite (Illustration 37) :

- pompe active,
- pompe à l'arrêt : après stabilisation du niveau.

**L'écart relevé entre la mesure manuelle et la mesure en continu est de 8 cm quand la pompe est à l'arrêt et 14 cm quand la pompe est en fonctionnement.** Cet écart se situe dans la gamme acceptable pour une sonde 0-50 m (Illustration 5). On peut noter qu'une sonde 0-30 m serait suffisante dans cet ouvrage dans lequel le niveau varie entre 26,1 et 8,73 m de profondeur par rapport au sol (Illustration 39).

Méthodologie pour la mise en place d'un système de suivi et d'alerte des eaux souterraines exploitées pour l'eau potable en Ille-et-Vilaine

OUVRAGE	
Commune	PLESDER
Nom de l'ouvrage	La Ferrière FES
Type d'ouvrage	<input checked="" type="checkbox"/> forage <input type="checkbox"/> puits <input type="checkbox"/> source <input type="checkbox"/> drain
Code BSS	BSS000TNPB - 02457X0091/FES
Code SISE-Eaux	035003546
Ouvrage nivelé	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non    Z = 91 m
Connaissance	<input checked="" type="checkbox"/> coupe géologique <input checked="" type="checkbox"/> coupe technique
REPERE DE MESURE	
Description du repère	Haut du tubage acier
Position du repère (m/sol)	0,49 m au-dessus de la dalle
Cote du repère (m NGF)	92.475
Photo du repère	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
Repère matérialisé	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non
POMPE	
Références (marque et modèle)	Caprari 6" E6XD50-6/7-V
Date d'installation	
Diamètre (")	
Variateur de débit :	
<input checked="" type="checkbox"/> oui :	
Débit d'exploitation min	19 m <sup>3</sup> /h pour [ ] m/HMT
Débit d'exploitation max	[ ] m <sup>3</sup> /h pour [ ] m/HMT
<input type="checkbox"/> non :	
Débit d'exploitation	[ ] m <sup>3</sup> /h pour [ ] m/HMT
Cote de la crépine de la pompe	36 m/repère    56.475 m NGF
Cote de l'électrode de coupure	? m/repère    [ ] m NGF
Cote de l'électrode de reprise	[ ] m/repère    [ ] m NGF
Compteur volume / ouvrage	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
SONDE DE NIVEAU (capteur de pression)	
Références (marque et modèle)	HITEC
Date d'installation	changée en 2018
Diamètre (mm)	
Cote de la sonde	36 m/repère    56.475 m NGF
Tube guide	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non
Plage de mesure (bar)	0 - 50 m
Type de sortie (mA)	
Longueur du câble (m / repère)	Non mesuré car position connue
Présence d'un repère sur le câble	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
Valeurs enregistrées en	<input checked="" type="checkbox"/> hauteur d'eau / sonde <input type="checkbox"/> profondeur <input type="checkbox"/> cote NGF (altitude) <input type="checkbox"/> rabattement (déconseillé)
COLONNE D'EXHAURE (refoulement)	
Type de colonne	<input type="checkbox"/> souple <input type="checkbox"/> à bride <input type="checkbox"/> à raccords rapides <input type="checkbox"/> autre
Nature (acier, inox)	
Diamètre (mm)	
Longueur totale (m)	

Illustration 35 : Fiche ouvrage complétée lors de la visite du 03/03/2023

Méthodologie pour la mise en place d'un système de suivi et d'alerte des eaux souterraines exploitées pour l'eau potable en Ile-et-Vilaine

	Nature début (TN, margelle béton, rebord)	Nature fin (TN, margelle béton, rebord tubage,...)	Profondeur mesurée	Altitude calculée ou nivelée	Source (pour les données nivelées)
SOL				91.81	calculée
H2	dalle extérieure	margelle béton	2.65		
H1	margelle béton	rebord haut	2.665		
hr	margelle béton	haut tubage acier	0.49		
H3	dalle extérieure	sol	0.19		
Dalle ext				92	nivellement (plan)
Repère	Nature : haut tubage acier			92.475	calculée

★ Point à niveler / cote NGF à connaître  
H1 Hauteur du rebord supérieur de la margelle béton par rapport à la dalle de fond  
H2 Hauteur du rebord supérieur de la margelle béton par rapport au sol  
hr Hauteur du repère par rapport à la dalle de fond

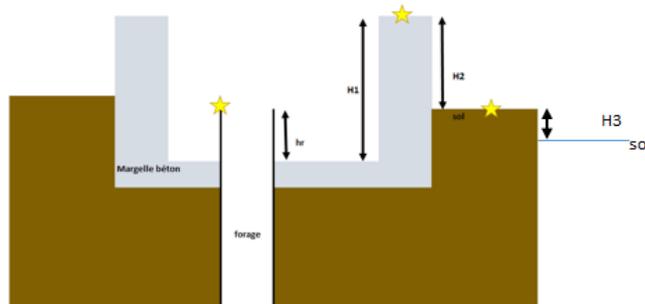


Illustration 36 : Mesures de la tête de l'ouvrage réalisées par le BRGM lors de la visite

Date mesure	Heure	Pompe active (non / oui et débit)	Niveau mesuré (prof. / repère de mesure)	Repère mesure	Niveau capteur lu (hauteur d'eau)	Niveau capteur lu converti en prof./repère	Différence niveau mesuré / niveau lu	Somme profondeur + hauteur d'eau
03/03/2023	9h15	OUI (19.06 m <sup>3</sup> /h)	22.2	Haut tubage acier	13.66	22.34	0.14	35.86
03/03/2023	9h25	NON	18.44	Haut tubage acier	17.48	18.52	0.08	35.92

Illustration 37 : Mesures piézométriques manuelles (en statique et en pompage) et comparaison aux valeurs relevées sur la supervision lors de la visite

### 5.3.3. Suivi disponible

Les données de niveaux sont acquises en hauteur d'eau. Les niveaux maximum et minimum journaliers ainsi que le débit moyen journalier sont bancarisés dans seQoya depuis 2018. La chronique disponible avant le 25/04/2018 n'est pas exploitable (Illustration 38) : les niveaux maximum enregistrés dépassent le haut du tubage et les niveaux minimum sont situés sous la sonde de mesure. Seule la chronique postérieure au 25/04/2018 a été prise en compte pour la définition des seuils, ce qui représente une chronique relativement courte.

Les valeurs aberrantes des 12 et 13/10/2021 correspondent à l'intervention de GHI pour le diagnostic du forage et doivent être retirées de la chronique.

On observe un battement d'environ 7 m entre le maximum et le minimum journalier. Certains jours, le maximum est égal au minimum journalier : soit en l'absence de pompage (débit = 0m/h), soit en cas de pompage en continu sur l'ouvrage.



Illustration 38 : Evolution du niveau piézométrique et du débit sur le forage de la Ferrière FE5 entre 2017 et 2023 (source : seQoya) et comparaison à la coupe de l'ouvrage. En rouge : niveau de la sonde de mesure

### 5.3.4. Définition de seuils de gestion

Le niveau minimum admissible a tout d'abord été déterminé sur cet ouvrage grâce à la grille de calcul élaborée dans le cadre de cette étude (Illustration 39).

**Le niveau minimum admissible se situe à 35,3 m de profondeur par rapport au sol : il correspond à la profondeur de la pompe et de la sonde de mesure.** Ce niveau minimum pourrait éventuellement être abaissé si la pompe et la sonde de mesure étaient positionnées plus en profondeur dans l'ouvrage, les crépines ne commençant qu'à 38,6 m de profondeur. Le niveau minimum observé sur l'ouvrage est situé au-dessus du niveau minimum admissible (26,09 m).

Méthodologie pour la mise en place d'un système de suivi et d'alerte des eaux souterraines exploitées pour l'eau potable en Ile-et-Vilaine

	Donnée indispensable	Valeur (profondeur par rapport au sol en m)	Valeur (m NGF)	
Caractéristiques aquifère	Type d'aquifère	x	Socle (altéré + fissuré)	
	Type de nappe	x	Libre	
	Profondeur du toit de la nappe ( <i>pour nappe captive</i> )		NR	
	Profondeur du substratum de la nappe ( <i>pour sédimentaire/alluvial</i> )		NR	
Autorisation administrative	1- Seuil fixé par l'arrêté d'autorisation		NR	
Caractéristiques ouvrage	Type d'ouvrage	x	Forage	
	Altitude du sol au droit de l'ouvrage (m NGF)		91.81	
	Ouvrage nivelé		Oui	
	Description du point nivelé		?	
	Profondeur de l'ouvrage		133.5	
	Hauteur du repère de mesure par rapport au sol	x	0.7	
	Description du repère de mesure		haut tubage acier	
	2- Profondeur début crépine (tubage) ou drain ou barbacane	x	38.6	53.21
	3- Profondeur 1ère arrivée d'eau non occultée sous cimentation ( <i>pour socle</i> )	x	40	51.81
4- Profondeur crépine de la pompe	x	35.3	56.51	
Profondeur du trop-plein ( <i>pour puits</i> )			NR	
Suivi niveau dynamique	Existence chroniques de niveau (pas de temps journalier)	x	Oui	
	Période de suivi		2018-2023	
	Unité des chroniques de niveau	x	hauteur d'eau au-dessus de la sonde	
	Fiabilité de la chronique (mesures manuelles, dérive, vérification unité de mesure...)	x	BONNE - Ecart entre mesure manuelle et supervision : 8 cm en statique et 14 cm en dynamique	
	Profondeur de la sonde de mesure	x	35.3	56.51
	Nature du repère de mesure de la sonde ( <i>si différent pour la sonde</i> )		idem mesure manuelle	
	Hauteur du repère de mesure par rapport au sol		0.7	91.11
	Type de sonde de mesure / précision (gamme de mesure)		HITEC (0-50 m)	
	Niveau maximum observé (niveau statique)	x	8.73	83.08
	Date niveau maximum		20/02/2022	
Niveau dynamique minimum observé	x	26.09	65.72	
Date niveau minimum		30/10/2019		
Hauteur colonne d'eau maximale ( <i>pour sédimentaire</i> )	automatique	/		
Cas particulier littoral	Secteur vulnérable aux intrusions salines		Non	
	Profondeur théorique biseau salé	automatique	Sans objet	#VALEUR!

