



NOTE D'ORIENTATION N° 5

# Amélioration de la résilience des infrastructures de gestion des eaux souterraines face aux changements climatiques

---

Guide à l'intention des  
praticiens humanitaires

# Sommaire

<b>Introduction</b> .....	<b>14</b>
<b>Pourquoi ces conseils ?</b> .....	<b>14</b>
<b>À qui s'adressent ces conseils ?</b> .....	<b>15</b>
<b>Champ d'application</b> .....	<b>16</b>
<b>1 Comprendre le contexte : changement climatique et eaux souterraines</b> .....	<b>17</b>
<b>1.1</b> Eaux souterraines et le changement climatique .....	17
<b>1.2</b> Impact des inondations sur les eaux souterraines.....	19
<b>1.2.1</b> Quantité d'eau souterraine.....	19
<b>1.2.2</b> Qualité des eaux souterraines.....	20
<b>1.2.3</b> Vulnérabilité des infrastructures liées aux eaux souterraines face aux inondations.....	20
<b>1.3</b> Impact de la sécheresse sur les eaux souterraines.....	21
<b>1.3.1</b> Quantité d'eau souterraine.....	21
<b>1.3.2</b> Qualité des eaux souterraines.....	23
<b>1.3.3</b> Renforcer la résilience des infrastructures liées aux eaux souterraines face à la sécheresse.....	24
<b>2 Implantation d'infrastructures de gestion des eaux souterraines résilientes au climat</b> .....	<b>28</b>
<b>2.1</b> Accès à l'eau.....	30
<b>2.2</b> Utilisation de l'eau.....	31
<b>2.3</b> Variabilité climatique.....	33
<b>2.4</b> Disponibilité des eaux souterraines.....	35
<b>2.5</b> Travaux dans les zones inondables.....	40

<b>2.5.1</b> Considérations relatives aux risques d'inondation.....	40
<b>2.6</b> Travailler dans des zones sujettes à la sécheresse.....	49
<b>2.6.1</b> Considérations relatives aux risques de sécheresse.....	49
<b>2.6.2</b> Réalisation d'une étude.....	59
<b>2.6.3</b> Évaluation des risques liés à la qualité de l'eau en cas de sécheresse...	60
<b>3 Conception et construction d'infrastructures souterraines résistantes au climat</b> .....	<b>63</b>
<b>3.1</b> Forages.....	63
<b>3.1.1</b> Forages résistants aux inondations.....	70
<b>3.1.2</b> Forages résistants à la sécheresse.....	79
<b>3.1.3</b> Exploitation et maintenance des forages.....	89
<b>3.2</b> Puits creusés.....	93
<b>3.2.1</b> Puits creusés résistants aux inondations.....	95
<b>3.2.2</b> Puits creusés résistants à la sécheresse.....	100
<b>3.2.3</b> Exploitation et maintenance des puits creusés.....	104
<b>3.3</b> Sources.....	107
<b>3.3.1</b> Évaluation des sources résistantes au climat.....	111
<b>3.3.2</b> Mesures de résilience climatique pour les sources.....	113
<b>3.3.3</b> Réhabilitation des sources existantes pour la résilience climatique.....	116
<b>3.3.4</b> Exploitation et entretien des sources.....	118
<b>3.4</b> Technologies alternatives et complémentaires pour les zones sujettes à la sécheresse.....	122
<b>3.4.1</b> Barrages de sable.....	123
<b>3.4.2</b> Barrages de retenue.....	126

<b>3.4.3</b> Galeries d'infiltration avec puits de tranquillisation .....	128
<b>4</b> <b>Gestion durable des ressources en eau</b> .....	<b>132</b>
<b>4.1</b> Gestion des ressources en eaux souterraines .....	132
<b>4.1.1</b> Surveillance du niveau des eaux souterraines .....	133
<b>4.1.2</b> Surveillance de la qualité des eaux souterraines .....	141
<b>4.2</b> Utilisation des données de surveillance pour la planification à long terme et la résilience .....	143
<b>4.2.1</b> Applications de planification stratégique .....	143
<b>4.2.2</b> Analyse avancée pour une gestion durable des eaux souterraines .....	144
Bibliographie .....	146
Annexe 1 : Liste de contrôle pour l'évaluation des forages .....	149
Annexe 2 : Liste de contrôle pour l'évaluation des puits creusés .....	159
Annexe 3 : Liste de contrôle pour l'évaluation des sources .....	173



### Besoin de trouver quelque chose rapidement ?

Pour naviguer dans ce document, cliquez simplement sur la section correspondante indiquée ci-dessus. Vous pouvez également accéder directement aux différentes sections à tout moment en utilisant la barre de navigation située en haut de chaque page.

## Encadrés

<b>Encadré 1 :</b> Questions clés relatives aux sources d'eau et à leur accessibilité	31
<b>Encadré 2 :</b> Aperçu des méthodes d'étude géophysique de surface (Davis et Lambert, 2002)	39
<b>Encadré 3 :</b> Documentation clé pour des conseils pratiques sur la réalisation d'évaluations hydrogéologiques	40
<b>Encadré 4 :</b> Considérations hydrogéologiques pour les puits creusés dans les zones inondables	45
<b>Encadré 5 :</b> Détermination des distances minimales de sécurité (DMS) pour les activités potentiellement polluantes à proximité des points d'eau (OMS, 2024)	46
<b>Encadré 6 :</b> Principaux indicateurs de la qualité de l'eau potable (Association Sphère, 2018)	48
<b>Encadré 7 :</b> L'importance de la triangulation dans la consultation communautaire	48
<b>Encadré 8 :</b> Remise en service et réhabilitation des forages et des puits après une inondation (adapté de McCluskey, 2021)	78
<b>Encadré 9 :</b> Remise en service et réhabilitation des sources après une inondation (adapté de Swistock <i>et al.</i> , 2022)	117
<b>Encadré 10 :</b> Surveillance du décalage temporel de la sécheresse des eaux souterraines	140

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> Anomalie annuelle de la température mondiale (Source : Rapport sur la température mondiale pour 2024 - Berkeley Earth)	14
<b>Figure 2 :</b> Un professionnel WASH prélevant des échantillons d'eau dans un forage pour analyser la qualité de l'eau au Zimbabwe (Njanike, 2024)	15
<b>Figure 3 :</b> Forage inondé utilisé pour laver du linge dans le district de Laguna, aux Philippines, octobre 2009 (Photo : Geraint Burrows)	19
<b>Figure 4 :</b> Emplacements vulnérables permettant l'entrée directe des eaux de crue dans les puits sans mesures de protection contre les inondations (Musche <i>et al.</i> , 2018)	21
<b>Figure 5 :</b> Illustration de la propagation de la sécheresse à partir des déficits de précipitations (sécheresse météorologique), qui peuvent s'accompagner d'une augmentation de la demande d'évaporation atmosphérique, jusqu'aux déficits d'humidité du sol (sécheresse agricole), au faible débit des cours d'eau ou au niveau des eaux souterraines (Zhang <i>et al.</i> , 2022)	22
<b>Figure 6 :</b> Éléments à prendre en compte lors du choix d'un site pour le développement des eaux souterraines	29
<b>Figure 7 :</b> Schéma d'un système d'eau souterraine (modifié d'après Enemark <i>et al.</i> , 2019)	36
<b>Figure 8 :</b> Évaluation préalable à la construction dans une zone inondable	41
<b>Figure 9 :</b> Marques historiques laissées par les inondations sur un bâtiment à Pibor (Soudan du Sud)	43
<b>Figure 10 :</b> Schéma du débit des eaux souterraines pour les systèmes à écoulement libre non perturbés par le pompage, où la nappe phréatique reflète souvent la topographie de surface	46
<b>Figure 11 :</b> Évaluation préalable à la construction dans une zone sujette à la sécheresse	50
<b>Figure 12 :</b> Cône de dépression dans les aquifères à faible perméabilité par rapport aux aquifères à haute perméabilité (WEDC, 2019)	58

<b>Figure 13</b> : Remontée d'eau salée due à un pompage intensif (Sreedharan et Pawels, 2018)	62
<b>Figure 14</b> : Limitation pratique du taux de prélèvement d'eau souterraine dans un aquifère non confiné (Source : Carter, 2021)	64
<b>Figure 15</b> : Plages de conductivité hydraulique de certains types de roches en mètres par jour (Source : Carter, 2021)	65
<b>Figure 16</b> : Ensemble de tamis et balances de Groundwater Relief sur le site de protection des civils de Bentiu au Soudan du Sud, août 2017	67
<b>Figure 17</b> : Le personnel de l'Organisation internationale pour les migrations utilise des tamis Groundwater Relief pour s'assurer que le gravier répond aux spécifications avant de l'acheminer vers le site de protection des civils de Bentiu au Soudan du Sud	67
<b>Figure 18</b> : Composants d'un forage (Misstear <i>et al.</i> , 2017)	69
<b>Figure 19</b> : Exemples de plates-formes de forage surélevées résistantes aux inondations au Soudan du Sud (photo de gauche provenant de l'UNICEF, 2022), photo de droite provenant des travaux réalisés par Groundwater Relief dans le cadre du projet ECRP-II de l'Organisation internationale pour les migrations	71
<b>Figure 20</b> : Conception d'une plate-forme de forage résistante aux inondations	73
<b>Figure 21</b> : Composants d'un joint sanitaire pour forage destiné à la protection contre les inondations	75
<b>Figure 22</b> : Forage commun avec pompe à main dans des conditions sanitaires (OMS, 2024)	76
<b>Figure 23</b> : Exemple de conception d'un forage dans des sédiments non consolidés	81
<b>Figure 24</b> : Sonde de bas niveau fixée à une conduite de remontée	82
<b>Figure 25</b> : Tuyau en PVC avec un bouchon inférieur et plusieurs trous percés servant de tube plongeur pour un forage au Soudan du Sud	83

<b>Figure 26 :</b> (À gauche) Un bouchon sécurisé pour l'ouverture du tube plongeur afin d'empêcher la contamination et la pénétration de la pluie ; (Au milieu) Ouverture du tube plongeur de 2 pouces de diamètre ; (À droite) Mesure du niveau d'eau à partir du haut du tube plongeur à l'aide d'un dipemètre	84
<b>Figure 27 :</b> Conceptions de puits creusés pour a) une nappe phréatique peu profonde et b) une nappe phréatique profonde (Misstear <i>et al.</i> , 2017)	94
<b>Figure 28 :</b> Ajout de coulis d'argile pour assurer l'étanchéité sanitaire d'un puits à Madagascar (CARE Nederland, 2016)	99
<b>Figure 29 :</b> Puits résistant aux inondations en cours de construction à Madagascar (CARE Nederland, 2016)	99
<b>Figure 30 :</b> Réhabilitation de la dalle de couverture d'un puits en Sierra Leone (Inter Aide, 2015)	100
<b>Figure 31 :</b> Puits creusé approfondi par jet afin de créer un forage de petit diamètre (Davis et Lambert, 2002)	102
<b>Figure 32 :</b> Différents types de sources : a) à la jonction entre différents types de roches ; b) rupture de pente ; c) karstique ; d) interface douce/salée ; e) contrôlée par une faille (MacDonald <i>et al.</i> , 2005)	108
<b>Figure 33 :</b> Conception d'un collecteur de source avec un côté perméable pour la collecte en pente	110
<b>Figure 34 :</b> Conception d'un puits de source avec fond perméable pour la collecte de l'eau de source s'écoulant d'une ouverture sur un terrain plat	111
<b>Figure 35 :</b> Étapes pour collecter les mesures du débit d'une source. Étape 1 : Trouver un emplacement approprié le long de la source où le sol présente une pente naturelle. Étape 2 : Construire un barrage à l'aide de boue/terre/pierres en travers de la source à un point relativement élevé. Étape 3 : Enfoncer le tuyau	113
<b>Figure 36 :</b> Mesures de protection des sources (Ahmed <i>et al.</i> , 2016)	115
<b>Figure 37 :</b> Principales caractéristiques d'une source bien protégée (OMS, 2024)	116
<b>Figure 38 :</b> Puits creusé à la main adjacent à un barrage de sable, l'eau s'infiltrant dans le puits à travers les parois en béton du caisson	125

<b>Figure 39</b> : Photos de deux barrages de sable illustrant les différentes tailles : un barrage de sable de 200 sacs de ciment (en haut) et un barrage de sable de 850 sacs de ciment (en bas) (Maddrell, 2018)	125
<b>Figure 40</b> : Série de barrages de retenue simples en pierres sèches construits en cascade pour contrôler l'érosion et retenir l'eau dans le sol environnant (Oxfam GB, s.d.)	128
<b>Figure 41</b> : Conception d'une galerie d'infiltration dans le lit d'une rivière et d'un puits de tranquillisation (Davis et Lambert, 2002)	131
<b>Figure 42</b> : Exemple de jauge de niveau d'eau (peut varier selon le fabricant)	134
<b>Figure 43</b> : Exemple d'hydrogramme montrant les mesures de niveau d'eau à haute fréquence effectuées à l'aide d'un enregistreur de données (en bleu) ainsi que les mesures manuelles effectuées à l'aide d'un dipemètre (en rouge)	135
<b>Figure 44</b> : Hydrogramme type du rapport mensuel de situation (source : Agence pour l'environnement, Royaume-Uni)	138
<b>Figure 45</b> : Exemple d'hydrogramme comparé aux données sur la profondeur des puits et les précipitations afin de faciliter la communication avec les agriculteurs de Goundi, au Burkina Faso (GWR, 2016)	138

## Tableaux

<b>Tableau 1</b> : Aperçu des impacts de la sécheresse sur différents types d'infrastructures souterraines	24
<b>Tableau 2</b> : Rendement et utilisation des puits ou forages (Carter, 2021)	33
<b>Tableau 3</b> : Ressources utiles pour aider à identifier les risques climatiques	34
<b>Tableau 4</b> : Facteurs clés pour comprendre la disponibilité des eaux souterraines	37
<b>Tableau 5</b> : Considérations relatives à l'impact de la sécheresse dans différents environnements hydrogéologiques	54
<b>Tableau 6</b> : Ouvertures typiques des tamis pour différentes formations aquifères (Davis et Lambert, 2002)	66
<b>Tableau 7</b> : Caractéristiques des forages	68
<b>Tableau 8</b> : Mesures de protection contre les inondations pour les forages	70
<b>Tableau 9</b> : Mesures de réhabilitation des forages dans les zones inondables	77
<b>Tableau 10</b> : Mesures de résilience à la sécheresse pour les forages	79
<b>Tableau 11</b> : Mesures de réhabilitation des forages dans les zones sujettes à la sécheresse	85
<b>Tableau 12</b> : Calendrier d'exploitation et de maintenance des forages	89
<b>Tableau 13</b> : Caractéristiques des puits creusés	94
<b>Tableau 14</b> : Mesures de protection contre les inondations pour les puits creusés	95
<b>Tableau 15</b> : Mesures de réhabilitation des puits creusés dans les zones inondables	97
<b>Tableau 16</b> : Mesures de résilience pour les puits creusés dans les régions sujettes à la sécheresse	101
<b>Tableau 17</b> : Mesures de réhabilitation des puits creusés existants dans les zones sujettes à la sécheresse	103

<b>Tableau 18</b> : Exemple de calendrier d'exploitation et de maintenance pour les puits creusés	104
<b>Tableau 19</b> : Caractéristiques des sources d'eau souterraine	109
<b>Tableau 20</b> : Mesures de protection contre les inondations et la sécheresse pour les sources	114
<b>Tableau 21</b> : Mesures de réhabilitation des sources résilientes au changement climatique	118
<b>Tableau 22</b> : Calendrier d'exploitation et de maintenance des sources protégées	119
<b>Tableau 23</b> : Caractéristiques des barrages de sable	123
<b>Tableau 24</b> : Caractéristiques des barrages de contrôle	126
<b>Tableau 25</b> : Caractéristiques des galeries d'infiltration	129

## Acronymes et abréviations

<b>GIEC</b>	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
<b>GIRE</b>	Gestion intégrée des ressources en eau
<b>HMT</b>	Hauteur manométrique totale
<b>ND</b>	Niveau dynamique de l'eau
<b>NPE</b>	Niveau de pompage de l'eau
<b>NS</b>	Niveau statique de l'eau
<b>OMS</b>	Organisation mondiale de la Santé
<b>ONG</b>	Organisations non gouvernementales
<b>PEID</b>	Petits États insulaires en développement
<b>RCP</b>	Trajectoire de concentration représentative
<b>SPI</b>	Indice de précipitations normalisé
<b>TSD</b>	Total des solides dissous
<b>UTN</b>	Unités de turbidité néphélométrique
<b>WRI</b>	World Resources Institute

## Citation

Rygas, M. (2025). Amélioration de la résilience des infrastructures de gestion des eaux souterraines face aux changements climatiques. Guide à l'intention des praticiens humanitaires. Oxfam. Oxford.

## Remerciements

Ce rapport a été financé par le ministère fédéral allemand des Affaires étrangères. Il a été rédigé par Michelle Rygas de Groundwater Relief (GWR), avec la contribution de Hannah Ritchie (membre de GWR) et le soutien de Nick Mannix et Geraint Burrows (GWR) et de Andy Bastable (Oxfam).

**Édition** : Peta Sandison

**Conception** : Ibex Ideas

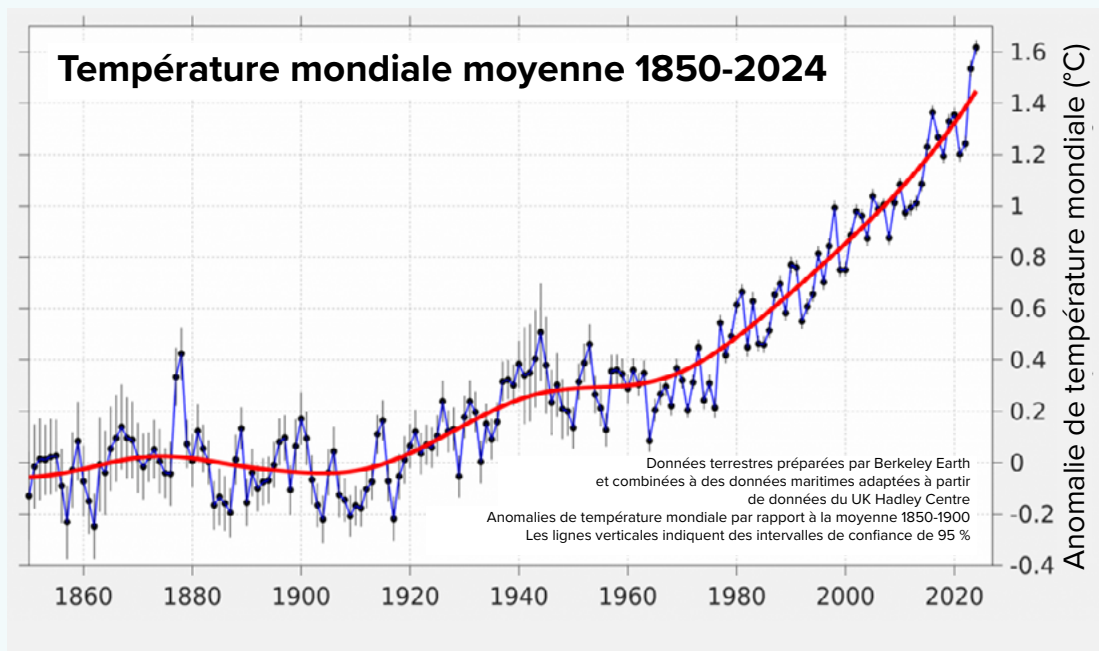
**Image de couverture** : Creaturart Images | Shutterstock

# Introduction

## Pourquoi ces recommandations ?

Notre monde traverse actuellement des changements climatiques importants. Les températures mondiales ont augmenté d'environ 1,5 °C depuis l'ère préindustrielle (Organisation météorologique mondiale, 2024), ce qui a entraîné des effets en série sur nos systèmes hydrologiques.

Figure 1 : Anomalie de température annuelle mondiale



Source: [Global Temperature Report for 2024 - Berkeley Earth](#)

Nous assistons à la fonte des glaces marines, à une élévation moyenne du niveau de la mer d'environ 3,6 mm par an entre 2006 et 2015 (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [GIEC], 2022), ainsi qu'à la diminution des masses neigeuses qui fondent plus tôt, réduisant ainsi la disponibilité en eau douce dans de nombreux bassins fluviaux. Les régimes pluviométriques deviennent plus irréguliers, certaines régions étant confrontées à des précipitations excessives ou à des périodes de sécheresse prolongées. En outre, la fréquence et la gravité des phénomènes extrêmes tels que les tempêtes, les inondations et les incendies de forêt sont en augmentation.

Dans ce contexte, les eaux souterraines deviennent une ressource de plus en plus vitale.

Leur vaste capacité de stockage naturel souterrain offre une protection essentielle contre les effets des changements climatiques sur les réserves d'eau de surface, soutenant à la fois la consommation directe d'eau et la production d'aliments essentiels.

Cependant, les infrastructures que nous construisons pour accéder à ces eaux souterraines ne sont pas à l'abri des défis climatiques. Comme tout autre investissement, les systèmes d'approvisionnement en eau souterraine doivent être conçus et construits de manière à résister aux menaces croissantes d'inondations et de sécheresses plus fréquentes et plus graves, qui touchent de vastes régions à travers le monde.

Ce guide fournit des stratégies pratiques et axées sur le terrain relatives aux nouvelles installations et à la modernisation des infrastructures existantes afin de garantir la résilience des infrastructures souterraines et leur capacité à continuer de fournir de l'eau même lors d'événements climatiques extrêmes.

## À qui s'adresse ce guide ?

Ce document est destiné aux professionnels du secteur WASH intervenant dans la planification, la conception et la construction d'infrastructures de gestion des eaux souterraines, ainsi qu'aux organismes gouvernementaux, aux organisations non gouvernementales (ONG) et aux organisations humanitaires qui œuvrent à l'amélioration de l'approvisionnement en eau dans les zones rurales vulnérables aux changements climatiques.

**Figure 2 :** Au Zimbabwe, un professionnel du secteur WASH prélève des échantillons d'eau dans un forage pour analyser la qualité de l'eau



Photo: Njanike (2024). Qualité de l'image améliorée avec Nano Banana Pro

## Champ d'application

Ce guide porte sur la conception et la construction d'infrastructures souterraines résistantes au climat. Il se concentre principalement sur les forages, mais prend également en considération les puits creusés et les sources dans les zones sujettes aux inondations ou à la sécheresse, afin de garantir un accès durable à l'eau.

Il est divisé en quatre sections :

1

**Comprendre le contexte : changements climatiques et eaux souterraines :** cette section présente le contexte expliquant l'impact des changements climatiques sur les ressources en eaux souterraines, et souligne la nécessité de solutions résilientes.

2

**Implantation d'infrastructures souterraines résilientes au climat :** les évaluations préalables à la construction sont décrites afin de faciliter le choix d'emplacements appropriés pour les nouvelles infrastructures souterraines dans les zones sujettes aux inondations ou à la sécheresse.

3

**Conception et construction d'infrastructures de gestion des eaux souterraines résilientes au climat :** cette section propose des stratégies pratiques pour la construction de nouveaux forages, puits creusés et sources, ainsi que des mesures de restauration des infrastructures existantes afin de les rendre résilientes aux phénomènes climatiques extrêmes.

4

**Gestion des ressources en eau dans les zones sensibles au climat :** cette section aborde des stratégies plus larges pour une gestion durable des ressources en eaux souterraines (par exemple, surveillance, allocation, protection) dans les zones fortement touchées par les changements climatiques.

Ce guide ne cherche pas à reproduire les nombreux documents existants sur les meilleures pratiques en matière de développement des eaux souterraines (par exemple, les techniques de forage). Il vise plutôt à les améliorer en ajoutant des mesures spécifiques et climato-résilientes relatives aux inondations et aux sécheresses, tout en recensant les principales ressources techniques à consulter.

# 1 Comprendre le contexte : changements climatiques et eaux souterraines

## 1.1 Eaux souterraines et changements climatiques

Les eaux souterraines, qui représentent environ 99 % de toute l'eau douce liquide sur Terre, apportent des avantages sociaux, économiques et environnementaux à la société, notamment en matière d'adaptation aux changements climatiques (UNESCO, 2020). Comme les aquifères stockent d'énormes volumes d'eau accumulés au fil des années, des décennies, voire des millénaires, ils sont comparativement plus résistants à la variabilité climatique que les systèmes d'eau de surface.

Les changements climatiques ont un impact sur les eaux souterraines, puisqu'ils amplifient les phénomènes climatiques extrêmes tels que les sécheresses et les inondations. Souvent, ces phénomènes extrêmes se produisent dans la même région (phénomène appelé « coup de fouet climatique »), où l'on observe des variations rapides entre différentes conditions météorologiques extrêmes. Par conséquent, les professionnels du secteur WASH qui mettent en œuvre de nouvelles infrastructures ou restaurent les infrastructures existantes de gestion des eaux souterraines peuvent être amenés à prendre en compte à la fois l'impact des sécheresses et des inondations dans une même région.

Les changements climatiques ont à la fois un impact direct sur les ressources en eaux souterraines, car ils modifient le bilan hydrique, et un impact indirect, car ils augmentent la demande humaine (UNESCO, 2020).

### Impacts directs :



**Précipitations et évapotranspiration** : les changements climatiques entraînent une intensification des précipitations, ce qui se traduit par une diminution des précipitations légères et une augmentation de la fréquence des précipitations abondantes. Les fortes pluies peuvent favoriser la recharge des nappes phréatiques, en particulier dans les zones arides. Cependant, la hausse des températures augmente également l'évapotranspiration, ce qui peut limiter la quantité d'eau disponible pour reconstituer les nappes phréatiques.



**Glace, neige et pergélisol** : dans les régions froides, la modification des schémas de fonte des neiges réduit la durée et le volume de la recharge saisonnière, aggravant ainsi les faibles débits estivaux. Le dégel du pergélisol crée également de nouvelles voies d'écoulement des eaux souterraines, renforçant ainsi la connexion entre les aquifères et les eaux de surface.



**Élévation du niveau de la mer et salinisation** : l'élévation globale du niveau de la mer provoque l'intrusion d'eau salée dans les aquifères côtiers et contamine les réserves d'eau douce, ce qui constitue la plus grande menace pour les deltas de faible altitude et les petits États insulaires en développement (PEID). L'ampleur de l'intrusion d'eau salée est souvent accélérée par le pompage intensif des eaux souterraines, qui abaisse le niveau des nappes phréatiques de manière plus significative que la seule élévation du niveau de la mer.



**Qualité des eaux souterraines** : les phénomènes climatiques extrêmes dégradent directement la qualité des eaux souterraines. Les précipitations intenses peuvent entraîner des contaminants, tels que des agents pathogènes et des nitrates, de la surface vers les aquifères, en particulier dans les zones où l'assainissement est insuffisant. À l'inverse, les sécheresses peuvent entraîner une concentration de solutés tels que l'arsenic et les nitrates dans les aquifères peu profonds en raison d'une évaporation accrue et d'une dilution réduite due à la recharge.

### Impacts indirects :



**L'augmentation de la demande en eau**, en particulier pour l'irrigation, en réponse à la hausse des températures et à la diminution de la fiabilité des eaux de surface, est souvent l'impact le plus important des changements climatiques. L'augmentation du pompage peut entraîner un épuisement des eaux souterraines, menaçant les débits environnementaux et la sécurité hydrique à long terme.

Il est essentiel de comprendre l'impact des phénomènes climatiques extrêmes (sécheresses et inondations) pour concevoir et gérer des infrastructures souterraines résilientes, capables de résister aux périodes de pénurie d'eau tout en protégeant la qualité de l'eau lors d'épisodes de précipitations extrêmes.

## 1.2 Impact des inondations sur les eaux souterraines

Les inondations affectent à la fois la quantité et la qualité des ressources en eaux souterraines.

**Figure 3 :** Un forage inondé utilisé pour laver du linge dans le district de Laguna, aux Philippines, octobre 2009



Photo : Geraint Burrows. Qualité de l'image améliorée avec Nano Banana Pro

### 1.2.1 Quantité d'eau souterraine

Les inondations peuvent avoir un impact significatif sur la disponibilité de l'eau douce pour les populations touchées en coupant l'accès, en contaminant ou en rendant inutilisables les points d'eau existants.

Les inondations peuvent également favoriser la recharge des eaux souterraines en augmentant le taux d'infiltration. Le volume de recharge supplémentaire dépendra de divers facteurs, notamment la durée de l'inondation, la capacité d'infiltration du sol et la présence de surfaces imperméables.

Dans les zones où les roches sont perméables, la montée de la nappe phréatique peut intercepter les infrastructures souterraines, voire rompre la surface du sol, un phénomène connu sous le nom d'inondation par les eaux souterraines. Contrairement aux inondations superficielles transitoires, ce type d'inondation n'est souvent pas lié à un événement pluvieux spécifique et peut persister pendant des semaines, voire des mois.

### 1.2.2 Qualité des eaux souterraines

Les eaux de crue sont souvent très contaminées. Elles peuvent s'infiltrer dans des puits et des forages non protégés ou endommagés, transportant directement les polluants dans l'aquifère. Les eaux de crue stagnantes peuvent persister et constituer une source de pollution à long terme.

En outre, les fortes précipitations et l'augmentation des inondations de surface peuvent renforcer le flux descendant de produits chimiques, de solides en suspension et d'agents pathogènes, tandis que l'infiltration rapide à travers les fractures ou les systèmes karstiques (par exemple, à travers des conduits préexistants et des dolines présents dans les roches solubles) peut contourner la filtration naturelle. La mobilisation des sédiments pendant les inondations peut introduire des contaminants géogéniques (substances telles que l'arsenic et le fluorure qui sont naturellement présentes dans les roches et les sols locaux).

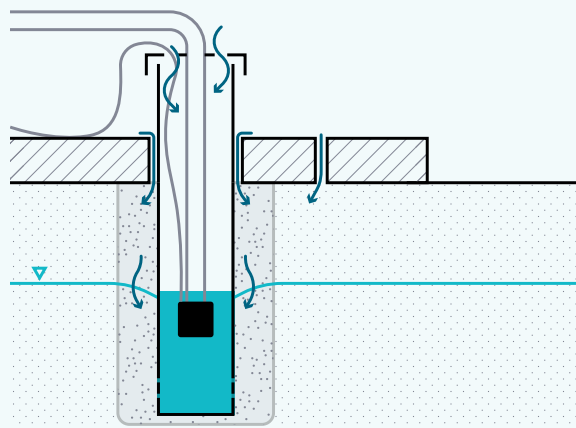
### 1.2.3 Vulnérabilité des infrastructures d'approvisionnement en eau souterraine aux inondations

Les inondations constituent une menace importante pour la sécurité et la fiabilité des sources d'eau souterraine. Le principal risque est la contamination microbiologique lorsque les eaux de crue, qui transportent souvent des agents pathogènes et des polluants, s'infiltrent dans les sources d'eau (Rambags *et al.*, 2011).

Les eaux de crue pénètrent généralement dans les forages ou les puits par deux voies principales :

- **Court-circuit direct** : l'eau pénètre directement par les ouvertures de la tête de puits (par exemple, interstices autour des pompes, points d'accès des câbles ou instruments de mesure) ou par les fissures de la margelle/plateforme.
- **Infiltration dans l'espace annulaire** : l'eau s'infiltré à l'extérieur du tubage par l'espace entre le tubage et la paroi du forage (l'espace annulaire), en particulier si le joint d'étanchéité est inadapté, endommagé ou inexistant. Les fissures ou joints défectueux dans le tubage lui-même peuvent également faciliter l'infiltration.

**Figure 4 :** Emplacements vulnérables permettant l'entrée directe des eaux de crue dans les puits dénués de mesures de protection contre les inondations



- Tête de puits non étanche avec ouvertures pour assurer le passage des câbles et instruments de mesure du niveau d'eau
- Fissures et crevasses dans la structure en béton
- Manque d'étanchéité de l'espace annulaire du puits de forage

Source : Adapté de Musche *et al.* (2018) par Ibex Ideas (2025)

## 1.3 Impact de la sécheresse sur les eaux souterraines

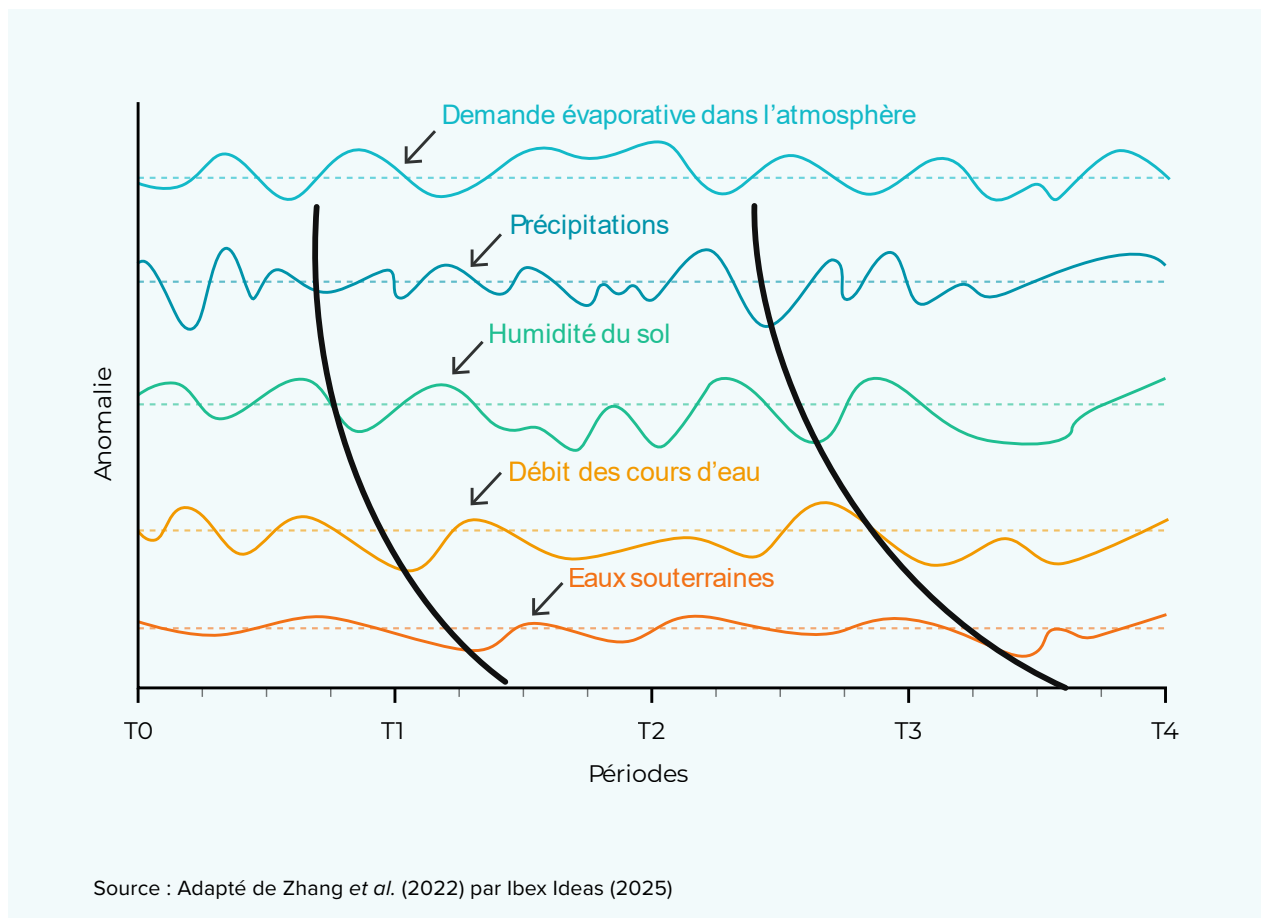
### 1.3.1 Quantité d'eau souterraine

Les changements climatiques intensifient l'aridité dans de nombreuses régions, entraînant une réduction de l'infiltration et, par conséquent, une diminution de la recharge des eaux souterraines. Les périodes de sécheresse prolongées entraînent une baisse progressive du niveau des eaux souterraines, car la diminution des précipitations et la réduction des apports en eaux de surface réduisent les taux de recharge des aquifères.

Les sécheresses prolongées peuvent entraîner une baisse du niveau des eaux, une réduction des rendements, une pression accrue sur les systèmes de pompage et une dégradation potentielle de la qualité de l'eau. Si le niveau de la nappe phréatique descend en dessous du point de captage, le point d'eau cessera de fonctionner, ce qui intensifiera les difficultés pour les communautés et la pression exercée sur les sources fonctionnelles restantes.

L'un des éléments essentiels du comportement des eaux souterraines pendant une sécheresse est le décalage entre les changements dans les précipitations et la conséquence ultérieure au niveau des eaux souterraines (Figure 5) et du rendement des puits. Contrairement aux sources d'eau de surface, qui réagissent généralement rapidement aux fluctuations des précipitations, les systèmes d'eaux souterraines présentent des réponses différées, reflétant souvent les conditions de recharge modifiée plusieurs mois, voire années, plus tard.

**Figure 5 :** Illustration de la propagation de la sécheresse, des déficits de précipitations (sécheresse météorologique), qui peuvent s'accompagner d'une hausse de la demande d'évaporation atmosphérique, jusqu'aux déficits d'humidité du sol (sécheresse agricole), au faible débit des cours d'eau ou à la baisse du niveau des eaux souterraines



Le délai entre une sécheresse météorologique (réduction prolongée des précipitations) et son impact sur les sources d'eau souterraine dépend de plusieurs facteurs (Robins *et al.*, 1997), notamment :

- ✓ **La gravité et la durée de la sécheresse :** les périodes prolongées de recharge faible ou nulle sont plus susceptibles de réduire les niveaux des eaux souterraines et d'affecter le rendement des puits et des forages.
- ✓ **La conception et l'emplacement du point d'extraction des eaux souterraines :** les ressources en eaux souterraines peu profondes sont plus vulnérables à la sécheresse que les ressources plus profondes. Les points d'extraction tels que les puits peu profonds creusés à la main sont plus sensibles à la diminution des précipitations et de la recharge que les forages plus profonds, qui puisent dans des réserves d'eau plus stables.