Niveau dynamique minimum admissible = seuil de rupture	automatique	35.30	56.51
Comparaison au niveau minimum observé		OK	
Comparaison position sonde de mesure		OK	
Critère(s) limitant(s)		Pompe et sonde	
Possibilité de modifier le seuil minimum (pompe, arrêté)		Oui	
Informations manquantes pour le calcul du niveau minimum		Seuil fixé par arrêté	

Illustration 39 : Grille de définition du niveau minimum admissible sur le forage de Plesder

Des seuils d'alerte et de vigilance ont ensuite été calculés avec la méthode du battement d'exploitation (Illustration 40) :

	Pourcentage de remplissage	Profondeur par rapport au sol (en m)	Altitude (m NGF)	Hauteur d'eau (m au-dessus de la sonde)
Niveau statique maximum	Automatique	8.73	83.08	26.57
Seuil de rupture	Automatique	0%	35.30	0.00
Hauteur de la zone de battement d'exploitation	Automatique	26.57		
Seuil d'alerte	Automatique	30%	27.33	7.97
Seuil de vigilance	Automatique	50%	22.02	13.29

Illustration 40 : Grille de calcul des seuils sur le forage de Plesder

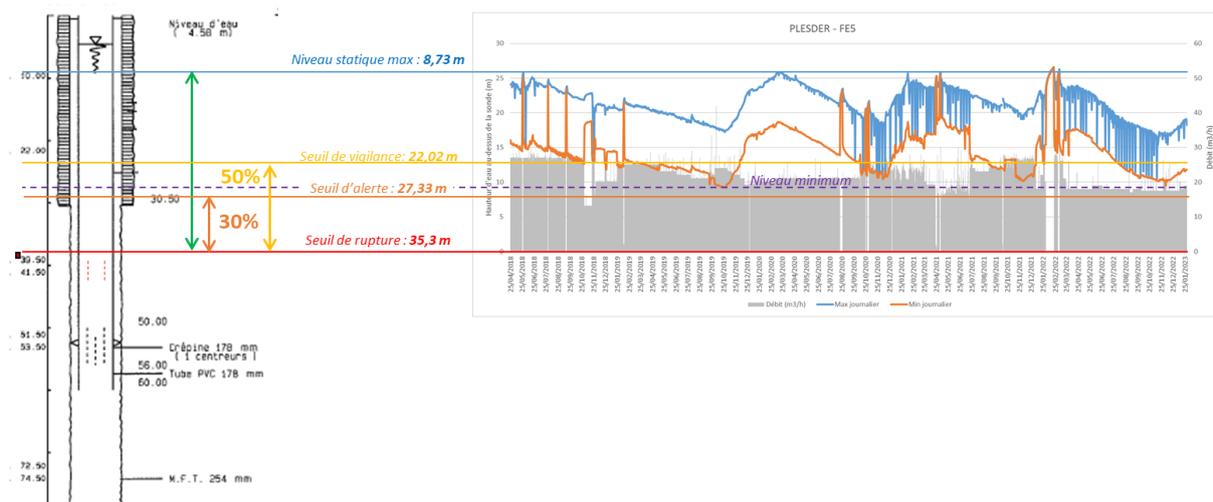


Illustration 41 : Mise en parallèle des seuils calculés (en profondeur par rapport au sol), de la coupe de l'ouvrage et de la chronique de niveau

Le seuil de vigilance a été dépassé plusieurs fois sur la chronique 2018-2022 (Illustration 41), à des périodes différentes de l'année :

- du 02 au 31/10/2018,
- du 22 au 27/11/2018,
- du 22 au 27/11/2018,
- du 24 au 28/12/2018,
- du 25/01 au 09/02/2019,
- du 15/02 au 10/12/2019,
- du 24/09 au 29/10/2020,
- du 03/11/2020 au 01/01/2021,
- du 23/07/2021 au 26/07/2021,
- du 24/08/2021 au 11/10/2021,
- du 15/10/2021 au 28/01/2022,
- du 26/07/2022 au 30/01/2023.

En 2020, la chronique est essentiellement restée au-dessus du seuil de vigilance, de même que sur les 8 premiers mois de 2021. En revanche, la chronique est restée sous le niveau de vigilance une majeure partie de l'année 2019 et pendant les 5 derniers mois de 2022 : il s'agit effectivement d'années marquées par des épisodes de sécheresse. Néanmoins, le seuil d'alerte n'a jamais été atteint sur la période 2018-2023 et *a priori* aucune difficulté de production n'a été constatée sur cet ouvrage sur cette même période. La pertinence de ces seuils devra donc être vérifiée dans le temps, en fonction des éventuelles difficultés de production rencontrées sur l'ouvrage.

### 5.3.5. Conclusion pour le site de Plesder

L'ouvrage et sa coupe technique sont bien connus, la dalle a été nivelée, la position de la sonde est connue et la chronique de suivi est courte (5 ans) mais fiable après nettoyage des valeurs aberrantes antérieures à avril 2018 et liée au diagnostic de l'ouvrage en 2021. Le diagnostic caméra de l'ouvrage a permis de préciser la position des crépines par rapport à la coupe initiale de l'ouvrage et la position de la pompe.

Des seuils de vigilance et d'alerte ont pu être calculés mais à partir d'une chronique courte (5 ans) : il faudra donc vérifier la pertinence de ces seuils et les relier à d'éventuelles difficultés de

pompage puis revoir ces seuils si nécessaire dans quelques années pour les adapter à l'exploitation de l'ouvrage.

## **5.4. BALAZE – PUIITS DE LA GUERINIERE**

### **5.4.1. Description de l'ouvrage**

Le puits de la Guérinière est exploité par le syndicat Eau des Portes de Bretagne (ex Syndicat Mixte des Eaux de la Valière – SYMEVAL).

D'après le rapport établi par Calligée en 2018 pour l'actualisation de la déclaration de prélèvement, des périmètres de protection et de l'autorisation de distribuer de l'eau en vue de la consommation humaine du captage de la Guérinière, le puits aurait été construit vers 1957-1958 au niveau de l'émergence d'une source dans les éboulis gréseux des Grès armoricains (colluvions indifférenciés d'après la carte géologique au 1/50 000 de Vitré). Le puits capte les dépôts de pente (colluvions issus des Grès armoricains sus-jacents) ou les altérites des schistes briovériens.

Le puits a un diamètre de 6 m et une profondeur d'environ 6,6 m par rapport au terrain naturel (6,55 m d'après le diagnostic caméra réalisé par GHI en 2021 et 6,6 m d'après l'inspection caméra réalisée par LogHydro en 2015). Une chambre de pompage et d'oxygénation en béton de 2,10 m de diamètre et 6,35 m de profondeur est située à 10 m du puits (Illustration 42 et Illustration 43). Le puits et la chambre de pompage sont raccordés par une conduite située à environ 50 cm du fond du puits. L'écoulement se fait de manière gravitaire du puits vers la chambre de pompage.

De barbacanes d'environ 10 cm de diamètre sont disposées en 3 demi-cercles horizontaux dans le puits. Leur position diffère légèrement selon les diagnostics réalisés en 2015 et 2018 :

- entre 5,7 et 7 m de profondeur par rapport au haut du capot (soit entre 4,8 et 6,1 m de profondeur par rapport au terrain naturel), orientés vers le nord-ouest, d'après le diagnostic réalisé en 2015 (Illustration 44),
- à partir de 5,1 m par rapport au sol ou entre 4,95 et 6,90 m par rapport au sommet de la dalle béton situé à + 0,9 m par rapport au terrain naturel (soit entre 4,05 et 6 m par rapport au terrain naturel), d'après le diagnostic réalisé en 2021 (Illustration 45).

Le rapport Calligée, 2018 mentionne que « la coupe originelle indique des orifices à la base du puits » (Illustration 46) : des traces d'orifice ont été décelées sur l'inspection vidéo réalisée par LogHydro en 2015 mais ne permettent pas d'indiquer s'ils permettent une arrivée d'eau depuis le fond du puits).

Le puits et la chambre de captage sont équipés de trop-pleins se déversant dans le ruisseau de la Pérouse (débit non suivi - Illustration 42) : le trop-plein est situé à 1,3 m de profondeur par rapport au sol pour le puits (d'après GHI, 2021b et LogHydro, 2015) et a été nivelé à 115,35 m NGF (soit 1,16 m de profondeur par rapport au sol) dans la chambre de pompage d'après le synoptique de l'unité de production (Illustration 47).

Un tuyau situé à environ 2,4 m sous la trappe d'accès du puits déversait l'eau d'une source dans le puits d'après les indications du rapport Calligée de 2018. Cette conduite a été condamnée par l'exploitant (à une date ultérieure à 2015).

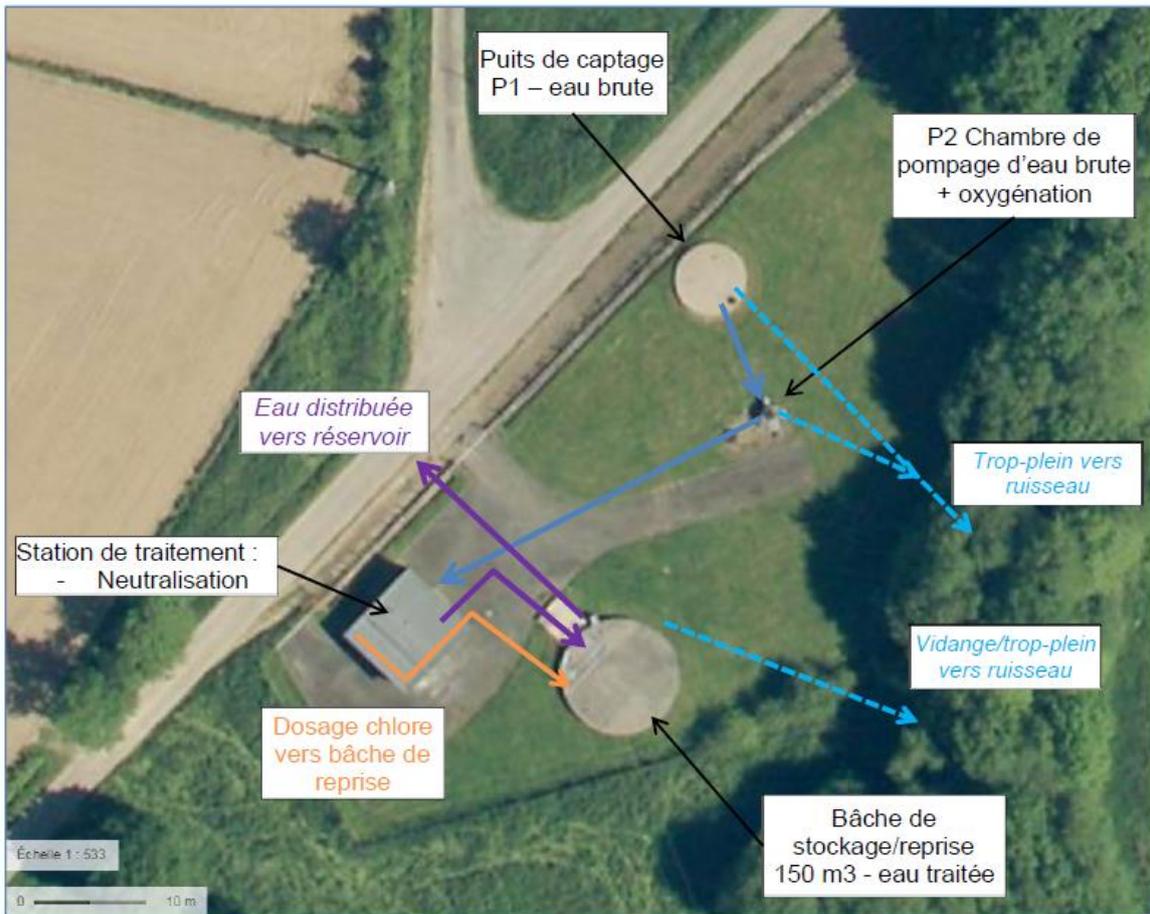


Illustration 42 : Plan schématique du site de la Guérinière sur fond Géoportail (Calligée, 2018)



Illustration 43 : Puits de la Guérinière (à gauche) et chambre de pompage (à droite – photographie BRGM - 03/03/2023)

Méthodologie pour la mise en place d'un système de suivi et d'alerte des eaux souterraines exploitées pour l'eau potable en Ile-et-Vilaine

Tableau 3 - Cotes du repère et niveaux piézométriques

Ouvrage	Nature du repère	Hauteur du repère/ TN	Niveau piézo. / repère le 14/10/2015 14h
Capotage	Capot FOUG	+0.9 m	3.11 m
Puits de pompage	Margelle bétonnée	+1.2 m	2.82 m



Repère du capotage



Repère du puits de pompage

les barbacanes sont disposées sur trois demi-cercles horizontaux répartis entre 5.7 et 7 m de profondeur et orientés vers le nord-ouest. Il s'agit d'ouvertures circulaires d'un diamètre approximatif de 100 mm.

= 4,8 à 6,1 m par rapport au sol



Prof 4.55 m : parois en béton du capotage / surface plus grossière



Prof 4.65 m : vue sur la première série de barbacane (orifices noir circulaires)

= 3,75 m par rapport au sol



Prof 4.75 m : barbacanes (points noirs)



Prof 5.6 m : barbacanes (points noirs)

Illustration 44 : Position des barbacanes selon le diagnostic caméra réalisé en 2015 (LogHydro, 2015)

PUITS DE LA GUERINIÈRE – MONTAUTOUR (35)

Date de réalisation	Puits de la Guérinière
Profondeur	6 m environ
Numéro BSS	BSS000XTKD (03184X0001/P)
Équipement	De +0.60 à -6 m : cuvelage béton – diamètre 6 m – épaisseur 0.20 m Barbacanes en trois lignes à partir de 5.10 m par rapport au sol Fond de puits bétonné sur 0.30 m avec ornières de fond
Matériel de pompage	Absence de matériel au moment de l'inspection
UTILISATION DE L'OUVRAGE	Alimentation en Eau Potable
REPERE DE MESURE	Sommet dalle béton (+0.90 m/terrain naturel)

= 4,05 m  
par rapport au sol

CUVELAGE BETON ET BARBACANES ENTRE 4.95 ET 6.90 M

A partir de 4.95 m on observe trois niveaux de barbacanes (trous circulaires noirs sur les photographies). Ces barbacanes, disposées en demi-cercles horizontaux, semblent orientés vers l'amont, soit vers le Nord-Nord-Ouest. Elles semblent ouvertes, sans trace de dépôts. La paroi béton apparaît également propre et montre un béton plus grossier qu'au-dessus de 4.50 m (changement de diamètre).




L'inspection télévisée réalisée en novembre 2021 permet d'observer de façon satisfaisante l'intégralité de l'ouvrage malgré son important diamètre intérieur (6000 mm). Le cuvelage semble de deux diamètres légèrement différents :

- Une première section entre 0 et 4.50 m en béton fin, propre sans défaut apparent. Dans cette section on observe vers 2.20 m un tube PVC (trop plein ?).
- Une seconde section entre 4.50 et 7.45 m on observe trois niveaux de barbacanes. Cette seconde section, d'aspect plus grossière, est propre, sans défaut apparent. Les barbacanes, en demi-cercle sur la périphérie, sont orientées vers le Nord-Nord-Ouest. Elles apparaissent propres et ouvertes.

Illustration 45 : Position des barbacanes selon le diagnostic caméra réalisé en 2021 (GHI, 2021b)

Deux pompes immergées fonctionnant en alternance sont présentes dans la chambre de pompage. Un piézomètre a été implanté à l'intérieur du périmètre de protection immédiat du captage, sans suivi en continu.

Le captage de la Guérinière dispose de périmètres de protection déclarés d'utilité publique le 14/12/1982. Ces périmètres ont été actualisés en 2020 suite au dossier préparatoire pour la demande de DUP et l'actualisation des périmètres réalisée par Calligée en 2018.

Des essais de pompage ont été réalisés par Bonnier Forages et LogHydro en octobre 2015 (test d'épuisement du puits et essai longue durée de 96h à un débit de 36 m<sup>3</sup>/h au début et 29 m<sup>3</sup>/h en fin d'essai).

Dans son rapport de 2018, Calligée a proposé de fixer un seuil d'alerte au minimum à 50 cm au-dessus de la première ligne de barbacanes, soit à 5,2 m par rapport à la trappe d'accès au puits. Un débit maximum de prélèvement de 20 m<sup>3</sup>/h était également préconisé (Calligée, 2018).