**Les caractéristiques physiques de l'aquifère**, en particulier sa capacité de stockage, sont des facteurs déterminants importants. Par exemple, les aquifères peu profonds et non consolidés, tels que les sédiments alluviaux que l'on trouve souvent au centre des vallées, sont plus directement liés aux précipitations et aux processus hydrologiques de surface, ce qui peut les rendre plus sensibles aux changements à court terme des conditions de surface. En revanche, les aquifères souterrains plus profonds stockent l'eau dans des fractures variables et des zones altérées ; leur connexion plus faible et plus lente à la recharge de surface les rend moins réactifs à la sécheresse.



**L'augmentation des prélèvements ou de la demande** : pendant une sécheresse, d'autres sources d'eau peuvent être réduites, ce qui entraîne une dépendance accrue à l'égard des eaux souterraines. Cette augmentation de la demande peut entraîner un pompage excessif et exacerber les effets de la sécheresse (Taylor et al., 2013), ce qui accroît la concurrence pour les ressources en eau et peut déclencher des conflits entre les différents utilisateurs. Des fluctuations de la demande peuvent se produire à court terme, par exemple lorsque les puits voisins s'assèchent, ou à plus long terme, en réponse à des facteurs tels que la croissance démographique et les changements économiques.

De plus, la baisse du niveau des nappes phréatiques due à la sécheresse peut déclencher des effets en cascade (un impact négatif entraînant un autre), tels que la réduction du débit des cours d'eau, qui compromet la disponibilité des eaux de surface et la santé des écosystèmes. En outre, l'abaissement du niveau des nappes phréatiques provoqué par l'extraction peut contribuer à l'affaissement des terres, ce qui peut à son tour endommager les infrastructures et perturber davantage les ressources en eau.

### 1.3.2 Qualité des eaux souterraines

La réduction de la recharge des eaux souterraines due à la sécheresse peut réduire la qualité de l'eau, principalement en raison de l'augmentation de la salinité.

**Dans les régions côtières**, la réduction de la recharge abaisse le niveau des eaux douces, permettant à l'eau de mer de s'infiltrer dans les aquifères (Dao et al., 2024).

**Dans les régions intérieures et semi-arides**, l'augmentation de l'irrigation et les taux d'évaporation élevés peuvent entraîner la salinisation des sols et une salinisation croissante des eaux souterraines peu profondes.

En cas de sécheresse, la quantité d'eau disponible pour diluer les contaminants est moindre, de sorte que des sécheresses plus extrêmes peuvent conduire à une présence plus élevée de contaminants dans les aquifères, ce qui peut provoquer une augmentation des concentrations de contaminants aux points d'eau (Ascott *et al.*, 2022).

### 1.3.3 Renforcer la résilience des infrastructures de gestion des eaux souterraines face à la sécheresse

Pour garantir la résilience des points d'eau situés dans les zones sujettes à la sécheresse, il faut adopter une approche proactive, axée sur une sélection rigoureuse des sites, une conception et une construction appropriées, un captage efficace de l'eau et des stratégies de surveillance et d'entretien robustes. Le tableau 1 ci-dessous donne un aperçu des effets de la sécheresse sur différents types d'infrastructures de gestion des eaux souterraines (forages, puits creusés et sources).

**Tableau 1 : Aperçu des effets de la sécheresse sur différents types d'infrastructures de gestion des eaux souterraines**

**Type d'infrastructure : Forages**

**Effets de la sécheresse**

- Baisse du niveau des nappes phréatiques
- Affaissement et dommages aux infrastructures
- Les systèmes de pompage nécessitent beaucoup d'entretien = coûteux = parfois non réparés
- Pannes des pompes et des pompes manuelles
- Salinisation accrue due à l'intrusion d'eau de mer
- Dégradation de l'environnement autour des points d'eau due au bétail

**Causes sous-jacentes des effets**

- Réduction de la recharge de l'aquifère en raison de la baisse des précipitations
- Augmentation de la population et de la demande en eau
- Taille limitée des aquifères
- L'extraction non durable des eaux souterraines provoque un affaissement du sol

**Aperçu des techniques permettant d'accroître la résilience**

- Pompage excessif aux points d'eau encombrés (pression accrue sur les sources individuelles à mesure que les autres sources s'assèchent. Un pompage prolongé tout au long de la journée peut également exercer une pression considérable sur le mécanisme de pompage)
  - Manque de fonds pour les réparations au niveau communautaire
  - Système communautaire d'entretien et problème d'approvisionnement en pièces de rechange
- 
- Garantir l'emplacement correct des forages (c'est-à-dire planifier, installer et tester les nouveaux forages sous la supervision d'un hydrogéologue qualifié et expérimenté afin de garantir une conception appropriée pour un prélèvement durable à long terme dans le système aquifère local)
  - Assurer la surveillance du niveau d'eau
  - Arrêter le forage dans les zones où l'eau souterraine salée pose problème
  - Forer suffisamment profondément dès le début
  - Approfondir les forages existants
  - Réduire la demande en eau et promouvoir une utilisation efficace de l'eau
  - Trouver des sources d'eau alternatives (par exemple, pomper l'eau vers un réservoir de stockage ou un bassin de rétention lorsque la disponibilité en eau est bonne afin de compenser les pics de demande/la disponibilité limitée en eau)
  - Améliorer la coordination régionale entre les fournisseurs d'eau
  - Relier le problème aux approches de gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)

## Type d'infrastructure : Puits creusés

### Effets de la sécheresse

- Peuvent s'assécher
- Baisse du niveau des nappes phréatiques dans les aquifères perchés

### Causes sous-jacentes des effets

- Réduction de la recharge des aquifères en raison de la baisse des précipitations
- Augmentation de la population et de la demande en eau
- La taille des aquifères est limitée – par exemple, les aquifères perchés seront épuisés plus rapidement
- Les puits ne sont pas creusés assez profondément dans la nappe phréatique

### Aperçu des techniques permettant d'accroître la résilience

- Éviter les aquifères perchés
- Creuser des puits plus profonds – assécher le puits pendant le caissonnage dans la nappe phréatique
- Prévoir un approfondissement ultérieur à l'aide d'un revêtement télescopique
- Creuser les puits pendant la seconde moitié de la saison sèche
- Injecter de l'eau au fond du puits pour accélérer la recharge
- Pomper l'eau vers un réservoir de stockage pendant les périodes où l'eau est disponible en abondance afin de faire face aux pics de demande et aux périodes de pénurie
- Augmenter le débit en utilisant du béton poreux ou des tuyaux en acier perforés enfoncés horizontalement dans l'aquifère

## Type d'infrastructure : Sources

### Effets de la sécheresse

- Peuvent s'assécher

### Causes sous-jacentes des effets

- Réduction de la recharge de l'aquifère en raison de la diminution des précipitations
- La taille des aquifères est limitée
- Augmentation de la population et de la demande en eau

### Aperçu des techniques permettant d'accroître la résilience

- Améliorer le débit en creusant avec précaution au niveau des sources (point de sortie naturel)
- Construire un réservoir de stockage pour faire face aux pics de demande, ou un bassin revêtu pour stocker de plus grandes quantités pendant les heures d'écoulement
- Concevoir pour les débits en saison sèche

## 2 Implantation d'infrastructures de gestion des eaux souterraines résilientes au climat

Le succès et la viabilité à long terme d'un approvisionnement en eau souterraine amélioré dépendent d'un emplacement approprié. Comme l'illustre la [figure 6](#), l'emplacement approprié des points d'eau nécessite une analyse détaillée de plusieurs facteurs interdépendants :



**Utilisation de l'eau :** l'objectif visé par le puits doit être clairement défini, et les besoins domestiques et productifs doivent être pris en compte. Cela suppose de bien comprendre la population cible, la quantité et la qualité d'eau requises, ainsi que les méthodes prévues pour le pompage et la distribution de l'eau.



**Accès à l'eau :** l'accès physique et social de la communauté au point d'eau est essentiel. Il nécessite une évaluation de la distance par rapport à la source, du temps nécessaire pour aller chercher l'eau, des méthodes de collecte existantes et des normes sociales locales. Des considérations pratiques, telles que la propriété foncière et l'accès aux équipements de construction, doivent également être prises en compte.

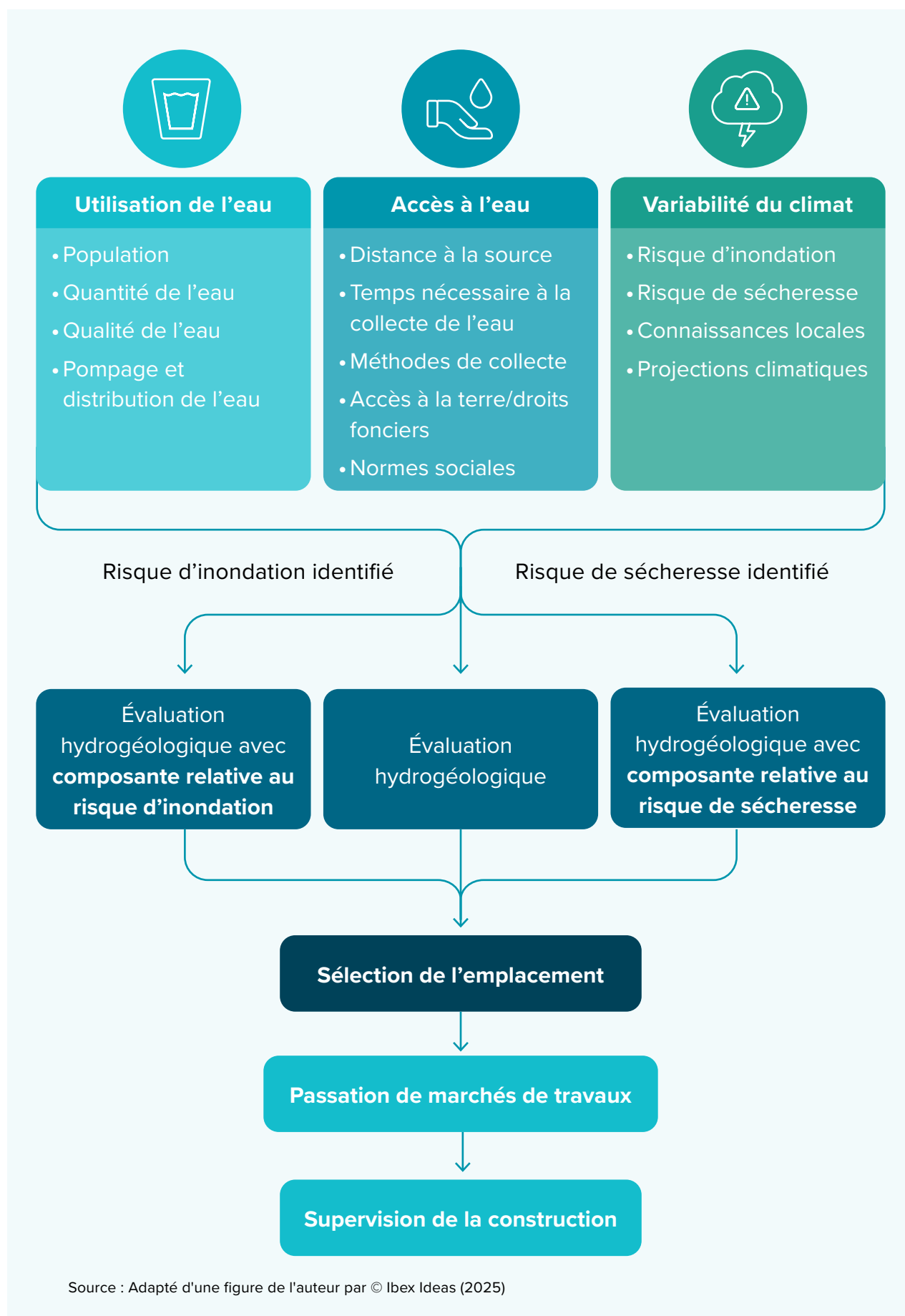


**Risques climatiques :** afin de garantir la résilience de la source d'eau à long terme, les impacts climatiques potentiels doivent être évalués, notamment en réalisant des évaluations des risques d'inondation et/ou de sécheresse, en intégrant les connaissances locales sur les événements passés et en tenant compte des projections climatiques scientifiques.



**Disponibilité des eaux souterraines :** afin de déterminer le potentiel et la fiabilité des ressources en eaux souterraines, il est nécessaire de procéder à une évaluation hydrogéologique pour établir une *compréhension conceptuelle* du système aquifère local. Cela suppose de définir les caractéristiques physiques de l'aquifère, de quantifier sa capacité de *stockage des eaux souterraines* et de comprendre sa dynamique, y compris *les voies d'écoulement des eaux souterraines*, les zones de recharge (afflux) et de *décharge* (écoulement). Une bonne compréhension de ces composantes de stockage et d'écoulement est fondamentale pour estimer la quantité d'eau pouvant être extraite de manière durable. La combinaison de cette approche scientifique et des connaissances locales permet d'obtenir une image fiable de la disponibilité des ressources.

**Figure 6 :** Éléments à prendre en compte lors du choix d'un emplacement pour le développement des eaux souterraines



## 2.1 Accès à l'eau

Un élément clé du choix de l'emplacement d'une nouvelle infrastructure de gestion des eaux souterraines consiste à s'assurer que la source est accessible à la communauté et à ses différents ménages. Tenir compte des éléments suivants pour identifier un emplacement approprié :

### Engagement communautaire et droits fonciers

**Il est essentiel d'obtenir l'adhésion de la communauté et de clarifier les droits fonciers afin d'éviter tout conflit futur.**

- Parvenir à un accord sur l'emplacement d'un nouveau point d'eau : cela suppose de négocier un compromis entre les contraintes techniques et les préférences de la communauté.
- Donner la priorité aux besoins des femmes, qui sont souvent les principales responsables de la collecte de l'eau.
- Tenir compte des questions de propriété foncière et d'accès avant la construction. Des accords formels écrits peuvent être nécessaires pour garantir l'accès public au point d'eau et éviter les litiges avec les propriétaires fonciers.

### Proximité des utilisateurs

**Dans la mesure du possible, placer le point d'eau aussi près que possible des utilisateurs.**

- Un point d'eau plus proche réduit les distances à parcourir pour celles et ceux qui vont chercher l'eau et diminue les coûts énergétiques liés aux pompes électriques ou à essence et aux canalisations d'approvisionnement.
- Réaliser des enquêtes sur le terrain et interroger les ménages afin de comprendre la configuration de la communauté et ses préférences en matière d'emplacement. Les questions clés relatives à la source d'eau/à l'accessibilité sont présentées dans [l'encadré 1](#).
- Éloigner les points d'eau des sources potentielles de pollution (voir [l'encadré 5](#)).

### Accès des véhicules et des équipements

**Le site choisi doit être accessible pour la construction et les réparations futures.**

- Veiller à ce qu'il existe un chemin dégagé pour les engins lourds tels que les foreuses, les compresseurs et les véhicules d'assistance



## Encadré 1 : Questions clés relatives aux sources d'eau et à leur accessibilité

- Quelle est la principale source (préférée) d'eau potable pour votre foyer ?
- Quel est votre deuxième choix en matière de source d'eau potable si la première n'est pas disponible ?
- À quand remonte la dernière fois où la source principale n'était pas disponible et pour quelle raison ?
- Combien de temps (en minutes) faut-il pour se rendre à la source d'eau potable, s'approvisionner et revenir (temps d'attente compris) ?
- Combien de trajets effectuez-vous au total par jour pour aller chercher de l'eau potable ?
- Quels récipients utilisez-vous pour aller chercher l'eau ?
- Avez-vous rencontré l'un des problèmes suivants liés à l'eau au cours du dernier mois : mauvais goût, décoloration, présence d'objets dans l'eau, l'eau m'a rendu(e) malade/a rendu ma famille malade ?
- Votre accès à l'eau a-t-il été affecté par l'un des facteurs suivants : inondation, sécheresse, conflit, coût ?
- Quelle est la principale méthode utilisée par votre foyer pour traiter l'eau potable ?

## 2.2 Utilisation de l'eau

Avant de choisir un site d'approvisionnement en eau souterraine, déterminer qui utilisera l'eau, les quantités dont ils ou elles auront besoin et comment elle sera distribuée. L'utilisation prévue influe directement sur le choix du meilleur emplacement pour les nouvelles infrastructures de gestion des eaux souterraines. Des considérations relatives aux différents types d'approvisionnement en eau souterraine sont proposées ci-dessous :

### **Pompes manuelles rurales :**

- ✓ Veiller à ce que l'emplacement soit physiquement accessible à tous et toutes, y compris aux femmes, aux enfants, aux personnes âgées et aux personnes en situation de handicap.
- ✓ Organiser des réunions communautaires participatives pour prendre les décisions relatives à l'emplacement. Cela permet d'éviter que des personnes influentes ne choisissent l'emplacement du puits en fonction de leurs intérêts personnels. Afin de soutenir activement les populations vulnérables, envisager d'installer le puits dans une zone à faibles revenus.

### **Pompes motorisées avec systèmes de canalisations :**

- ✓ Implanter le puits à proximité de la majorité des utilisateurs afin de réduire les frais de canalisation et de pompage.
- ✓ L'emplacement doit être proche d'une source d'alimentation électrique fiable ou facilement accessible pour les livraisons de carburant et les équipes de maintenance.
- ✓ Si le système comprend des bornes publiques, appliquer les mêmes principes d'équité et d'accessibilité que pour les pompes manuelles.

### **Petites villes et camps :**

- ✓ Villes : en raison de la forte demande en eau et du risque de contamination urbaine, les champs de captage doivent être situés en dehors des villes, où les aquifères sont plus abondants et plus propres. L'eau est ensuite acheminée vers les consommateurs par des canalisations.
- ✓ Camps de réfugiés ou de personnes déplacées : la densité de population est élevée, mais les quantités d'eau quotidiennes allouées sont généralement plus faibles. Les puits peuvent être situés plus près des utilisateurs, en raison du caractère temporaire des campements, mais cela augmente le risque de contamination au fil du temps, ce qui nécessite une surveillance attentive.

Les besoins en matière de prélèvement doivent également être évalués. Ceux-ci sont souvent calculés à l'aide des normes minimales de Sphère ([Manuel Sphère](#)). Le [tableau 2](#) fournit des estimations approximatives du prélèvement quotidien d'eau en fonction du type d'établissement à desservir.

**Tableau 2 : Rendement et utilisation des puits ou forages (Carter, 2021)**

Rendement du puits ou forage (l/s)	Prélèvement et utilisation	Volume pompé typique (m <sup>3</sup> /d)	Nombre de personnes desservies (approvisionnement domestique)
0.1–0.3	Pompe manuelle commune pour une utilisation domestique	3–8	200–500*
1.0–5.0	Pompe à essence, diesel ou solaire pour un approvisionnement rural ou d'une petite ville	30 150	300–600** 1500***
5.0	Pompage à des fins d'irrigation uniquement	150	Environ 3 ha irrigués#

\* En supposant une consommation par personne de 15 litres par jour.

\*\* En supposant une consommation par personne de 50-100 litres par jour.

\*\*\* En supposant une consommation par personne de 100 litres par jour.

# En supposant des besoins en eau des cultures de 5 mm par jour.

Note : Les estimations sont fondées sur une hypothèse de huit heures de pompage par jour.

## 2.3 Variabilité climatique

Une analyse préliminaire pour orienter le travail sur le terrain et la planification peut être réalisée à l'aide d'outils en ligne gratuits basés sur des modèles scientifiques, qui fournissent des informations sur les risques d'inondation ou de sécheresse dans la zone d'intérêt.

### Accéder aux outils mondiaux de cartographie des risques d'inondation/de sécheresse :

- Visiter les sites Internet établis de cartographie mondiale des risques (voir le [tableau 3](#) pour des ressources utiles).

### Pour les zones inondables :

- Identifier le type d'inondation et le niveau de risque : les outils indiquent clairement le niveau de risque pour les « inondations fluviales » et les « inondations côtières », ce qui permet de comprendre immédiatement les principales menaces.
- Examiner la profondeur et l'étendue de l'inondation : évaluer la gravité, l'étendue et la profondeur prévues de l'inondation. Par exemple, à l'aide de l'Aqueduct Global Flood Analyzer du World Resources Institute (WRI), l'ampleur des crues et la profondeur des inondations du projet peuvent être visualisées selon différents scénarios climatiques et différentes périodes. La profondeur d'inondation prévue est importante pour décider de la hauteur à laquelle il faut surélever la margelle d'un forage ou d'un puits, tandis que l'ampleur est importante pour décider de son emplacement (voir Forages résistants aux inondations).

### Pour les zones sujettes à la sécheresse :

- Examiner le score global de risque de sécheresse, qui combine la probabilité de sécheresse et la vulnérabilité de la population.
- Examiner les indicateurs historiques de sécheresse, tels que l'indice de précipitations normalisé (SPI). Le SPI est largement utilisé pour évaluer l'impact des sécheresses météorologiques sur les ressources en eau. Un historique de valeurs SPI négatives fréquentes ou sévères indique des sécheresses météorologiques récurrentes qui pourraient affecter la recharge des nappes phréatiques.

## Tableau 3 : Ressources utiles pour aider à identifier les risques climatiques

Ressource	Description
<a href="#">Profils des pays en matière de risques climatiques de la Banque mondiale</a>	Profils spécifiques à chaque pays résumant les risques climatiques, les vulnérabilités et les stratégies d'adaptation
<a href="#">Atlas interactif du GIEC</a>	Cartes interactives et données sur les projections relatives aux changements climatiques
<a href="#">Aqueduct Global Flood Analyser du World Resources Institute</a>	Outil permettant d'analyser les risques d'inondation à l'échelle mondiale et d'évaluer les impacts potentiels des inondations sur les populations, les économies et les infrastructures

<p><a href="#">Risk Viewer de l'Indice mondial de résilience</a></p>	<p>Une série d'indicateurs permettant d'évaluer la gravité, la fréquence et les impacts potentiels de la pénurie d'eau (sécheresse) et des cartes d'inondation, les types d'inondations, ainsi que les scénarios climatiques</p>
<p><a href="#">Service Copernicus de gestion des urgences : Observatoire mondial de la sécheresse</a></p>	<p>Outil fournissant des informations en temps quasi réel sur la surveillance des sécheresses et l'alerte précoce en la matière à l'échelle mondiale</p>
<p><a href="#">Mécanisme mondial de prévention des catastrophes et de relèvement de la Banque mondiale et de ThinkHazard!</a></p>	<p>Outil fournissant des informations sur les risques liés aux catastrophes naturelles (par exemple, les inondations, les sécheresses) dans des endroits spécifiques, ainsi que des recommandations pour la réduction des risques</p>

## 2.4 Disponibilité des eaux souterraines

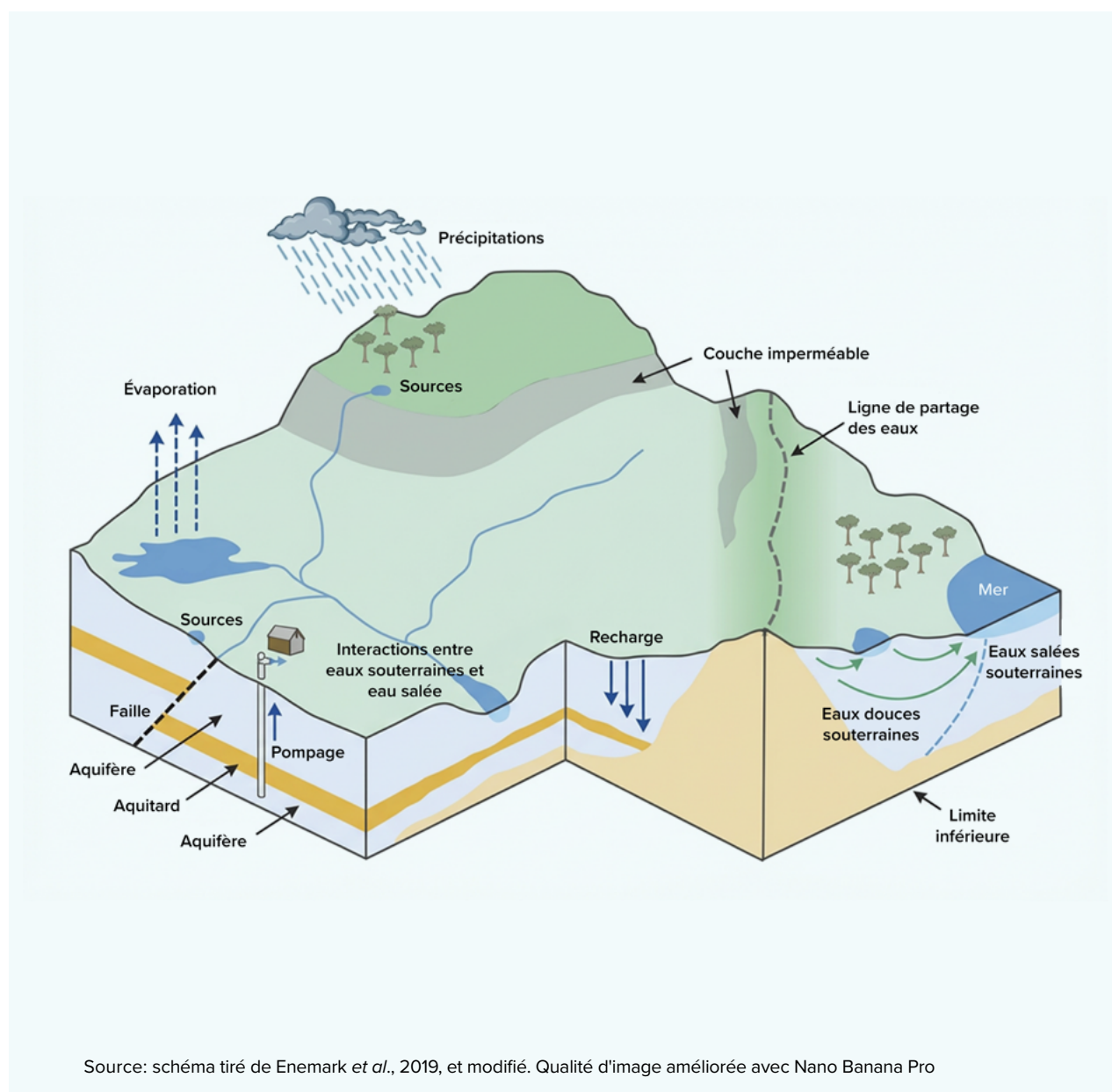
Une **évaluation hydrogéologique** est essentielle pour l'implantation et la conception de tout projet durable lié aux eaux souterraines. Cette évaluation a pour objectif principal d'élaborer un modèle conceptuel du système local d'eaux souterraines, qui combine toutes les données disponibles permettant de mieux comprendre les conditions des eaux souterraines.

Il existe déjà un vaste corpus de conseils techniques sur la manière de mener des évaluations hydrogéologiques détaillées, et le présent document ne cherche pas à le reproduire. Voir la bibliographie fournie à [l'encadré 3](#) pour obtenir des conseils ou confier ce travail à un hydrogéologue qualifié. L'objectif de cette section est uniquement de mettre en évidence les principaux éléments d'une évaluation hydrogéologique et de souligner son rôle essentiel dans le processus global de développement des infrastructures de gestion des eaux souterraines. La mission principale du professionnel consiste à élaborer un modèle conceptuel du système local d'eaux souterraines pour identifier l'emplacement et la conception les plus appropriés pour les forages d'approvisionnement en eau au sein du système.

L'élaboration d'un modèle conceptuel (voir l'exemple de la figure 7) suit généralement un processus en deux phases :

1. **Étude documentaire** : collecte et examen des données existantes, notamment les cartes géologiques, les journaux de forage des projets antérieurs et les rapports hydrogéologiques, afin d'obtenir une première vue d'ensemble des conditions souterraines.
2. **Reconnaissance sur le terrain** : l'étude documentaire est validée par un travail de terrain, à savoir l'inventaire des puits et sources existants (« hydrorecensement »), l'examen des affleurements géologiques, l'identification des sources potentielles de contamination et la collaboration avec la communauté pour comprendre la dynamique historique des eaux souterraines et les besoins actuels.

Figure 7 : Système d'eau souterraine



Le tableau 4 présente les principaux facteurs permettant de comprendre la disponibilité des eaux souterraines :

**Tableau 4 : Principaux facteurs permettant de comprendre la disponibilité des eaux souterraines**

Facteur clé	Questions d'évaluation	Méthodes et sources de données
<b>Étendue et limites de l'aquifère</b>	<p>Les zones aquifères productives ont-elles été identifiées ?</p> <p>La taille de l'aquifère (étendue, profondeur et couches) est-elle connue pour estimer le stockage total ?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Études géophysiques : les techniques d'étude géophysique de surface (voir l'<a href="#">encadré 2</a>) peuvent aider à identifier les formations aquifères</li> <li>• Registres de forages existants : les données relatives aux puits déjà forés fournissent des preuves directes de la profondeur, de l'épaisseur et du type de couches géologiques</li> <li>• Forages d'essai : dans les zones où les données sont limitées, il peut être nécessaire de forer de nouveaux puits d'exploration pour confirmer les résultats géophysiques et prélever des échantillons directs</li> </ul>
<b>Rendement suffisant</b>	<p>L'aquifère peut-il fournir suffisamment d'eau pour répondre à la demande prévue (<a href="#">section 2.2</a> : Utilisation de l'eau) ?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consulter les cartes et rapports géologiques : fournissent des données sur le rendement prévu de l'aquifère</li> <li>• Réaliser des essais de pompage : mesurer les performances et le rendement durable d'un nouveau forage ou d'un forage voisin</li> </ul>

### Durabilité à long terme

L'aquifère est-il régulièrement alimenté par les précipitations ou le débit des cours d'eau ?

Les niveaux d'eau historiques affichent-ils une tendance stable ou existe-t-il des preuves d'un épuisement à long terme ?

- Examiner les données historiques sur le niveau de l'eau : analyser les données relatives aux puits existants pour comprendre la réponse de l'aquifère aux changements saisonniers et aux sécheresses passées
- Analyser les données satellitaires : utiliser des outils comme [GRACE de la NASA](#) pour évaluer les tendances à long terme du stockage des eaux souterraines dans les grands bassins
- Mener des entretiens avec la communauté : discuter de la disponibilité historique de l'eau dans les puits et les sources locaux pour lesquels il n'existe pas de registres officiels
- Étudier les sources de recharge : observer la géologie, les pentes, le sol et la végétation locaux afin d'identifier les sources potentielles de recharge régulière de l'aquifère par les pluies ou les cours d'eau

### Qualité appropriée de l'eau

La qualité de l'eau est-elle sûre et adaptée à l'usage prévu (par exemple, consommation, agriculture) ?

- Usage domestique : l'eau doit être exempte d'agents pathogènes (provenant de déchets humains ou animaux) et présenter de faibles teneurs en substances chimiques nocives telles que l'arsenic ou le fluorure
- Usage agricole : l'eau doit être contrôlée afin de vérifier qu'elle ne présente pas de taux de salinité élevés, susceptibles d'endommager les cultures

- Avant la mise en service du point d'eau, l'eau doit être testée. Sa qualité doit être comparée aux normes nationales ou, si celles-ci ne sont pas disponibles, aux Directives de l'OMS sur la qualité de l'eau de boisson (OMS, 2006)



## Encadré 2 : Aperçu des méthodes d'étude géophysique de surface (Davis et Lambert, 2002)

Les études géophysiques de surface sont des méthodes indirectes qui servent à indiquer où se trouvent les eaux souterraines et en quelles quantités, ce qui augmente le taux de réussite du forage ou du creusement d'un puits. La technique la plus appropriée dépend de l'hydrogéologie locale.

### Méthodes d'étude :

- **Levés électromagnétiques** : mesure de la conductivité électromagnétique de la roche afin de localiser rapidement les fractures et les failles aquifères dans des roches autrement imperméables.
- **Levés de résistivité électrique** : application d'un courant électrique au sol à l'aide d'électrodes afin de mesurer les variations de résistance du sous-sol, qui peuvent indiquer la présence de zones aquifères.
- **Levés sismiques de réfraction** : création d'ondes de choc pour déterminer la profondeur et la stratification du substrat rocheux et identifier les fractures susceptibles de contenir de l'eau. Ils sont plus coûteux, plus longs et plus complexes que les levés électromagnétiques ou de résistivité.
- **Levés magnétiques** : utilisation d'un magnétomètre portatif pour détecter l'effet de certains minéraux sur le champ magnétique terrestre. Ils sont utiles dans les zones de roches dures pour localiser des formations géologiques, telles que des dykes métallifères, qui peuvent agir comme des barrières naturelles au flux des eaux souterraines.



## Encadré 3 : Documentation clé pour des conseils pratiques sur la réalisation d'évaluations hydrogéologiques

Pour plus d'informations sur la réalisation d'une évaluation hydrogéologique, consulter les ressources suivantes :

- [Forage d'eau – Planification, passation de marchés et gestion de projets](#) : une boîte à outils de l'UNICEF - Dotun A. et Danert, K., Fondation Skat, Saint-Gall, Suisse ; Gesti Canuto, J., UNICEF, New York, États-Unis ; Zadi, D., Harvey, P. et Cabrera-Clerget, A. 2018. Copenhague, Danemark, UNICEF Publishing.
- [Developing Groundwater: a guide for rural water supply](#) : MacDonald, A., Davies, J., Calow, R., Chilton, J. 2005. Rugby, Royaume-Uni, ITDG Publishing.
- [Implantation des forages : guide à l'intention des chefs de projet](#) : Carter, R., Chilton, J., Danert, K., Olschewski, A. 2014. Rural Water supply Network (RWSN), Fondation SKAT.

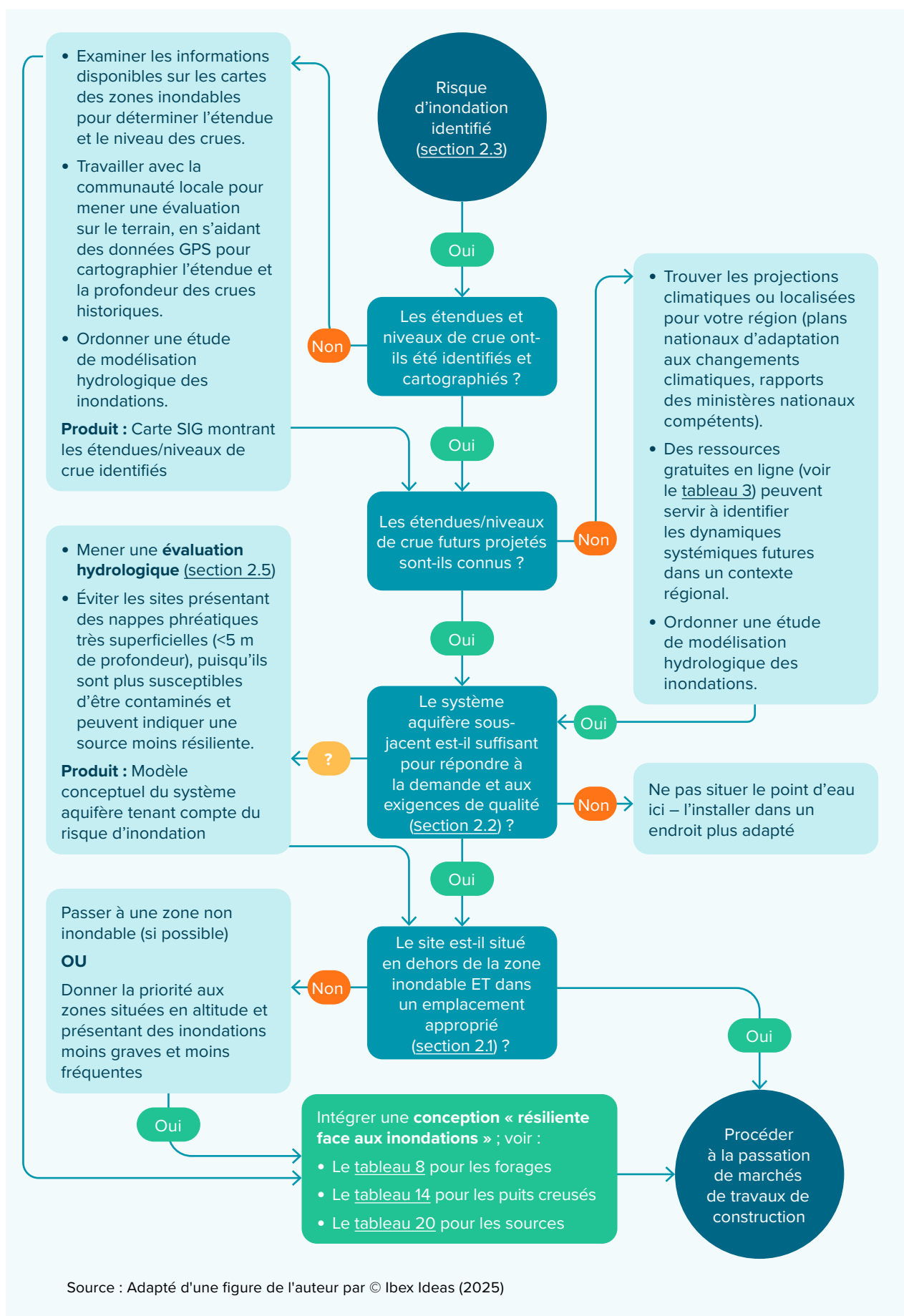
À mesure que la variabilité climatique s'intensifie, les régions sont de plus en plus confrontées à la double menace de la sécheresse et des inondations. Les sections suivantes présentent des méthodes d'évaluation distinctes pour les conditions propices aux inondations et à la sécheresse ; toutefois, il est important de reconnaître que ces scénarios ne s'excluent pas mutuellement. Par conséquent, en fonction de l'emplacement et des vulnérabilités de votre projet, il vous sera peut-être nécessaire d'appliquer les recommandations issues des évaluations relatives aux inondations et aux sécheresses pour bien comprendre les impacts potentiels lors de la création d'infrastructures souterraines.