Méthodologie pour la mise en place d'un système de suivi et d'alerte des eaux souterraines exploitées pour l'eau potable en Ile-et-Vilaine

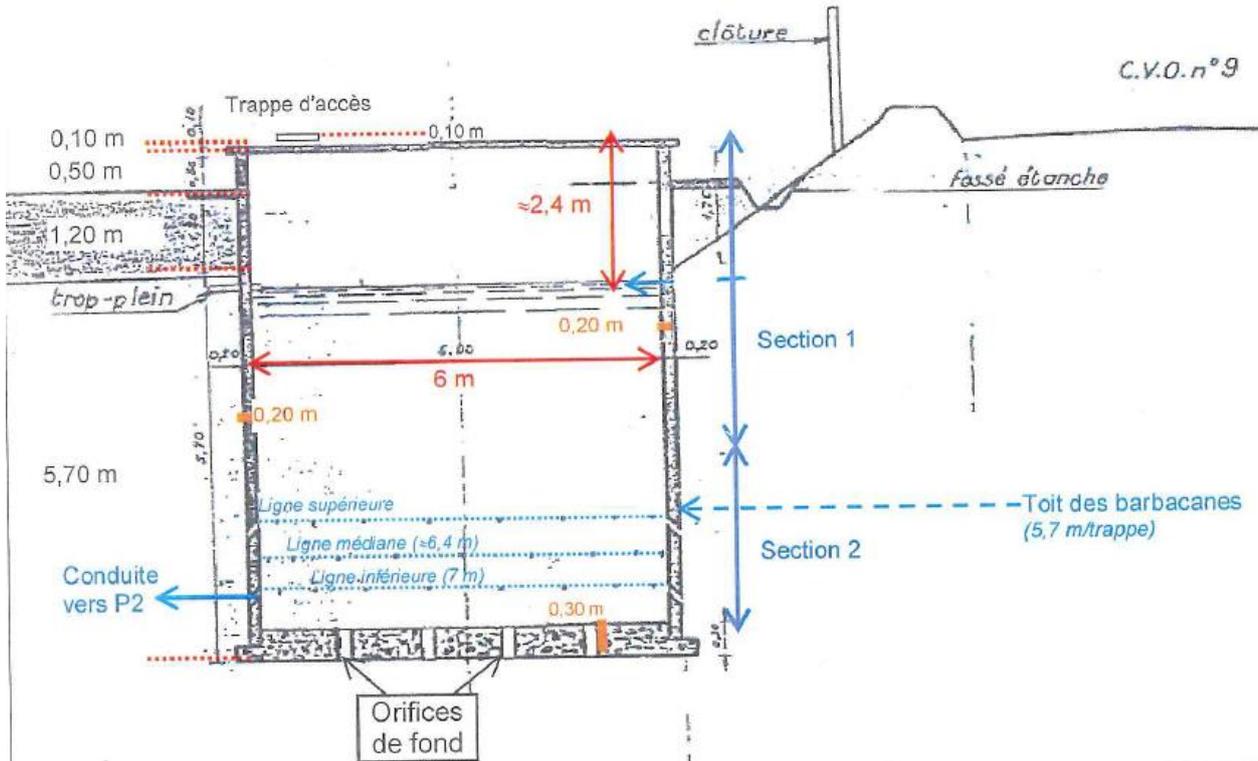


Illustration 46 : Coupe technique du puits de la Guérinière à Balazé (Calligée, 2018, d'après coupe de 1982)

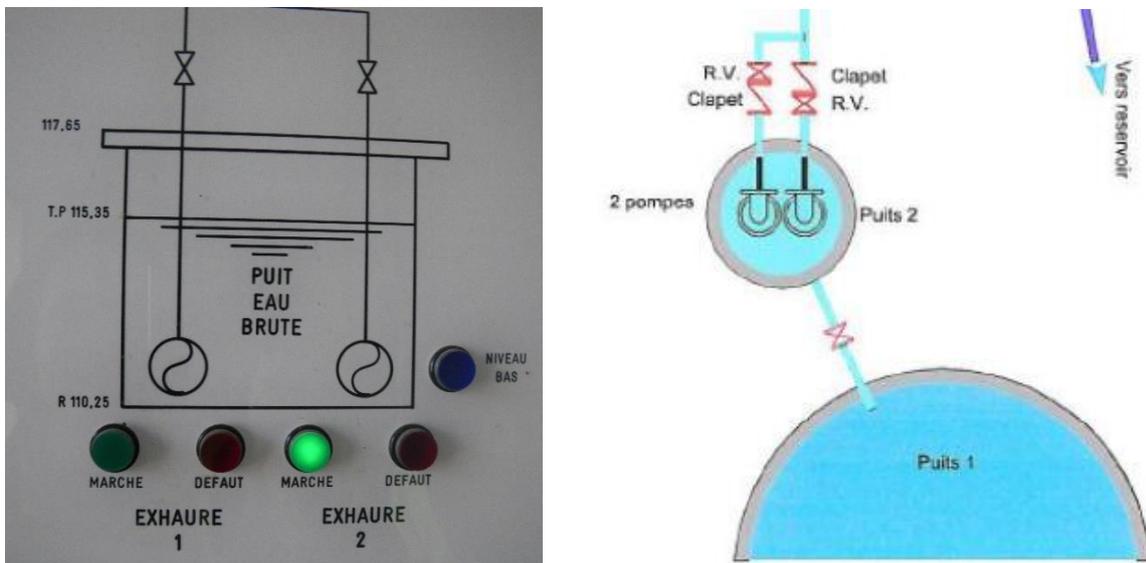


Illustration 47 : Synoptique de l'unité de production de la Guérinière à Balazé – A gauche : tableau de commande de la station de la Guérinière (photographie BRGM – 03/03/2023) – A droite : extrait du synoptique de la SAUR (Calligée, 2018)

#### 5.4.2. Compte-rendu de la visite de site

Une visite du site a été réalisée le 03/03/2023 par le BRGM et le SMG Eau 35 en présence d'un représentant du syndicat Eau des Portes de Bretagne et de la SAUR (exploitant du captage).

- Connaissance de l'ouvrage

Le repère de mesure est le haut du capot acier dans la chambre de pompage (situé à 0,97 m par rapport au sol) et le puits.

La coupe géologique de l'ouvrage est connue de manière approximative, les coupes techniques du puits et de la chambre de pompage sont connues avec davantage de précision, ainsi que la position des pompes dans la chambre de pompage. La chambre de pompage a été nivelée mais pas le puits.

Le rapport Calligée de 2018 indique que le puits est équipé d'une sonde de suivi en continu du niveau (marque HITEC) depuis 2010. Lors de la visite du 03/03/2023, il a été constaté que seule la chambre de pompage était équipée d'une sonde de suivi du niveau en continu (marque HITEC). Les mesures automatiques effectuées dans la chambre de pompage sont importantes pour protéger les équipements de pompage mais le niveau dans cette chambre de pompage dépend de l'écoulement gravitaire depuis le puits. Il semble également important de suivre le niveau piézométrique du puits pour vérifier que les barbacanes ne sont pas dénoyées, même si l'absence de pompe dans le puits limite ce risque.

La sonde de mesure a été retirée de la chambre de pompage lors de la visite afin de mesurer la longueur du câble (6,44 m jusqu'à l'attache située à 0,61 m sous le capot métallique). La plage de mesures de la sonde n'est pas connue de l'exploitant et n'était pas lisible sur la sonde lors du retrait de la chambre de pompage. Compte-tenu des caractéristiques de la sonde, il semblerait que la gamme de mesures soit 0-30 m.

Méthodologie pour la mise en place d'un système de suivi et d'alerte des eaux souterraines exploitées pour l'eau potable en Ile-et-Vilaine

OUVRAGE	
Commune	BALAZE
Nom de l'ouvrage	La Guérinière
Type d'ouvrage	<input type="checkbox"/> forage <input checked="" type="checkbox"/> puits <input type="checkbox"/> source <input type="checkbox"/> drain
Code BSS	BSS000XTKD - 03184X0001/P
Code SISE-Eaux	035000540
Ouvrage nivelé	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <i>captage nivelé (pas le puits)</i>
Connaissance	<input type="checkbox"/> coupe géologique <input checked="" type="checkbox"/> coupe technique
REPERE DE MESURE	
Description du repère	Haut du capot acier (chambre de pompage)
Position du repère (m/sol)	0,97 m
Cote du repère (m NGF)	117,70 m NGF (margelle béton nivelée, 5 cm sous repère)
Photo du repère	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
Repère matérialisé	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non
POMPE	
Références (marque et modèle)	2 pompes Pleuger dans le captage, fonctionnement en alternance
Date d'installation	Juin 2015 (rapport Calligée, 2018)
Diamètre (")	
Variateur de débit :	
<input type="checkbox"/> oui :	
<i>Débit d'exploitation min</i>	<input type="text"/> m <sup>3</sup> /h pour <input type="text"/> m/HMT
<i>Débit d'exploitation max</i>	<input type="text"/> m <sup>3</sup> /h pour <input type="text"/> m/HMT
<input checked="" type="checkbox"/> non :	
<i>Débit d'exploitation</i>	24 et 28 m <sup>3</sup> /h pour 16 m/HMT
Cote de la crépine de la pompe	<input type="text"/> m/repère <input type="text"/> m NGF
Cote de l'électrode de coupure	? m/repère <input type="text"/> m NGF
Cote de l'électrode de reprise	? m/repère <input type="text"/> m NGF
Compteur volume / ouvrage	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
SONDE DE NIVEAU (capteur de pression)	
Références (marque et modèle)	HITEC CP5220
Date d'installation	?
Diamètre (mm)	31
Cote de la sonde	7 m/repère 110,65 m NGF
Tube guide	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non
Plage de mesure (bar)	0-30 m ?
Type de sortie (mA)	
Longueur du câble (m / repère)	6,44 m jusqu'à l'attache située à 0,61 m sous haut capot métallique
Présence d'un repère sur le câble	<input checked="" type="checkbox"/> oui (collier) <input type="checkbox"/> non
Valeurs enregistrées en	<input type="checkbox"/> hauteur d'eau / sonde <input type="checkbox"/> profondeur <input checked="" type="checkbox"/> cote NGF (altitude) <input type="checkbox"/> rabattement (déconseillé)
COLONNE D'EXHAURE (refoulement)	
Type de colonne	<input type="checkbox"/> souple <input type="checkbox"/> à bride <input type="checkbox"/> à raccords rapides <input type="checkbox"/> autre
Nature (acier, inox)	
Diamètre (mm)	
Longueur totale (m)	