## 2.5 Travailler dans des zones inondables

### 2.5.1 Considérations relatives aux risques d'inondation

Lorsque le risque d'inondation a été identifié dans la zone ([section 2.3](#)), les informations suivantes sont nécessaires pour atténuer certains risques tels que l'intrusion d'eau, la contamination et les dégâts physiques et pour garantir que les nouvelles infrastructures souterraines résistent aux inondations.

Figure 8 : Évaluation préalable à la construction dans une zone inondable



## Une évaluation préalable à la construction comprend quatre étapes :

### 1

#### Examen des informations disponibles sur les inondations

Dans un premier temps, les informations existantes sur les inondations et les travaux sur le terrain sont examinés afin de cartographier l'étendue et les niveaux historiques des inondations, de recueillir les connaissances locales et de sélectionner l'emplacement le plus approprié pour le point d'eau. Les actions suivantes sont nécessaires :

- ✓ **Collecter et examiner toutes les informations** disponibles provenant de sources telles que :
  - les administrations publiques (par exemple, le ministère des Ressources en eau, l'agence nationale de gestion des catastrophes),
  - les ONG et instituts de recherche travaillant dans la région
  - les cartes des risques d'inondation et études hydrologiques existantes,
  - les cartes topographiques et images satellitaires (par exemple, Landsat, Sentinel)
- ✓ **Mener une évaluation sur le terrain** : cette étape aboutit à la création d'une carte SIG indiquant l'étendue et la profondeur des inondations historiques.
  - Effectuer des marches transversales pour identifier les traces visibles d'inondations passées, telles que les marques de crue sur les structures existantes (bâtiments, arbres, etc.). Mesurer la hauteur de ces marques par rapport au sol pour indiquer l'étendue et le niveau de l'inondation
  - Analyser la topographie locale afin d'identifier les schémas de drainage naturels et les zones basses
- ✓ **Collaborer avec la communauté** (par exemple, mener des enquêtes auprès des ménages, organiser des discussions de groupe et/ou des entretiens avec des informateurs clés) afin de comprendre le contexte local des inondations (c'est-à-dire la fréquence, la gravité et les impacts des inondations sur les sources d'eau). Les questions clés concernant les sources d'eau et leur accessibilité sont présentées dans l'[encadré 1](#), et les éléments suivants peuvent être utiles pour évaluer les impacts des inondations :
  - L'eau monte-t-elle lentement depuis la rivière (inondation fluviale), s'accumule-t-elle rapidement lorsqu'il pleut fort (inondation pluviale) ou provient-elle de la mer lors d'une tempête (inondation côtière) ?
  - À quelle hauteur l'eau est-elle montée lors de la plus grande inondation dont vous vous souvenez ?

- Quelles parties de la communauté ont été touchées ?
- À quel moment ces inondations se sont-elles produites (année, saison) ?
- Combien de temps les inondations ont-elles duré ?
- Quels ont été leurs impacts sur les sources d'eau (puits, forages, sources) ?

**Figure 9** : Marques historiques laissées par les inondations sur un bâtiment à Pibor (Soudan du Sud)



Qualité de l'image améliorée avec Nano Banana Pro

## 2

## Utilisation des projections climatiques pour évaluer les risques d'inondation futurs

Une fois que vous avez une meilleure compréhension des inondations passées, l'étape suivante consiste à analyser les risques d'inondation futurs afin d'identifier la zone la plus résiliente pour le nouveau point d'eau.

- ✓ **Utiliser les portails de projections climatiques existants** : rechercher des portails de données provenant d'organismes nationaux (par exemple, services météorologiques, gestion des catastrophes) ou des outils librement accessibles basés sur la modélisation mondiale (voir le [tableau 3](#)).

- ✓ **Rechercher les cartes prévisionnelles des risques d'inondation selon différents scénarios de changements climatiques** (par exemple, Trajectoire de concentration représentative (RCP 4.5, RCP 8.5) afin de comprendre comment l'étendue et la profondeur des inondations pourraient évoluer à l'avenir.
- ✓ Si les données facilement disponibles sont insuffisantes ou si le projet présente un risque particulièrement élevé, **commander une étude spécialisée de modélisation hydrologique des inondations**. Celle-ci fournira les projections les plus précises et spécifiques au site concernant les niveaux et l'étendue des inondations futures, sur la base de la dynamique locale des eaux de surface et des variables climatiques.
- ✓ **Synthétiser les données historiques** ([étape 1](#) de cette évaluation) avec les projections d'inondations futures afin d'identifier un site préliminaire qui a été épargné par les inondations passées et qui devrait également rester sûr compte tenu des conditions futures prévues.
- ✓ Si aucune zone à très faible risque ne peut être identifiée, il est recommandé :
  - de déplacer le projet vers un autre emplacement plus sûr
  - de donner la priorité au site présentant le risque le plus faible et de reconnaître qu'un niveau plus élevé de protection structurelle contre les inondations sera nécessaire lors de la phase de conception (voir le [tableau 8](#)).

## 3

### Évaluation hydrogéologique tenant compte des risques d'inondation

L'évaluation hydrogéologique analyse les sources de contamination potentielles qui pourraient affecter la qualité de l'eau de la source souterraine.

Pour étayer ces évaluations, une enquête sanitaire peut être menée afin d'identifier et de cartographier toutes les sources potentielles de contamination (latrines, fosses septiques, décharges, enclos pour animaux et champs agricoles) dans un rayon minimum de sécurité autour du site proposé (voir l'[encadré 5](#)), en accordant une attention particulière à la zone en amont.

L'évaluation doit également tenir compte de la manière dont les eaux de crue peuvent mobiliser et transporter des contaminants provenant d'une vaste zone et les acheminer directement vers le point d'eau, ce qui augmente le risque de contamination des eaux souterraines.

## 4

### Finalisation de l'emplacement du site

Il s'agit de la dernière étape visant à consolider les conclusions et à prendre une décision officielle concernant le site avant de procéder à la signature des contrats de construction.

- ✓ Examiner les conclusions de toutes les phases précédentes. Le site proposé satisfait-il à tous les critères essentiels (c'est-à-dire l'accès à l'eau, l'utilisation de l'eau, la variabilité climatique, la disponibilité des eaux souterraines) ?
- ✓ Le site est-il situé de manière concluante en dehors de l'étendue combinée des inondations historiques et futures ?

Si la réponse à toutes les questions de vérification est « oui », le site est officiellement approuvé. Vous pouvez procéder à la finalisation de la conception standard et à la préparation des contrats.

Si les conditions ne sont PAS remplies (en particulier si le site se trouve dans une zone inondable actuelle ou prévue), un compromis doit être trouvé :

- ✓ **Premier choix** : déplacer le site si possible. Réexaminer la cartographie de l'[étape 1](#) afin de trouver un autre site dans une zone non inondable.
- ✓ **Deuxième choix** : accepter le site et assurer une conception résistante aux inondations. Si le déplacement n'est pas possible, une décision formelle doit être prise pour accepter l'emplacement à haut risque, ce qui nécessite l'intégration d'une conception spécifique résistante aux inondations (voir le [tableau 8](#) pour plus de détails).



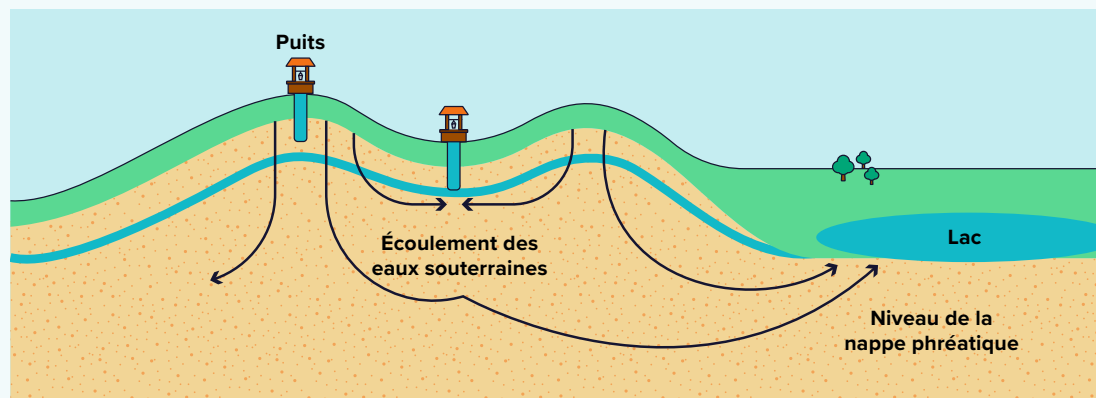
## Encadré 4 : Considérations hydrogéologiques pour les puits creusés dans les zones inondables

Les zones basses sont souvent plus propices à la construction de puits en raison de leur proximité avec la nappe phréatique. Les signes indiquant la présence d'eaux souterraines peu profondes sont les suivants :

- une végétation qui prospère dans des conditions de nappe phréatique élevée (par exemple, des plantes telles que les bananiers, les joncs, la canne à sucre et les palmiers dattiers)
- les dépressions topographiques où les eaux souterraines ont tendance à s'accumuler
- les puits existants qui fournissent une eau abondante et de bonne qualité

Cependant, la zone choisie ne doit pas être sujette à des inondations qui pourraient submerger le puits. Tenir compte de sa proximité avec des cours d'eau : les plaines inondables peuvent offrir des dépôts alluviaux perméables, mais elles doivent se trouver au-dessus du niveau maximal des crues. On trouve des dépôts alluviaux fortement perméables à des endroits qui se trouvaient autrefois à l'extérieur d'un méandre dans l'ancien tracé d'une rivière, offrant de meilleures conditions pour l'extraction des eaux souterraines.

**Figure 10** : Écoulement des eaux souterraines pour les systèmes à écoulement libre non perturbés par le pompage, où la nappe phréatique reflète souvent la topographie de surface. Les nappes phréatiques sont plus profondes au sommet des collines et sur les pentes raides, mais moins profondes dans les vallées et les dépressions



Source : Adapté d'une figure de l'auteur par © lbex Ideas (2025)



## Encadré 5 : Détermination des distances minimales de sécurité pour les activités potentiellement polluantes pour les points d'eau (OMS, 2024)

Si les ressources le permettent, une distance minimale de sécurité pour les sources potentielles de contamination, notamment fécale, doit être définie pour le contexte local. La distance minimale de sécurité est basée sur une estimation du temps nécessaire aux contaminants pour se déplacer de leur source vers le point d'eau.

### 1. Évaluation des risques spécifiques au site (méthode privilégiée)

Évaluer les éléments suivants :

#### ✓ Hydrogéologie et type de sol :

- Faible perméabilité (par exemple, argiles) : la distance minimale de sécurité peut n'être que de quelques mètres, mais il faut faire attention aux fissures saisonnières, qui augmentent la perméabilité
- Perméabilité moyenne (par exemple, sables) : la distance minimale de sécurité peut augmenter jusqu'à  $\geq 100$  mètres
- Perméabilité élevée (par exemple, gravier, roche fissurée) : la distance minimale de sécurité peut atteindre plusieurs kilomètres

#### ✓ Technologie d'assainissement :

- Quel type de confinement est utilisé (par exemple, fosse non revêtue, réservoir revêtu, fosse septique) ?

- Quel est le degré d'élimination des agents pathogènes de la technologie ?
- Quelle est la charge hydraulique (volume de liquide) des systèmes ?

#### ✓ **Eaux souterraines et bassin versant :**

- Quelle est la profondeur de la nappe phréatique (à son niveau le plus élevé) ?
- La source d'eau est-elle située en amont de la source de contamination ?
- Y a-t-il d'autres activités qui affectent le sous-sol (par exemple, exploitation de carrières, extraction d'eau à grande échelle, activité sismique) ?

Si aucune donnée n'est disponible, effectuer des forages d'essai pour enregistrer les types de sol/roche et réaliser des tests d'infiltration pour évaluer la perméabilité. Évaluer l'infiltration lorsque la nappe phréatique est à son niveau le plus élevé.

## 2. Distance minimale de sécurité de référence (solution de repli)

Utiliser ce guide approximatif uniquement lorsqu'une évaluation spécifique au site n'est pas possible en raison d'un manque de données ou de ressources :

- ✓ **Distance horizontale** : au moins 15 mètres entre la source d'eau et tout système d'assainissement perméable (par exemple, fosse non revêtue, champ d'épuration)
- ✓ **Distance verticale** : le fond de toute fosse ou champ d'épuration doit se trouver à une distance **d'au moins 1,5 à 2,0 mètres** au-dessus du niveau maximal prévu de la nappe phréatique
- ✓ **Il s'agit là de distances minimales absolues.** Accroître ces distances dans la mesure du possible, car elles ne tiennent pas compte des risques spécifiques au site.

## 3. Lorsque la distance minimale de sécurité ne peut être atteinte

Si des contraintes géographiques ou de densité de population empêchent d'atteindre une distance de sécurité, mettre en œuvre des mesures de réduction des risques :

- ✓ **Déplacement** : déplacer le point de prélèvement d'eau ou les installations sanitaires.
- ✓ **Réaménagement de l'assainissement** : utiliser des conceptions alternatives telles que les fosses surélevées ou les conteneurs entièrement scellés et imperméables (par exemple en béton).
- ✓ **Mise en œuvre d'un traitement de l'eau** : veiller à ce qu'une barrière de traitement final (par exemple, chloration, filtration) soit en place pour l'approvisionnement en eau

Pour plus d'informations sur la réalisation d'évaluations des risques pour les eaux souterraines relatives aux activités polluantes, voir Ahmed *et al.*, 2016 et OMS, 2006.



## Encadré 6 : Principaux indicateurs de la qualité de l'eau potable (Association Sphère, 2018)

- ✓ Il n'y a pas plus de 10 coliformes fécaux pour 100 ml au point d'approvisionnement pour les sources non désinfectées
- ✓ Pour les approvisionnements en eau courante destinés à des populations de plus de 10 000 personnes, ou pour tous les approvisionnements en eau en période de risque ou en cas d'épidémie de diarrhée, l'eau est traitée avec un désinfectant résiduel selon une norme acceptable (par exemple, le chlore résiduel libre au robinet est de 0,2 à 0,5 mg par litre et la turbidité est inférieure à 5 UTN)
- ✓ Le total des solides dissous ne dépasse pas 1 000 mg par litre (conductivité électrique d'environ 2 000  $\mu\text{s}/\text{cm}$  pour une mesure simple sur le terrain) et l'eau est agréable au goût pour les utilisateurs



## Encadré 7 : L'importance de la triangulation des consultations communautaires

Les communautés locales détiennent des connaissances essentielles sur les sources d'eau et les tendances historiques, mais les souvenirs et perceptions individuels des événements passés (comme les sécheresses ou les changements du niveau de l'eau) peuvent être inexacts ou varier considérablement. Par conséquent, il faut toujours trianguler les informations provenant de la communauté, en recoupant ce que vous entendez de plusieurs sources et méthodes afin de dresser un tableau plus fiable :

- ✓ **Consulter différents groupes** : échanger séparément avec différents groupes communautaires (par exemple, les femmes, les anciens, les agriculteurs et les éleveurs), car leurs expériences et leurs connaissances diffèrent souvent.
- ✓ **Utiliser plusieurs méthodes** : combiner des discussions de groupe avec des entretiens individuels et une cartographie participative pour recueillir et recouper les informations.
- ✓ **Recouper les informations avec d'autres données** :
  - comparer les témoignages de la communauté à toutes les données officielles disponibles (par exemple, les relevés pluviométriques, les rapports de projets antérieurs, les études universitaires)
  - établir des corrélations avec les observations physiques faites lors du travail sur le terrain (par exemple, profondeur des puits existants, traces d'inondations)

- ✓ **Rechercher des thèmes récurrents** : rechercher des informations communes ou des thèmes récurrents entre les différents groupes et sources de données, plutôt que de se fier à des déclarations isolées.

### À ÉVITER : Nappes phréatiques peu profondes (si possible)

- ✗ Les sites où la nappe phréatique est très peu profonde (par exemple, à moins de 5 m sous le niveau du sol) sont plus sensibles à la contamination superficielle. Cependant, dans de nombreux contextes, les eaux souterraines peu profondes sont la seule option possible.

### OBJECTIF : Des systèmes d'eau souterraine naturellement résilients (Vrba et Verhage, 2011)

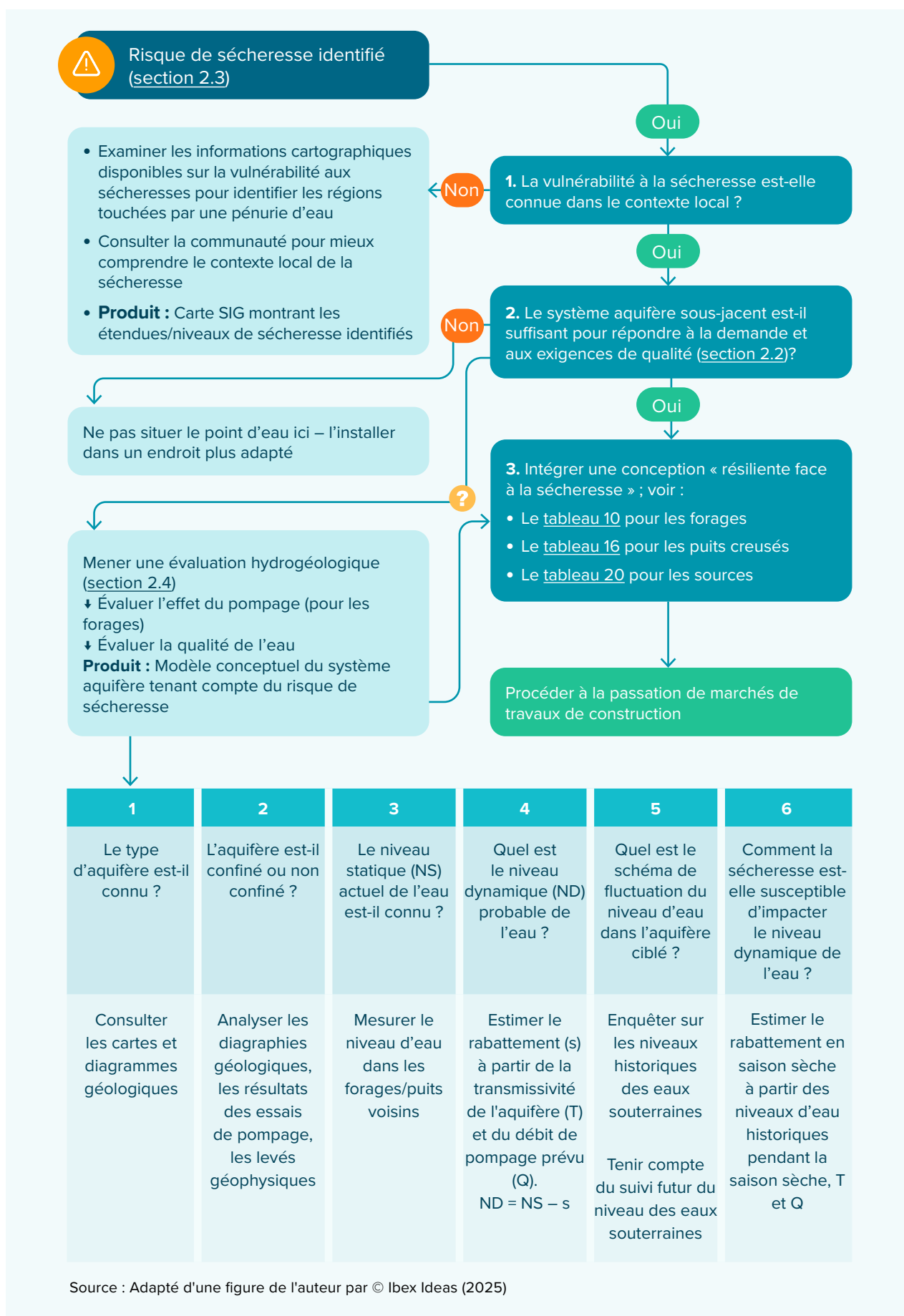
- ✓ **Aquifères confinés (artésiens)** : la couche imperméable sus-jacente (couche de confinement) protège l'aquifère de l'intrusion directe des eaux de surface. La pression à l'intérieur de l'aquifère empêche souvent l'écoulement vers le bas.
- ✓ **Aquifères protégés par des roches/sédiments à faible perméabilité** : des couches épaisses d'argile ou de roches non fracturées ralentissent considérablement ou empêchent l'infiltration des eaux de surface.
- ✓ **Systemes à gradient ascendant** : dans les zones où les eaux souterraines s'écoulent naturellement vers le haut (par exemple, les zones de décharge), la pression hydraulique résiste à l'intrusion des eaux de surface.

## 2.6 Travailler dans des zones sujettes à la sécheresse

### 2.6.1 Considérations relatives aux risques de sécheresse

Lorsque la sécheresse a été identifiée dans la zone d'intérêt ([section 2.3](#)), le processus illustré à la [figure 11](#) décrit les informations nécessaires pour minimiser les risques de défaillance des infrastructures souterraines résultant de la fluctuation ou de la baisse des niveaux d'eau.

Figure 11 : Évaluation préalable à la construction dans une zone sujette à la sécheresse.



Les principaux éléments à prendre en considération sont les suivants :



### 1) La géologie

Les différentes formations géologiques (par exemple, sédiments non consolidés, roches sédimentaires, socle cristallin, roches volcaniques, karst) stockent et transmettent l'eau de manière différente, ce qui influe directement sur leur résilience à la sécheresse. Le [tableau 5](#) donne un aperçu des considérations relatives à l'impact de la sécheresse dans différents environnements hydrogéologiques.

Pour déterminer l'environnement hydrogéologique de la zone qui vous intéresse :

- ✓ Consulter les cartes géologiques nationales et régionales issues des études gouvernementales afin d'identifier le type de roche dominant dans la zone de votre projet.
- ✓ Examiner les journaux de forage des puits situés à proximité
- ✓ Effectuer une reconnaissance sur le terrain pour observer les affleurements rocheux et les reliefs, qui fournissent des indices sur la géologie sous-jacente
- ✓ Consulter les foreurs locaux qui ont une connaissance pratique et concrète des conditions souterraines de la région
- ✓ Si possible, effectuer des essais de pompage sur les forages existants afin de comprendre les caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère



### 2) Les conditions hydrauliques de l'aquifère cible : est-il confiné ou non confiné ?

Les aquifères non confinés, où la nappe phréatique est ouverte à l'atmosphère, présentent une zone de transmission variable en fonction des fluctuations du niveau de l'eau. En période de sécheresse, lorsque les baisses du niveau de l'eau sont plus importantes que la normale, cela peut entraîner l'assèchement de la zone productive ou une réduction significative du rendement du système aquifère.

Les aquifères confinés peuvent également présenter une pression piézométrique inférieure à la normale pendant une sécheresse. Cependant, tant que la formation aquifère reste saturée, l'aquifère conservera la même productivité (même si la pompe devra surmonter une pression plus importante pour extraire l'eau du puits). Cette caractéristique rend les systèmes confinés plus résistants à la sécheresse,

même si leur recharge peut être lente et se produire à une certaine distance du point d'eau.

Pour déterminer l'état hydraulique du système aquifère cible :

- ✓ **Analyser les diagrapies de forage** : rechercher la présence d'une couche imperméable épaisse et continue (argile, schiste, roche dense) recouvrant la zone aquifère primaire. C'est l'indicateur le plus clair d'un aquifère confiné.
- ✓ **Vérifier le niveau statique de l'eau (NS)** : lorsqu'un puits est foré dans un aquifère confiné, le niveau de l'eau monte souvent bien au-dessus du sommet de la couche aquifère rencontrée. Cela est dû à la pression (artésienne). Dans un aquifère non confiné, le niveau statique de l'eau dans le puits correspond simplement à la nappe phréatique.
- ✓ **Examiner les données des essais de pompage** : les aquifères non confinés et confinés présentent des profils de rabattement caractéristiques différents lors d'un essai de pompage. Analyser les données d'essai existantes si elles sont disponibles.



### 3) Les fluctuations saisonnières du niveau d'eau dans l'aquifère cible

La meilleure façon de prédire le comportement de l'aquifère en cas de sécheresse grave consiste à comprendre les niveaux d'eau saisonniers historiques, hauts et bas.

- ✓ Étudier les données historiques sur le niveau des eaux souterraines et les précipitations, si des archives sont disponibles (voir la [section 2.4](#)).
- ✓ Envisager de mettre en place une surveillance future à long terme du niveau des eaux souterraines afin de mieux comprendre les tendances saisonnières et à long terme.
- ✓ Utiliser une approche conceptuelle du système aquifère pour comprendre les mécanismes de recharge et les contrôles du niveau des eaux souterraines.



### 4) Le niveau dynamique de l'eau (ND) basé sur les besoins en approvisionnement en eau

Le niveau dynamique de l'eau (ND) est déterminé par la transmissivité et la capacité de stockage de l'aquifère, ainsi que par le débit de pompage. Un aquifère moins productif entraînera un rabattement plus

important pour un débit de pompage donné. Pour déterminer si un forage sera résistant à la sécheresse, estimer le niveau dynamique de l'eau le plus bas probable pendant une sécheresse. Pour plus d'informations, consulter la section [Restauration des forages](#).



### 5) Effets d'interférence potentiels

Les forages existants ou nouveaux peuvent abaisser le niveau phréatique sur une vaste zone (« cône de dépression », [figure 12](#)). Si ce cône de dépression (ou cône de rabattement) croise d'autres points d'eau, il peut provoquer des interférences, entraînant une augmentation des rabattements. En outre, le développement ad hoc de nombreux points d'eau sans prise en compte de leur impact cumulatif peut entraîner un épuisement ou une surexploitation à long terme de l'aquifère.

- ✓ **Faire l'inventaire des points d'eau existants** : effectuer une étude de reconnaissance afin de cartographier tous les points d'eau (forages, puits et sources) dans les environs afin de comprendre ce qui pourrait être affecté. Cet inventaire doit couvrir un rayon susceptible d'être raisonnablement influencé par le nouveau forage ; cela peut représenter plusieurs centaines de mètres pour les aquifères étendus et productifs.
- ✓ **Analyser les données provenant des forages existants** : analyser les registres, en particulier les rapports d'essais de pompage et les diagraphies lithologiques, des forages répertoriés. Ces données fournissent des informations essentielles sur la transmissivité de l'aquifère.
  - **Une transmissivité élevée** (par exemple dans les aquifères sableux ou graveleux) suggère que le cône de dépression sera large et peu profond, ce qui signifie qu'un nouveau puits pourrait avoir un impact sur d'autres points d'eau situés à une plus grande distance.
  - **Une faible transmissivité** (par exemple dans les mudstones ou les roches peu fracturées) suggère que le cône de dépression sera profond et étroit, avec un impact plus localisé mais potentiellement grave sur les sources très proches.
- ✓ **Examiner le cadre juridique** : vérifier s'il existe des réglementations nationales ou locales concernant l'espacement requis entre les nouveaux forages et les forages existants.

**Tableau 5 : Considérations relatives à l'impact de la sécheresse dans différents environnements hydrogéologiques**

Environnement hydrogéologique	Considérations
<p><b>Alluvions non consolidées</b></p>	<p><b>Caractéristiques favorables</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Souvent peu profonds et très productifs, ils sont relativement faciles à exploiter.</li> </ul>
	<p><b>Considérations relatives à la sécheresse</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les aquifères peu profonds peuvent subir des fluctuations saisonnières, ce qui les rend plus vulnérables à la sécheresse.</li> <li>• Vulnérables à la surexploitation et à la contamination pendant les sécheresses en raison de leur faible profondeur et de leur connexion avec les eaux de surface.</li> </ul>
	<p><b>Exigences en matière de sélection du site</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Donner la priorité aux sites présentant des zones saturées plus épaisses et évaluer le potentiel de recharge.</li> <li>• Évaluer la distance par rapport aux zones plus élevées susceptibles de contribuer à la recharge.</li> <li>• Évaluer le risque de contamination provenant de sources de surface et mettre en œuvre des mesures de protection.</li> </ul>
	<p><b>Considérations spécifiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser les données des essais de pompage et la conceptualisation hydrogéologique pour confirmer les rendements durables.</li> <li>• Éviter la surexploitation dans les zones à forte demande.</li> </ul>

## Sédimentaire

### Caractéristiques favorables

- Peuvent avoir une capacité de stockage importante et fournir des rendements fiables.

### Considérations relatives à la sécheresse

- Les taux de recharge peuvent varier en fonction du type de roche sédimentaire. Certaines peuvent être lentes à se reconstituer pendant les périodes de sécheresse.

### Exigences en matière de sélection du site

- Identifier le type de roche sédimentaire et ses propriétés hydrauliques (porosité, perméabilité) afin d'évaluer sa résistance à la sécheresse.
- Évaluer la profondeur et l'épaisseur de l'aquifère afin de s'assurer que les réserves sont suffisantes.
- Évaluer le potentiel de connectivité avec les eaux de surface et les risques de contamination associés.
- Tenir compte du risque d'intrusion d'eau salée dans les zones côtières.

### Considérations spécifiques

- Les grès et les conglomérats présentent un fort potentiel pour les eaux souterraines exploitables.
- Les argiles et les mudstones sont de mauvais aquifères et doivent généralement être évités.
- Si les eaux souterraines sont insuffisantes, envisager d'autres systèmes d'eau de surface.

## Karst

### Caractéristiques favorables

- Peut fournir de grands volumes d'eau en raison de sa perméabilité et de sa capacité de stockage élevées.

### Considérations relatives à la sécheresse

- Très sensible aux conditions de sécheresse en raison de sa réaction rapide aux variations pluviométriques et de la réduction de la recharge pendant les périodes de sécheresse.
- Les niveaux d'eau peuvent baisser considérablement pendant les sécheresses prolongées.
- Susceptible d'être contaminé en raison de la rapidité de propagation.

### Exigences en matière de sélection du site

- Réaliser des évaluations hydrogéologiques détaillées pour comprendre les réseaux de fractures et le potentiel de recharge.
- Veiller à la bonne construction des puits afin de minimiser les risques de contamination.

### Considérations spécifiques

- Les aquifères karstiques peuvent s'épuiser soudainement si la recharge est insuffisante.
- La capacité de stockage dépend de l'étendue des cavernes et des conduits.
- Vitesses d'écoulement et capacités de stockage d'eau variables, en fonction du degré de karstification et des différentes conditions hydrogéologiques.
- Les forages réalisés à proximité de sources ou dans des vallées sèches, ont les meilleures chances de succès. Cependant, toute eau souterraine prélevée par des forages réduira le débit des sources.

### Sous-sol

### Caractéristiques favorables

- Peut fournir des aquifères viables dans les zones de roche mère altérée et fracturée.

### Considérations relatives à la sécheresse

- Leur capacité de stockage limitée et leur faible taux de recharge les rendent vulnérables aux sécheresses prolongées.
- En raison de leur faible capacité de stockage, ils sont particulièrement vulnérables à la sécheresse s'ils ne présentent pas suffisamment d'altération ou de fracturation.

### Exigences en matière de sélection du site

- Cibler les fractures verticales et les zones profondément altérées pour obtenir des rendements plus élevés.
- Réaliser des études géophysiques détaillées pour localiser les zones productives.

### Considérations spécifiques

- Rendements très variables en fonction du degré d'altération ou de la densité des fractures.
- Des rendements élevés sont possibles dans les zones altérées (généralement situées dans des zones recouvertes de sédiments alluviaux).
- Si la zone altérée seule ne permet pas d'obtenir un rendement suffisant, les fractures dans le substrat rocheux plus profond peuvent être exploitées.

## Volcanique

### Caractéristiques favorables

- Peut offrir des rendements élevés et une bonne qualité d'eau selon le type de roche volcanique.

### Considérations relatives à la sécheresse

- Les taux de recharge peuvent varier considérablement en fonction de la perméabilité des roches volcaniques.

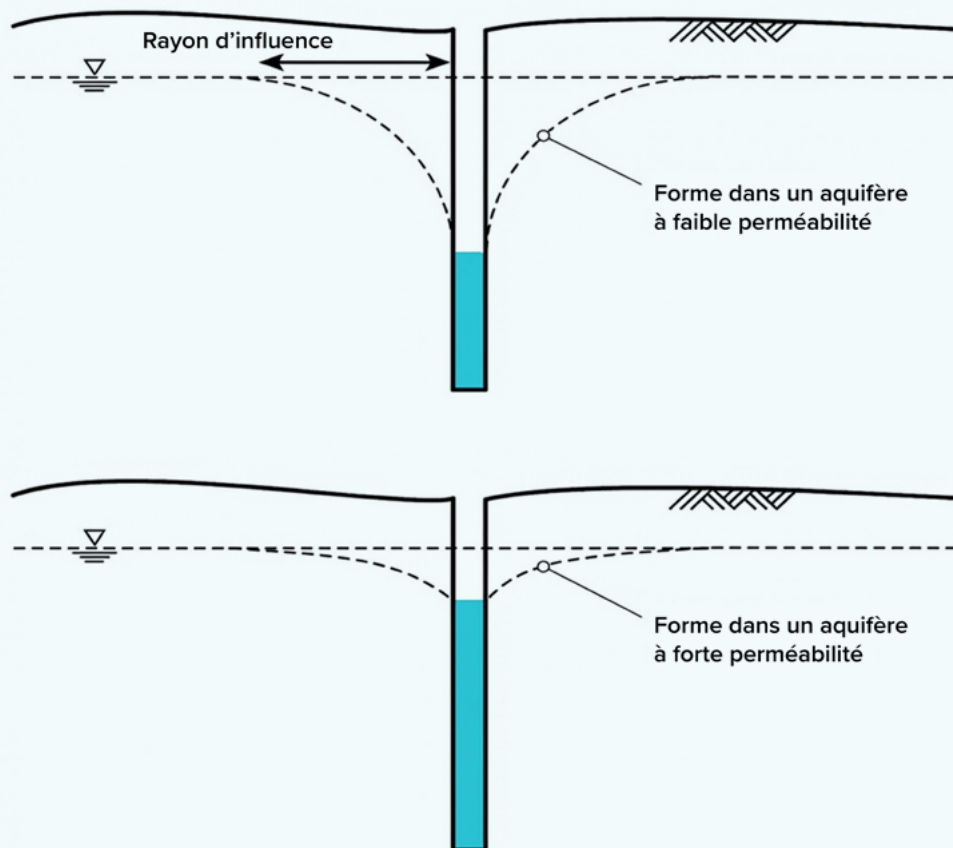
### Exigences en matière de sélection du site

- Identifier le type de roche volcanique et ses propriétés hydrauliques.
- Évaluer la profondeur et l'étendue de l'aquifère afin de comprendre sa capacité de stockage.
- Évaluer le potentiel de connectivité avec les eaux de surface et les risques associés.

### Considérations spécifiques

- Les roches volcaniques peuvent avoir une porosité modérée et soutenir une gamme de rendements.

Figure 12 : Cône de dépression dans les aquifères à faible perméabilité par rapport à ceux à haute perméabilité



Source : WEDC (2019). Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro

## 2.6.2 Réalisation d'une étude

Les mesures suivantes sont nécessaires :



### Réaliser une étude documentaire afin d'examiner toutes les informations disponibles existantes

Les données peuvent être obtenues auprès des sources suivantes :

- Cartes de vulnérabilité des eaux souterraines à la sécheresse, si elles sont disponibles (auprès d'organismes gouvernementaux, d'ONG, d'instituts de recherche)
- Études hydrologiques réalisées par les ministères locaux chargés de l'eau, les organismes météorologiques ou les agences de gestion des risques de catastrophe sur les ressources en eau et les impacts climatiques, et plans nationaux d'adaptation
- Rapports de projets d'ONG sur la résilience des eaux souterraines ou sur l'adaptation aux changements climatiques
- Articles universitaires sur les impacts climatiques et les ressources en eau dans la région du projet. Contacter les universités ou centres de recherche locaux susceptibles d'avoir mené des études pertinentes



### Mobiliser la communauté

La communauté locale peut fournir une mine d'informations locales liées à l'impact de la sécheresse sur les sources d'eau. Réaliser des enquêtes auprès des ménages, des discussions de groupe ou des entretiens avec des informateurs clés afin de comprendre la fréquence, la gravité et l'impact de la sécheresse locale sur les sources d'eau. L'encadré 1 fournit les principales questions relatives aux sources d'eau et à leur accessibilité, et les éléments suivants peuvent être utiles pour évaluer l'impact de la sécheresse :

- Quels points d'eau se sont asséchés lors des sécheresses passées ?
- Combien de temps sont-ils restés secs ?
- À quelle fréquence les sécheresses se produisent-elles ?

- De combien le niveau d'eau a-t-il baissé dans les puits/forages qui ne se sont pas complètement asséchés ?
- Quelles autres sources d'eau ont été utilisées pendant les sécheresses ?



### Collecter des données sur le terrain

Si les informations disponibles sont insuffisantes pour comprendre le risque de sécheresse, un travail sur le terrain peut être nécessaire afin d'obtenir des informations supplémentaires en vue de la conception du système d'approvisionnement en eau. Ces données permettraient de compléter les informations issues d'une évaluation hydrogéologique standard.

Informations de terrain utiles :

- Données sur le niveau d'eau des points d'eau existants
- Points de surveillance du niveau des eaux souterraines pour enregistrer les fluctuations du niveau de l'eau au fil du temps
- Étude approfondie des forages résistants à la sécheresse identifiés lors des consultations communautaires afin de comprendre pourquoi ils sont résistants à la sécheresse. Il s'agirait notamment de comprendre la profondeur de ces forages, leur emplacement et le système aquifère dont ils tirent leur eau, leur conception et la profondeur des filtres, ainsi que les sources de recharge potentielles.

## 2.6.3 Évaluation des risques liés à la qualité de l'eau en cas de sécheresse

Pendant une sécheresse, la baisse du niveau des eaux souterraines et la réduction de la recharge peuvent entraîner une augmentation de la concentration des contaminants naturels et anthropiques, rendant potentiellement toxique une source d'eau auparavant sûre.