Illustration 48 : Fiche ouvrage complétée lors de la visite du 03/03/2023

- Vérification du suivi piézométrique dans l'ouvrage

Une comparaison du niveau piézométrique relevé par mesure manuelle et par mesure en continu (valeur lue en m NGF sur le boîtier de supervision au moment de la mesure manuelle) a été effectuée lors de la visite dans la chambre de pompage (Illustration 50) :

- pompe active,
- pompe à l'arrêt : après stabilisation du niveau.

Des mesures manuelles ont également été effectuées dans le puits.

**L'écart relevé entre la mesure manuelle et la mesure en continu dans la chambre de pompage est de 18 cm quand la pompe est à l'arrêt et 11 cm quand la pompe est en fonctionnement.** Cet écart se situe dans la gamme acceptable pour une sonde 0-30 m (Illustration 5).

		Nature début (TN, margelle béton, ...)	Nature fin (TN, margelle béton, rebord tubage, ...)	Profondeur mesurée	Altitude calculée ou nivelée	Source (pour les données nivelées)
	<b>SOL</b>				<b>115.84</b>	d'après nivellement margelle
<b>Puits</b>	H2	sol	margelle béton	0.92		
	H3	margelle béton	haut capot métal	0.1		
<b>Captage</b>	H1	plancher de service	haut capot métal	1.86		
	H3	haut capot métal	margelle béton	0.05		
	H2	sol	margelle béton	1.14		
Longueur câble sonde (jusqu'à la margelle béton)				7 m		
<b>Repère</b>	Nature : margelle béton				<b>117.65</b>	nivelé (tableau de commande)

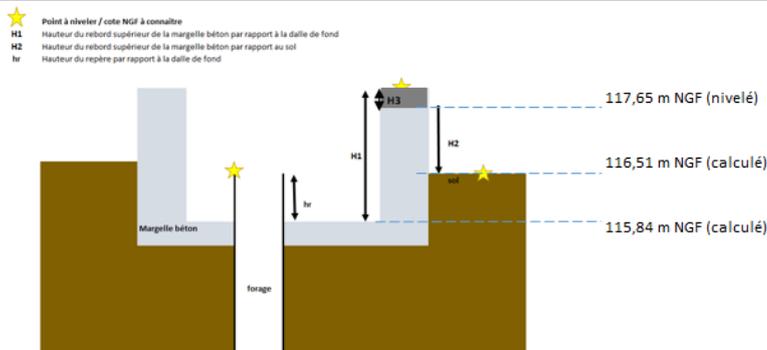


Illustration 49 : Mesures de la tête de l'ouvrage réalisées par le BRGM lors de la visite

Ouvrage	Date mesure	Heure	Pompe active (non / oui et débit)	Niveau mesuré (prof. / repère de mesure)	Repère mesure	Niveau capteur lu (m NGF)	Niveau mesuré converti en altitude (mNGF)	Différence niveau mesuré / niveau lu (cm)
<b>Puits</b>	03/03/2023	14h10	OUI	3.14	haut capot métal			
<b>Puits</b>	03/03/2023	14h45	OUI	3.02	haut capot métal			
<b>Captage</b>	03/03/2023	14h20	OUI	3.01	haut capot métal	114.58	114.69	0.11
<b>Captage</b>	03/03/2023	14h34	NON	2.85	haut capot métal	114.67	114.85	0.18

Illustration 50 : Mesures piézométriques manuelles (en statique et en pompage) et comparaison aux valeurs relevées sur la supervision lors de la visite

### 5.4.3. Suivi disponible

Les données piézométriques sont disponibles en altitude seulement (pas de hauteur d'eau lisible sur le boîtier de supervision), ce qui ne permet pas de revenir à la valeur brute mesurée dans l'ouvrage.

Les données de niveaux dans la chambre de pompage au pas de temps journalier (minimum et maximum journalier) sont disponibles depuis 2013 (Illustration 51) dans seQoya, ainsi que le débit moyen journalier. Ces données de niveaux sont fiables depuis 2016 seulement (en 2015, les valeurs étaient supérieures à l'altitude de l'ouvrage, la margelle de la chambre de pompage étant nivelée à 117,65 m NGF).

Comme évoqué précédemment, le rapport Calligée de 2018 indique que le puits est équipé d'une sonde de suivi en continu du niveau depuis 2010 mais lors de la visite du site en 2023, seule la chambre de pompage était équipée d'une sonde de mesure. La chronique ne présente pas de saut depuis 2018 qui permettrait de dater un changement de la position de la sonde entre les 2 ouvrages. Ce point serait à éclaircir avec l'exploitant.

Le battement journalier moyen est de 0,6 m en moyenne entre niveau minimum et niveau maximum et de 1,2 m au maximum sur la chronique 2016-2022.

On note une augmentation du débit en 2019 (24 m<sup>3</sup>/h en moyenne sur la période 2017-2018 et 29 m<sup>3</sup>/h en moyenne sur la période 2019-2022).

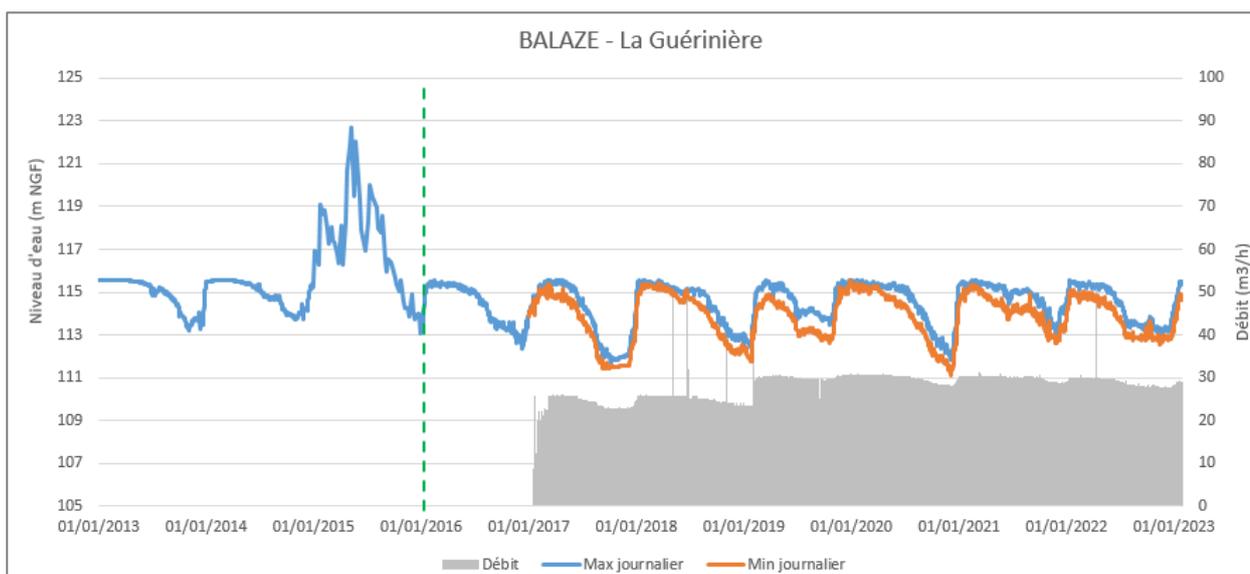


Illustration 51 : Evolution du niveau piézométrique sur le site de la Guérinière entre 2013 et 2023 (source : seQoya)

Une baisse de productivité (diminution du débit moyen) est observée sur le puits en-dessous d'un certain niveau, situé à 113,75 m NGF (Illustration 52). Ce niveau pourrait servir de seuil de vigilance : l'ouvrage est moins productif quand ce niveau est atteint. L'exploitant a en effet indiqué lors de la visite que des apports d'eau via un autre syndicat sont réalisés l'été lorsque le puits est moins productif. Il serait intéressant de mettre en relation les dates d'import d'eau avec le niveau du puits pour voir s'il serait possible d'anticiper ces achats.

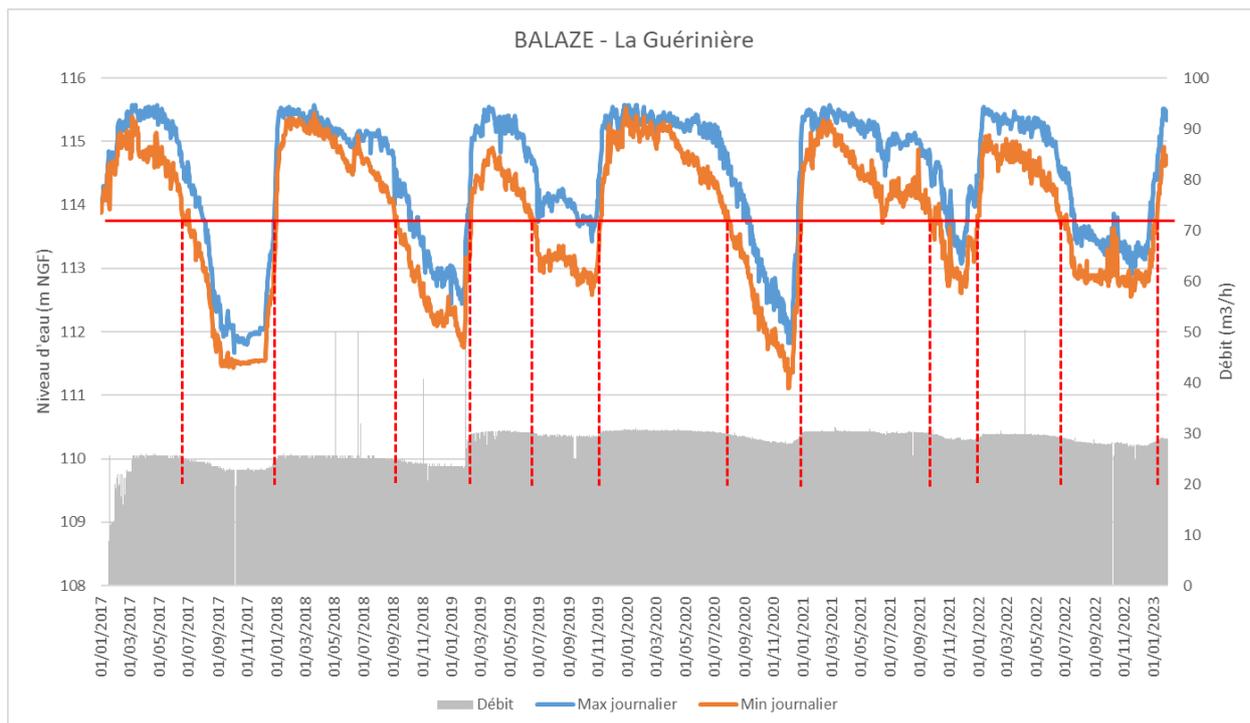


Illustration 52 : Baisse de productivité observée pour un niveau dynamique inférieur à 113,75 m NGF

#### 5.4.4. Définition de seuils de gestion

Le niveau minimum admissible a tout d'abord été déterminé sur la chambre de pompage, considérée comme un puits, et sur le puits à barbacanes, grâce à la grille de calcul élaborée dans le cadre de cette étude (Illustration 53).

Dans la chambre de pompage, le niveau minimum admissible se situe à 5,35 m de profondeur par rapport au sol : il correspond à la profondeur de la pompe. Ce niveau a déjà été dépassé les 3 et 4/12/2020, respectivement de 5 et 3 cm. Il n'y a pas eu de rupture de prélèvement à cette date, ce qui indique que la pompe peut encore fonctionner à ce niveau : la précision de la mesure de la position de la pompe est sûrement supérieure à 5 cm.

Dans le puits, le niveau minimum admissible se situe à 4,05 m de profondeur par rapport au sol : il correspond à la profondeur des premières barbacanes (le cas le plus défavorable, c'est-à-dire la profondeur minimale a été retenue en croisant les différents diagnostics - Illustration 44 et Illustration 45).

Méthodologie pour la mise en place d'un système de suivi et d'alerte des eaux souterraines exploitées pour l'eau potable en Ile-et-Vilaine

		CHAMBRE DE POMPAGE		PUITS		
		Donnée indispensable	Valeur (profondeur par rapport au sol en m)	Valeur (m NGF)	Valeur (profondeur par rapport au sol en m)	Valeur (m NGF)
Caractéristiques aquifère	Type d'aquifère	x	Socle (altérites seules)		Socle (altérites seules)	
	Type de nappe	x	Libre		Libre	
	Profondeur du toit de la nappe (pour nappe captive)			NR		NR
	Profondeur du substratum de la nappe (pour sédimentaire/alluvial)			NR		NR
Autorisation administrative	1- Seuil fixé par l'arrêté d'autorisation			NR		NR
Caractéristiques ouvrage	Type d'ouvrage	x	Puits		Puits à barbacanes	
	Altitude du sol au droit de l'ouvrage (m NGF)			116.51		116
	Ouvrage nivelé		Oui		Non	
	Description du point nivelé		margelle béton			
	Profondeur de l'ouvrage		7.5		7.5	
	Hauteur du repère de mesure par rapport au sol	x	1.19		1.02	
	Description du repère de mesure		haut capot métal		haut capot métal	
	2- Profondeur début crépine (tubage) ou drain ou barbacane	x		NR	4.05	111.95
	3- Profondeur 1ère arrivée d'eau non occultée sous cimentation (pour socle)			NR		
	4- Profondeur crépine de la pompe	x	5.35	111.16		NR
Profondeur du trop-plein (pour puits)	x	1.16	115.35	1.3	114.7	
Suivi niveau dynamique	Existence chroniques de niveau (pas de temps journalier)	x	Oui		Non	
	Période de suivi		2013-2023 (fiable depuis 2016)			
	Unité des chroniques de niveau	x	altitude m NGF			
	Fiabilité de la chronique (mesures manuelles, dérive, vérification unité de mesure...)	x	BONNE - Ecart entre mesure manuelle et supervision : 18 cm en statique et 11 cm en dynamique			
	Profondeur de la sonde de mesure	x	5.86	110.65		FAUX
	Nature du repère de mesure de la sonde (si différent pour la sonde)		attache au-dessus du plancher de service			
	Profondeur du repère de mesure par rapport au sol		0.56	115.95		FAUX
	Type de sonde de mesure / précision (gamme de mesure)		HITEC (0-30 m ?)			
	Niveau maximum observé (niveau statique)	x	0.93	115.58		NR
	Date niveau maximum		11 dates entre 07/03/2017 et 27/02/2021			
Niveau dynamique minimum observé	x	5.4	111.11		NR	
Date niveau minimum		03/12/2020				
Hauteur colonne d'eau maximale (pour sédimentaire)	automatique	/				
Secteur vulnérable aux intrusions salines		Non				
Profondeur théorique biseau salé	automatique	Sans objet	#VALEUR!		#VALEUR!	
Niveau dynamique minimum admissible = seuil de rupture		automatique	5.35	111.16	4.05	111.95
Comparaison au niveau minimum observé			Niveau dynamique trop bas			
Comparaison position sonde de mesure			OK			
Critère(s) limitant(s)			Pompe			
Possibilité de modifier le seuil minimum (pompe, arrêté)			Oui			
Informations manquantes pour le calcul du niveau minimum			Profondeur début crépine/drain/barbacane - Seuil fixé par arrêté			

Illustration 53 : Grille de définition du niveau minimum admissible sur la chambre de pompage (à gauche) et le puits de la Guérinière (à droite) à Balazé

Des seuils d'alerte et de vigilance ont ensuite été calculés avec la méthode du battement d'exploitation (Illustration 54).

		Pourcentage de remplissage	Profondeur par rapport au sol (en m)	Altitude (m NGF)
Niveau statique maximum	Automatique		0.93	115.58
Seuil de rupture	Automatique	0%	5.35	111.16
Hauteur de la zone de battement d'exploitation	Automatique		4.42	
Seuil d'alerte	Automatique	30%	4.02	112.49
Seuil de vigilance	Automatique	50%	3.14	113.37
Niveau dynamique actuel	A renseigner		2.76	
Taux de remplissage actuel	Automatique	59%		

Illustration 54 : Grille de calcul des seuils sur la chambre de pompage de Balazé

Le niveau marquant une baisse de productivité du puits, situé à 113,75 m NGF correspond à un taux de remplissage de 59 % : il est situé au-dessus du seuil de vigilance.

Le seuil de vigilance (113,37 m NGF) est dépassé chaque année à l'étiage alors que le seuil d'alerte n'a été dépassé que 3 années sur 6 (Illustration 55 et Illustration 56). Selon les années, la date de franchissement du seuil de vigilance varie entre le 29/06 et le 19/10. La durée de la période de vigilance est également variable (58 à 167 jours par an sur 2017-2022).