### Analyser la géologie pour détecter les contaminants minéraux :

déterminer si les types de roches locales sont des sources connues de contamination minérale (par exemple, l'arsenic provenant de certaines roches sédimentaires et volcaniques, ou le fluorure provenant des granites). Lorsque le niveau de l'eau baisse pendant une sécheresse, il

Il y a moins d'eau pour diluer ces contaminants naturels qui s'échappent des roches, ce qui peut augmenter leur concentration.

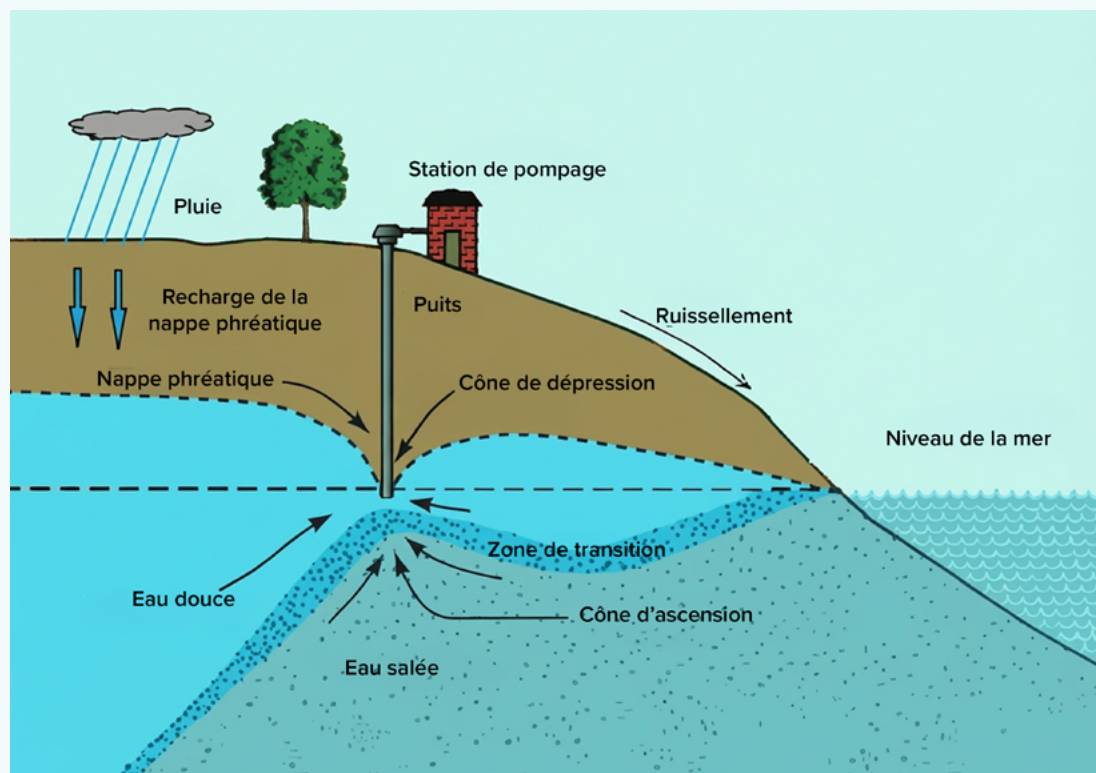
- Effectuer des prélèvements d'échantillons d'eau à partir d'un forage existant à proximité qui puise à la profondeur de l'aquifère cible. Envoyer les échantillons pour une analyse complète en laboratoire.



**Évaluer les risques de salinisation :** il est important d'évaluer les sources potentielles de salinisation, car ces risques sont souvent amplifiés pendant une sécheresse. Le pompage intensif, qui augmente souvent pendant les sécheresses, peut provoquer la remontée (figure 13) d'eau salée plus profonde, dégradant ainsi la source d'eau douce.

- La salinisation peut constituer un risque dans divers contextes :
  - dans les zones côtières, un pompage intensif peut aspirer l'eau de mer, provoquant une intrusion saline
  - dans les régions intérieures, un pompage intensif peut faire remonter des eaux souterraines naturellement salines plus profondes, ce qui contamine l'approvisionnement en eau douce
  - dans les climats arides, l'augmentation de la demande en eau pour l'irrigation, combinée à des taux d'évaporation élevés, peut concentrer les sels dans le sol, ce qui peut entraîner la salinisation des eaux souterraines peu profondes
- Utiliser des appareils de mesure sur le terrain pour mesurer le total des solides dissous (TSD) ou la conductivité électrique à partir des points d'eau existants.
- Utiliser des études géophysiques, telles que les méthodes électromagnétiques, pour cartographier l'étendue des zones d'eau douce par rapport aux zones d'eau salée.
- Éviter, dans la mesure du possible, d'implanter de nouvelles infrastructures dans des zones identifiées comme présentant une salinité élevée (TSD > 1000 mg/L) ou dans des zones présentant une tendance à l'augmentation de la salinité. Si une zone saline est inévitable, un traitement avancé, tel que l'osmose inverse ou le mélange avec des sources d'eau plus douces, peut être nécessaire.

Figure 13 : Remontée d'eau salée due à un pompage intensif



Source : Sreedharan et Pawels (2018). Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro

### À ÉVITER : Systèmes aquifères peu profonds (si possible)

- ✗ Les sites dotés de systèmes aquifères peu profonds seront les plus touchés par la sécheresse. Cependant, dans de nombreux endroits, les eaux souterraines peu profondes peuvent être la seule option.

### OBJECTIF : Systèmes aquifères plus profonds

- ✓ Le potentiel de stockage des systèmes aquifères plus profonds, qui présentent une épaisseur saturée plus importante, est moins susceptible d'être affecté par les fluctuations saisonnières.
- ✓ Les aquifères confinés sont des cibles idéales car ils sont moins affectés par les fluctuations saisonnières.

# 3 Conception et construction d'infrastructures de gestion des eaux souterraines résilientes au climat

Les conclusions de l'évaluation hydrogéologique doivent directement influencer la conception des nouvelles infrastructures de gestion des eaux souterraines.

- La conception des forages/puits doit tenir compte de la dynamique du système, en particulier des niveaux d'eau prévus en période de sécheresse. Cela signifie qu'il faut tenir compte du rabattement dynamique estimé pendant la saison sèche.
- Pour connaître les meilleures pratiques et les lignes directrices en matière de conception et de construction résistantes à la sécheresse, se reporter au [tableau 10](#) pour les forages, au [tableau 16](#) pour les puits creusés à la main et au [tableau 20](#) pour les sources.

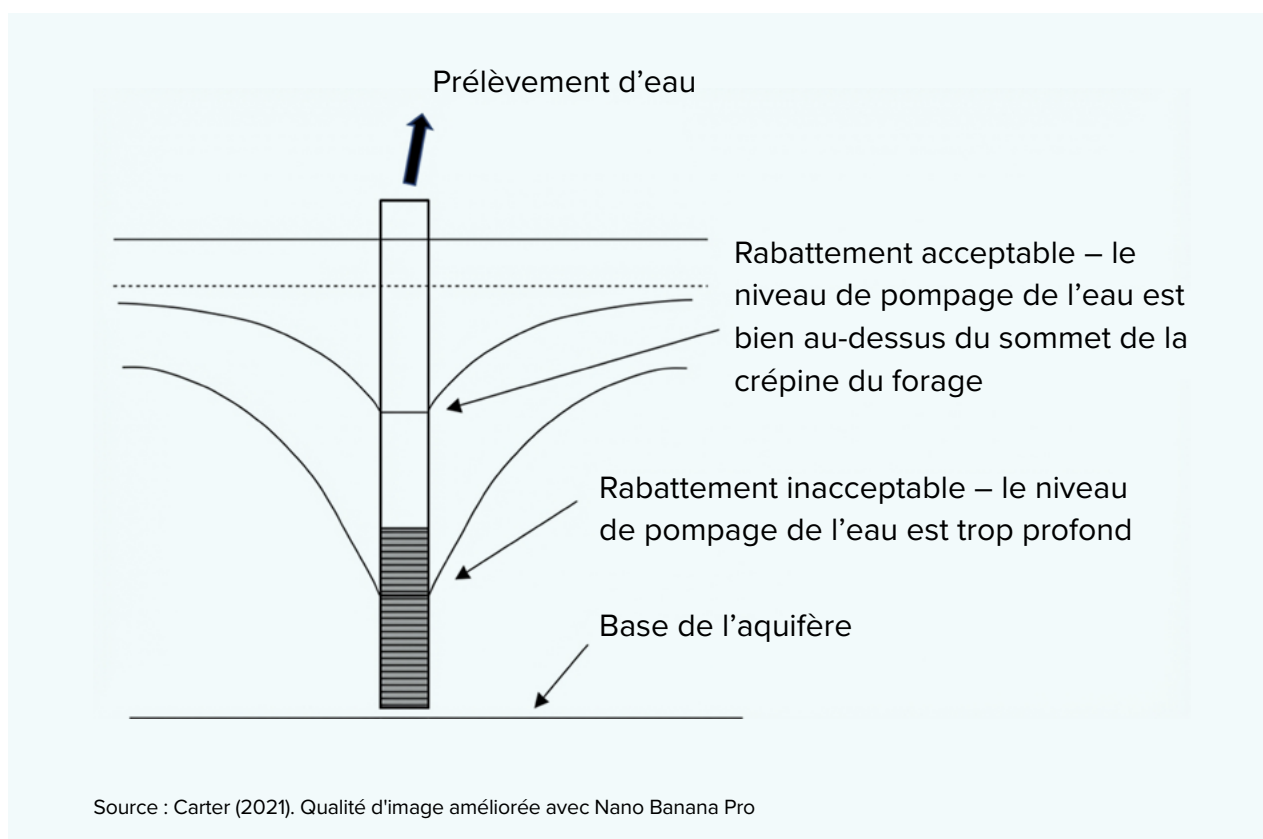
## 3.1 Forages

Les forages sont des puits de diamètre réduit creusés dans le sol pour accéder aux eaux souterraines provenant d'aquifères peu profonds ou profonds. Ils sont généralement tubés et équipés d'une crépine pour éviter l'effondrement tout en permettant à l'eau de s'écouler librement dans le puits par les fentes de la crépine. La méthode de forage, par exemple les techniques à la tarière manuelle, rotative ou à percussion, dépend des conditions du sol et des ressources disponibles. En raison de leur capacité à accéder à des réserves d'eau souterraine plus profondes et plus stables, les forages jouent un rôle essentiel dans l'amélioration de la sécurité hydrique et de la résilience climatique, ce qui en fait le principal sujet de ce guide.

Pour une ressource complète sur la construction de forages et un aperçu complet du creusage, voir : Driscoll, F. G. (1986). *Groundwater and wells* (2<sup>e</sup> éd.).

Un élément essentiel commun à la résilience face aux inondations et à la sécheresse est le positionnement approprié des crépines. Afin de déterminer la profondeur de captage appropriée de la pompe et la pompe adaptée pour fournir le débit prévu, il est nécessaire d'estimer le niveau de rabattement et de pompage de l'eau. Dans la pratique, le rabattement autorisé est limité, principalement en fonction de l'épaisseur de l'aquifère ([figure 14](#)).

Figure 14 : Limite pratique du taux de prélèvement d'eau souterraine dans un aquifère non confiné

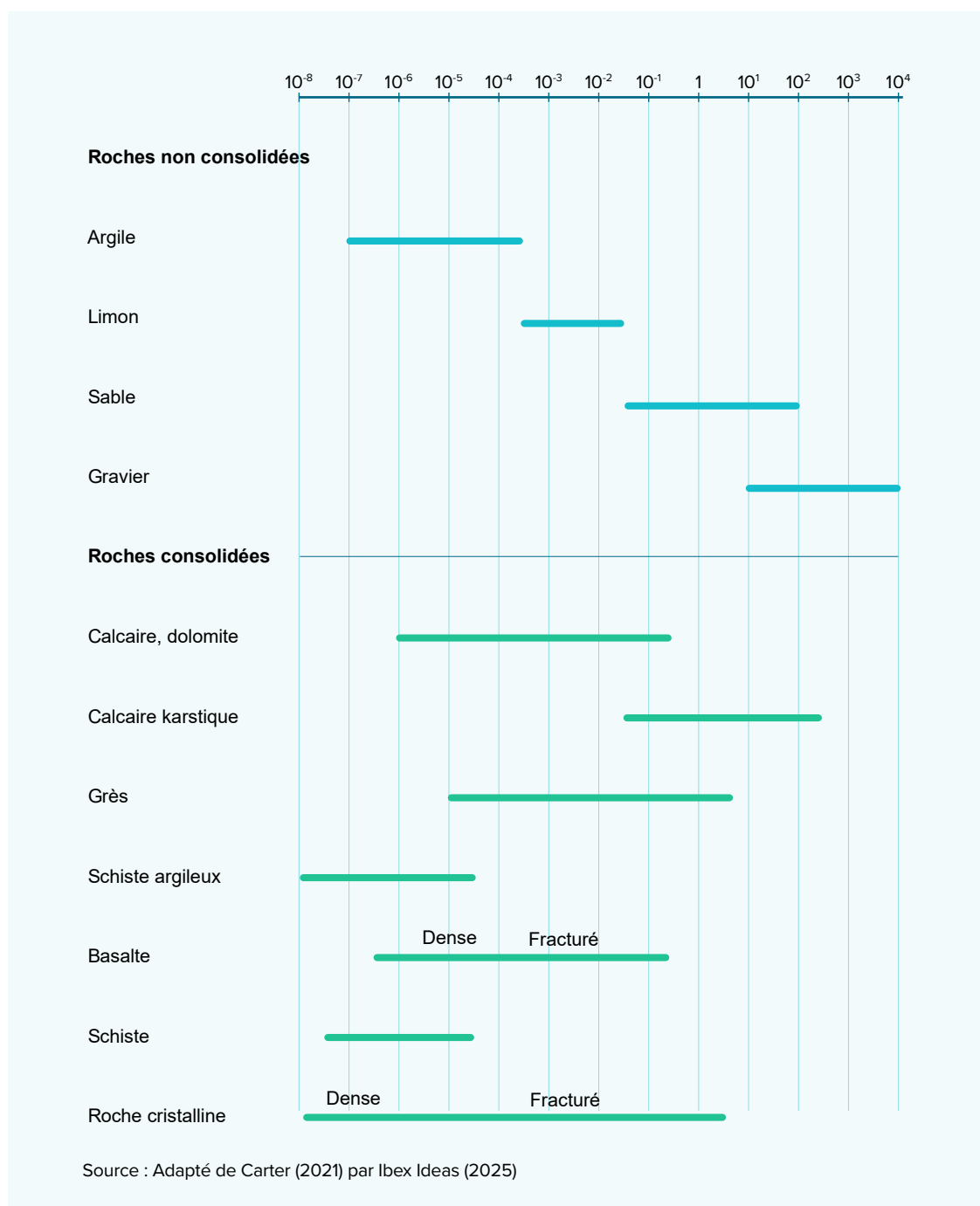


## 1

### Pour estimer les niveaux d'eau dynamiques probables, utiliser :

- ✓ **Forages/puits existants** : utiliser la capacité spécifique moyenne des puits voisins pour estimer le rabattement dans un nouveau forage.
  - **Niveau de rabattement = débit nominal / capacité spécifique moyenne**
- ✓ **Estimer la transmissivité de l'aquifère (T)** à l'aide de l'approximation de Logan, où : Niveau de rabattement =  $1,22 \times (\text{débit de pompage} / \text{transmissivité})$ 
  - La **transmissivité (T)** peut être estimée si la conductivité hydraulique (K) et l'épaisseur saturée (b) peuvent être supposées :
    1. **Estimation de K** : à partir de cartes géologiques, d'études géophysiques ou de relevés provenant de forages existants à proximité, déterminer le type de matériau souterrain susceptible de se trouver sur le site proposé. Utiliser un tableau de référence (un exemple est fourni à la [figure 15](#)) pour attribuer une valeur estimée à la conductivité hydraulique (K).
    2. **Estimation de b** : à partir des mêmes sources de données, estimer la profondeur du niveau statique de l'eau et la profondeur de la couche imperméable (le fond de l'aquifère). La différence entre ces deux valeurs correspond à l'épaisseur saturée estimée (b).
    3. **Calcul de la transmissivité** :  $T = K \times b$

**Figure 15** : Plages de conductivité hydraulique de certains types de roches en mètres par jour



2

## Estimer le niveau de pompage de l'eau pendant la phase de conception :

✓ **Estimer le niveau de pompage de l'eau (NPE)** en soustrayant le rabattement estimé du niveau statique de l'eau (NS) pendant la saison sèche.

- $NPE = NS - \text{rabattement}$

3

**Ajouter une marge de sécurité** (par exemple, 3 à 5 m+ en dessous du NPE calculé le plus bas) pour garantir que le point de captage de la pompe reste immergé pendant les périodes de sécheresse.

Les crépines de forage doivent être installées à proximité des horizons aquifères. Dans les matériaux non consolidés, la taille des fentes de la crépine est un facteur essentiel, qui dépend de la conception du puits. Les ouvertures typiques des crépines pour différentes formations aquifères sont indiquées dans le tableau 6.

**Tableau 6 : Ouvertures typiques des tamis pour différentes formations aquifères (Davis et Lambert, 2002)**

Formation	Taille moyenne des fentes de la crépine (mm)
Sable fin	0.167
Sable moyen	0.442
Sable grossier	0.813
Sable très grossier	1.580
Gravier très fin	2.850
Gravier fin	6.700

Une crépine et un filtre correctement conçus maximisent l'efficacité hydraulique du forage, lui permettant de produire de l'eau plus facilement. Ils empêchent également le sable et les particules fines de pénétrer et d'endommager la pompe, ce qui contribue à garantir la fiabilité et le bon fonctionnement du forage pendant les périodes de sécheresse.

Pour choisir correctement la taille des fentes de la crépine et la taille des graviers formant le massif filtrant, évaluer la granulométrie de l'aquifère en prélevant des échantillons représentatifs des sédiments qui y sont présents et en effectuant une analyse granulométrique ([figures 16](#) et [17](#)) afin de créer une courbe de distribution granulométrique.

Une méthode pratique pour déterminer la taille des fentes consiste à frotter un échantillon de sédiments aquifères contre la crépine : une fente parfaite laissera passer le sable fin et retiendra les grains grossiers (Ball, 2001).

**Figure 16 :** Crépine et balance de Groundwater Relief sur le site de protection des civils de Bentiu, au Soudan du Sud, août 2017



Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro




**Figure 17 :** Personnel de l'Organisation internationale pour les migrations (OIM) utilisant les tamis de Groundwater Relief pour s'assurer que le massif filtrant est conforme aux spécifications avant de l'acheminer vers le site de protection des civils de Bentiu, au Soudan du Sud



Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro

Davis et Lambert (2002), MacDonald *et al.* (2005) et Sterrett (2007) fournissent des protocoles de conception détaillés relatifs à la sélection des tailles des fentes des crépines pour les puits crépinés et les puits naturels.

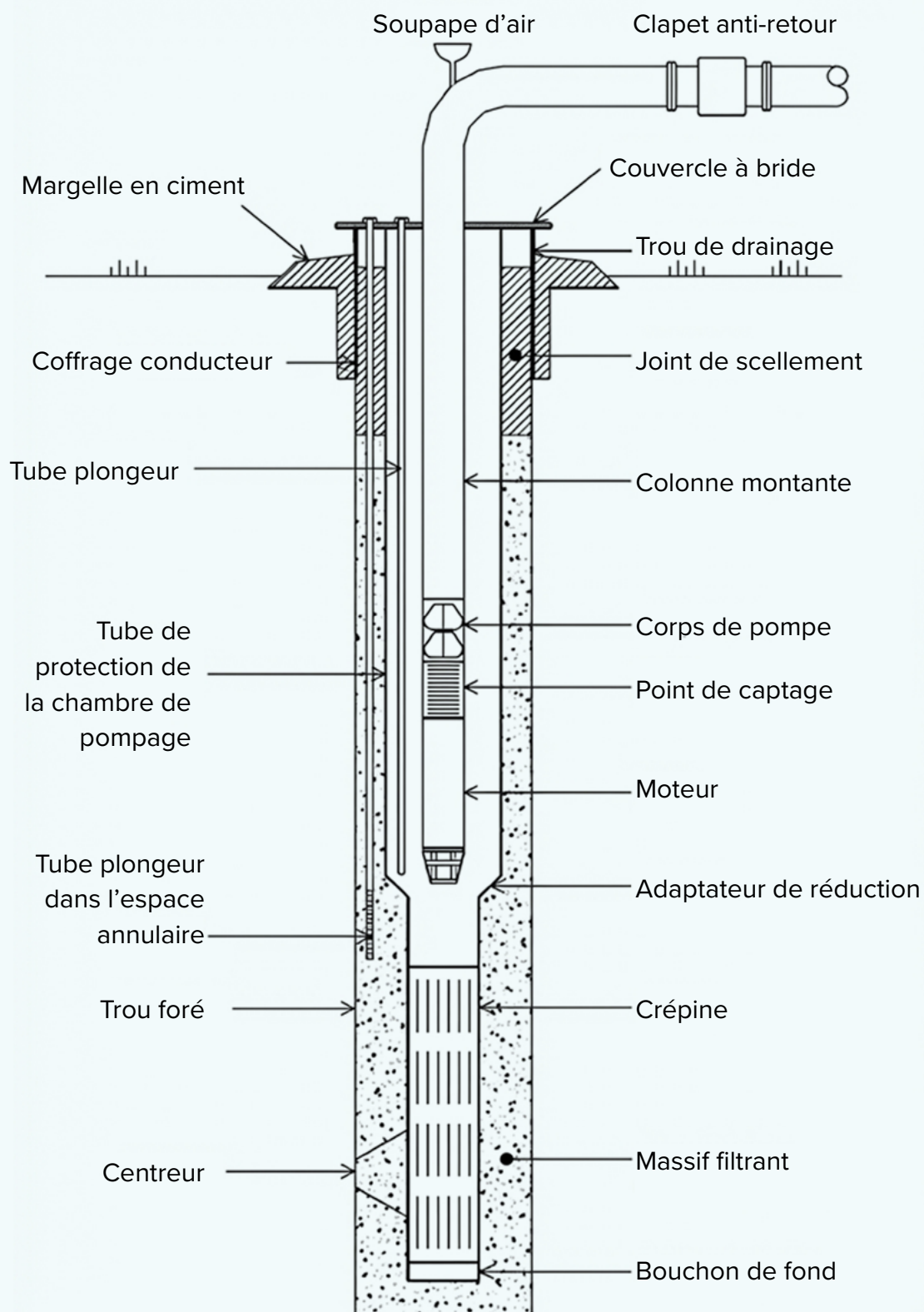
## Tableau 7 : Caractéristiques des forages

Catégorie	Description
 <p><b>Avantages</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accès à des aquifères plus profonds et plus fiables</li> <li>• Risque moindre de contamination par des sources de surface (en tant que point d'eau protégé)</li> <li>• Fournissent généralement un rendement en eau plus élevé et plus constant</li> </ul>
 <p><b>Inconvénients</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coûts de construction initiaux élevés</li> <li>• Nécessitent un équipement de forage spécialisé et une expertise technique</li> <li>• L'entretien et les réparations, en particulier pour les pompes submersibles, peuvent être complexes et coûteux</li> </ul>
 <p><b>Vulnérabilités climatiques</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Inondations</b> : les eaux de crue contaminées peuvent s'infiltrer dans les forages mal scellés. Les structures de pompage en surface peuvent être endommagées.</li> <li>• <b>Sécheresse</b> : la recharge réduite de l'aquifère peut faire baisser le niveau de l'eau, rendant le pompage plus difficile. L'augmentation de la demande pendant les périodes de sécheresse peut surcharger les systèmes de pompage.</li> </ul>

Le type de système de pompage installé dans un forage a une incidence sur les performances, les coûts d'exploitation et la vulnérabilité aux impacts climatiques.

Pour plus d'informations, voir les **chapitres 5 et 6 de *Rural Community Water Supply: Sustainable services for all*** (Carter, 2021), qui présentent les technologies de pompes manuelles destinées aux ménages et petites communautés et examine la transition vers les systèmes d'adduction d'eau, y compris les options alimentées par gravité et par pompage mécanique (en particulier solaire), en soulignant leurs avantages, les difficultés associées (gestion, financement, stockage) et la nécessité de tarifs appropriés.

Figure 18 : Composants d'un forage



Source : Misstear *et al.* (2017). Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro

### 3.1.1 Forages résistants aux inondations

Pour garantir la résilience des forages face aux inondations et à la contamination, il convient d'accorder une attention particulière à leur conception et à leur construction. Les principales mesures de protection comprennent, d'une part, l'installation d'un joint sanitaire pour prévenir la contamination et, d'autre part, la construction d'une plateforme surélevée pour réduire les risques d'inondation. La mise en œuvre des mesures de protection contre les inondations (tableau 8) doit avoir lieu après la construction et le développement du forage, une fois que le stabilisateur de formation ou le filtre s'est stabilisé.

**Tableau 8 : Mesures de protection des forages contre les inondations**

Mesure	Détails
<u><a href="#">Élévation du tubage et de la plateforme du forage</a></u>	Élever le tubage du forage d'au moins 0,3 m au-dessus du niveau du sol et la plateforme d'au moins <b>0,4 m au-dessus du niveau d'inondation centenaire ou le plus élevé jamais enregistré.</b>
<u><a href="#">Étanchéification de la surface (joint sanitaire)</a></u>	Placer un <b>joint en argile bentonite ou en ciment</b> (d'une épaisseur minimale de 3 m) dans <b>l'espace annulaire entre la paroi du trou de forage et le tubage</b> afin d'empêcher les eaux de surface contaminées de s'écouler dans l'espace annulaire du trou de forage autour du tubage.
<u><a href="#">Approfondissement du point de captage</a></u>	Si la qualité de l'eau est préoccupante (par exemple, si des sources potentielles de pollution se trouvent à proximité), envisager de placer le point de captage plus profondément, car le déplacement vertical à travers les matériaux aquifères offre souvent une meilleure filtration que les distances latérales (Lawrence <i>et al.</i> , 2001).
<b>Étanchéification de la plaque supérieure/tête de puits</b>	La plaque supérieure/les ouvrages de tête du forage doivent être complètement étanches autour de la colonne montante, des câbles et de toute autre tuyauterie, afin d'empêcher l'eau de surface de pénétrer directement dans le forage.

### Positionnement des composants électriques/ mécaniques

Dans certains cas, les composants électriques ou mécaniques peuvent être placés loin des zones inondables afin d'offrir une meilleure protection.

### Drainage et aménagement paysager

La margelle est en bon état, sans fissures, et **s'incline vers l'extérieur** du forage vers un puits d'infiltration, **une tranchée de drainage périphérique ou un drain français** pour évacuer les eaux de crue.

#### 3.1.1.1 Élévation du tubage et de la plateforme du forage

Le rehaussement du tubage et la construction d'une plateforme surélevée sont des mesures fondamentales pour protéger un forage contre la contamination par les eaux de crue. Une tête de puits correctement conçue empêche les eaux de surface contaminées de déborder du tubage, garantissant ainsi que l'eau reste potable pendant et après une inondation.

La première étape, qui est aussi la plus importante, consiste à déterminer le niveau maximal des inondations locales.

La deuxième étape, si possible, consiste à tenir compte des changements climatiques afin de déterminer les niveaux et l'étendue maximaux des inondations futures. Une pratique courante consiste à estimer le **niveau d'inondation centenaire** (c'est-à-dire une crue ayant 1 % de probabilité de se produire chaque année). Ce calcul nécessite l'expertise d'un hydrologue.

**Figure 19** : Exemples de plateformes surélevées résistantes aux inondations au Soudan du Sud



Source : UNICEF, 2022. Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro



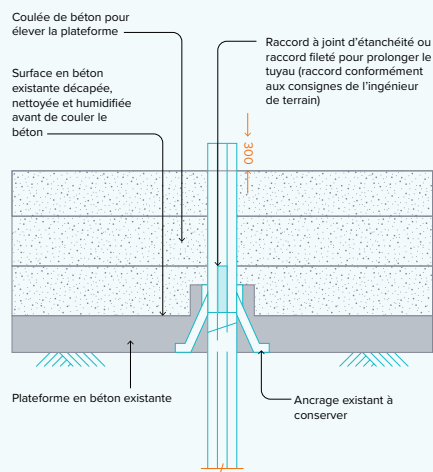
Source : travaux de Groundwater Relief réalisés dans le cadre du projet ECRP-II de l'Organisation internationale pour les migrations. Qualité de l'image améliorée avec Nano Banana Pro et Magnific AI

Une fois définis le niveau et l'étendue maximaux des inondations locales, concevoir le projet en fonction de ces conditions. Construire autour du forage une plateforme robuste en béton ou en maçonnerie, avec drainage en pente, en suivant les instructions détaillées du plan de conception ([figure 20](#)). La plateforme doit s'étendre sur au moins 1,5 m à partir du tubage et une excavation d'environ 15 à 30 cm doit être réalisée pour créer une sous-base assurant la stabilité de la construction. Il est essentiel que la jonction entre la plateforme et le tubage soit complètement étanche.

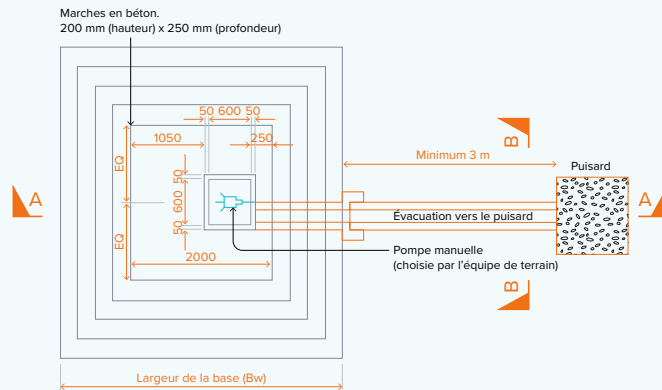
Le dessin de conception de la [figure 20](#) comprend deux tableaux pour guider la construction : le [tableau 1](#) fournit les dimensions spécifiques de la plateforme en fonction du niveau d'inondation déterminé, et le [tableau 2](#) fournit une liste correspondante des quantités de matériaux nécessaires.

Figure 20 : Conception d'une plateforme de forage résistante aux inondations

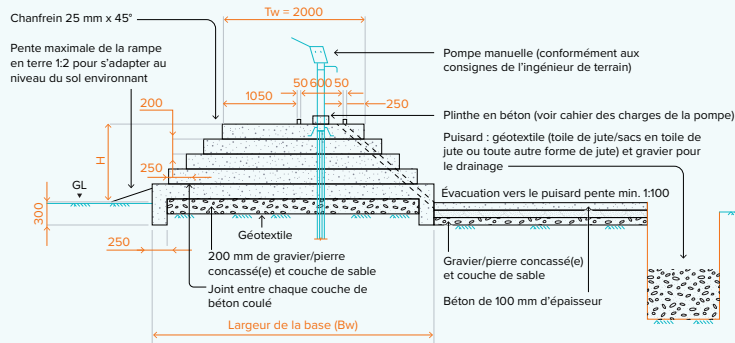
**Détails de la restauration d'une plateforme pour pompe manuelle**  
Echelle 1:25



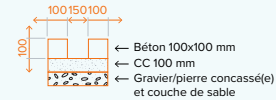
**Vue verticale d'une plateforme élevée pour pompe manuelle**  
Echelle 1:50



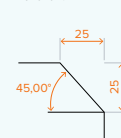
**Coupe A-A : Détail d'une plateforme élevée pour pompe manuelle**  
Echelle 1:50



**Coupe B-B. Détail du drain**  
Echelle 1:20



**Détail du chanfrein**  
Echelle 1:2



**Restauration d'une plateforme pour pompe manuelle en vue de l'amélioration de sa résistance aux inondations (voir la note 6)**

1. Définir la hauteur (H) de la plateforme en fonction du niveau maximal de crue à l'aide de la formule ci-dessous.
2. Démontez la pompe existante et installez un raccord pour surélever le tuyau ascendant.
3. Décaper, nettoyer et humidifier la surface de la plateforme existante.
4. Suivre la procédure d'installation de la plateforme conformément aux dimensions fournies dans le tableau 1 ou aux formules communiquées.

**Calcul des dimensions de la plateforme**

1. Estimation de la hauteur finale de la plateforme
2.  $H = \text{Hauteur de crue} + 400 \text{ mm}$
3. Nombre de marches,  $N = H/200$ , arrondi au nombre entier inférieur le plus proche
4. Hauteur de la rampe ( $H_{\text{ramp}} = H - N \times 200$ )
5. Largeur du haut,  $T_w = 2000$
6. Largeur du bas,  $B_w = T_w + 2 \times 250 \times (N-1)$

**Remarques générales :**

1. Toutes les dimensions sont en millimètres sauf indication contraire.
2. Les dimensions et les quantités de matériaux fournies valent pour une plateforme carrée. Pour toute autre forme, les dimensions et les matériaux seront estimés sur le terrain. On estime qu'une plateforme circulaire permettra de réaliser une économie de 20 % de matériaux.
3. Le dessin n° XXXXXX-MMD-XX-XX-DR-A-0002 propose une vue schématisée d'une plateforme hexagonale et d'une plateforme circulaire.
4. De l'huile de démoulage (ou d'autres alternatives disponibles localement telles que de l'huile végétale ou minérale) ou une feuille de polyéthylène seront fournies à l'intérieur du coffrage avant le coulage du béton.
5. Cette conception ne vaut que pour les plateformes construites pour une hauteur de crue de 2 m maximum.
6. L'extension du tube de remontée existant doit tenir compte de la capacité de la pompe à fournir la hauteur de refoulement accrue.

**Remarques sur la coulée de béton :**

7. Le coffrage sera maintenu en place pour un minimum de 48 heures.
8. La hauteur maximale de coulée du béton sera de 1,5 mètre.
9. Le béton sera compacté par battage, tassage et compactage. Pendant le battage, la tige sera insérée verticalement pour garantir une vibration efficace.
10. Un durcissement adéquat doit être assuré après le coulage du béton (au minimum 48 heures pour chaque couche et 7 jours après achèvement de la plateforme).
11. Il convient d'éviter tout chargement dans les 48 heures suivant le coulage du béton.

Source : Adapté de Mott MacDonald par Ibex Ideas (2025)

Tableau A : Dimensions de la plateforme pour différentes hauteurs de crue

Hauteur de crue maximale (mm)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Hauteur de la plateforme (H)(mm)	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
Nombre de marches (N)	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10
Hauteur de la rampe (Hramp) (mm)	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0
Largeur du haut (Tw) (mm)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Largeur du bas (Bw) (mm)	2500	3000	3000	3500	3500	4000	4000	4500	4500	5000	5000	5500	5500	6000	6000	6500

## Estimation des volumes de matériaux :

La proportion du mélange de béton pour les travaux de bétonnage est de 1:3:6 (ciment:sable:gravier). Voir notes sur le bétonnage

Tableau B : Estimation des volumes de matériaux (pour une plateforme carrée)

Hauteur de crue maximale (mm)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Hauteur de la plateforme (H)(mm)	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
Volume du béton (mètres cube) (mm)	4	5	6	8	9	11	13	15	17	20	23	27	30	34	38	43
Ciment (mètres cube)	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2	2,3	2,7	3	3,4	3,8	4,3
Sable (mètres cube)	1,2	1,5	1,8	2,4	2,7	3,3	3,9	4,5	5,1	6	6,9	8,1	9	10,2	11,4	12,9
Gravier (mètres cube)	2,4	3	3,6	4,8	5,4	6,6	7,8	9	10,2	12	13,8	16,2	18	20,4	22,8	25,8

Source : Adapté de Mott MacDonald par Ibex Ideas (2025)

### 3.1.1.2 Étanchéification de la surface (joint sanitaire)

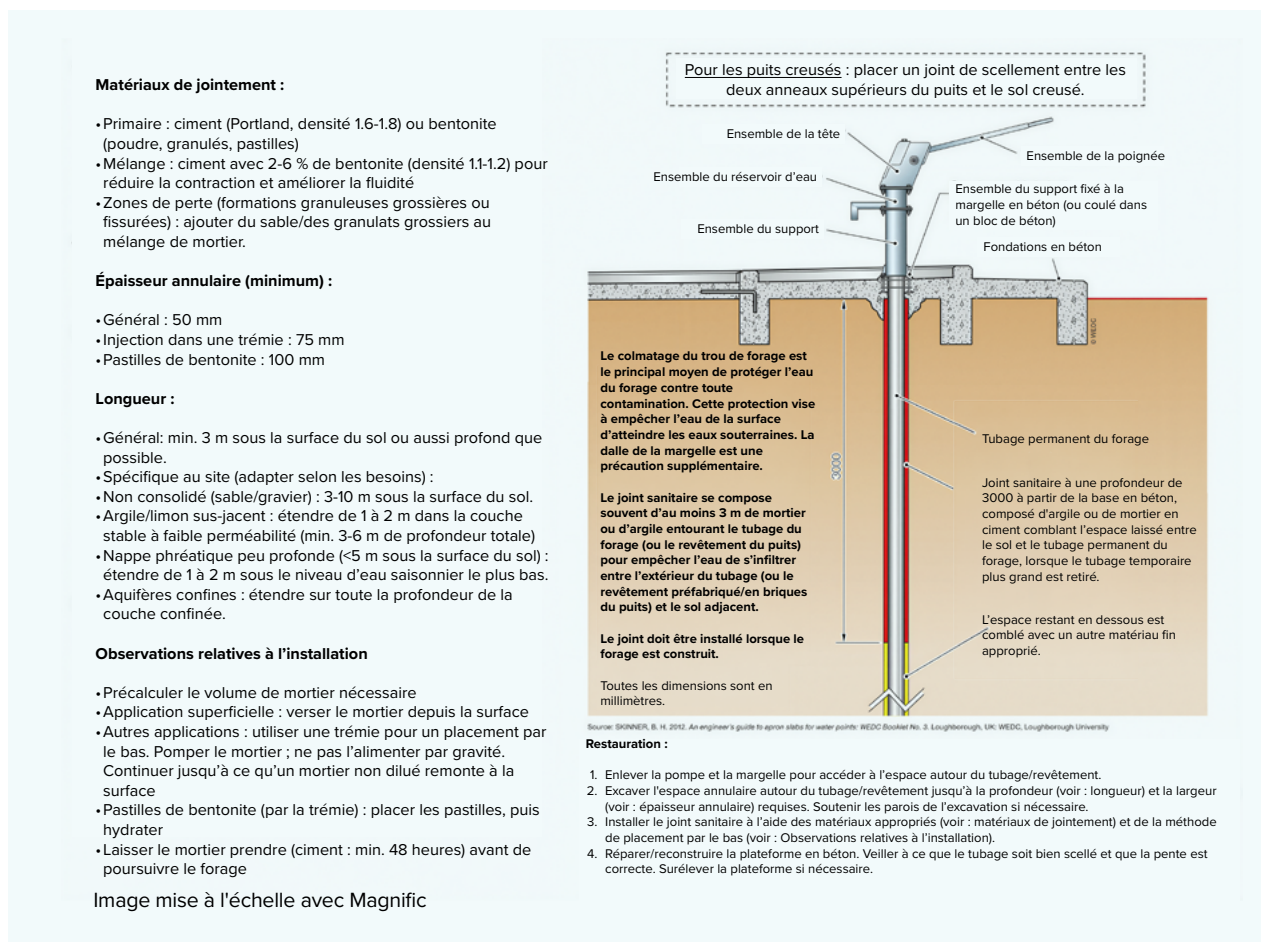
L'installation d'un joint sanitaire souterrain est une mesure essentielle de résilience face aux inondations qui fonctionne en tandem avec une plateforme surélevée. Lors d'une inondation, lorsque le sol est saturé, l'eau contaminée peut s'infiltrer à l'extérieur du tubage. Le joint a pour but de bloquer cette voie en créant une barrière imperméable dans l'espace annulaire (l'espace entre le tubage et la paroi du forage). En empêchant cette infiltration, un joint sanitaire correctement installé empêche les agents pathogènes et les polluants d'atteindre l'aquifère, garantissant ainsi la sécurité de la source d'eau.

Toutes les conceptions de forages doivent inclure un joint sanitaire dans la partie supérieure, qui s'étend généralement depuis juste sous la surface jusqu'à une profondeur d'au moins 3 mètres ou, idéalement, jusqu'à la première formation géologique imperméable.

La [figure 21](#) illustre les principaux composants et les consignes d'installation d'un joint sanitaire correctement construit.

Un joint sanitaire correctement installé, en association avec une plateforme surélevée et bien drainée, crée une protection robuste à plusieurs niveaux qui améliore considérablement la résistance d'un forage à la contamination par les inondations.

Figure 21 : Composants d'un joint sanitaire de forage pour la protection contre les inondations



### 3.1.1.3 Approfondissement du point de captage

Dans les zones inondables où les eaux souterraines peu profondes sont vulnérables à la contamination de surface, il est préférable de positionner les crépines de forage à une plus grande profondeur. Cela augmente le trajet vertical des eaux de surface à travers les matériaux aquifères, ce qui laisse plus de temps à l'eau pour être filtrée et traitée naturellement avant d'entrer dans le puits par les sections crépinées. Les systèmes aquifères plus profonds seront mieux protégés contre la contamination des eaux de surface que les systèmes aquifères peu profonds.

Pour obtenir des conseils pratiques sur l'évaluation du risque de contamination microbiologique des réserves d'eau souterraine, consulter les guides existants, par exemple les Directives ARGOSS (*Guidelines for assessing the risk to groundwater from on-site sanitation*) (Ahmed et al., 2016).

### 3.1.1.4 Drainage et aménagement paysager

Outre une plateforme surélevée et un joint sanitaire, un aménagement paysager approprié et la construction de dispositifs de drainage de surface constituent des mesures efficaces pour protéger un forage contre la contamination par les eaux de crue. Ces mesures

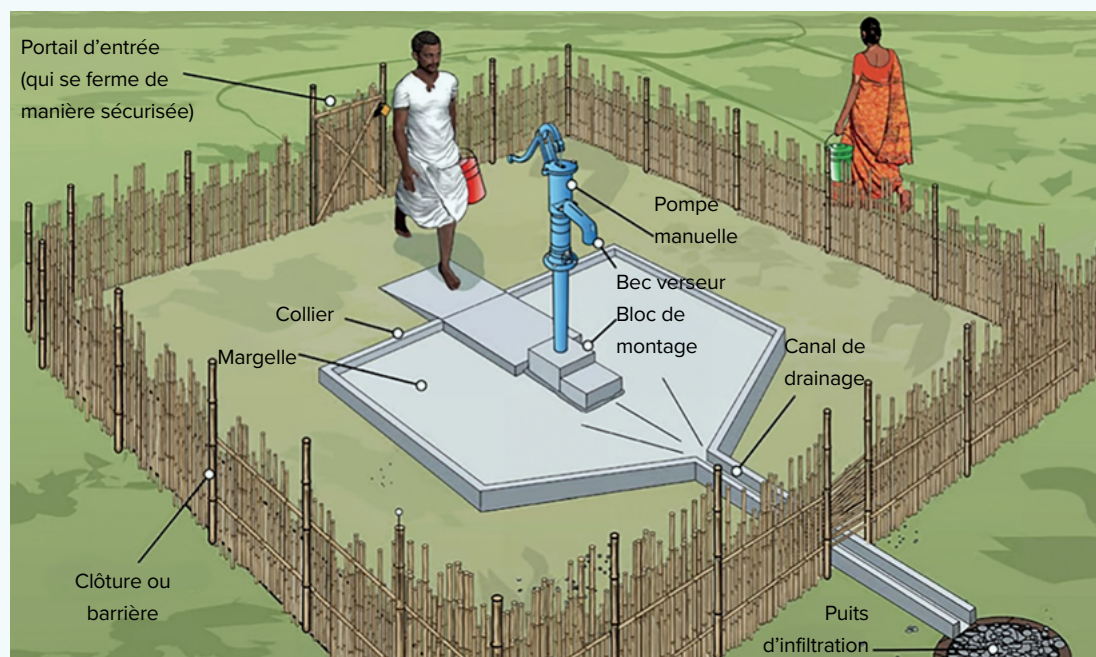
interceptent et détournent activement les eaux de ruissellement contaminées avant qu'elles n'atteignent la tête de puits et ne s'accumulent autour, minimisant ainsi le risque d'infiltration dans l'aquifère ou d'inondation du tubage.

**Margelle en béton et drainage :** une plateforme en béton solide et sans fissures, ou margelle, doit être construite pour empêcher l'eau contaminée de s'infiltrer sous le socle. La margelle doit avoir un rebord surélevé, ou collerette, pour capter les déversements d'eau et les eaux de ruissellement, et les diriger vers le canal de drainage. Elle doit être inclinée à l'opposé du tubage du forage et vers un canal de sortie (« canal de drainage ») qui achemine l'eau vers un puits d'infiltration situé à une distance sûre en aval du forage.

**Construction d'un fossé de dérivation :** un canal de dérivation peut intercepter et canaliser les eaux de ruissellement provenant d'une zone de captage plus large, en toute sécurité, autour et loin du site du forage. Le fossé de dérivation doit être creusé sur le terrain en amont du forage, être suffisamment profond et large pour supporter le volume prévu d'eau de crue et présenter une pente continue et douce pour évacuer l'eau sans déborder.

**Clôture :** une clôture ou une barrière doit être construite autour de la tête de puits afin d'empêcher les animaux de contaminer la zone du forage ou d'en endommager les composants. Elle peut également empêcher l'accès non autorisé des personnes. La clôture doit comporter un point d'entrée, tel qu'un portail, qui peut être fermé et verrouillé. Dans la mesure du possible, la clôture ou la barrière doit idéalement être construite à au moins 15 mètres du forage.

**Figure 22 :** Forage commun avec pompe manuelle dans des conditions sanitaires satisfaisantes (OMS, 2024a)



Source : OMS (2024). Image mise à l'échelle avec Magnific AI

### 3.1.1.5 Restauration des forages dans les zones inondables

La restauration des forages est une intervention essentielle pour améliorer les points d'eau existants dans les zones inondables, afin de les rendre plus résistants à la contamination. Elle consiste à évaluer l'état du forage et à améliorer ses dispositifs de protection, en particulier la plateforme de tête de puits et le joint sanitaire, afin d'empêcher l'entrée d'eau de crue contaminée.

Avant de commencer tout travail physique, il est essentiel de procéder à une évaluation approfondie de l'état du forage – voir la liste de contrôle d'évaluation à l'[annexe 1](#). L'évaluation doit inclure une inspection sanitaire afin d'identifier les risques, tels que des fissures dans la margelle, un mauvais drainage, la proximité de sources de pollution ou des changements dans la qualité de l'eau après une inondation.

Une fois les facteurs de risque prioritaires identifiés, les mesures de restauration appropriées (tableau 9) peuvent être mises en œuvre.

**Tableau 9 : Mesures de restauration des forages situés en zone inondable**

Mesure	Détails
<b>Réparation ou reconstruction de l'aire de service</b>	Les margelles en béton fissurées, cassées ou mal inclinées doivent être réparées ou entièrement reconstruites. La nouvelle plateforme doit être solide, imperméable et inclinée afin de diriger toute l'eau vers un canal de drainage situé à plusieurs mètres du puits.
<a href="#">Élévation du tubage et de la plateforme du forage</a>	Si le tubage du forage existant est inondé, le tubage et la plateforme environnante doivent être surélevés d'au moins 0,4 m au-dessus du niveau de crue afin d'empêcher l'eau de le submerger.
<a href="#">Réparation ou installation d'un joint sanitaire</a>	Un joint sanitaire souterrain défectueux ou inexistant constitue une vulnérabilité majeure. La réparation d'un joint peut nécessiter le retrait d'une partie de la margelle / plateforme existante, l'excavation autour du sommet du tubage et la mise en place d'une nouvelle bentonite ou d'un nouvel enduit dans l'espace annulaire pour créer une barrière imperméable avant de reconstruire la plateforme.

### **Nettoyage et désinfection du trou de forage**

Après toute restauration physique, et en particulier après une inondation, le forage doit être soigneusement nettoyé afin d'éliminer tout envasement, boue, sable ou autres débris qui auraient pu être déposés par les eaux de crue ou s'accumuler au fil du temps. Cela se fait généralement à l'aide de techniques de développement de forages telles que le transport par air ou le refoulement.

Après le nettoyage, le forage doit être désinfecté afin d'éliminer les agents pathogènes et les bactéries potentiellement introduits par les eaux de crue, en ajoutant une solution chlorée dans le puits, en faisant circuler l'eau pour s'assurer que toute la colonne est traitée, puis en pompant jusqu'à ce que l'eau soit propre et que le goût de chlore ait disparu. Pour plus d'informations, voir l'encadré 8 : Remise en service et restauration des forages et des puits après une inondation.



## **Encadré 8 : Remise en service et restauration des forages et des puits après une inondation (adapté de McCluskey, 2021)**

Après une inondation, les forages et les puits doivent être considérés comme contaminés. Les trois étapes suivantes constituent un guide pratique pour les remettre en service en toute sécurité :

### **1. Inspection structurelle et restauration**

Inspecter visuellement l'état de l'infrastructure (tête de puits, extérieur et intérieur du puits), effectuer les travaux de réparation ou de restauration nécessaires (voir le [tableau 9](#)) et rétablir la protection du point d'eau (clôtures, végétation).

### **2. Nettoyage physique (pour les sources endommagées ou ouvertes)**

Pour les sources d'approvisionnement en eau partiellement protégées, comme les puits creusés à la main, le nettoyage physique est une première étape essentielle avant toute désinfection efficace.

Le puits doit être asséché et désensasé afin d'éliminer les sédiments et les débris contaminés. Ce processus est essentiel pour améliorer l'efficacité de la chloration ultérieure et rétablir le débit initial du puits.

Des kits de vidange et de désenvasement faciles à utiliser sur le terrain peuvent être utilisés à cette fin, souvent par du personnel non qualifié.

### 1. Désinfection (superchloration)

*Aucune eau ne doit être distribuée pour la consommation avant d'avoir été correctement désinfectée.*

Désinfecter toutes les sources d'eau potentiellement contaminées (forages, puits, sources) en recourant à la technique de superchloration (chloration choc). Cette dose élevée est nécessaire pour compenser l'augmentation de la charge de contamination due aux fuites potentielles, aux ruptures du système et à la proximité de réseaux d'égouts et de drainage endommagés. Voir Godfrey et Reed (2013) pour des conseils sur l'utilisation de la chloration pour désinfecter un forage (ou un puits).

## 3.1.2 Forages résistants à la sécheresse

Le creusement et la conception de forages dans les zones sujettes à la sécheresse nécessitent une planification minutieuse afin de garantir la sécurité de l'approvisionnement en eau à long terme. Cette section décrit les principales mesures de mise en œuvre visant à améliorer la résilience des forages face à la sécheresse.

**Tableau 10 : Mesures de résistance à la sécheresse pour les forages**

Mesure	Détails
<u>Surcreusage</u>	Creuser plus profond que la zone principale de production d'eau peut créer une réserve vitale qui permet de maintenir la pompe immergée et le forage opérationnel même lorsque les niveaux d'eau régionaux baissent pendant une sécheresse.
<u>Installation d'une pompe à la profondeur minimale acceptable</u>	Installer la pompe à la profondeur minimale acceptable afin qu'elle puisse aspirer l'eau sur la plus grande profondeur verticale possible du forage.

<p><u>Installation d'une sonde de niveau bas</u></p>	<p>Installer une sonde de niveau bas dans chaque forage afin d'assurer une protection contre le fonctionnement à sec et d'éviter que la pompe ne soit endommagée par une surchauffe si le niveau d'eau baisse trop.</p>
<p><u>Installation d'un tube plongeur pour surveiller le niveau d'eau</u></p>	<p>Tous les forages motorisés nécessitent un tube plongeur pour mesurer le niveau des eaux souterraines.</p>
<p><u>Évaluation des performances</u></p>	<p>Effectuer des tests de pompage après le forage, puis à intervalles réguliers, afin d'évaluer et de surveiller les performances du forage.</p>
<p><b>Installation de réservoirs de stockage</b></p>	<p>Installer des réservoirs de stockage ou un réservoir pour stocker l'eau prélevée pendant les périodes d'excédent afin de compenser la demande en eau pendant les périodes de faible disponibilité (c'est-à-dire les sécheresses).</p>

### 3.1.2.1 Surcreusage

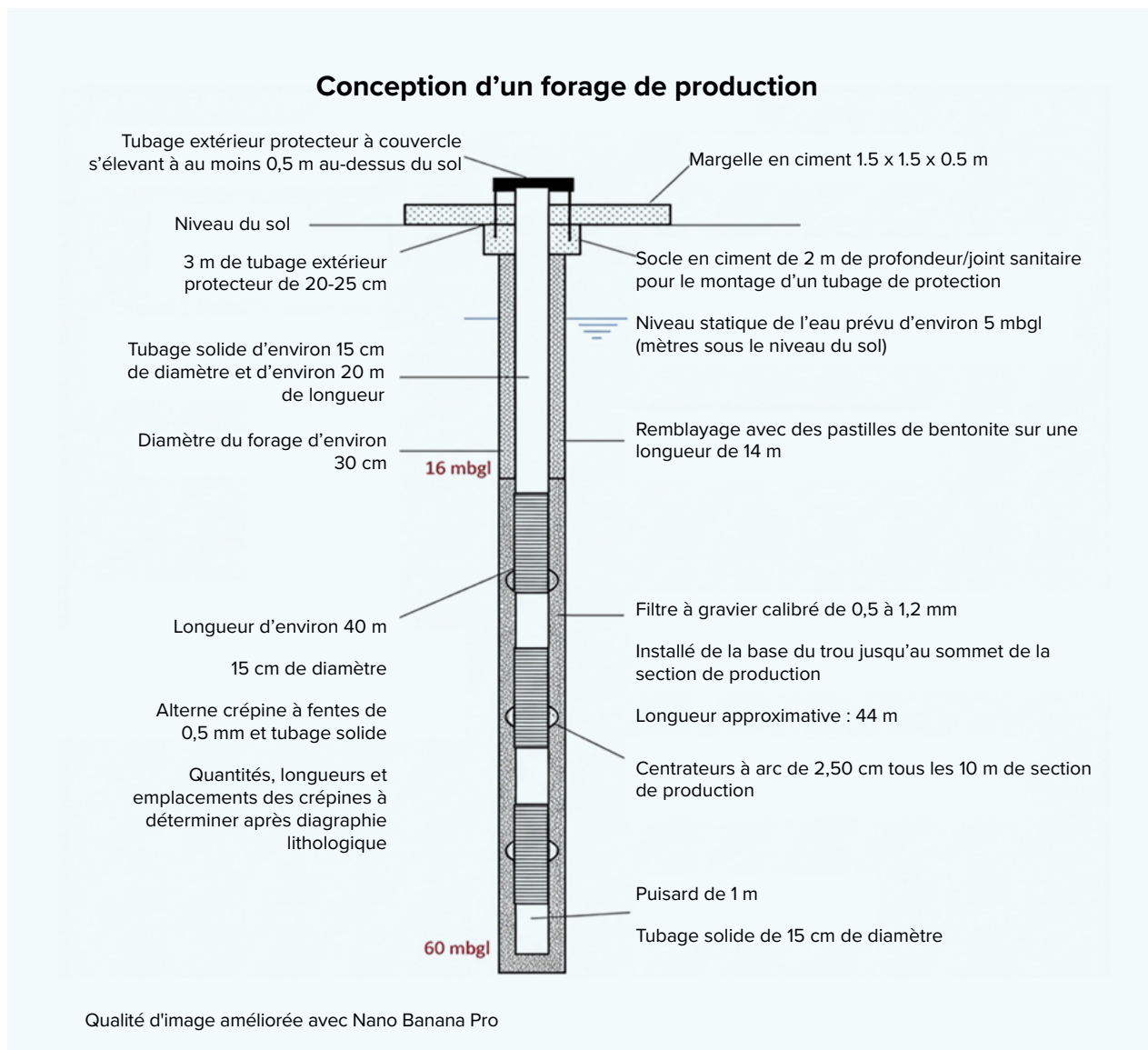
Le surcreusage, qui consiste à forer un puits plus profond que la principale zone aquifère, peut améliorer la résilience d'un puits à la sécheresse. Comme le niveau des eaux souterraines peut baisser naturellement pendant les sécheresses, le fait de creuser plus profondément permet de créer une réserve qui garantit que le puits pourra continuer à fournir de l'eau lorsque les sources moins profondes seront à sec.

**Déterminer la profondeur cible** : creuser suffisamment profondément pour tenir compte à la fois du rabattement dû au pompage et de la baisse saisonnière ou liée à la sécheresse prévue du niveau phréatique régional.

- **Forer au-delà de la première nappe phréatique** : ne pas arrêter le forage immédiatement après avoir rencontré une bonne nappe phréatique. Continuer à forer pour créer une profondeur suffisante en dessous de cette zone.
- **Tenir compte de la baisse du niveau d'eau** : la profondeur finale doit être déterminée sur la base d'une évaluation de l'hydrogéologie, y compris des données historiques sur les fluctuations du niveau d'eau, si elles sont disponibles. Les forages plus profonds permettent d'exploiter des eaux souterraines moins affectées par les variations saisonnières.

**Intégrer un puisard :** un puisard est une section non tubée au fond du forage (à au moins 1 m sous la crépine la plus basse) (figure 23) qui offre un espace où le sable ou les matériaux fins peuvent se déposer sans obstruer la crépine ni être aspirés dans la pompe.

**Figure 23 :** Exemple de conception d'un forage dans des sédiments non consolidés



### 3.1.2.2 Installation d'une pompe à la profondeur minimale acceptable

Le positionnement de la pompe plus profondément dans la colonne d'eau maximise le rabattement disponible, c'est-à-dire la distance verticale que le niveau d'eau peut parcourir avant d'atteindre le niveau de captage de la pompe. Cela crée une zone tampon qui garantit que la pompe reste immergée et opérationnelle pendant une période plus longue lorsque le niveau d'eau baisse en période de sécheresse.

#### Considérations techniques :

**Emplacement :** la pompe ne doit pas être placée tout au fond du forage. Elle doit être installée à une distance sûre au-dessus de la crépine du forage ou de la zone de

captage (à au moins 1 m de hauteur) afin d'éviter tout colmatage par les sédiments et de garantir un débit d'eau sans restriction dans la pompe.

**Performances :** l'installation de la pompe à une profondeur accrue augmente la hauteur manométrique totale (HMT, pression totale que la pompe doit surmonter), ce qui aura une incidence sur le débit et la consommation d'énergie. Les spécifications de la pompe doivent lui permettre de fonctionner efficacement à cette profondeur plus importante. L'emplacement final doit être déterminé en fonction de la construction du forage, de son rendement testé et des données sur les fluctuations historiques du niveau d'eau dans la région.

### 3.1.2.3 Installation d'une sonde de niveau bas

Installer une sonde de niveau bas dans chaque forage pour protéger la pompe contre la baisse du niveau des eaux souterraines en période de sécheresse. Cette sonde peut être fixée à la conduite de refoulement au-dessus du niveau de captage de la pompe à l'aide de câbles de fixation (figure 24). Lorsque le niveau d'eau dans le puits descend en dessous du niveau de la sonde, celle-ci arrête la pompe afin de la protéger contre le fonctionnement à sec.

**Figure 24 :** Sonde de niveau bas fixée à une conduite de refoulement



Source : Lorentz (<https://www.lorentz.de/s/help/1630/function-and-use-of-dry-run-protection/>). Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro

### 3.1.2.4 Installation d'un tube plongeur

La surveillance du niveau des eaux souterraines est le meilleur moyen de comprendre la durabilité à long terme d'une source d'eau et sa résilience face aux changements de saisons et à la sécheresse. Pour évaluer la résilience d'un forage face à la sécheresse, surveiller le niveau d'eau (voir la section [Surveillance du niveau des eaux souterraines](#) pour obtenir des conseils). L'outil de surveillance le plus pratique est la sonde de niveau d'eau qui permet de mesurer manuellement le niveau d'eau.

#### Installation d'un tube plongeur

- Le tube plongeur permet d'accéder facilement et en permanence au niveau d'eau d'un forage afin de le mesurer manuellement, sans interférence de la colonne montante de la pompe.
- Un tuyau en PVC/HDPE de petit diamètre (1,25 à 1,5 pouce) est fixé à la colonne montante de la pompe à l'aide de câbles de fixation (figure 25), d'une ficelle solide ou de clips disponibles dans le pays, et installé à l'intérieur du tubage.
- Percer des trous au fond du tuyau pour permettre à l'eau d'entrer.
- Le fond du tube plongeur doit être placé suffisamment en dessous de la nappe phréatique pour tenir compte des variations futures du niveau d'eau (pompage et naturelles).
- Un port d'accès doit être intégré à la conception de la tête de puits et de la margelle en béton et positionné directement au-dessus du tube plongeur afin de permettre l'abaissement de la sonde de niveau d'eau sans obstruction ([figure 26](#)).

**Figure 25** : Tuyau en PVC muni d'un bouchon inférieur et de quelques trous percés servant de tube plongeur pour un forage au Soudan du Sud



Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro

**Figure 26 :** (À gauche) Bouchon sécurisé pour l'ouverture du tube plongeur visant à empêcher la contamination et la pénétration de la pluie ; (au milieu) Ouverture (environ 5 cm de diamètre) du tube plongeur ; (à droite) Mesure du niveau d'eau à partir du haut du tube plongeur à l'aide d'une sonde de niveau d'eau



Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro

### 3.1.2.5 Évaluation des performances (après le développement)

Il est important d'effectuer des essais de pompage après la construction et le développement afin de comprendre l'efficacité et le rendement du forage et d'établir une base de référence pour sa durabilité à long terme.

**Essais de pompage :** principale méthode utilisée pour recueillir des données sur les performances. Différents essais fournissent différentes informations sur le forage et l'aquifère.

- **Test par paliers :** il s'agit de la meilleure mesure de l'efficacité d'un forage. Il consiste à pomper à plusieurs débits croissants et à enregistrer le rabattement à chaque palier afin d'observer le comportement du forage sous une contrainte croissante.
- **Test à débit constant :** il est utilisé pour estimer les propriétés de l'aquifère (comme la transmissivité) et pour estimer un rendement durable à long terme. Le forage est pompé à un débit unique, constant et contrôlé pendant une période prolongée (par exemple, 24 à 72 heures) afin d'observer la réponse de l'aquifère au fil du temps.
- **Test de récupération :** il est effectué après un test de pompage et fournit souvent les données les plus fiables. Il consiste à mesurer le niveau d'eau lorsqu'il remonte à son niveau de repos immédiatement après l'arrêt de la pompe.

**Capacité spécifique :** calculer la capacité spécifique du forage à l'aide des données du test de pompage à débit constant, qui est une mesure utile de la performance du forage.

- La capacité spécifique est la quantité d'eau qui peut être pompée à partir du forage par unité de rabattement. Elle indique le « stress » subi par le forage pour atteindre un certain rendement.

- Capacité spécifique = débit de pompage / rabattement
- Une capacité spécifique élevée indique un forage efficace qui produit facilement de l'eau. Une capacité spécifique faible suggère que le forage doit travailler davantage (c'est-à-dire qu'il a un rabattement plus important) pour produire la même quantité d'eau, ce qui le rend moins efficace et plus vulnérable.
- La capacité spécifique mesurée immédiatement après la construction et le développement fournit un indicateur de performance de référence essentiel pour ce forage spécifique.
- La mesure de référence peut être comparée à des tests périodiques effectués ultérieurement. Une baisse significative de la capacité spécifique au fil du temps indique clairement l'existence d'un problème, tel que l'obstruction du forage ou de la crépine, ou une diminution du potentiel de l'aquifère.

### 3.1.2.6 Restauration des forages dans les zones sujettes à la sécheresse

Lorsqu'un forage est sous-performant dans une zone sujette à la sécheresse, différentes mesures de restauration peuvent être mises en œuvre pour en améliorer le rendement, l'efficacité et la résilience.

Avant toute restauration, il est essentiel de procéder à une évaluation approfondie du forage (voir la liste de contrôle d'évaluation à l'[annexe 1](#)). Cette évaluation peut inclure un test de pompage pour déterminer le rendement et le rabattement actuels, une mesure du niveau d'eau (statique et par pompage), une inspection vidéo pour vérifier l'état du tubage et de la crépine et identifier les facteurs de risque prioritaires dans les forages existants touchés par la sécheresse. Mettre en œuvre la ou les mesures de restauration appropriées (tableau 11) pour y remédier.

**Tableau 11 : Mesures de restauration des forages dans les zones sujettes à la sécheresse**

Mesure	Détails
<a href="#"><u>Réaménagement et nettoyage des forages</u></a>	Le réaménagement et/ou le nettoyage des forages peuvent contribuer à en améliorer l'efficacité et à en augmenter le rendement.
<a href="#"><u>Approfondissement des forages</u></a>	L'approfondissement d'un forage peut permettre d'accéder à des eaux souterraines plus profondes. Cependant, cela ne convient pas nécessairement à tous les types d'environnements ou de conditions.

<p><u><b>Modification du système de pompage</b></u></p>	<p>Si le niveau de la nappe phréatique a baissé au-delà du niveau de captage de la pompe, celle-ci peut être abaissée pour accéder à la nappe phréatique plus profonde, s'il y a suffisamment d'espace pour le faire. Cette mesure ne peut toutefois être que temporaire.</p>
<p><b>Installation d'un capteur de niveau d'eau bas</b></p>	<p>Installer un capteur de protection contre la marche à sec qui arrête automatiquement la pompe si le niveau d'eau descend en dessous du niveau de captage de la pompe, afin d'éviter d'endommager la pompe.</p>

## Réaménagement et nettoyage des forages

Le nettoyage du forage permet d'éliminer les particules fines de l'aquifère afin d'améliorer la perméabilité à proximité immédiate de la crépine du puits.

Les techniques suivantes peuvent être utilisées pour nettoyer/réaménager physiquement ou chimiquement le forage :



### Méthodes mécaniques :

- **Airlifting** : injection d'air comprimé en profondeur dans le forage pour créer un mélange air-eau qui soulève les sédiments et les matériaux meubles. Efficace pour éliminer le sable/limon
- **Jet** : jets d'eau à haute pression vers la surface de la crépine pour déloger les incrustations et les particules fines. Peut être combiné avec un brossage
- **Surging** : création d'un mouvement rapide d'eau dans les deux sens à travers la crépine (à l'aide d'un bloc de surpression ou d'air comprimé) pour détacher les particules fines et briser les ponts
- **Brossage** : des brosses métalliques mécaniques grattent les incrustations et les salissures biologiques sur les surfaces du tubage et de la crépine. Souvent utilisé en conjonction avec le jet ou l'airlift (voir [Réaménagement et nettoyage des forages](#))



### Traitement chimique :

Des produits chimiques spécifiques (par exemple, des acides pour les dépôts carbonatés, des polyphosphates pour les bactéries ferrugineuses, du chlore pour les salissures biologiques générales) sont utilisés pour dissoudre ou décomposer les agents obstruants.

Pour plus d'informations sur le nettoyage et le développement des puits, voir Misstear *et al.* (2017).

## Approfondissement des forages

L'approfondissement d'un forage existant qui ne fonctionne plus dans une zone sujette à la sécheresse en raison de la baisse du niveau d'eau peut être une mesure de résilience viable. Cependant, cette approche comporte des risques et nécessite une évaluation technique et financière approfondie avant d'être mise en œuvre.

### Évaluation initiale de la faisabilité :

- **Confirmer l'existence d'aquifères plus profonds** : tout d'abord, une évaluation doit confirmer qu'un aquifère productif de qualité appropriée existe à une plus grande profondeur. La prospection de zones aquifères plus profondes peut être effectuée en forant un trou d'exploration de petit diamètre à partir du fond du puits existant.
- **Évaluer les infrastructures existantes** : réaliser une inspection par caméra du forage afin d'évaluer l'état du tubage et de la crépine. Cela permettra de déterminer s'ils sont intacts et suffisamment solides pour supporter les contraintes d'un forage plus profond.
- **Évaluer les risques par rapport aux avantages** : l'approfondissement d'un forage comporte des risques, tels que l'endommagement du tubage et/ou de la crépine existants pendant le processus de forage. Ces risques doivent être mis en balance avec les avantages potentiels liés à l'accès à une source d'eau plus profonde et plus fiable.
- **Comparer les coûts** : comparer le coût total de l'approfondissement du forage existant (y compris l'évaluation, les risques et la mobilisation) au coût du forage d'un nouveau puits à proximité

### Approfondissement des forages ouverts (meilleure option) :

Les forages ouverts sont les meilleurs candidats pour l'approfondissement, car il n'y a ni tubage ni crépine au fond qui pourraient constituer un obstacle.

- Ces forages sont généralement creusés dans une roche dure et consolidée (comme le granit) qui ne s'effondre pas. Le tubage n'est installé que dans les couches supérieures de sol meuble, laissant un « trou ouvert » non tubé dans la partie inférieure de la roche.
- La foreuse a un accès direct à la roche à la base du forage, ce qui permet d'utiliser un trépan de diamètre similaire ou légèrement inférieur pour prolonger le trou jusqu'à une nouvelle profondeur.

Il convient de noter que l'approfondissement n'est pas toujours techniquement possible, même dans un forage ouvert. Il est recommandé de consulter un expert en forage/ingénierie afin de déterminer la faisabilité de l'opération.

### **Approfondissement de forages avec tubage et crépine (plus complexe) :**

Ces forages sont réalisés dans des formations non consolidées (comme le sable ou le gravier) et sont revêtus d'un tubage et d'une crépine sur toute leur profondeur afin d'éviter tout effondrement. L'approfondissement est plus complexe et n'est possible que si le tubage d'origine peut être retiré avant l'approfondissement ou si le diamètre d'origine du forage est suffisamment grand (par exemple, 10 à 12 pouces) pour permettre un forage « télescopique » à travers le tubage existant. Il convient de noter que le diamètre final plus étroit de la section approfondie doit rester suffisamment grand pour accueillir la pompe prévue.

### **Modification du système de pompage**

La modification du système de pompage peut être une simple adaptation du forage en réponse à la baisse du niveau d'eau pendant les périodes de sécheresse. En ajustant la profondeur, le type et l'emplacement de la pompe, il est possible d'améliorer la fiabilité et la durabilité du point d'eau.

**Abaissement de la pompe existante :** la réponse la plus directe à la baisse du niveau de la nappe phréatique consiste à abaisser la position de la pompe.

- Si le niveau phréatique a baissé en deçà du niveau de captage de la pompe, celle-ci peut être placée plus profondément dans le forage s'il y a suffisamment d'espace. Cependant, cela doit être considéré comme une solution potentiellement temporaire si les niveaux d'eau continuent de baisser.

**Choix d'une nouvelle pompe :** une baisse importante du niveau d'eau peut nécessiter l'installation d'une nouvelle pompe en raison de la capacité de levage supplémentaire requise.

- Une nouvelle pompe avec une capacité de levage plus élevée peut s'adapter à l'augmentation de la HMT résultant d'une baisse du niveau d'eau.

### **Emplacement stratégique de la pompe :**

- Le niveau de captage de la pompe doit être placé 3 à 5 m en dessous du niveau d'eau dynamique (de pompage) le plus bas prévu pendant la saison sèche.
- Il doit être placé à plus d'un mètre au-dessus du haut de la crépine afin de réduire le risque d'obstruction. Dans un forage dans le substrat rocheux, il peut être placé au niveau ou juste au-dessus de la fracture aquifère principale la plus élevée.

- Le niveau de captage de la pompe doit être situé à plus de 3 m au-dessus du fond du forage afin d'éviter d'aspirer des sédiments.

### 3.1.3 Exploitation et maintenance des forages

Les contrôles de routine consistent à évaluer le fonctionnement de la pompe, à inspecter les composants visibles et à s'assurer que la zone de la tête de puits est sécurisée et fonctionnelle. L'entretien programmé comprend la surveillance des performances et la maintenance préventive.

#### Considérations relatives à la résilience climatique :

##### Zones inondables :

- se concentrer sur l'intégrité de la tête de puits, les joints sanitaires, le drainage et les procédures rapides après une inondation (désinfection, tests). Veiller à ce que la margelle empêche l'entrée des eaux de crue. Envisager de surélever les têtes de puits ou d'installer des joints anti-inondation lorsque cela est possible.

##### Zones sujettes à la sécheresse :

- surveiller de près les niveaux d'eau (statiques et dynamiques) et les performances des pompes. Ajuster les régimes de pompage si nécessaire. Anticiper une usure accrue due à une demande plus élevée ou à des niveaux d'eau plus bas.

## Tableau 12 : Calendrier d'exploitation et de maintenance des forages

Fréquence / Type : Contrôles réguliers (hebdomadaires/mensuels)

### Tâche

#### Inspection sur le terrain

**Détails :** évaluer l'état général du forage, l'intégrité des infrastructures (margelle, drainage, clôture).

**Considérations relatives aux inondations :** vérifier l'érosion autour de la margelle, s'assurer que le drainage est dégagé avant la saison des pluies.

	<p><b>Considérations relatives aux sécheresses :</b> noter tout signe de surexploitation (par exemple, affaissement du sol, bien que rare).</p>
<p><b>Qualité de l'eau</b></p>	<p><b>Détails :</b> effectuer des contrôles réguliers des paramètres de base de la qualité de l'eau, tels que la conductivité électrique, la turbidité, le pH et la température.</p> <p><b>Considérations relatives aux inondations :</b> noter tout changement dans la qualité de l'eau qui pourrait suggérer une contamination du forage par les eaux de crue.</p> <p><b>Considérations relatives aux sécheresses :</b> noter tout changement dans la qualité de l'eau indiqué par la conductivité électrique et pouvant être associé à une augmentation de la minéralisation ou de la salinité de l'eau introduite dans l'aquifère à la suite d'un prélèvement excessif.</p>
<p><b>Fonctionnement de la pompe</b></p>	<p><b>Détails :</b> suivre le débit quotidien de la pompe. Une réduction du débit peut être le signe d'un problème d'efficacité du forage ou d'une baisse du niveau de la nappe phréatique.</p> <p>Vérifier la facilité de pompage/démarrage, écouter à la recherche de bruits inhabituels (grincements, cognements), noter toute réduction du débit/de la pression de l'eau.</p> <p><b>Considérations relatives aux sécheresses :</b> une réduction du débit peut indiquer une baisse du niveau phréatique ou un problème de pompe – enquêter rapidement.</p>
<p><b>Composants hors sol</b></p>	<p><b>Détails :</b> inspecter la tête de pompe, la poignée/le levier/ le boîtier du moteur, le bec verseur, les boulons et les fixations pour s'assurer qu'ils ne sont pas desserrés, usés ou endommagés. Vérifier la sécurité des verrous/couvercles.</p> <p><b>Considérations relatives aux inondations :</b> vérifier l'absence de corrosion ou de dommages après une inondation. S'assurer que les composants électriques (si la pompe est motorisée) sont protégés/scellés.</p>

### Zone de la tête de puits et joint sanitaire

**Détails :** vérifier que la margelle /le socle en béton ne présente pas de fissures, d'érosion ou de dommages. S'assurer que les canaux de drainage sont dégagés et évacuent l'eau loin de la tête de puits. Inspecter l'intégrité du joint sanitaire entre le tubage et la margelle.

**Considérations relatives aux inondations :** s'assurer que le joint est intact afin d'empêcher toute intrusion de contaminants pendant/après les inondations. Réparer immédiatement les fissures.

Après une inondation : interrompre l'approvisionnement, nettoyer/désinfecter soigneusement le puits, tester la qualité de l'eau (en particulier pour détecter la présence d'agents pathogènes) et ne redémarrer que lorsque cela est sans danger.

### Clôture/protection

**Détails :** s'assurer que les clôtures de protection sont intactes et que les portails fonctionnent correctement afin d'empêcher l'accès et la contamination par les animaux.