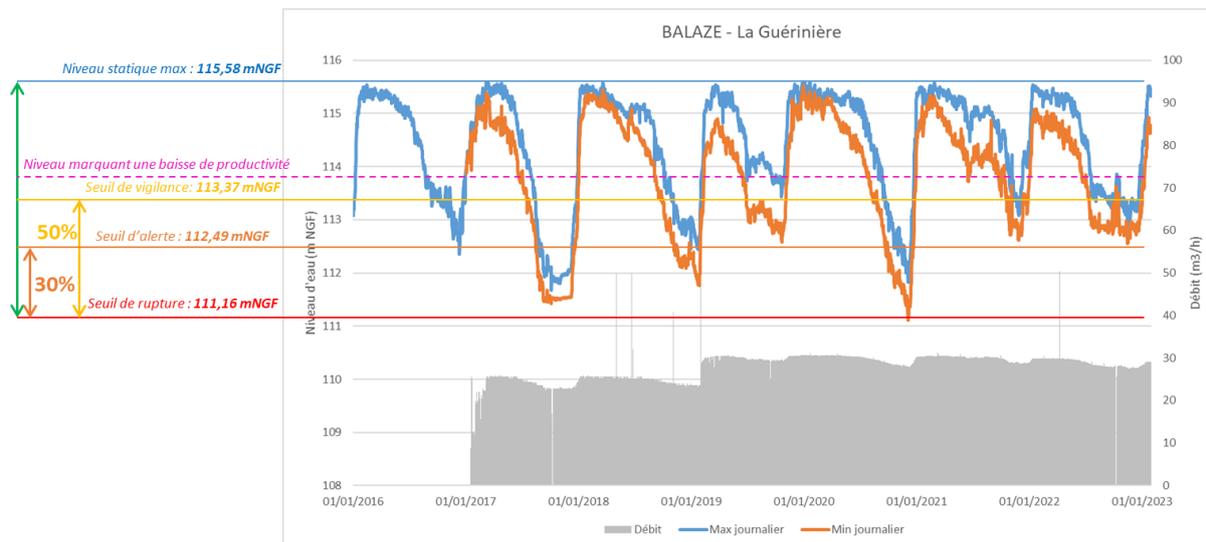


Illustration 55 : Mise en parallèle des seuils calculés (en altitude) et de la chronique de niveau

	Vigilance		Alerte	
	Période	Nombre de jours	Période	Nombre de jours
<b>2017</b>	17/07 au 30/12/2017	165	16/08 au 19/12/2017	126
<b>2018</b>	23/09/2018 au 08/02/2019	134	06/11/2018 au 30/01/2019	83
<b>2019</b>	29/06 au 03/11/2019	128	/	
<b>2020</b>	12/08 au 24/12/2020	127	23/09 au 21/12/2020	89
<b>2021</b>	19/10 au 27/12/2021	58	/	
<b>2022</b>	15/07 au 31/12/2022	167	/	

Illustration 56 : Périodes en vigilance et en alerte entre 2017 et 2022 d'après les seuils calculés à Balazé

La pertinence de ces seuils devra être vérifiée dans le temps, en fonction des éventuelles difficultés de production rencontrées sur l'ouvrage et des périodes d'import d'eau pour pallier au déficit de production du puits.

#### 5.4.5. Conclusion pour le site de Balazé

Le site de la Guérinière à Balazé est un ouvrage de captage particulier, avec un puits se déversant de manière gravitaire dans une chambre de pompage. Les coupes techniques du puits et de la chambre de pompage sont relativement bien connues, malgré des imprécisions sur la position exacte des barbacanes dans le puits (différences entre les diagnostics caméra réalisés en 2015 et en 2021). La chambre de pompage a été nivelée, la position de la sonde est connue et la chronique de suivi est assez courte (7 ans) mais fiable.

Actuellement, seul le niveau piézométrique dans la chambre de pompage est suivi. Il semble également important de suivre le niveau piézométrique du puits pour vérifier que les barbacanes ne sont pas dénoyées pendant l'exploitation, même si l'absence de pompe dans le puits limite ce risque.

Des seuils de vigilance et d'alerte ont pu être calculés : il faudra vérifier la pertinence de ces seuils et les relier à d'éventuelles difficultés de pompage puis revoir ces seuils si nécessaire dans quelques années pour les adapter à l'exploitation de l'ouvrage. Les imports d'eau réalisés l'été pour couvrir la perte de productivité du puits pourraient notamment être mis en relation avec les niveaux observés dans les ouvrages afin d'anticiper les achats d'eau pratiqués par le syndicat Eau des Portes de Bretagne.



## 6. Conclusions

Le SMG Eau 35 a sollicité le BRGM pour définir des seuils de gestion sur les captages d'eau souterraine pour l'AEP du département d'Ille-et-Vilaine (seuils de vigilance et d'alerte) afin de garantir l'exploitation des ouvrages AEP.

Dans le cadre du projet S-eau-S, l'objectif était de développer une méthode simple de définition des seuils de gestion à mettre en œuvre pour les syndicats d'eau potable, permettant de relier les niveaux piézométriques observés dans les ouvrages exploités à des éventuelles difficultés de pompage.

Dans un premier temps, les critères à prendre en compte pour pouvoir définir le niveau minimum admissible dans chaque ouvrage puis des seuils de gestion ont été listés (position des équipements, géométrie de l'aquifère, acquisition de données piézométriques en continu, à une fréquence suffisamment fine, sur une période de suivi assez longue, avec un repère et une unité de mesure connus) et une grille de détermination du niveau minimum admissible a été réalisée pour le définir sur chaque ouvrage souterrain, à partir des informations disponibles sur l'ouvrage : il correspond au niveau le plus bas pouvant être atteint dans l'ouvrage, c'est-à-dire un seuil de rupture en-dessous duquel l'exploitation n'est plus garantie.

Après avoir défini la méthodologie pour définir le niveau minimum admissible, en concertation avec les hydrogéologues des syndicats du pôle grand ouest, il a été décidé de raisonner en termes de lame d'eau exploitable, afin de pouvoir déterminer l'état de la ressource par rapport à un niveau minimum admissible. Le BRGM a ensuite co-construit avec le SMG Eau 35 et avec la collaboration des syndicats d'eau du Pôle Ouest une méthodologie théorique de définition des seuils de gestion pour couvrir les différents cas de figure possibles (contextes et connaissances disponibles). Plusieurs méthodes ont été proposées pour fixer des seuils de vigilance et d'alerte sur les ouvrages souterrains exploités pour l'eau potable (taux de remplissage entre le niveau minimum admissible et le niveau maximum, prise en compte des rabattements, prise en compte de la baisse estivale de productivité, analyse des données de volume).

Le BRGM propose de retenir et de tester la méthodologie du taux de remplissage qui consiste à fixer des seuils entre le niveau minimum permettant de prélever dans l'ouvrage sans conséquence négative (niveau minimum admissible) et le niveau maximum connu dans l'ouvrage, la différence entre ces deux niveaux étant appelée zone de battement d'exploitation. Des taux de remplissage à 50 % (seuil de vigilance) et 30 % (seuil d'alerte) ont été proposés. Ces taux doivent être ajustés en fonction des ouvrages, du contexte hydrogéologique et de l'impact du franchissement de ces seuils sur la productivité des ouvrages.

Enfin, la méthode du taux de remplissage a été testée sur 3 ouvrages exploités d'Ille-et-Vilaine (deux forages et un puits), situés dans des contextes géologiques distincts (socle/sédimentaire), avec des exploitants différents. Des visites de site ont été réalisées, les suivis disponibles ont été analysés et enfin des seuils de vigilance et d'alerte ont été calculés à partir de la méthode du taux de remplissage.

La méthode n'a pu être complètement validée car les 3 ouvrages choisis disposent de chroniques courtes et parfois peu fiables : il faudra donc vérifier la pertinence de ces seuils et les relier à d'éventuelles difficultés de pompage puis revoir ces seuils si nécessaire dans quelques années pour les adapter à l'exploitation de l'ouvrage.

L'analyse des critères permettant de fixer des seuils et les visites de sites réalisées amènent aux principaux constats suivants sur les ouvrages AEP souterrains d'Ille-et-Vilaine :

4. la position du repère de mesure, de la sonde de mesure et l'unité (hauteur d'eau, profondeur, altitude) sont souvent mal connues,
5. les chroniques de suivi des niveaux sont parfois peu fiables (précision de la sonde, unité de mesure, valeurs aberrantes, ...),
6. la position des équipements dans les ouvrages est relativement bien connue grâce à des inspections caméra réalisées récemment par le SMG Eau 35.

De ce fait et afin de permettre d'avancer sur la problématique, le BRGM préconise les actions suivantes pour chacun de ces constats :

**4. Position du repère de mesure et de la sonde :**

- a. vérifier la position de la sonde à chaque dépose de la pompe et à chaque intervention sur l'ouvrage, en mesurant la longueur du câble du capteur de pression ;
- b. compléter une fiche de vie par ouvrage pour bancariser les différents événements pouvant affecter la chronique, la production ou les rabattements : historique des ruptures d'approvisionnement, de l'entretien des ouvrages, des nettoyages et changements de pompe, des changements de sonde ;
- c. mettre un repère visuel sur chacun des ouvrages et sur chaque sonde pour identifier facilement le repère de mesure.