**Considérations relatives aux inondations :** réparer rapidement tout dommage causé par les eaux de crue.

**Fréquence / Type : Entretien régulier/annuel (une/deux fois par an ou selon les besoins du technicien)**

### Tâche

#### Test de pompage (annuel)

**Détails :** effectuer un test pour vérifier l'efficacité du forage et comparer les résultats avec les résultats de référence/précédents afin d'identifier les problèmes (par exemple, obstruction de la crépine, épuisement de l'aquifère). Ce test est essentiel pour évaluer l'efficacité de la restauration.

**Considérations relatives aux sécheresses :** essentiel pour surveiller la réaction de l'aquifère et le rendement durable. Une baisse d'efficacité nécessite une enquête.

<p><b>Performances de la pompe</b></p>	<p><b>Détails :</b> mesurer le débit, la pression, les niveaux d'eau (statiques/dynamiques) et la consommation d'énergie (motorisée). Comparer avec les spécifications/l'historique.</p> <p><b>Considérations relatives aux sécheresses :</b> suivre les tendances en matière de performances ; une baisse d'efficacité peut indiquer la nécessité d'effectuer des travaux d'entretien ou d'ajuster le débit.</p>
<p><b>Mécanisme de la pompe (pompe manuelle)</b></p>	<p><b>Détails :</b> suivre les instructions du fabricant. Vérifier/serrer les raccords de la colonne montante. Inspecter les joints du cylindre/la soupape de pied.</p> <p>Nécessite un mécanicien qualifié ; les réparations importantes peuvent nécessiter une assistance externe.</p>
<p><b>Mécanisme de pompage (motorisé)</b></p>	<p><b>Détails :</b> nécessite des compétences spécialisées. Veiller à lubrifier régulièrement, inspecter les composants (roulements, joints) et tester l'efficacité. Vérifier les connexions électriques, les dispositifs de sécurité, la courbe de performance de la pompe ; écouter le bruit du moteur.</p> <p><b>Considérations relatives aux inondations :</b> inspecter soigneusement les systèmes électriques après une inondation pour vérifier qu'ils n'ont pas été endommagés par l'eau et qu'ils sont sûrs avant de les redémarrer.</p> <p><b>Considérations relatives aux sécheresses :</b> la baisse du niveau d'eau peut nécessiter un réglage de la pompe ou augmenter l'usure ; surveiller l'ampérage/la consommation électrique.</p>
<p><b>Nettoyage des forages (si nécessaire)</b></p>	<p><b>Détails :</b> en cas de turbidité continue, de rendement réduit ou d'encrassement biologique, faire nettoyer le puits (par exemple, par jet, surging ou traitement chimique si nécessaire) par des professionnels. Nécessite le démontage de la pompe.</p>

	<p><b>Considérations relatives aux inondations :</b> l'augmentation de la turbidité est fréquente après une inondation ; un nettoyage peut être nécessaire si elle persiste après le rinçage/la désinfection initial(e).</p>
<p><b>Joint et structure de tête de puits</b></p>	<p><b>Considérations relatives aux sécheresses :</b> une réduction du débit due à l'encrassement/au colmatage de la crépine peut nécessiter un nettoyage.</p> <p><b>Détails :</b> vérifier l'intégrité du joint sanitaire en surface. Réparer immédiatement toute fissure dans la margelle.</p> <p><b>Considérations relatives aux inondations :</b> réinspecter et réparer le joint/la margelle après toute inondation.</p>
<p><b>Tenue de registres</b></p>	<p><b>Détails :</b> tenir un registre détaillé de toutes les vérifications, mesures du niveau d'eau, opérations de maintenance, réparations, pièces utilisées, données sur la qualité de l'eau et commentaires des utilisateurs.</p> <p><b>Considérations :</b> veiller à ce que les observations et les mesures spécifiques aux <b>inondations/sécheresses</b> soient consignées.</p>

## 3.2 Puits creusés

Les puits creusés sont des puits de grand diamètre, excavés manuellement. Ils sont souvent revêtus de pierres ou de béton pour éviter qu'ils ne s'effondrent. Les modèles courants comprennent les puits creusés protégés, les puits de lit de rivière et les puits d'infiltration.

Les puits creusés protégés ont généralement une profondeur comprise entre 5 et 20 mètres, bien que certains puits traditionnels creusés à la main puissent être plus profonds.

## Tableau 13 : Caractéristiques des puits creusés




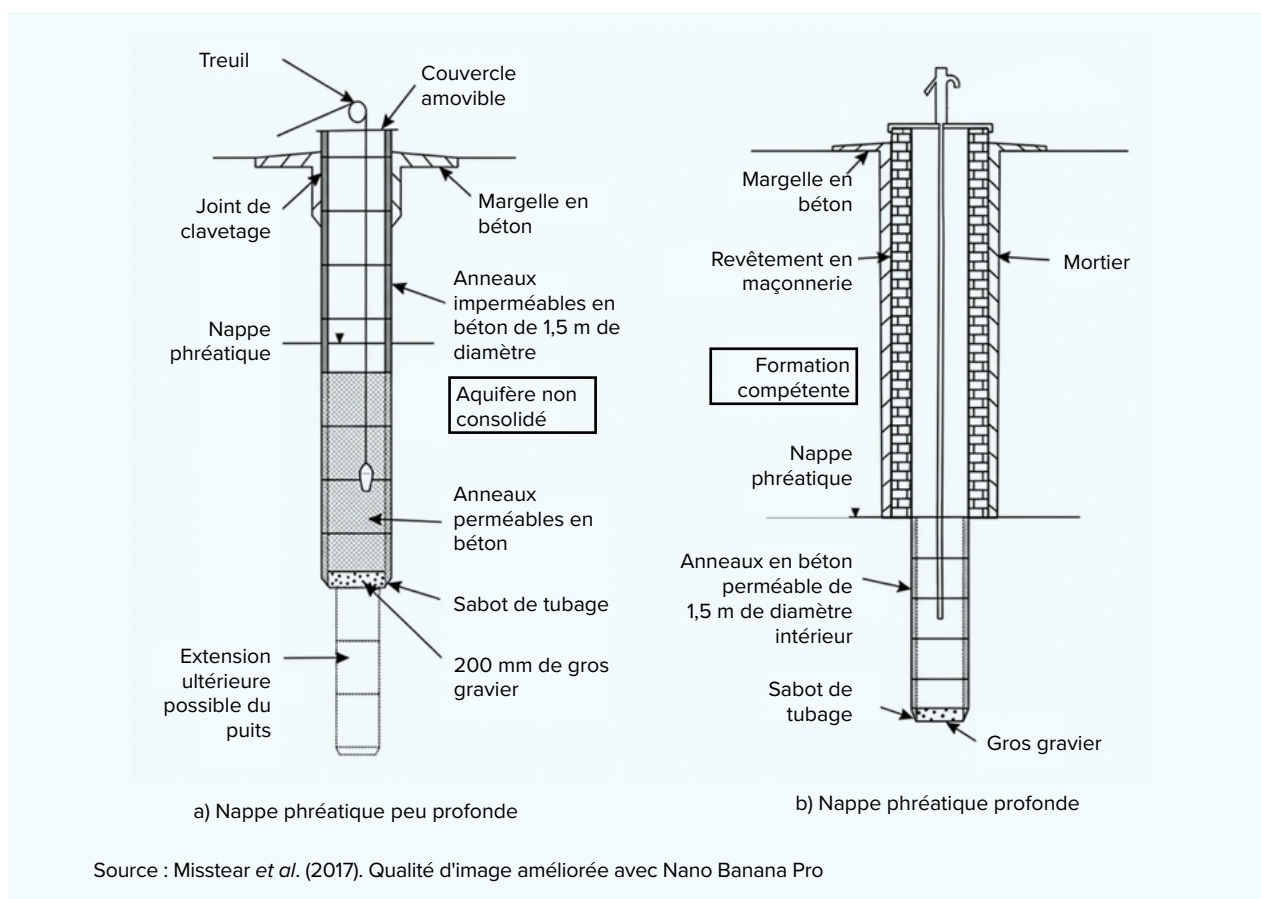
Catégorie	Description
 <b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peuvent être construits à l'aide de matériaux et de main-d'œuvre locaux</li> <li>• Coût relativement faible</li> <li>• Faciles à entretenir</li> </ul>
 <b>Inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Très vulnérables à la contamination</li> <li>• Tendance à se dessécher en cas de sécheresse</li> </ul>
 <b>Vulnérabilités climatiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Inondations</b> : risque élevé de contamination par le ruissellement de surface lors des inondations</li> <li>• <b>Sécheresse</b> : le puits peut s'assécher en raison d'une recharge réduite des nappes phréatiques peu profondes</li> </ul>

Figure 27 : Conceptions de puits creusés pour a) une nappe phréatique peu profonde et b) une nappe phréatique profonde



### 3.2.1 Puits creusés résistants aux inondations

Les puits creusés à la main puisent dans des sources d'eau souterraines peu profondes. Bien qu'ils soient souvent plus simples et moins coûteux à construire que les forages, leur faible profondeur et leur diamètre plus important les rendent **très vulnérables à la contamination**, en particulier lors d'inondations. Les eaux de crue peuvent facilement recouvrir le puits, s'infiltrer à travers des revêtements ou des couvercles inadéquats, ou s'infiltrer dans le sol environnant si la protection sanitaire est insuffisante.

Par conséquent, la construction de nouveaux puits creusés à la main dans les zones inondables n'est généralement **pas recommandée comme premier choix**. Les forages, s'ils sont réalisables, offrent généralement une meilleure protection. Cependant, lorsque les aquifères peu profonds sont la seule source d'eau viable ou accessible, des puits creusés à la main, soigneusement conçus et construits et intégrant des mesures spécifiques de résistance aux inondations, peuvent fournir un approvisionnement en eau vital.

À l'instar des forages, les mesures de protection contre les inondations pour les puits creusés (tableau 14) créent de multiples barrières contre la contamination, telles que l'installation d'un **joint sanitaire** pour empêcher les eaux de crue contaminées de s'infiltrer entre le trou creusé et le revêtement du puits, ainsi que la construction d'un **mur de tête surélevé** pour empêcher l'inondation directe du puits par les eaux de crue.

**Tableau 14 : Mesures de protection des puits creusés contre les inondations**

Mesure	Détails
<b>Élévation du revêtement et de la plateforme du puits</b>	<p>Élever le revêtement du puits d'au moins <b>0,4 m au-dessus du niveau d'inondation centenaire ou du niveau d'inondation le plus élevé jamais enregistré</b>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour l'extraction à l'aide d'un seau avec des niveaux d'inondation faibles : construire un mur de tête surélevé de manière à ce que sa hauteur dépasse le niveau d'inondation (&gt;0,4 m).</li> <li>• Pour les pompes manuelles ou les niveaux d'inondation élevés : surélever le mur de tête et la plateforme au-dessus du niveau d'inondation (les détails de la plateforme de forage fournis dans la <a href="#">figure 20</a> peuvent être adaptés aux puits creusés).</li> </ul>

<p><b>Étanchéité de surface (joint sanitaire)</b></p>	<p>Placer un <b>joint en argile bentonite ou en ciment</b> dans <b>l'espace situé entre le trou creusé et le revêtement du puits</b> afin d'empêcher les eaux de surface contaminées de s'infiltrer autour du tubage. Ce joint doit être placé autour des deux anneaux supérieurs du puits. Voir la section <a href="#">Étanchéification de la surface</a> pour plus d'informations.</p>
<p><b>Approfondissement du point de captage</b></p>	<p>Si la qualité de l'eau est préoccupante (par exemple, si des sources potentielles de pollution se trouvent à proximité), envisager de placer le point de captage plus profondément, car le déplacement vertical à travers les matériaux aquifères offre souvent une meilleure filtration que les distances latérales (Lawrence <i>et al.</i>, 2001). Voir la section <a href="#">Approfondissement du point de captage</a>.</p>
<p><b>Fixation et scellement du couvercle du puits</b></p>	<p>Veiller à ce que le puits soit équipé d'un couvercle solide, superposé et sécurisé afin de sceller correctement le haut du puits et d'empêcher l'eau de surface, les débris et autres contaminants de pénétrer directement dans le trou.</p>
<p><b>Drainage et aménagement paysager</b></p>	<p>Veiller à ce que la margelle soit en bon état, sans fissures, et <b>qu'elle s'incline vers l'extérieur</b> du forage vers un puits d'infiltration, <b>une tranchée de drainage périphérique ou un drain français</b> pour évacuer les eaux de crue. Voir la section <a href="#">Étanchéification de la surface</a>.</p>

### 3.2.1.1 Restauration des puits creusés dans les zones inondables

Avant la restauration, procéder à une évaluation complète du puits existant. La liste de contrôle de l'[annexe 2](#) peut être utilisée à cette fin.

Une fois les facteurs de risque prioritaires identifiés, les mesures de restauration appropriées (voir le [tableau 15](#)) peuvent être mises en œuvre.

**Tableau 15 : Mesures de restauration des puits creusés dans les zones inondables**

Mesure	Détails
<p><b>Réparation du mur de tête et du couvercle</b></p>	<p><b>Réparer le mur de tête existant</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Réparer les fissures ou les trous dans la partie supérieure étanche du revêtement à l'aide de méthodes étanches telles que le colmatage au mortier de ciment.</li> <li>✓ Si le revêtement supérieur ou le mur de tête existant est gravement endommagé ou structurellement instable, envisager de construire un nouveau revêtement de plus grand diamètre autour de l'extérieur du puits existant (voir l'exemple de la <a href="#">figure 29</a>). <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il doit être suffisamment haut pour former le nouveau mur de tête surélevé (au-dessus du niveau de crue) et suffisamment profond (au moins 1,5 m sous le niveau du sol ou jusqu'à la nappe phréatique) pour assurer la stabilité et couper les voies d'écoulement latérales peu profondes.</li> <li>• Le puits d'origine et le nouveau revêtement doivent pouvoir bouger indépendamment l'un de l'autre (c'est-à-dire qu'il ne faut pas ajouter de béton entre les deux) afin de permettre un approfondissement futur du puits. Dans ce cas, le puits d'origine bougerait tandis que le nouveau revêtement extérieur servirait de revêtement permanent.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Installer ou remplacer le couvercle de la tête de puits</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Construire ou installer un nouveau couvercle lourd et durable, généralement en béton armé (voir la <a href="#">figure 30</a> pour un exemple).</li> <li>✓ Le couvercle doit être légèrement bombé ou incliné pour évacuer l'eau de pluie et recouvrir le mur de tête de tous les côtés afin d'empêcher l'eau de s'infiltrer.</li> </ul>
<p><b>Prolongation du mur de tête et de la plateforme</b></p>	<p>Si le puits est inondé, le mur de tête et la plateforme environnante doivent être prolongés d'au moins 0,4 m au-dessus du niveau d'inondation afin d'empêcher l'eau de le submerger.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Pour l'extraction à l'aide d'un seau avec des niveaux d'inondation faibles</b> : construire un mur de tête surélevé de manière à ce que sa hauteur dépasse le niveau de crue (&gt;0,4 m).</li> <li>• <b>Pour les pompes manuelles ou les niveaux d'inondation élevés</b> : surélever le mur de tête et la plateforme au-dessus du niveau de crue (voir la section <a href="#">Forages résistants aux inondations</a> ci-dessus pour plus de détails sur la plateforme).</li> </ul> <p>Construire la margelle avec des fondations plus profondes au bord afin de résister à l'érosion causée par l'eau courante qui peut fragiliser une dalle de béton.</p>
<p><b>Réparation ou installation d'un joint sanitaire</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un joint sanitaire souterrain défectueux ou inexistant constitue une vulnérabilité majeure.</li> <li>• La réparation du joint peut nécessiter l'enlèvement d'une partie de la margelle/ plateforme existante, l'excavation autour du haut du tubage et la mise en place de nouvelle bentonite ou de nouveau coulis dans l'espace annulaire afin de créer une barrière imperméable avant de reconstruire la plateforme. Voir la section <a href="#">Forages résistants aux inondations</a> ci-dessus.</li> </ul>
<p><b>Nettoyage et désinfection du puits</b></p>	<p>Après toute restauration physique, et en particulier après une inondation, le puits doit être soigneusement nettoyé afin d'éliminer tout engorgement, boue, sable ou autres débris qui auraient pu être déposés par les eaux de crue ou s'accumuler au fil du temps.</p> <p>Après le nettoyage, le puits doit être désinfecté afin d'éliminer les agents pathogènes et les bactéries potentiellement introduits par les eaux de crue. La désinfection s'effectue en ajoutant une solution chlorée dans le puits, en faisant circuler l'eau pour s'assurer que toute la colonne est traitée, puis en pompant jusqu'à ce que l'eau soit propre et que le goût de chlore ait disparu. Pour plus d'informations, voir l'<a href="#">encadré 8</a>.</p>

**Figure 28 :** Ajout de coulis d'argile pour assurer l'étanchéité sanitaire d'un puits à Madagascar



Source : CARE Nederland (2016). Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro

**Figure 29 :** Puits résistant aux inondations en cours de construction à Madagascar



Source : CARE Nederland (2016). Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro

**Figure 30** : Restauration de la dalle de couverture d'un puits en Sierra Leone



Source : Inter Aide (2015). Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro

### 3.2.2 Puits creusés résistants à la sécheresse

Les puits creusés sont très vulnérables à la sécheresse car ils sont généralement peu profonds et ne permettent d'accéder qu'aux eaux souterraines proches de la surface, qui fluctuent considérablement au fil des saisons. De plus, ils sont souvent construits avec des matériaux à faible perméabilité qui se rechargent lentement, ce qui les fait s'assécher même pendant les saisons sèches normales.

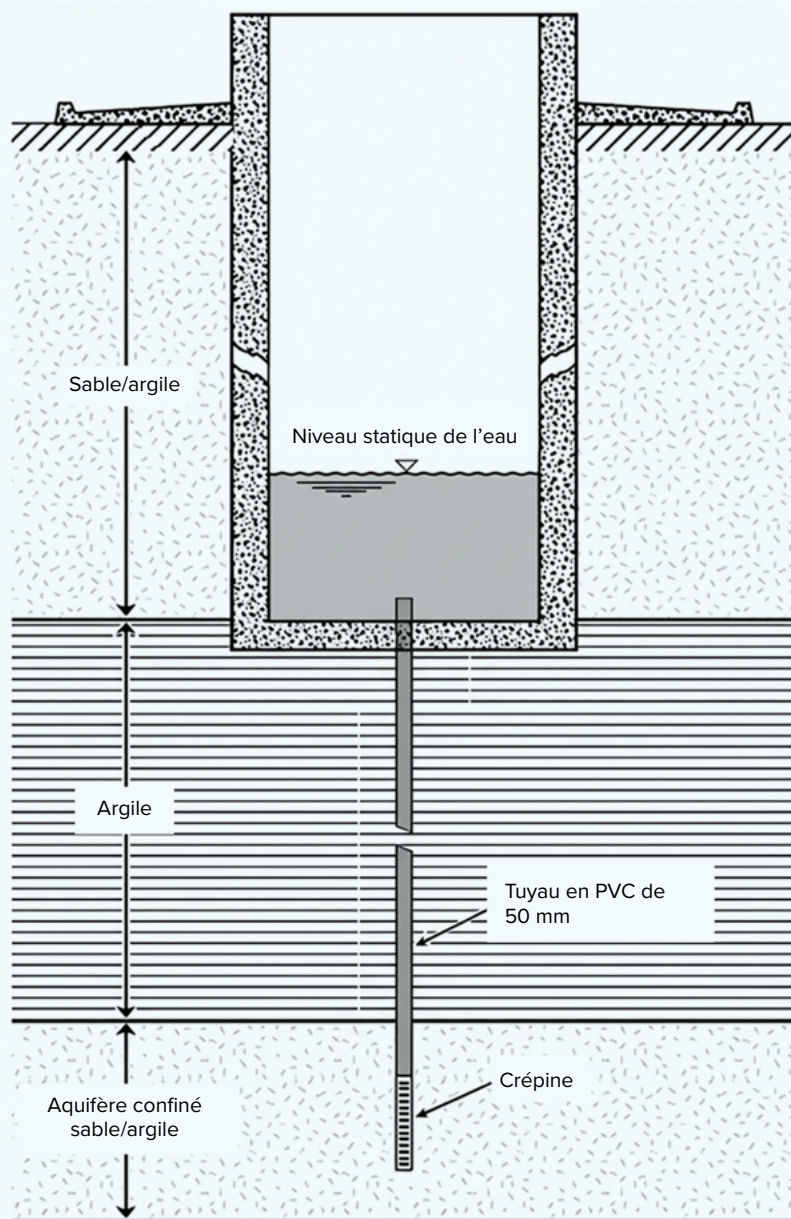
Dans les régions sujettes à la sécheresse, les puits creusés ne doivent être envisagés que lorsque des forages plus profonds ou d'autres options plus fiables ne sont pas envisageables pour les raisons suivantes :

- Contraintes budgétaires
- Géologie défavorable au forage (par exemple, une roche très dure à faible profondeur)
- Préférences ou compétences spécifiques de la communauté
- Situations où leur capacité de stockage est avantageuse

**Tableau 16 : Mesures de résilience pour les puits creusés dans les régions sujettes à la sécheresse**

Mesure	Détails
<b>Période propice au creusage</b>	Construire pendant la <b>seconde moitié de la saison sèche</b> , lorsque le niveau des nappes phréatiques est généralement au plus bas.
<b>Approfondissement du puits</b>	<p>Creuser le puits aussi profondément que possible dans la nappe phréatique, idéalement jusqu'à atteindre des couches plus perméables ou une base stable comme le substrat rocheux. Une pompe de drainage peut être utilisée pendant l'excavation pour permettre de creuser en dessous du niveau statique de la nappe phréatique.</p> <p>Il est également possible de forer ou de creuser un trou de petit diamètre dans les sédiments à la base du puits (<a href="#">figure 31</a>).</p>
<b>Élargissement du diamètre pour le stockage et l'accès</b>	<p>Augmenter le diamètre du puits afin qu'il serve de réservoir naturel, stockant l'eau qui s'infiltre progressivement, ce qui lui permet de répondre aux pics de demande en eau (par exemple, le matin et le soir) à un débit supérieur au rendement naturel de l'aquifère.</p> <p>Le diamètre doit être suffisant pour permettre l'accès des excavatrices et des équipements nécessaires aux futures opérations d'approfondissement si le niveau de la nappe phréatique baisse.</p>
<b>Test de la performance et du rendement du puits</b>	<p>Après la construction et, idéalement, au plus fort de la saison sèche, tester les performances du puits.</p> <p>Effectuer un test de récupération simple en pompant l'eau du puits, puis en surveillant la vitesse à laquelle le niveau d'eau se rétablit, afin d'en évaluer le rendement durable. Une récupération très lente peut indiquer que le puits ne peut pas répondre à la demande.</p>

Figure 31 : Puits creusé approfondi par jet afin de créer un forage de petit diamètre



Source : Davis et Lambert (2002). Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro

### 3.2.2.1 Restauration des puits creusés dans les zones sujettes à la sécheresse

Avant la restauration, procéder à une évaluation complète du puits existant afin de diagnostiquer le ou les problèmes. Voir la liste de contrôle de l'[annexe 2](#).

La restauration des puits creusés dans les régions sujettes à la sécheresse consiste principalement à **agrandir ou à approfondir la structure existante** afin d'atteindre des sources d'eau supplémentaires ([tableau 17](#)).

**Tableau 17 : Mesures de restauration des puits creusés existants dans les zones sujettes à la sécheresse**

Mesure	Détails
<b>Nettoyage du puits</b>	Éliminer tous les débris, sédiments et eaux stagnantes du puits afin d'améliorer la qualité de l'eau et le volume de stockage.
<b>Approfondissement du puits</b>	<p>Si le puits s'assèche de manière saisonnière, l'approfondissement est la mesure la plus efficace pour lutter contre la sécheresse. Cette opération doit être effectuée à la fin de la saison sèche.</p> <p><b>Les techniques utilisées sont les suivantes :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sous-revêtement</b> : creuser manuellement plus profondément et revêtir la nouvelle section par le bas avec des briques ou des blocs de béton.</li> <li>• <b>Revêtement télescopique</b> : enfoncer des anneaux en béton préfabriqués de plus petit diamètre à l'intérieur du puits existant pour revêtir la nouvelle profondeur excavée. Pour plus d'informations, voir le manuel SKAT « Hand-dug shallow wells ».</li> <li>• <b>Jet d'eau</b> : utiliser un jet d'eau à haute pression pour extraire les matériaux plus tendres comme le sable et le limon du fond. Cette méthode est souvent utilisée pour enfoncer un tuyau filtrant de plus petit diamètre plus profondément dans l'aquifère sans avoir à creuser manuellement à l'intérieur du puits. Pour plus d'informations, voir Davis et Lambert (2002).</li> <li>• <b>Forage</b> : mobiliser une foreuse au-dessus du puits afin de forer un trou de petit diamètre à partir du fond du puits creusé existant. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dans la roche consolidée, ce trou de forage peut rester à ciel ouvert.</li> <li>• Dans des sédiments non consolidés, ce trou plus profond devra être tubé (généralement avec du PVC) et filtré.</li> </ul> </li> </ul>

### Amélioration du débit d'eau (rendement)

Améliorer le captage (pour augmenter le débit) en remplaçant les sections inférieures du revêtement solide par des anneaux en béton perforés ou fendus lors de l'approfondissement ou de la réparation. Un massif filtrant doit être installé autour de ces nouveaux anneaux afin de filtrer le sable et le limon.

## 3.2.3 Exploitation et maintenance des puits creusés

Les puits creusés nécessitent des contrôles réguliers du couvercle, du revêtement, du dispositif de levage (treuil ou pompe) et de la plateforme.

### Considérations relatives à la résilience climatique :

#### Zones inondables :

- **Très vulnérables à la contamination.** Axer les efforts sur les couvercles étanches, les parois/revêtements surélevés, les margelles sécurisées et le nettoyage/la désinfection après les inondations.

#### Zones sujettes à la sécheresse :

- **Surveiller les niveaux d'eau.** Les rendements peuvent baisser considérablement. Envisager d'approfondir le puits ou de trouver d'autres sources d'approvisionnement en cas de sécheresse sévère. Risque de dessèchement complet

## Tableau 18 : Exemple de calendrier d'exploitation et de maintenance des puits creusés

Fréquence / Type : Contrôles réguliers (hebdomadaires/mensuels)

### Tâche

#### Couvercle de puits

**Détails :** veiller à ce qu'il soit intact, qu'il s'adapte correctement, qu'il reste fermé et que les verrous fonctionnent (le cas échéant). Veiller à ce qu'il soit étanche.

<p><b>Évaluation du rendement</b></p>	<p><b>Considérations relatives aux inondations :</b> s'assurer que le couvercle empêche l'eau de pénétrer. Vérifier le joint, s'il y en a un.</p> <p><b>Détails :</b> surveiller le rendement. S'il diminue de manière significative, envisager des techniques d'approfondissement (si l'hydrogéologie le permet) ou de restauration.</p> <p><b>Considérations relatives aux sécheresses :</b> une baisse du débit peut indiquer une baisse du niveau de la nappe phréatique ou un problème de pompe - examiner rapidement la situation.</p>
<p><b>Qualité de l'eau</b></p>	<p><b>Détails :</b> effectuer des contrôles réguliers des paramètres de base de la qualité de l'eau, tels que la conductivité électrique, la turbidité, le pH et la température.</p> <p><b>Considérations relatives aux inondations :</b> noter tout changement dans la qualité de l'eau qui pourrait indiquer une contamination du puits par les eaux de crue.</p>
<p><b>Revêtement/mur de tête</b></p>	<p><b>Détails :</b> inspecter visuellement le revêtement supérieur et le mur de tête pour détecter les fissures, la détérioration et les points d'entrée potentiels de contaminants.</p> <p><b>Considérations relatives aux inondations :</b> inspecter les dommages structurels après l'inondation. S'assurer que le mur de tête est suffisamment haut pour empêcher tout débordement, si possible.</p>
<p><b>Dispositif de levage</b></p>	<p><b>Détails :</b> vérifier l'état des cordes/chaînes, l'intégrité du seau, le fonctionnement de la manivelle/du mécanisme du treuil. Si une pompe est installée, l'inspecter conformément aux instructions relatives aux forages.</p>

### Plateforme/ margelle et drainage

**Détails :** vérifier que la margelle ne présente pas de fissures, d'érosion ou de dommages. Veiller à ce qu'elle soit inclinée vers l'extérieur du puits. S'assurer que les canaux de drainage sont dégagés et fonctionnels. Vérifier que la zone environnante ne présente pas de risque d'érosion.

**Considérations relatives aux inondations :** veiller à ce que la margelle/le drainage empêche la formation de flaques près du puits et résiste à l'érosion. Renforcer ou surélever si nécessaire.

### Clôture/protection

**Détails :** s'assurer que la clôture de protection est intacte afin d'empêcher l'accès aux animaux.

**Fréquence / Type : Entretien régulier/annuel (une fois par an ou selon les besoins)**

### Tâche

#### Nettoyage

**Détails :** enlever régulièrement les débris flottants. Enlever périodiquement (une fois par an ou selon les besoins) les sédiments/débris accumulés au fond. Cette opération nécessite des mesures de sécurité et souvent la vidange du puits.

**Considérations relatives aux inondations :** nettoyage indispensable après toute inondation afin d'éliminer la vase et les contaminants.

#### Réparation structurelle

**Détails :** réparer rapidement les fissures dans le revêtement, le mur de tête et la margelle afin d'éviter toute défaillance structurelle et toute contamination. Traiter les problèmes potentiels d'effondrement.

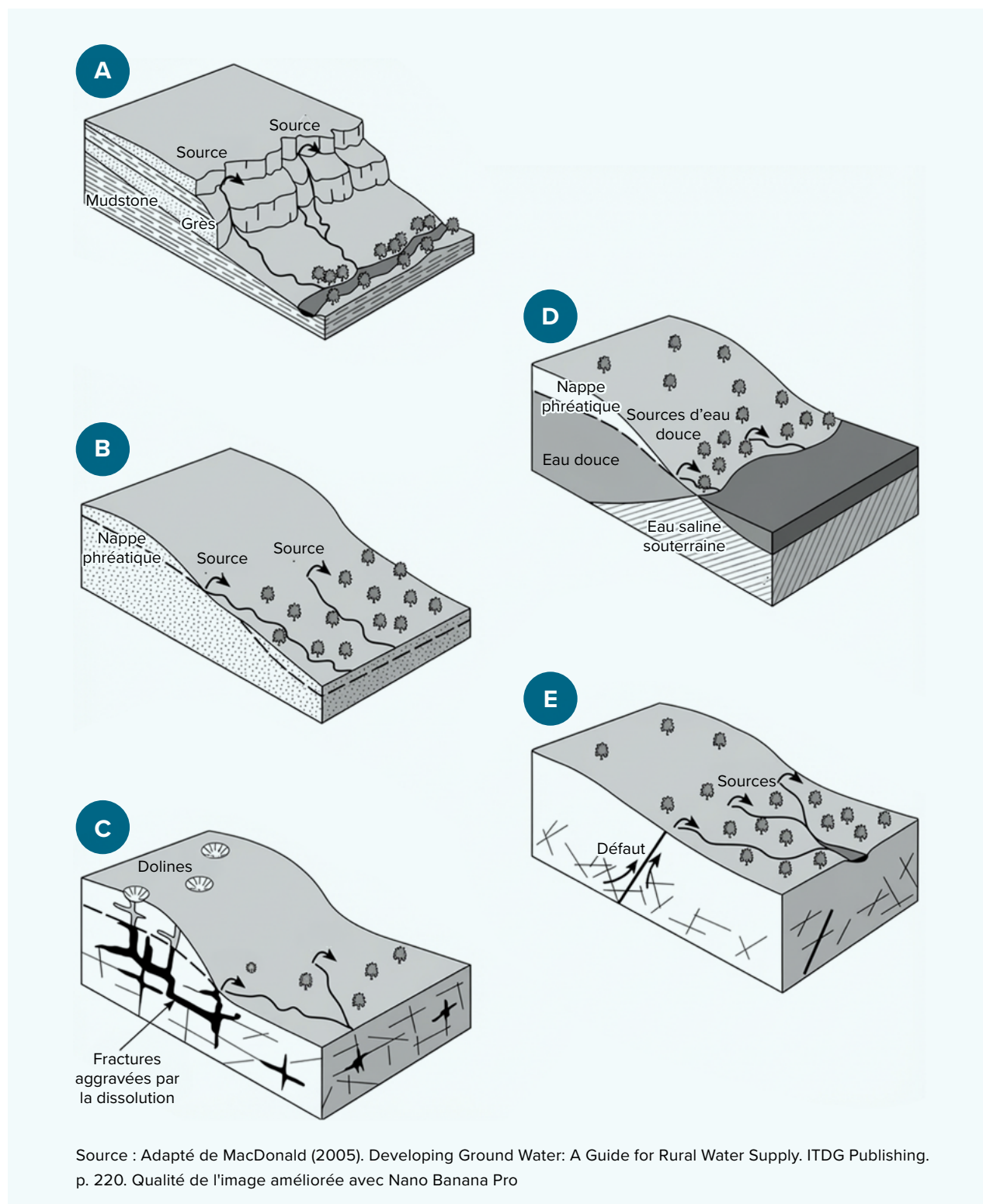
**Considérations relatives aux inondations :** donner la priorité aux réparations après les dégâts causés par les inondations.

<p><b>Entretien des dispositifs de levage</b></p>	<p><b>Détails :</b> entretenir le treuil/la pompe selon les besoins. Remplacer les cordes usées. Inspecter/entretenir la pompe conformément au manuel du fabricant.</p>
<p><b>Contrôle de l'infiltration de sable</b></p>	<p><b>Détails :</b> si l'entrée de sable/limon est persistante (en particulier après des inondations), envisager d'installer des filtres/dalles de fond (nécessite de vider le puits).</p> <p><b>Considérations relatives aux inondations :</b> peut être nécessaire si les eaux de crue introduisent des sédiments importants.</p>
<p><b>Désinfection</b></p>	<p><b>Détails :</b> effectuer une chloration choc après un nettoyage/des réparations importants ou toute suspicion de contamination (par exemple, après une inondation, la découverte d'un animal mort). Tester ensuite la qualité de l'eau.</p> <p><b>Considérations relatives aux inondations :</b> obligatoire après toute inondation, après un nettoyage approfondi.</p>
<p><b>Tenue des registres</b></p>	<p><b>Détails :</b> tenir un journal détaillant les contrôles, les nettoyages, les réparations, les niveaux d'eau, les opérations de désinfection et les problèmes rencontrés.</p> <p><b>Considérations :</b> veiller à ce que les observations et les mesures prises en cas <b>d'inondation/de sécheresse</b> soient consignées.</p>

### 3.3 Sources

Les sources d'eau souterraine, où l'eau souterraine émerge naturellement à la surface, peuvent constituer une source d'eau de grande qualité, ne nécessitant souvent qu'un traitement minimal grâce à la filtration naturelle. Elles constituent donc des atouts précieux pour les communautés rurales.

**Figure 32 :** Différents types de sources : a) à la jonction entre différents types de roches ; b) rupture de pente ; c) karstique ; d) interface eau douce/eau salée ; e) contrôlée par une faille




Les principaux types hydrogéologiques de sources sont les suivants :

- **Sources de contact :** elles se forment à la jonction de couches rocheuses perméables et imperméables, forçant les eaux souterraines à s'écouler à la surface. Ces sources sont relativement stables, mais leur débit peut diminuer en période de sécheresse.

- **Sources contrôlées par des fractures** : elles se forment le long des failles, des fractures ou des joints dans le substrat rocheux, où l'eau souterraine s'écoule à travers les fissures et remonte à la surface. Ces sources peuvent fournir des débits élevés, mais peuvent être sujettes à des variations saisonnières.
- **Sources karstiques** : elles se trouvent dans les formations rocheuses calcaires ou carbonatées, où l'eau s'écoule à travers des canaux dissous et des grottes. Ces sources peuvent avoir des débits élevés et variables, mais sont vulnérables à la contamination en raison du mouvement rapide des eaux souterraines.
- **Sources de vallée ou de pente** : elles se produisent lorsque la nappe phréatique croise la surface du sol sur un versant ou un flanc de vallée. Ces sources sont courantes dans les zones vallonnées et montagneuses et peuvent fournir un débit constant.
- **Sources artésiennes** : elles se développent dans des aquifères confinés, où l'eau est sous pression et s'écoule naturellement à la surface à travers des fractures ou des points faibles dans la roche sus-jacente. Ces sources fournissent souvent une eau propre et régulière, avec des fluctuations saisonnières minimales.
- **Sources côtières** : elles sont situées à l'interface entre l'eau douce et l'eau salée dans les zones côtières, où l'eau douce provenant des aquifères intérieurs s'écoule sur les plages ou sous l'eau. Ces sources peuvent être affectées par les fluctuations des marées et l'intrusion d'eau salée.

Les sources doivent être correctement aménagées pour tirer pleinement parti de leur débit, protégées de l'intrusion d'animaux et de la pollution, et préservées de tout dommage et détournement éventuel. Elles sont généralement protégées par la construction d'un caisson ou d'un mur de soutènement autour de la sortie (le « crénon ») et peuvent alimenter des systèmes de canalisations par gravité.

**Tableau 19 : Caractéristiques des sources d'eau souterraine**

Catégorie	Description
 <p><b>Avantages</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessitent peu d'infrastructures et aucun pompage, car l'eau s'écoule généralement par gravité.</li> <li>• Souvent une source d'eau fiable dans les régions montagneuses ou vallonnées.</li> <li>• L'eau est souvent de meilleure qualité que celle des sources d'eau de surface, car elle a été naturellement filtrée par le sol et la roche.</li> </ul>



### Inconvénients

- Vulnérables aux variations saisonnières du débit, qui peut diminuer ou s'arrêter pendant les périodes sèches.
- La source peut être facilement contaminée si la sortie (le crénon) et la zone de recharge environnante ne sont pas correctement protégées.
- L'emplacement est déterminé par la géologie locale et ne peut être choisi pour des raisons pratiques.