**5. Fiabilité des chroniques :**

- a. poursuivre l'acquisition et la bancarisation de données piézométriques dans les ouvrages AEP souterrains, fiabiliser les chroniques et les nettoyer en supprimant les valeurs peu fiables ;
- b. réaliser régulièrement des mesures manuelles de contrôle des enregistrements de la sonde de niveau ;
- c. envisager une homogénéisation des données bancarisées à l'échelle du département, en proposant un format de transmission des données (a minima niveau minimum et maximum journalier, unité, débit moyen, volume journalier) et en intégrant ces données dans un outil dédié (par exemple seQoya, développé par Aquasys, en Ille-et-Vilaine) ;
- d. bancariser les chroniques de volumes, de temps de pompage et/ou de débit de la pompe pour disposer d'autres mesures parfois plus fiables que les niveaux, pouvant également servir à l'étude de l'évolution de la productivité des ouvrages.

**6. Position des équipements :**

- a. réaliser des diagnostics caméra dans les ouvrages pour préciser l'équipement de l'ouvrage (crépines, barbacanes, pompe).

Ainsi, les solutions proposées dans le cadre de ce projet sont perfectibles et ne sont pas définitives car elles n'ont pu être testées à grande échelle dans le cadre de ce projet : des évolutions seront donc à prévoir en fonction des résultats des tests qui seront menés sur des chroniques plus longues et fiabilisées. Il sera peut-être nécessaire de disposer de méthodes

différentes en fonction des départements (contextes hydrogéologiques différents). Il est proposé que les différents syndicats d'eau intéressés testent les méthodologies proposées (taux de remplissage, prise en compte des rabattements, baisse de productivité estivale) et fassent un retour d'expérience lors des prochaines rencontres de hydrogéologues des syndicats d'eau départementaux du Grand Ouest. Les seuils pourront être affinés dans quelques années et les pourcentages de remplissage pertinents sur chaque ouvrage pourront être définis. Il est en particulier important de vérifier la compatibilité des seuils qui seront définis par cette méthode avec ceux déjà fixés par les exploitants, par souci de cohérence et pour ne pas être en alerte systématique si le niveau minimum admissible est régulièrement dépassé.

**Ce projet a mis en évidence l'importance de l'acquisition et de la bancarisation de données fiables, préalablement à toute tentative de définition de seuils de gestion ou de prévision de l'évolution des niveaux dans un ouvrage.**

Le projet S-eau-S a permis d'engager la réflexion entre les différents syndicats d'eau départementaux du Grand Ouest et le BRGM sur la définition de seuils de gestion, l'utilité de ces seuils et la nécessaire fiabilité des chroniques de suivi des niveaux dans les ouvrages souterrains exploités pour l'eau potable.



## 7. Bibliographie

BOISSON, A., LUCASSOU, F. ET BOIVIN, B. (2023) - Dynamiques annuelles et pluriannuelles des ressources en eau en Région Bretagne – Projet Eau Pour Demain. BRGM/RP-73058-FR. 182 p

BOISSON A., LUCASSOU F., avec la collaboration de. SCHROËTTER J.-M ET MOUGIN B. (2021) – Identification et caractérisation des aquifères tertiaires et quaternaires stratégiques de Bretagne (projet ICARE). Rapport final. BRGM/RP-70336-FR, 76 p., 43 ill., 2 ann., 1 volume séparé.

BOISSON A., LUCASSOU F. (2020) – Annexes du rapport BRGM/RP-70336-FR : Identification et caractérisation des aquifères tertiaires et quaternaires stratégiques de Bretagne (projet ICARE). Rapport final BRGM/RP-70454-FR, 216 p., 224 ill.

BRUNEL, L. ; TALBO.H. (1978) - Bassin tertiaire de Médréac (Ille-et-Vilaine). Rapport BRGM/78-SGN-267-BPL, 35 p. 4 pht.

CABALLERO, Y. ; GRIOLET.C. (2005) - Seuils d'alerte pour la gestion des eaux souterraines des nappes alluviales du Baracci, Liamone, Chiuni, Gravone, Taravo et Tarco. Rapport final. BRGM/RP-54015-FR, 31 p. 8 fig.

CASTANY (1998) - Principes et méthodes de l'hydrogéologie – Dunod

CALLIGEE (2018) – Syndicat mixte des eaux de la Valière – Dossier préparatoire pour la demande de DUP – Actualisation de la déclaration de prélèvement, des périmètres de protection et de l'autorisation de distribuer de l'eau en vue de la consommation humaine. Captage de la Guérinière – Balazé (Ille-et-Vilaine). Phase 1 – Partie 1 : Etude du contexte hydrogéologique. Rapport CALLIGEE N15-35160

COLLIN J.-J (2004) - Les eaux souterraines - Connaissance et gestion. Coédition BRGM Editions - Hermann

DETAY M. (1993) - Le forage d'eau. Réalisation, entretien, réhabilitation. Edition: Ingénierie de l'environnement. Masson, Paris.

DREAL Bretagne, DDTM 22-29-35-56, BRGM (2022). Guide méthodologique Forages et prélèvements d'eau souterraine.

DRISCOLL F.G. (1986) - Groundwater and wells. Johnson Division, 1108 p.

FORKASIEWICZ.J. (1976) - Calcul des ouvrages de captage. Rapport 1. Calcul des pertes de charge dans les puits ou forages. Application à la détermination du débit exploitable. BRGM/76-SGN-380-AME, 38 p. 1 pht.

FORKASIEWICZ.J. (1978) - Essais de puits par paliers de débit. Analyse et interprétation des données. BRGM/78-SGN-040-HYD, 31 p.

GHI (2021a) – Rapport d'intervention – Diagnostic de forage : inspection télévisée, diagraphie et pompage d'essai. Forage FE5 – Commune de Plesder – Intervention du 11 au 14/10/2021. R/21/673/A773

GHI (2021b) – Rapport d'intervention : inspection télévisée – Puits de la Guérinière – Commune de Montautour (35) Balazé – Intervention du 18/11/2021. R/21/689/A839

GHI (2023) – Rapport d'intervention – Diagnostic de forage : inspection télévisée, diagraphie et pompage d'essai. Forage de la Bouexière – Commune de Médréac (35) – 07-09/02/2023. R/23/818/A976

KRUSEMAN G., DE RIDDER N. (1974) - Analysis and evaluation of pumping test data, Environmental Science.

LAUGA R. (1990) - Pratique du forage d'eau. Seesam Ed.

LogHydro (2015) – Inspection caméra du captage de la Guérinière 03184X0001/P – Commune de Balazé (35) – 02/03/2015. R-15.29

Norme NF X 10-999 (2014) - Forage d'eau et de géothermie Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages. AFNOR.

PARIS F., JEGOUZO P., ESTEOULE-CHOUX J. (1974). Carte géologique de la France, N°281 Caunes. BRGM.

ROUXEL E. (2012) - Réseau de suivi départemental des ressources en eau souterraine utilisées pour l'AEP, Maine-et-Loire. Année 2011-2012 : Mise en service. Rapport final. BRGM/RP-61830-FR, 70 p., 2 ann.

ROUXEL E. ; COURBIER P. ; DE CATHELINTEAU T. ; HENRIOT A. ; LABBE V. ; VERNOUX J.-F. ; DEWANDEL B. ; LEFEVRE, A. (2021) - Réseau de suivi des ressources en eau souterraine utilisées pour l'AEP, Maine-et-Loire - Bilan années 2020 & 2021 et perspectives 2022. Rapport final. BRGM/RP-71353-FR, 126 p.

ROUXEL E., LUCASSOU F., HENRIOT A., GABILLARD S., LEFEVRE A. (2023) – Réseau de suivi des ressources en eau souterraine utilisées pour l'AEP, Maine-et-Loire – Année 2022. Rapport final V1. BRGM/RP-72853-FR, 106 p.

SALTEL M., DEWANDEL B. (2016) - Caractérisation du dénoyage d'un aquifère, approche au puits, exemple du réservoir de l'Oligocène au Sud de l'agglomération bordelaise. RST 2014 : 24e réunion des sciences de la terre, Oct. 2014, Pau, France.

SCHROËTTER, J.-M. ; BOISSON, A. ; LUCASSOU, F. ; BADER, A.-G. ; BECCALETTO, L. ; OUERGHI, Y. ; TOURLIERE, B. (2020) - ANAFORE : ANALYse multicritère des données de FORages les plus productifs de bretagne - Rapport final. BRGM/RP-70280-FR, 156 p., 2 ann.

SEGUIN, J.-J. ; GOMEZ, E. ; WUILLEUMIER, A. (2009) - Les indicateurs piézométriques. Un outil dans la gestion des hydrosystèmes. Orientations méthodologiques. BRGM/RP-58139-FR, 162 p., 6 ann.

SMG Eau 35 (2020) - Observatoire des services d'eau potable d'Ile-et-Vilaine – édition 2020

SMG Eau 35 (2021) - Observatoire des services d'eau potable d'Ile-et-Vilaine – édition 2021

VEOLIA Eau (2008) – Forage de la Bouexière – Commune de Médréac (35) – Rapport d'étude diagnostique sur le forage de la Bouexière et sur la ressource en eau souterraine sollicitée (nappe des faluns du bassin cénozoïque de Médréac).





**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**Centre scientifique et technique**

3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34

**Direction régionale Bretagne**

2, rue de Jouanet  
35700 – Rennes – France  
Tél. : 02 99 84 26 70

[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**