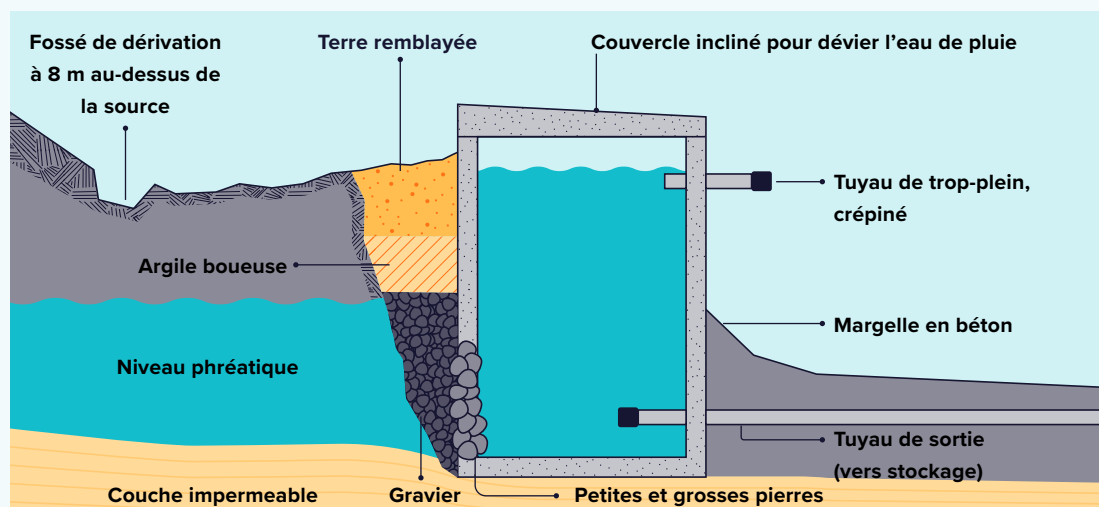


### Vulnérabilités climatiques

- **Inondations** : les eaux de crue contaminées peuvent s'infiltrer dans une source non protégée. Dans certaines formations géologiques (comme le karst), les contaminants peuvent se déplacer rapidement de la surface vers la source sans être filtrés.
- **Sécheresse** : la baisse des précipitations réduit la recharge des eaux souterraines, ce qui peut diminuer considérablement ou arrêter le débit de la source.

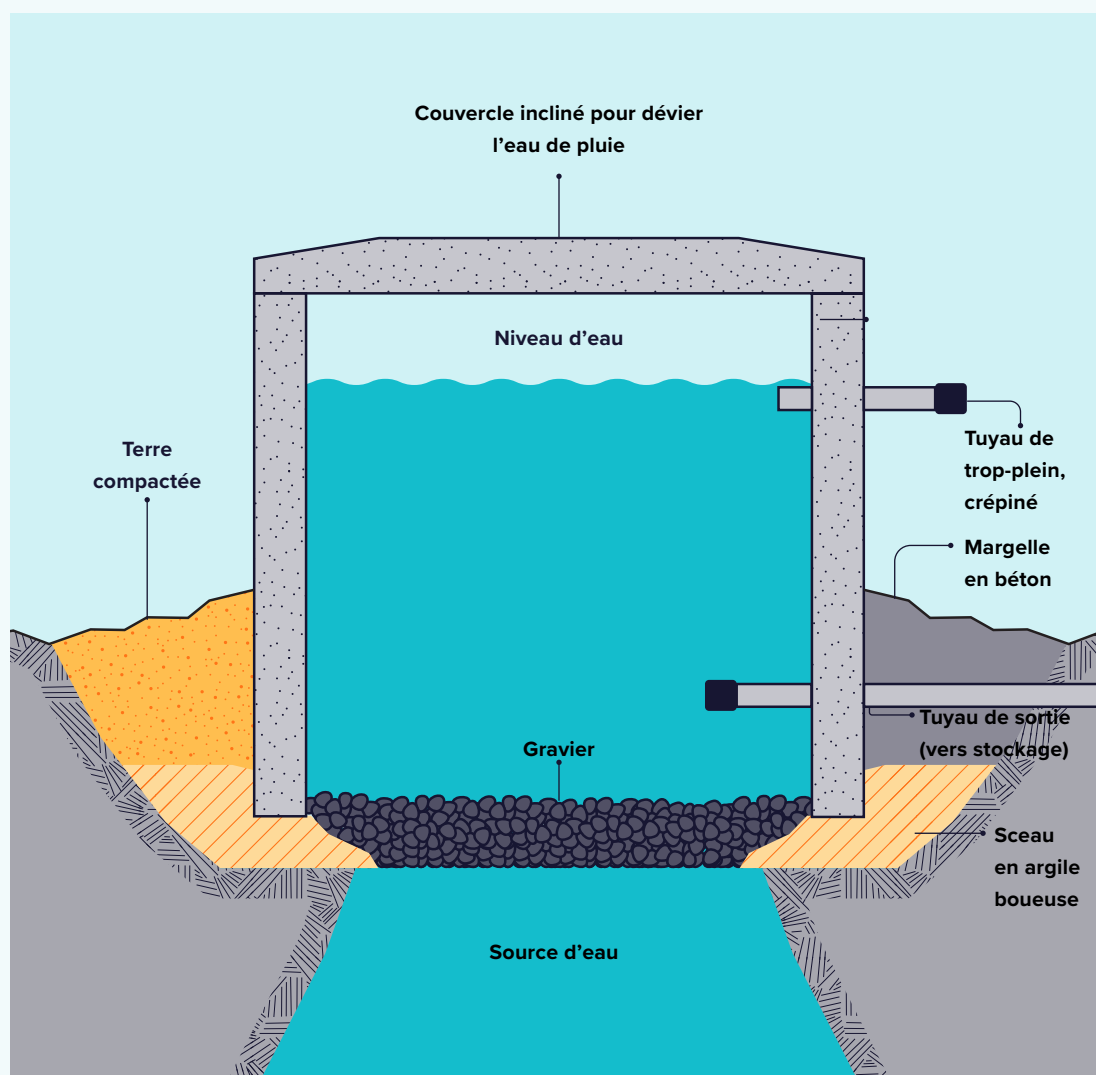
Deux modèles de caissons de source de base peuvent être modifiés pour répondre aux conditions et aux exigences locales. Le premier modèle est un caisson de source avec un seul côté perméable pour la collecte en pente ([figure 33](#)), et le second a un fond perméable pour collecter l'eau s'écoulant d'une seule ouverture sur un terrain plat ([figure 34](#)).

**Figure 33** : Modèle de caisson de source avec un côté perméable pour la collecte en pente



Source : Adapté d'une figure de l'auteur par © lbox Ideas (2025)

**Figure 34 :** Modèle de caisson de source avec fond perméable pour la collecte de l'eau de source s'écoulant d'une ouverture sur un terrain plat



Source : Adapté d'une figure de l'auteur par © Ibex Ideas (2025)

### 3.3.1 Évaluation des sources résilientes au climat

Avant d'aménager une source, il est essentiel de procéder à une évaluation approfondie afin d'en comprendre le comportement à long terme et de protéger la qualité de son eau, en s'assurant que la source est résiliente à la sécheresse (baisse de rendement) et aux inondations (contamination).

#### 3.3.1.1 Contexte hydrogéologique et consultation de la communauté

La première étape consiste à évaluer la fiabilité à long terme de la source en consultant les personnes qui la connaissent le mieux. Des discussions approfondies avec divers groupes communautaires et des informateurs clés fournissent les informations les plus

importantes sur la durabilité. Les principales questions à poser sont les suivantes :

- Comment le débit varie-t-il entre la saison des pluies et le pic de la saison sèche (par exemple, le temps nécessaire pour remplir un seau) ?
- Combien de temps faut-il faire la queue pour obtenir de l'eau à différentes périodes de l'année ?
- La source s'est-elle déjà asséchée, en particulier lors de sécheresses passées ?

Si le débit est suffisant tout au long de l'année, la source peut être considérée comme fiable pour la communauté. Évaluer si une seule source est suffisante ou s'il faut également développer une source plus résistante mais plus éloignée.

### 3.3.1.2 Évaluation physique du site

Inspecter l'emplacement et les caractéristiques de la source.

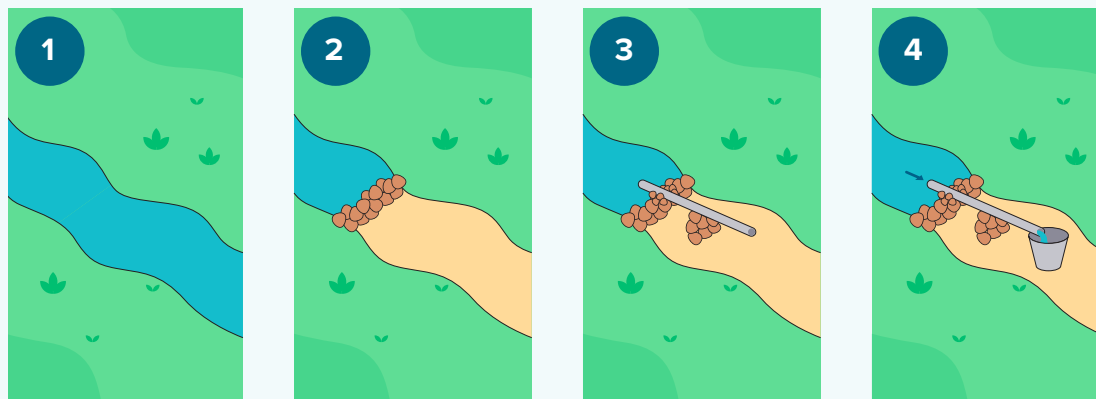
#### Pour les zones inondables :

- **Évaluer l'altitude** : dans la mesure du possible, choisir des sources situées au-dessus des niveaux historiques maximaux d'inondation.
- **Évaluer le type de source** : privilégier les sources « ascendantes » où l'eau s'écoule sous pression, car elles offrent une meilleure protection naturelle contre la contamination de surface.

#### Pour les zones sujettes à la sécheresse :

- **Évaluer la source aquifère** : privilégier les sources qui semblent alimentées par des systèmes d'eau souterraine plus importants et plus profonds, car elles sont susceptibles d'être plus résistantes à la sécheresse. En général, les sources situées à une altitude plus basse couleront plus longtemps pendant une période sèche.
- **Observer les changements saisonniers** : observer si le crénon (là où l'eau jaillit) change d'emplacement selon les saisons, et identifier le point d'émergence le plus bas, car c'est l'emplacement le plus fiable pour une prise d'eau potentielle.
- **Mesurer le débit** : mesurer directement le débit de la source. Il suffit pour cela de canaliser le flux d'eau à travers un tuyau vers un seau d'un volume connu et de chronométrer le temps nécessaire pour le remplir (figure 35). Les déversoirs sont également couramment utilisés pour mesurer le débit des sources. Si le temps le permet, il est préférable d'effectuer des mesures mensuelles pendant une année entière afin d'évaluer le débit minimum et maximum.

**Figure 35 :** Étapes de la collecte de mesures du débit d'une source. Étape 1 : Trouver un emplacement approprié le long de la source où le sol présente une pente naturelle. Étape 2 : Construire un barrage à l'aide de boue/terre/pierres en travers de la source à un point relativement élevé. Étape 3 : Installer le tuyau



Source : Adapté d'une figure de l'auteur par © Ibex Ideas (2025)

### 3.3.1.3 Évaluation des risques liés au bassin versant et à la qualité de l'eau

Évaluer le risque de contamination de la source, en particulier lors de fortes pluies et d'inondations.

- **Inspecter la zone de captage :** parcourir la zone de captage en amont de la source afin d'identifier les sources potentielles de pollution, telles que les latrines à fosse, les cimetières, les décharges ou l'agriculture intensive. La règle minimale est l'absence de latrine à fosse et de décharge dans les 100 mètres en amont de la prise d'eau de la source.
- **Tester la qualité de l'eau :** vérifier la qualité de l'eau de la source pendant la saison des pluies et la saison sèche. Ceci est important car la qualité peut changer lorsque les eaux de pluie récentes et peu abondantes se mélangent aux eaux souterraines plus profondes, et les concentrations de polluants peuvent augmenter pendant les périodes de faible débit.

## 3.3.2 Mesures de résilience climatique pour les sources

Une fois qu'un site approprié a été sélectionné, des mesures spécifiques peuvent être prises pendant la construction pour protéger la source contre les effets des inondations (contamination) et des sécheresses (faible rendement). Le [tableau 20](#) présente les mesures à prendre pour rendre les sources plus résilientes face aux inondations et aux sécheresses.

Pour obtenir des conseils complets sur les mesures préparatoires à prendre avant

tout travail de construction, telles que la localisation des sources, l'analyse de l'eau et la mesure du débit des sources, consulter le manuel Spring Catchment: Manuals on Drinking Water Supply publié par SKAT (Meuli et Wehrle, 2001).

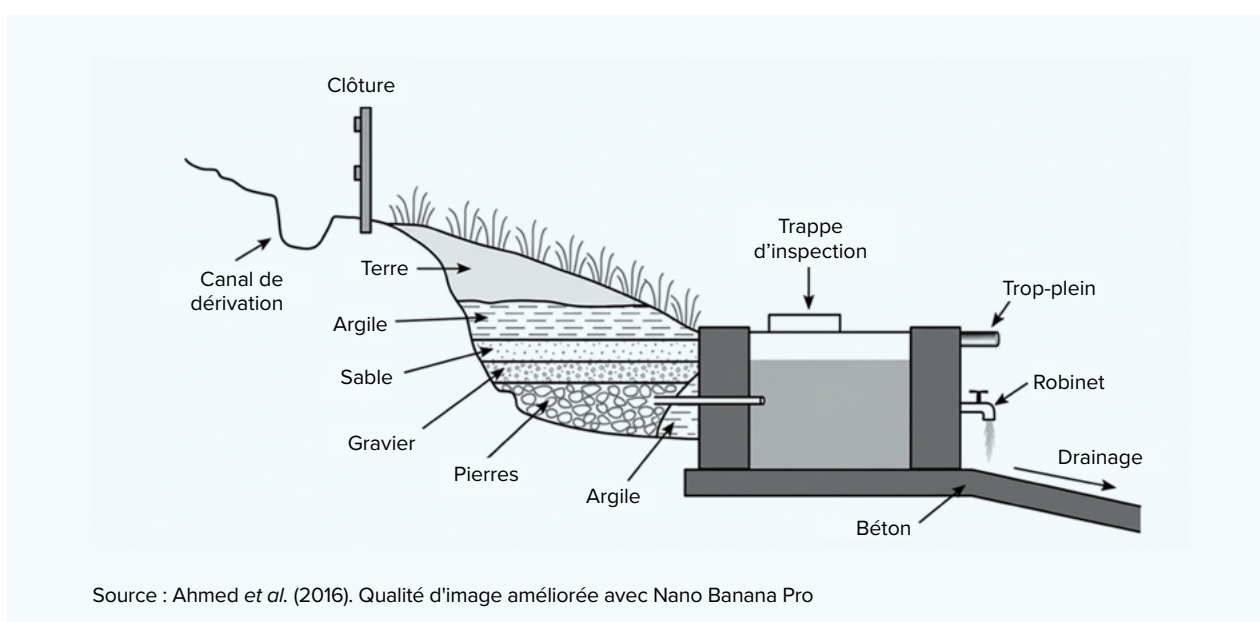
## Tableau 20 : Mesures de protection des sources contre les inondations et la sécheresse

### Risque climatique : Inondation

Mesure	Détails
<b>Contrôle de l'érosion et drainage</b>	<p>Un fossé peut être creusé sur le versant au-dessus de la source afin d'intercepter les eaux de ruissellement et de les détourner en toute sécurité de la zone de prélèvement.</p> <p>Des mesures de contrôle de l'érosion telles que des gabions (cages métalliques remplies de pierres) et une végétation à racines profondes peuvent servir à stabiliser les pentes autour de la source et empêcher leur érosion.</p>
<b>Construction d'un bassin de captage sécurisé</b>	<p>Un caisson de source est une chambre de collecte couverte et étanche qui protège l'eau prélevée contre toute contamination directe. En raison des exigences particulières des environnements et des communautés locales, il n'existe pas de modèle de bac de source unique adapté à toutes les situations.</p> <p>Il doit être équipé d'une trappe d'inspection sécurisée, d'un tuyau de trop-plein grillagé et d'un robinet de sortie contrôlé pour le prélèvement de l'eau.</p> <p>La structure doit être solidement ancrée dans le versant ou le sol et disposer d'une trappe d'accès surélevée avec un couvercle superposé et verrouillable qui se trouve bien au-dessus <b>du niveau de crue maximal prévu</b>.</p>
<b>Protection de la zone de captage</b>	<p>Le crénon doit être excavé et le tuyau de captage placé dans une zone de filtration composée de couches de pierres et de gravier (<a href="#">figure 36</a>). Cette zone de captage doit ensuite être recouverte d'une couche imperméable d'argile afin d'empêcher les eaux de surface de s'infiltrer dans la source d'eau propre.</p>

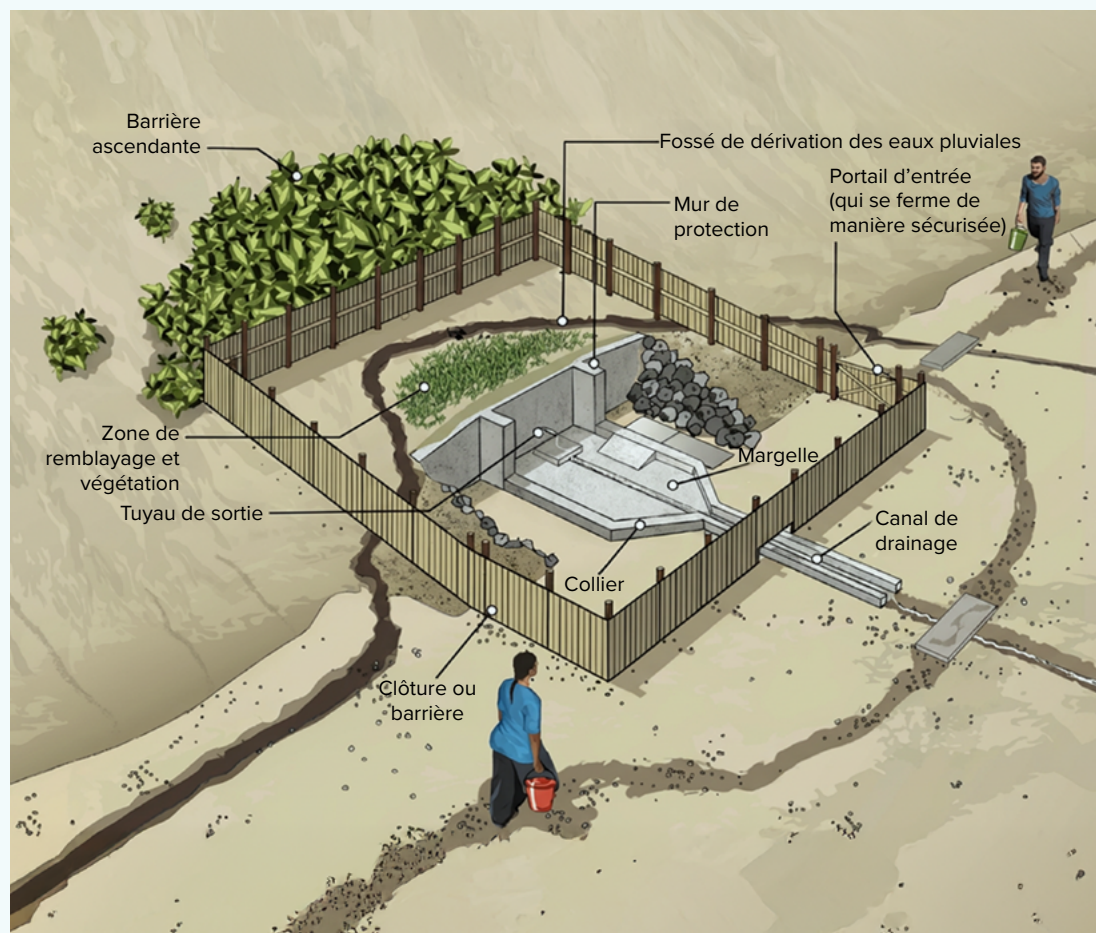
<b>Gestion des sédiments</b>	Si la source transporte des charges sédimentaires élevées lors de débits importants, intégrer des éléments de conception tels que des couches filtrantes ou un piège à sédiments dans le caisson de source pour protéger les tuyaux et maintenir la qualité de l'eau.
<b>Installation d'une clôture de protection</b>	Une clôture doit être construite autour de toute la zone protégée de la source afin d'éloigner les animaux et leurs déjections de la zone de captage.
<b>Risque climatique : Sécheresse</b>	
<b>Mesure</b>	<b>Détails</b>
<b>Installation de la prise d'eau à un endroit stratégique</b>	Le tuyau d'admission doit être placé au point le plus bas connu où la source jaillit, en particulier si le crénon se déplace de façon saisonnière. Cela permet de garantir le captage des plus petits débits pendant le pic de la saison sèche.
<b>Utilisation du caisson de source pour le stockage</b>	Le caisson de source fait également office de petit réservoir de stockage. Il s'agit d'une mesure essentielle pour résister à la sécheresse, car elle permet à une source à faible débit d'accumuler lentement de l'eau au fil du temps (par exemple, pendant la nuit).

Figure 36 : Mesures de protection des sources



Source : Ahmed *et al.* (2016). Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro

Figure 37 : Principales caractéristiques d'une source bien protégée



Source : OMS (2024). Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro

### 3.3.3 Réhabilitation des sources existantes pour la résilience climatique

Les sources d'eau souterraine existantes peuvent être non protégées, endommagées, peu performantes (en particulier pendant les sécheresses) ou susceptibles d'être inondées. Cela peut compromettre la qualité et la fiabilité de l'eau. La restauration vise à améliorer la fiabilité et la sécurité d'une source.

Avant d'entreprendre tout travail de restauration, procéder à une évaluation complète de la source pour diagnostiquer les problèmes et identifier les mesures correctives appropriées. Voir la liste de contrôle détaillée de l'évaluation figurant à l'[annexe 3](#).

Si une source cesse de couler pendant la saison sèche, elle doit généralement être abandonnée. Cependant, si elle maintient un débit adéquat, des améliorations sont justifiées. L'évaluation doit :

- ✓ Confirmer le débit et la qualité de l'eau pendant la saison sèche

- ✓ Inspecter l'intégrité du caisson, des tuyaux et du robinet
- ✓ Vérifier si les fossés de dérivation et les clôtures sont fonctionnels



## Encadré 9 : Remise en service et restauration des sources après une inondation (adapté de Swistock et al., 2022)

La restauration d'une source après une inondation est problématique, car le débit constant de l'eau rend difficile le respect du temps de contact nécessaire pour que le chlore tue efficacement les bactéries. Les mesures pratiques suivantes peuvent être prises :

### 1. Inspecter et réparer la structure.

- ✓ Inspecter et réparer la structure. Inspecter les murs, le sol, le couvercle et les entrées/sorties des tuyaux afin de détecter toute fissure, tout trou ou tout dommage causé par l'inondation et prendre les mesures de réparation et de restauration structurelles nécessaires (voir le [tableau 20](#)).

### 2. Nettoyer le caisson de source : avant de tenter de désinfecter l'eau, la structure physique doit être nettoyée.

- ✓ Préparer une solution nettoyante en mélangeant environ 120 ml d'eau de Javel domestique avec 20 litres d'eau.
- ✓ Utiliser cette solution pour frotter soigneusement les parois intérieures du caisson, en éliminant toute trace de limon, de boue ou de débris.

### 3. Procéder à une chloration choc du système : pour désinfecter le caisson de source et le réseau de canalisations raccordé.

- ✓ Estimer le volume d'eau stocké dans le caisson en litres. (Remarque : volume en mètres cubes  $[m^3] \times 1000 =$  volume en litres)
- ✓ Pour chaque 400 litres d'eau dans le réservoir, préparer une solution désinfectante en mélangeant environ 1,5 litre d'eau de Javel domestique avec quelques litres d'eau.
- ✓ Verser cette solution dans le caisson et laisser l'eau fortement chlorée s'écouler dans tout le système et sortir de chaque robinet.

### 4. Rincer le système et gérer les eaux usées : l'eau fortement chlorée doit être purgée du système avant utilisation.

- ✓ Le lendemain, ouvrir tous les robinets et rincer l'ensemble du système jusqu'à ce que l'odeur forte de chlore ne soit plus détectable.
- ✓ Diriger l'eau chlorée initialement très concentrée vers un site d'élimination sûr, de préférence un sol nu.

## Tableau 21 : Mesures de restauration des sources résilientes au climat

### Risque climatique : Inondation/sécheresse

Mesure	Détails
<b>Restaurer les structures de protection</b>	Construire ou réparer toutes les mesures de protection fondamentales. Cela englobe la construction d'un <b>caisson</b> ou <b>d'un mur de soutènement</b> adéquat s'il n'y en a pas, la réparation du robinet, <b>de la margelle et du canal de drainage</b> , et la vérification du bon fonctionnement <b>du fossé de dérivation</b> et de <b>la clôture</b> .

### Risque climatique : Sécheresse

Mesure	Détails
<b>Améliorer le rendement et le captage des sources</b>	<p>Pour les sources peu performantes, la source peut être réexcavée afin d'éliminer les sédiments et les racines.</p> <p>Pour capter le débit de plusieurs suintements, construire une longue tranchée remplie de gravier et installer des tuyaux à fentes (par exemple en forme de Y) pour collecter l'eau et la diriger vers un seul point de collecte.</p>
<b>Augmenter la capacité de stockage</b>	L'agrandissement du caisson de source existant ou l'installation d'un réservoir de stockage supplémentaire peut servir de tampon en cas de faible débit, permettant à l'eau de s'accumuler pour être utilisée pendant les périodes de forte demande.

### 3.3.4 Exploitation et entretien des sources

L'exploitation et la maintenance des sources se concentrent sur la protection de la zone source et le maintien de l'intégrité du système de collecte et d'acheminement.

## Considérations relatives à la résilience climatique :

### Zones inondables :

- Protéger le caisson de source contre les inondations et les dommages physiques. Veiller à ce que les fossés de dérivation puissent supporter les eaux de ruissellement en cas de fortes pluies. Surveiller attentivement la turbidité après de fortes pluies ou des inondations.

### Zones sujettes à la sécheresse :

- Surveiller de près les débits. Les rendements peuvent diminuer considérablement ou cesser pendant les périodes de sécheresse. Protéger la zone de captage afin de maximiser l'infiltration.

Le tableau 22 présente un calendrier d'exploitation et de maintenance pour les sources protégées.

## Tableau 22 : Calendrier d'exploitation et de maintenance pour les sources protégées

Fréquence/Type : Contrôles réguliers (hebdomadaires/mensuels)

### Tâche

**Structures de protection** (c'est-à-dire caisson de source /mur de soutènement, margelle, canal de drainage)

**Détails:** inspecter à la recherche de fissures, fuites et dommages. Le cas échéant, s'assurer que le tuyau de trop-plein est dégagé et fonctionnel.

**Considérations relatives aux inondations :** veiller à ce que le caisson soit protégé contre l'entrée directe de débris ou des eaux de crue. Vérifier l'intégrité structurelle après l'inondation.

**Qualité de l'eau**

**Détails :** effectuer des contrôles réguliers des paramètres de base de la qualité de l'eau, tels que la conductivité électrique, la turbidité, le pH et la température.

	<p><b>Considérations relatives aux inondations :</b> noter tout changement dans la qualité de l'eau qui pourrait suggérer une contamination de la source par les eaux de crue (ceci peut être particulièrement pertinent dans les zones karstiques).</p>
<p><b>Zone de protection de la source</b></p>	<p><b>Détails :</b> veiller à ce que la zone en amont/autour de la source soit exempte de sources de contamination (latrines, animaux, déchets). Vérifier l'efficacité/la capacité des fossés de dérivation des eaux de surface. Entretenir les clôtures de protection et la couverture végétale appropriée (par exemple, l'herbe).</p> <p><b>Considérations relatives aux inondations :</b> veiller à ce que les fossés de dérivation soient bien entretenus et de taille adéquate avant les fortes pluies. Vérifier les dommages causés par l'érosion après une inondation. Renforcer les murs/la végétation en amont si nécessaire.</p>
<p><b>Collecte et débit de l'eau</b></p>	<p><b>Détails :</b> s'assurer que toute l'eau de source disponible entre dans le système de collecte (pas d'infiltration externe près du crénon). Noter les changements importants dans le débit. Inspecter les grilles des tuyaux d'admission pour détecter tout colmatage ; les nettoyer/remplacer si nécessaire.</p> <p><b>Considérations relatives aux inondations :</b> vérifier fréquemment les grilles des tuyaux, car la charge de débris peut augmenter.</p> <p><b>Considérations relatives aux sécheresses :</b> surveiller de près le débit ; une baisse du débit est un indicateur clé de sécheresse.</p>
<p><b>Système de distribution (tuyaux/robinets)</b></p>	<p><b>Détails :</b> vérifier l'étanchéité des tuyaux entre la source et le(s) robinet(s). Inspecter le(s) robinet(s) pour détecter les fuites, les dommages et vérifier leur bon fonctionnement.</p>

**Drainage**

**Détails :** s'assurer que la zone des robinets est bien drainée et qu'il n'y a pas d'eau stagnante. Vérifier que les puits d'infiltration ou les canaux de drainage sont dégagés et fonctionnels.

**Considérations relatives aux inondations :** s'assurer que le drainage peut gérer les eaux de ruissellement et empêcher l'érosion autour du robinet.

**Fréquence/Type : Entretien régulier/annuel****Analyse de la qualité de l'eau**

**Détails :** effectuer des tests (au moins) une fois par an, idéalement avant/après la saison des pluies, pour détecter la présence de bactéries fécales (par exemple, *E. coli*), mesurer le pH, la turbidité, la conductivité électrique et les contaminants locaux.

Effectuer des tests avant la première utilisation et après des réparations importantes ou des incidents de contamination.

**Considérations relatives aux inondations :** effectuer des tests après de fortes précipitations/inondations, en particulier si la turbidité a augmenté.

**Considérations relatives aux sécheresses :** surveiller les paramètres de qualité de l'eau, car les concentrations de contaminants peuvent augmenter à mesure que le débit diminue.

**Nettoyage**

**Détails :** nettoyer les sédiments/débris de la chambre de collecte du caisson chaque année ou selon les besoins. Nettoyer la zone autour du robinet.

**Considérations relatives aux inondations :** un nettoyage plus fréquent peut être nécessaire si la sédimentation augmente.

<p><b>Réparations</b></p>	<p><b>Détails :</b> réparer rapidement les fissures dans la structure du caisson, les fuites dans les tuyaux et les robinets défectueux. Entretien/réparer les clôtures et les fossés de dérivation. Renforcer les mesures de protection du bassin versant (par exemple, murs, végétation) en cas d'érosion.</p> <p><b>Considérations relatives aux inondations :</b> après une inondation, donner la priorité aux réparations visant à protéger la source et à assurer l'intégrité structurelle.</p>
<p><b>Désinfection</b> (si nécessaire)</p>	<p><b>Détails :</b> si les tests de qualité de l'eau révèlent une contamination ou après des travaux importants/une contamination : vidanger le système, nettoyer et laver les murs avec une solution chlorée, remplir à nouveau et ajouter du chlore pour la désinfection ; rincer le système.</p> <p><b>Considérations relatives aux inondations :</b> peut être nécessaire si la protection de la source a été compromise ou si les tests révèlent une contamination après l'inondation.</p>
<p><b>Tenue des registres</b></p>	<p><b>Détails :</b> tenir un registre des contrôles, des mesures de débit, de l'entretien, des réparations, des résultats des tests de qualité de l'eau et des observations pluviométriques.</p> <p><b>Considérations :</b> veiller à ce que les observations spécifiques aux <b>inondations/sécheresses</b> (débits, turbidité) et les mesures prises soient consignées.</p>

### 3.4 Technologies alternatives et complémentaires pour les zones sujettes à la sécheresse

Dans les zones arides et semi-arides, les sources d'eau souterraines conventionnelles, telles que les forages et les puits creusés en profondeur, ne sont pas toujours viables, durables ou rentables en raison d'une hydrogéologie difficile, de nappes phréatiques profondes ou de coûts élevés. De plus, les conditions de sécheresse exacerbent la pénurie d'eau, entraînant souvent la défaillance des sources traditionnelles.

Cette section donne un aperçu des technologies alternatives et complémentaires de collecte et de stockage de l'eau adaptées aux régions touchées par la sécheresse. Ces technologies visent souvent à capter et à stocker les précipitations et les eaux de ruissellement épisodiques, à améliorer la recharge des nappes phréatiques ou à améliorer l'accès aux eaux souterraines peu profondes de manière plus fiable. Correctement implantées et conçues, elles peuvent améliorer considérablement la sécurité et la résilience hydriques des communautés confrontées à la sécheresse.

### 3.4.1 Barrages de sable

Les barrages de sable sont des murs en béton armé construits en travers des lits de rivières sableux éphémères (saisonniers). Leur but est de retenir le sable et le gravier transportés par les crues, créant ainsi un aquifère artificiel en amont du barrage. L'eau est stockée dans les espaces poreux de ce sable accumulé.

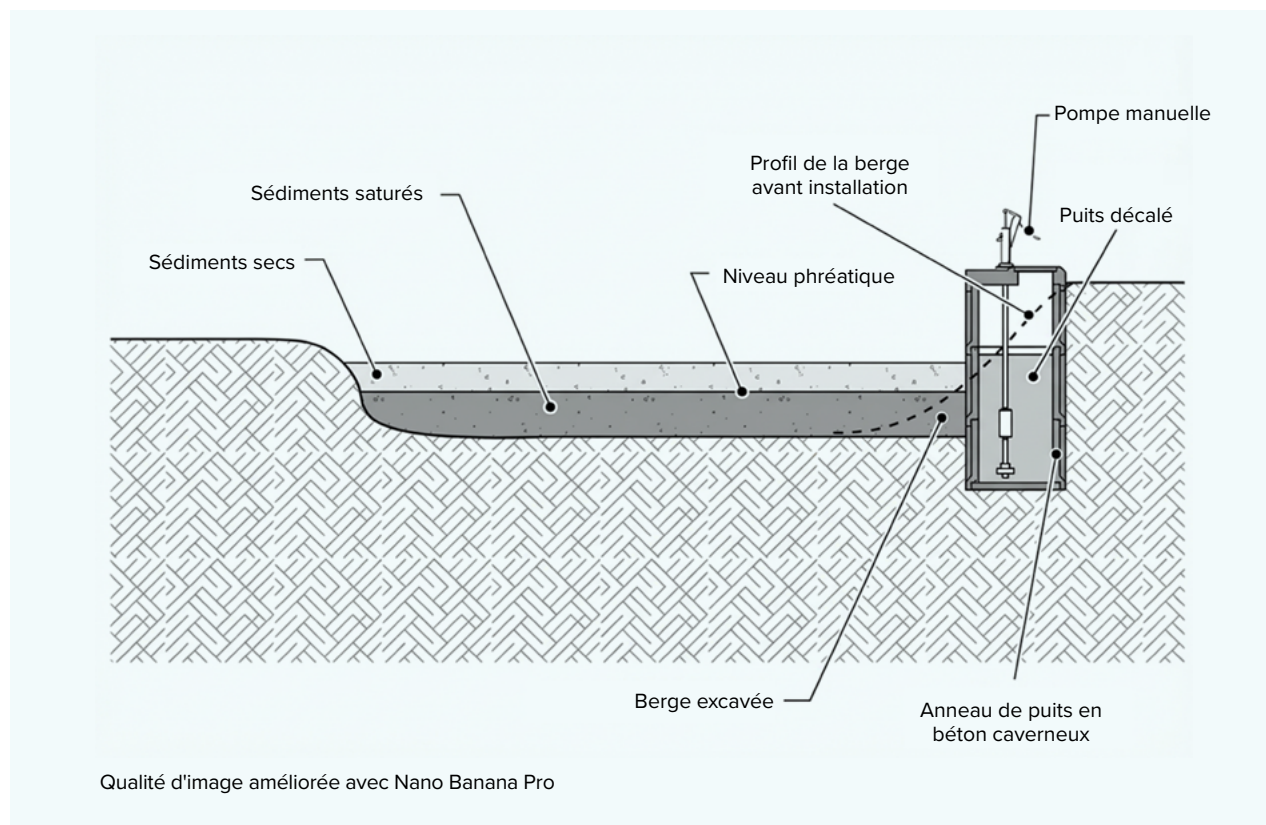
Le tableau 23 présente les principaux éléments à prendre en compte lors de la mise en place de barrages de sable.

**Tableau 23 : Caractéristiques des barrages de sable**

Caractéristique	Description et spécifications clés
<b>Fonction</b>	Mur renforcé traversant une rivière saisonnière qui retient le sable, créant ainsi un aquifère souterrain artificiel pour stocker les eaux de crue.
<b>Principaux avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capture et stocke les précipitations épisodiques, fournissant une source d'eau fiable pendant les saisons sèches.</li> <li>• Moins de pertes par évaporation par rapport à un stockage en surface.</li> <li>• La filtration naturelle à travers le sable améliore souvent la qualité de l'eau.</li> </ul>
<b>Sélection du site</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Type de rivière :</b> rivières saisonnières (éphémères) à lit sableux, avec des chenaux bien définis et des berges stables. Nécessite des crues distinctes qui transportent du sable.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Pente</b> : pentes douces (0,2 % à 4 %) pour maximiser le dépôt de sable.</li> <li>• <b>Fondation</b> : couche imperméable (roche/argile) à une profondeur inférieure à 4-6 m sous le lit de la rivière.</li> <li>• <b>Sédiments</b> : la rivière doit transporter du sable grossier à moyen (cible &gt; 60-70 % de sable, &lt; 10-15 % de limon/ argile). Évaluer les matériaux existants du lit de la rivière et la géologie du bassin versant – les bassins versants de granit, de quartzite et de grès sont souvent de bonnes sources.</li> </ul>
<p><b>Construction principale</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Matériaux</b> : généralement maçonnerie en moellons avec mortier de ciment-sable.</li> <li>• <b>Fondations</b> : doivent être « ancrées » dans la couche imperméable.</li> <li>• <b>Mur</b> : souvent construit par étapes (0,5 à 1,0 m par saison). L'épaisseur de la base correspond généralement aux deux tiers de la hauteur du déversoir.</li> <li>• <b>Déversoir(s)</b> : déversoir central pour les débits normaux ; déversoirs plus élevés dans les murs latéraux. Doivent être nivelés et perpendiculaires au débit.</li> <li>• <b>Margelle</b> : margelle en béton en aval du déversoir pour empêcher l'érosion (sauf sur un socle rocheux solide).</li> </ul>
<p><b>Méthodes d'extraction</b> (généralement en amont du barrage)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Puits creusés peu profonds</b> : creusés dans le dépôt de sable ; peuvent être de simples trous creusés à la pelle ou des puits revêtus pour une meilleure protection.</li> <li>• <b>Galeries d'infiltration</b> : tuyaux perforés posés horizontalement dans le sable, acheminant l'eau vers un puits/puisard pour le pompage.</li> <li>• <b>Sortie directe par tuyau</b> : un tuyau grillagé traversant le mur du barrage permet un prélèvement direct par gravité si la hauteur de chute est suffisante.</li> </ul>

**Figure 38 :** Puits creusé à la main à côté d'un barrage de sable, l'eau s'infiltrant dans le puits à travers les parois en béton du caisson



**Figure 39 :** Photos de deux barrages de sable illustrant les différentes tailles : un barrage de sable de 200 sacs de ciment (en haut) et un barrage de sable de 850 sacs de ciment (en bas)



Pour des conseils complets sur l'emplacement, la conception et la construction des barrages de sable, consulter *Sand Dams: A Practical & Technical Manual* (Maddrell, 2018).

### 3.4.2 Barrages de retenue

Les barrages de retenue sont de petites barrières basses (généralement moins de 1,5 à 2 mètres de haut) construites en travers de ravines ou de petits cours d'eau éphémères à l'aide de matériaux locaux tels que la pierre, les gabions, la terre ou le béton. Leur objectif principal est de lutter contre l'érosion, en ralentissant la vitesse du ruissellement et en retenant les sédiments.

Bien que leur capacité de stockage direct de l'eau soit minime, les barrages de retenue contribuent indirectement à la résilience à la sécheresse en augmentant les possibilités d'infiltration de l'eau dans le sol. Cette infiltration accrue peut entraîner une recharge localisée des nappes phréatiques peu profondes et une amélioration de l'humidité du sol, ce qui peut être bénéfique pour les puits peu profonds et la végétation à proximité.

Le tableau 24 présente les principaux éléments à prendre en compte lors de la mise en place de barrages de retenue.

**Tableau 24 : Vérifier les caractéristiques du barrage**

Caractéristique	Description et spécifications clés
<b>Fonction</b>	Petit barrage construit en travers d'une ravine ou d'un canal principalement pour réduire la vitesse de l'eau, contrôler l'érosion du sol et retenir les sédiments ; il favorise également la recharge des nappes phréatiques.
<b>Principaux avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contrôle de l'érosion</b> : stabilise les ravines et empêche leur approfondissement et leur élargissement.</li> <li>• <b>Recharge des nappes phréatiques</b> : ralentit le ruissellement, augmentant ainsi l'infiltration de l'eau dans le sol.</li> <li>• <b>Piégeage des sédiments</b> : réduit la sédimentation en aval et peut améliorer la qualité de l'eau.</li> </ul>

### Sélection du site

- **Relief** : petites ravines/petits canaux de drainage avec des pentes modérées (< 10 %). Ne convient pas aux grands cours d'eau. S'assurer de la stabilité des ravines.
- **Sols** : des sols sous-jacents perméables sont nécessaires pour obtenir des avantages significatifs en matière d'infiltration.
- **Emplacement** : souvent construits en série (plus rapprochés sur les pentes plus raides). Positionner dans les sections stables et étroites de la ravine.

### Conception et construction

#### Types courants :

- **Temporaires** : barrages en broussailles/bûches (petites ravines, faible débit).
- **Perméables/flexibles** : barrages en pierres instables (petites et moyennes ravines), barrages en treillis métallique (piégeage des sédiments plus fins), barrages en gabions (ravines plus grandes, débits plus élevés).
- **En terre** : bouchons de terre (petites ravines, pentes faibles, zones non humides).
- **Permanents** : barrages en béton/maçonnerie (nécessitent une conception plus élaborée).

#### Caractéristiques principales :

- **Hauteur** : maintenir une faible hauteur (< 1,5-2 m) pour plus de stabilité.
- **Fondations** : doivent être « ancrées » dans le lit et les berges de la ravine (profondeur > 0,5 m) pour éviter tout affouillement.
- **Déversoir** : un déversoir central est essentiel pour permettre un débordement en toute sécurité lors des pics de débit.
- **Margelle** : souvent nécessaire en aval pour éviter l'érosion et l'affouillement.

**Figure 40** : Série de barrages de retenue simples en enrochement construits en cascade pour contrôler l'érosion et retenir l'eau dans le sol environnant (Oxfam GB, s.d.)



Source : Oxfam GB, s.d. Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro

Pour des conseils pratiques détaillés et complets sur les différents types de barrages de retenue, consulter *Geyik* (1986).

### 3.4.3 Galeries d'infiltration avec puits de tranquillisation

Une galerie d'infiltration est un système qui recueille les eaux souterraines naturellement filtrées provenant des sables et graviers perméables situés à proximité des rivières ou des lacs. Elle se compose d'un tuyau perforé horizontal (la galerie) enfoui dans ces sédiments, qui est relié à un puits vertical revêtu (le puits de tranquillisation) situé sur la rive.

Le [tableau 25](#) présente les principaux éléments à prendre en compte lors de la mise en place de galeries d'infiltration.

## Tableau 25 : Caractéristiques des galeries d'infiltration

Caractéristique	Description et spécifications clés
<b>Fonction</b>	Un tuyau perforé horizontal (« la galerie ») enfoui dans une berge recueille l'eau filtrée naturellement et la dirige vers un puits vertical protégé (« puits de tranquillisation ») pour le pompage.
<b>Principaux avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Amélioration de la qualité de l'eau</b> : la filtration naturelle à travers le sable/gravier élimine les contaminants.</li> <li>• <b>Prélèvement protégé</b> : le puits de tranquillisation peut protéger une pompe submersible contre les dommages causés par les inondations.</li> <li>• <b>Résistance à la sécheresse</b> : permet d'accéder à des eaux souterraines qui persistent plus longtemps que les eaux de surface et peut aider à contrôler l'excès d'eau de surface.</li> </ul>
<b>Sélection du site</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Relief</b> : berges de rivières/lacs avec des lits de sable/gravier perméables importants s'étendant sous le niveau d'eau de la saison sèche. Éviter les zones de chenaux très érosifs ou instables.</li> <li>• <b>Sédiments</b> : doivent être étudiés à l'aide de puits d'essai, de forages, etc. Une profondeur (&gt; 1,5-2 m sous le lit de la rivière pendant la saison sèche) et une étendue suffisantes de sable/gravier perméable (idéalement du sable moyen à grossier uniforme ; faible teneur en limon/argile &lt; 10-15 %) sont nécessaires.</li> <li>• <b>Hydrologie/hydrogéologie</b> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• le niveau phréatique dans la berge doit submerger la galerie de manière saisonnière (idéalement de plus de 1 m pendant la période la plus sèche)</li> <li>• évaluer la qualité de l'eau de surface (bien que la filtration à travers les sédiments aide)</li> </ul> </li> </ul>

## Conception et construction

### Galerie (tuyau horizontal) :

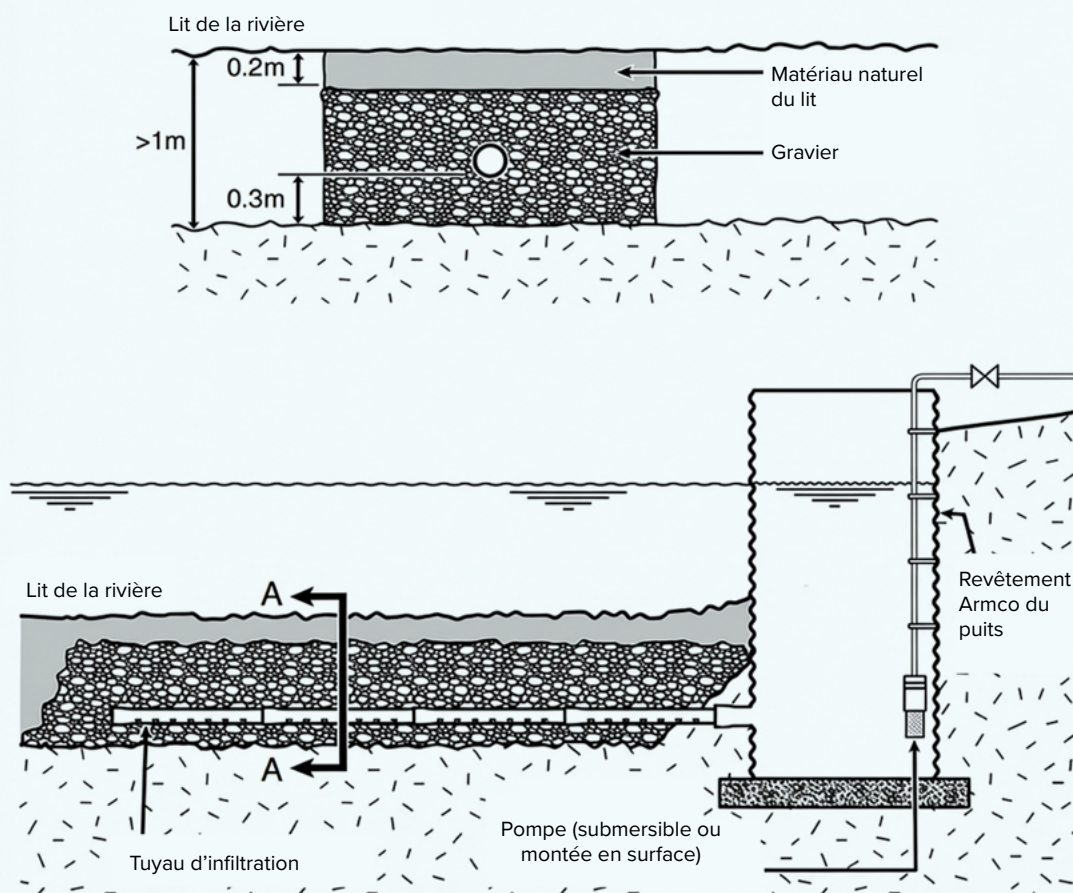
- **Matériau** : uPVC rainuré/perforé, béton poreux ou crépine de puits (non corrosif, résistant).
- **Taille** : diamètre min. 100-150 mm. Longueur basée sur les besoins de rendement et les propriétés de l'aquifère.
- **Fentes/perforations** : dimensionnées pour empêcher l'entrée de sédiments (en fonction du filtre).
- **Couche filtrante** : placer du gravier propre autour du tuyau de la galerie (épaisseur de 100 à 200 mm) calibré en fonction du matériau de l'aquifère. L'utilisation d'une chaussette géotextile est facultative.
- **Profondeur** : placer la galerie à plus de 1 m sous le niveau phréatique saisonnier le plus bas pour accéder à un débit constant.
- **Tuyau de transport** : tuyau solide reliant la galerie au puits de tranquillisation.

### Puits de tranquillisation (puits vertical) :

- **Matériau** : étanche (anneaux en béton, béton coulé sur place, maçonnerie).
- **Taille** : diamètre interne d'environ 1 à 1,5 m. Base à plus de 0,3 m sous le radier de la galerie.
- **Couvercle** : lourd, verrouillable, surélevé de > 0,3 m au-dessus du sol/niveau de crue.
- La méthode de construction est similaire à celle d'un puits creusé à la main.

**Extraction** : l'eau est puisée dans le puits de tranquillisation à l'aide d'une pompe manuelle ou motorisée.

Figure 41 : Conception d'une galerie d'infiltration dans le lit d'une rivière et d'un puits de tranquillisation



Source : Davis et Lambert (2002). Qualité d'image améliorée avec Nano Banana Pro

Pour obtenir des conseils complets sur l'emplacement, la conception et la construction de galeries d'infiltration, voir *Aqualinc* (2014).

## 4 Gestion durable des ressources en eau

### 4.1 Gestion des ressources en eaux souterraines

La durabilité des services liés à l'eau dépend de la bonne maintenance des infrastructures physiques, mais aussi de la santé et de la gestion des ressources en eaux souterraines. La durabilité exige des utilisateurs et des professionnels qu'ils surveillent, comprennent et protègent ces ressources. Une réglementation, une communication et des incitations à adapter les pratiques en fonction de l'évolution des conditions peuvent s'avérer nécessaires.

**Lors du développement des ressources en eaux souterraines, les professionnels doivent tenir compte des éléments suivants :**

- Quel sera l'impact de leurs prélèvements sur les aquifères et les utilisateurs d'eau existants ?
- Comment les tendances saisonnières ou à plus long terme des niveaux ou de la qualité des eaux souterraines peuvent-elles affecter les infrastructures en cours de développement ?

Dans certaines régions, où les autorités de régulation de l'eau sont strictes, les systèmes aquifères sont bien réglementés et des informations importantes sur les ressources en eaux souterraines sont disponibles. Dans d'autres, il se peut qu'il n'y ait aucune information.

Dans les aquifères bien gérés, les nouvelles sources d'eau font généralement l'objet d'une licence et des permis sont nécessaires pour exploiter la ressource. Les professionnels locaux spécialisés dans les eaux souterraines peuvent vous aider dans le processus d'obtention d'une licence.

Dans les régions où la réglementation est moins stricte, les connaissances sur la disponibilité à long terme des ressources en eaux souterraines peuvent être très limitées. Dans ces régions, il est recommandé de collaborer avec les autorités locales pour mettre en place un suivi de référence lors de la construction de forages/puits ou de la mise en service de sources, et de maintenir un programme de suivi simple une fois la source mise en service. Cela facilitera l'exploitation et la maintenance du système et permettra de mieux comprendre les changements à long terme de la ressource.

Dans les zones sujettes à la sécheresse, il est d'autant plus important de comprendre les tendances à long terme que les risques de surexploitation sont accrus. La surexploitation peut entraîner à la fois une baisse du niveau des eaux et une détérioration de la qualité de l'eau. La surveillance doit se concentrer sur les niveaux et la qualité des eaux souterraines **aux points d'eau critiques**.

Pour déterminer les points d'eau à surveiller en priorité, il convient de tenir compte des éléments suivants :

- **Population desservie** : donner la priorité aux sources qui alimentent le plus grand nombre de personnes (par exemple, les principaux puits du village, les sources d'eau des écoles, l'approvisionnement des établissements de santé).
- **Services essentiels** : identifier les points d'eau indispensables à la prestation des services essentiels, tels que les hôpitaux, les cliniques et les écoles.
- **Dépendance à une source unique** : axer les efforts sur les communautés ou les institutions qui ne disposent d'aucune autre source d'eau.
- **Points historiquement vulnérables** : identifier les points d'eau connus pour s'assécher en premier ou pour avoir subi de fréquentes pannes de pompes lors des sécheresses passées (grâce à la consultation de la communauté et aux archives).
- **Importance stratégique** : prendre en compte les points d'eau essentiels aux activités agricoles ou aux moyens de subsistance locaux.

Les directives détaillées pour la mise en œuvre ou l'amélioration des réseaux de surveillance des eaux souterraines dépassent le champ du présent document. Pour obtenir des conseils techniques détaillés pertinents, il est possible de se référer à d'autres documents d'orientation, tels que :

- IGRAC : *Ligne directrice sur la surveillance des eaux souterraines à des fins de référence générale* (révisée en 2008) (IGRAC, 2008)
- PNUE : *Document d'orientation technique « Water Quality Monitoring and Assessment of Groundwater »* (Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2022)
- Banque mondiale : *Practical Manual on Groundwater Quality Monitoring* (Ravenscroft et Lytton, 2022)
- Groundwater Relief et Action contre la Faim : Document d'orientation (à paraître) *Groundwater Monitoring in Humanitarian Contexts : A Practical Guide with Templates for Implementation*

## 4.1.1 Surveillance du niveau des eaux souterraines

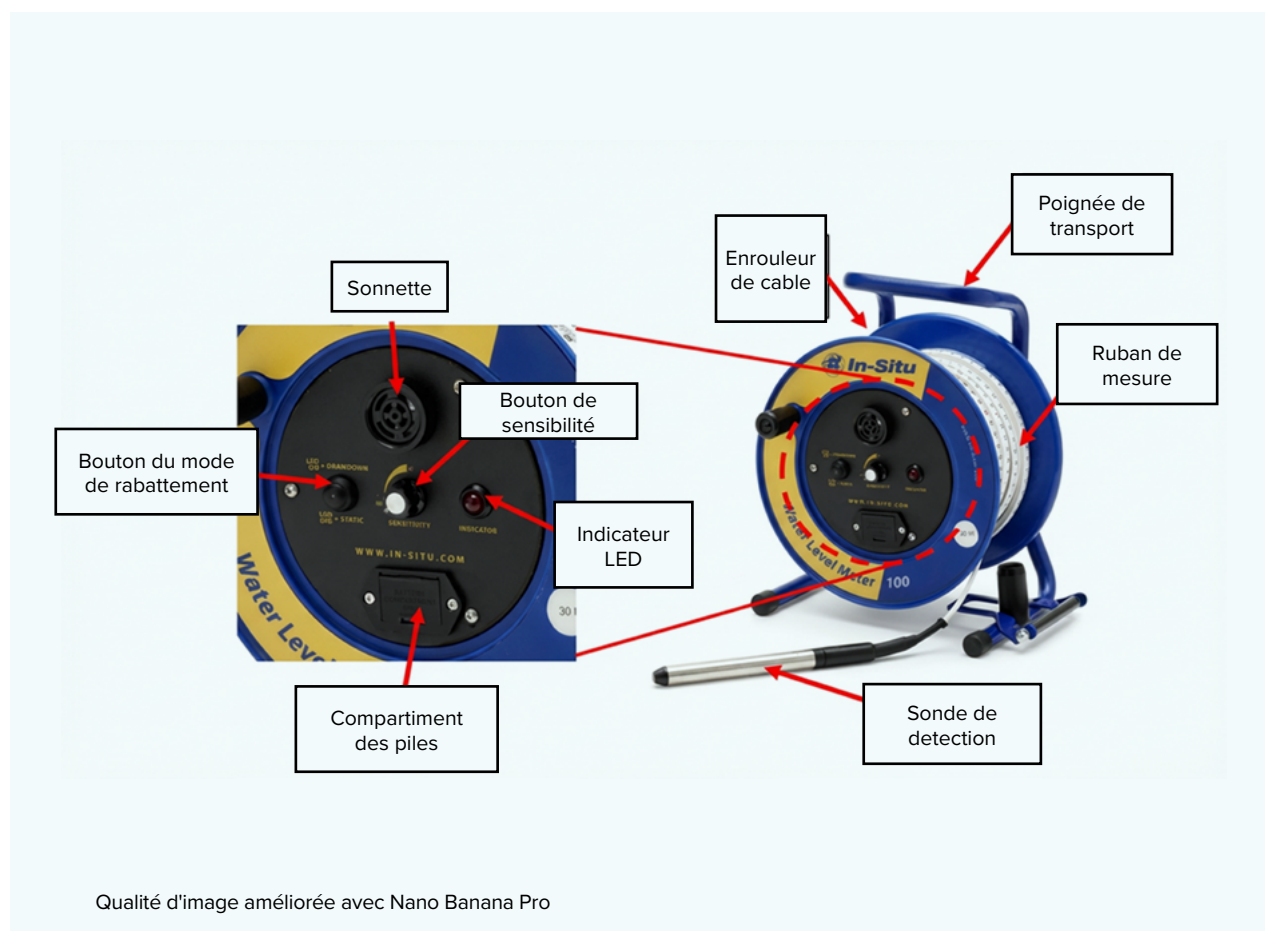
La mesure du niveau des eaux souterraines dans les forages ou les puits fournit des informations sur les fluctuations des niveaux d'eau dans l'aquifère.

Les mesures du niveau des eaux souterraines peuvent être effectuées manuellement, à l'aide d'une jauge de niveau d'eau (figure 42), ou automatiquement, à l'aide d'un enregistreur de données (transducteur de pression). Des enregistreurs automatiques peuvent également être connectés à des systèmes télémétriques de surface, ce qui permet de transmettre les données directement à un serveur ou à une base de données dans le nuage.

L'utilisation d'enregistreurs automatiques n'exclut pas de mesurer occasionnellement les niveaux d'eau manuellement, afin de calibrer et de vérifier les données collectées par l'enregistreur automatique.

Des puits de surveillance ou des piézomètres de petit diamètre peuvent être construits dans le seul but de faciliter la collecte de données sur le niveau des eaux souterraines. Cependant, les informations sur les niveaux d'eau peuvent être collectées à partir des forages et/ou des puits d'approvisionnement en eau en service, bien que les données soient plus difficiles à interpréter en raison de l'impact du pompage continu sur les niveaux d'eau. Un tube plongeur doit être installé pour faciliter l'insertion et le retrait des équipements de surveillance sans qu'ils s'accrochent ou s'emmêlent dans la colonne montante et les câbles électriques menant à la pompe.

**Figure 42 :** Exemple de jauge de niveau d'eau (peut varier selon le fabricant)



### 4.1.1 Nettoyage et interprétation des données

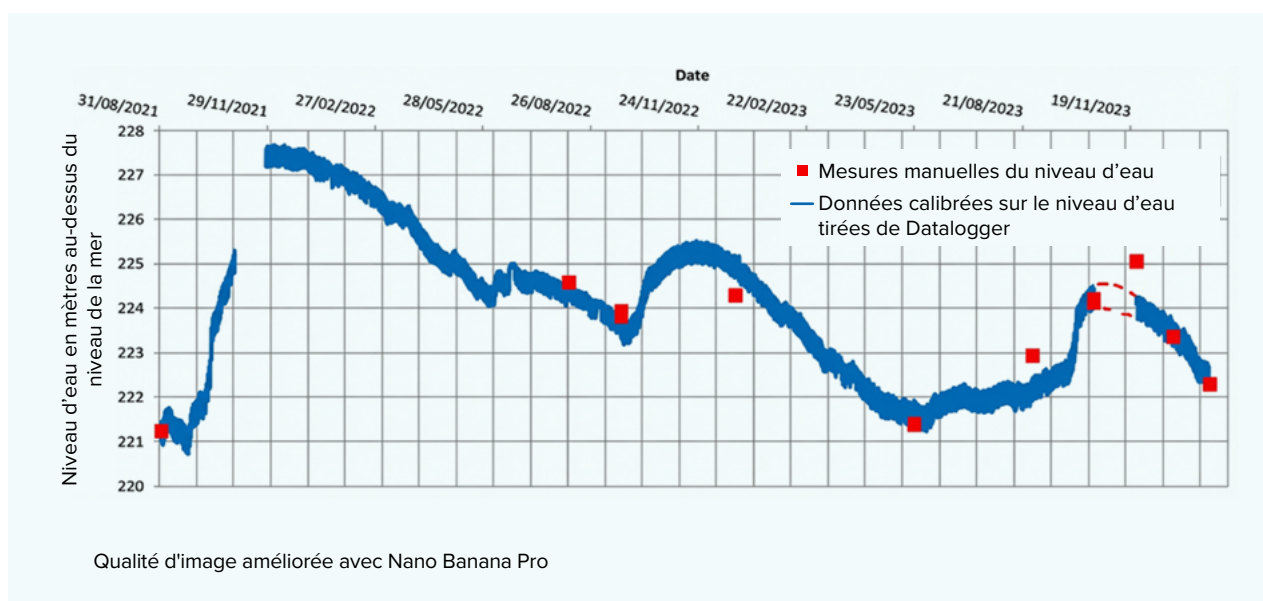
Après leur collecte, toutes les données doivent être nettoyées, et il convient de vérifier qu'elles ne contiennent pas d'erreurs manifestes et de s'assurer que les informations relatives à l'emplacement des forages/puits sont enregistrées et exactes. Les emplacements enregistrés en degrés décimaux doivent être exprimés avec 6 décimales. Toutes les données doivent être enregistrées en unités métriques, et ces unités doivent être vérifiées pour garantir que les valeurs du niveau d'eau sont correctes.

Le nettoyage des données collectées par les enregistreurs automatiques est plus complexe. Les données des enregistreurs doivent être post-traitées et validées par rapport aux niveaux d'eau mesurés manuellement à des fins d'étalonnage. Il pourra être nécessaire de supprimer des enregistrements finaux les erreurs instrumentales ou les anomalies dans les données (par exemple, celles causées par un déplacement de l'enregistreur pendant son déploiement). Cela garantit que les données sont représentatives du plan d'eau surveillé, présentables et compréhensibles à des fins d'interprétation et de gestion. Le processus dépend de l'intégrité des données de terrain et issues des enregistreurs collectées et stockées à ce jour.

### 4.1.2 Interprétation et utilisation des données de surveillance

La manière la plus courante de présenter visuellement les données de surveillance du niveau d'eau consiste à générer un hydrogramme en traçant l'élévation du niveau d'eau (ou la profondeur de l'eau) en fonction du temps pour chaque site de surveillance. Un exemple est présenté à la figure 43. Le tracé des données pluviométriques sur l'hydrogramme peut aider à visualiser les recharges et les décalages dans la réponse des eaux souterraines.

**Figure 43 :** Exemple d'hydrogramme montrant les mesures de niveau d'eau à haute fréquence effectuées à l'aide d'un enregistreur de données (en bleu) ainsi que les mesures manuelles effectuées à l'aide d'une jauge (en rouge)



Les niveaux des eaux souterraines réagissent généralement aux tendances climatiques annuelles : ils augmentent pendant et après la saison des pluies (ce qui indique une recharge) et diminuent tout au long de la saison sèche (en raison du recul naturel et du pompage). Il faut au moins 12 mois de données de surveillance continue pour saisir l'ensemble des variations saisonnières.

Les données de surveillance du niveau des eaux souterraines peuvent être utilisées aux fins suivantes :

### Conception des forages :

La profondeur à laquelle la pompe est installée dans un forage doit tenir compte :

- Des fluctuations saisonnières prévues des eaux souterraines, les prises d'eau de la pompe étant conçues pour tenir compte des points bas de la nappe phréatique
- De l'abaissement dynamique prévu associé au pompage actif de l'eau
- D'un facteur de sécurité

### Diagnostic des problèmes liés aux forages :

En cas de défaillance d'un forage, les données relatives au niveau d'eau peuvent être examinées afin d'identifier tout changement significatif, rapide ou inattendu des niveaux d'eau qui s'écarte des schémas saisonniers habituels ou des réponses connues à des événements.

#### En cas de baisse rapide du niveau d'eau :

- *Procéder immédiatement à une inspection du puits* : vérifier l'absence de problèmes structurels dans le forage (par exemple, effondrement du tubage, obstruction de la crépine, dysfonctionnement de la pompe)
- *Rechercher de nouveaux prélèvements* : inspecter les environs à la recherche de nouvelles activités de pompage à proximité qui étaient auparavant inconnues.

#### En cas d'augmentation rapide (non liée à des événements de recharge importants) :

- *Inspecter les inondations/fuites localisées* : vérifier l'existence éventuelle d'inondations en surface autour de la tête de puits ou de fuites provenant des infrastructures hydrauliques voisines (conduites d'alimentation, canaux d'irrigation, systèmes d'évacuation des eaux usées) qui pourraient recharger directement le puits.
- *Évaluer l'intégrité du joint du puits* : vérifier que le joint sanitaire à la tête du puits est intact, afin d'empêcher l'entrée directe d'eau de surface (qui pourrait également introduire des contaminants).

- *Évaluer toute contamination potentielle* : dans certains cas, un changement rapide peut indiquer une pollution affectant la densité de l'eau ou les voies d'écoulement ; en cas de suspicion, tester rapidement la qualité de l'eau.

### Définition des seuils de déclenchement :

Pendant une sécheresse, les nappes phréatiques peuvent baisser davantage que leurs niveaux saisonniers normaux, ce qui affecte considérablement l'approvisionnement en eau si les niveaux d'eau descendent en dessous du niveau de captage des pompes ou de la profondeur des forages/puits. Pour signaler les problèmes potentiels, les professionnels du secteur WASH peuvent définir des seuils de déclenchement au sein des principales infrastructures souterraines. Un seuil de déclenchement est une profondeur d'eau prédéfinie qui, lorsqu'elle est atteinte, active une réponse planifiée. La définition d'un seuil de déclenchement comporte trois étapes clés :

1

#### Établir les conditions de référence :

Comprendre le comportement normal de la source d'eau souterraine locale en surveillant les puits et forages clés au fil du temps afin de mesurer leurs fluctuations saisonnières typiques (les niveaux d'eau les plus élevés et les plus bas au cours d'une année normale). Cette fourchette quantifiée devient le point de référence officiel. La comparaison des niveaux d'eau futurs avec ce point de référence permet de repérer facilement les écarts causés par la sécheresse, la surexploitation ou les changements dans la recharge de l'aquifère.

2

#### Définir le seuil de déclenchement :

Fixer le seuil à une profondeur spécifique inférieure au niveau saisonnier normal, mais bien au-dessus du point critique où se trouvent les infrastructures (comme une prise d'eau de pompe). Lorsque le niveau d'eau a atteint le seuil de déclenchement, un avertissement est émis pour signaler l'apparition d'un problème évolutif, avant que l'approvisionnement en eau ne soit complètement interrompu.

3

#### Lier les seuils de déclenchement à des actions planifiées :

L'objectif du seuil de déclenchement est de déclencher une action. Pour chaque seuil de déclenchement, un ensemble de stratégies d'atténuation planifiées et convenues doit être prêt à être mis en œuvre immédiatement. Les stratégies d'atténuation peuvent inclure :

- La construction de nouveaux points d'eau avec une conception améliorée pour garantir un accès fiable à l'eau tout au long de l'année
- La mise en œuvre et l'application de mesures de conservation visant à réduire la consommation globale d'eau pendant la période sèche

Figure 44 : Hydrogramme type sur la situation mensuelle

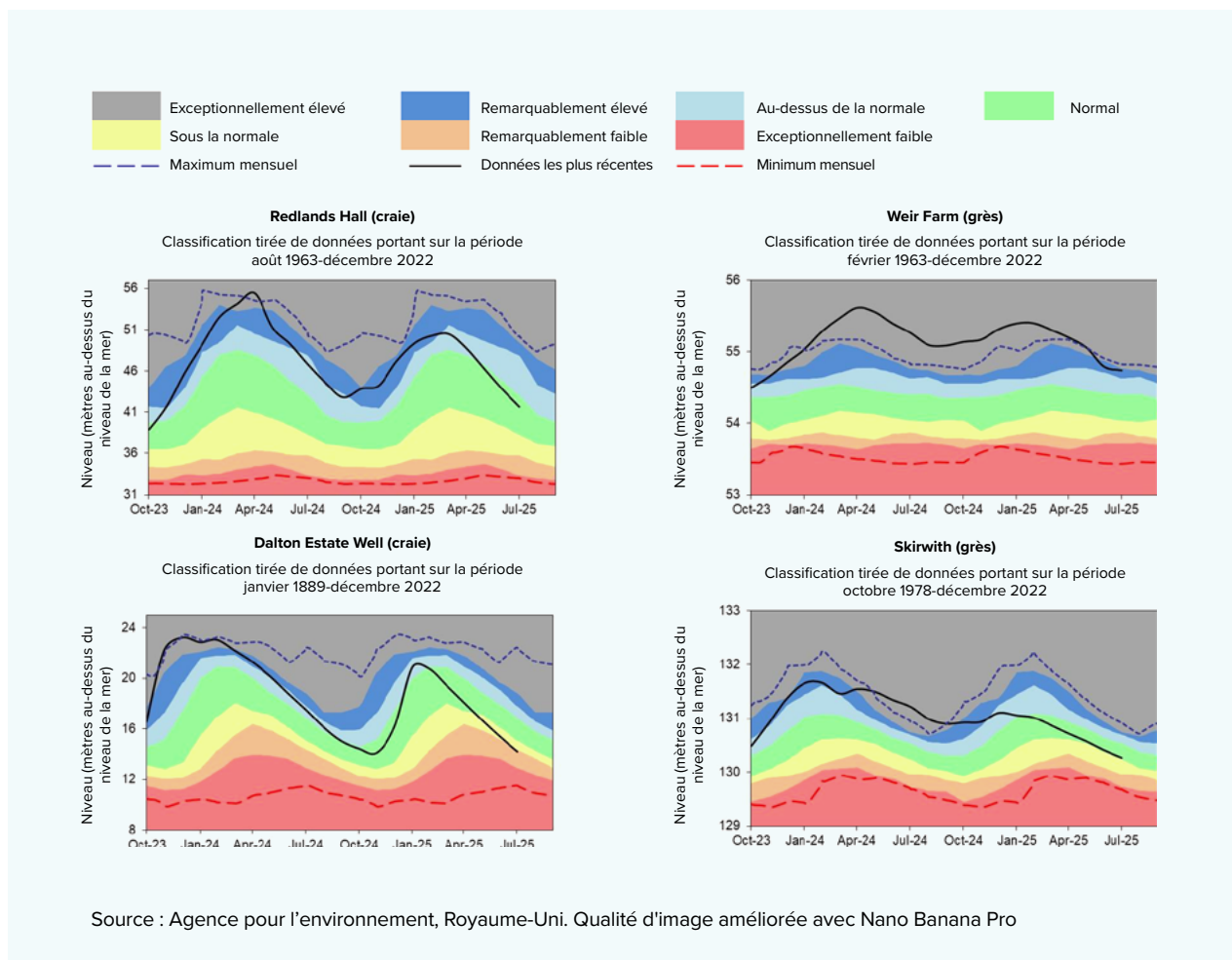
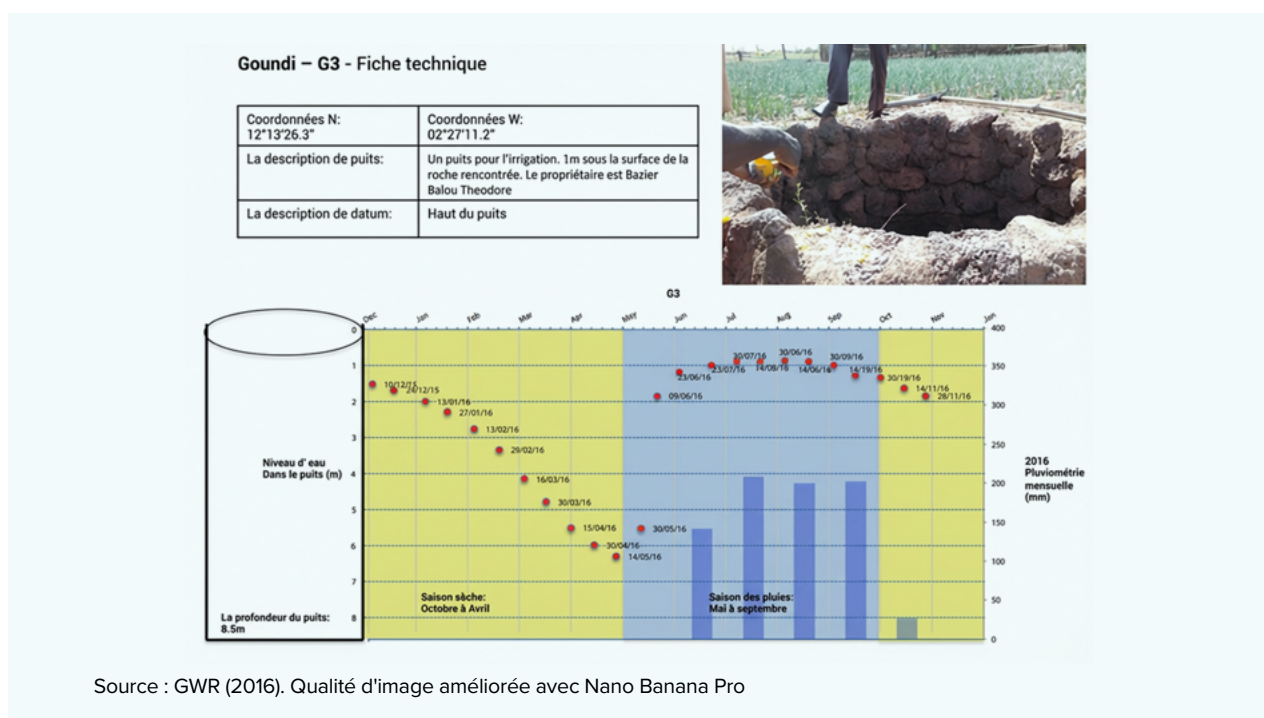


Figure 45 : Exemple d'hydrogramme comparé aux données de la profondeur des puits et les précipitations afin de faciliter la communication avec les agriculteurs de Goundi, au Burkina Faso (GWR, 2016)



### 4.1.1.3 Analyses des tendances à long terme (données pluriannuelles)

Si possible, les données doivent être collectées sur plusieurs années afin d'identifier des tendances constantes à long terme des niveaux d'eau.

**Si une tendance constante à la baisse est observée :** une baisse constante et significative en dessous des normes historiques peut être un indicateur précoce fort de l'apparition de conditions de sécheresse affectant les ressources en eaux souterraines.

1

#### Lancer une enquête :

Examiner les causes potentielles. Les taux de prélèvement actuels dépassent-ils le taux de recharge, ce qui les rend non durables ? Y a-t-il eu des changements importants dans l'utilisation des terres dans la zone de recharge (par exemple, déforestation, urbanisation) ? Les effets des changements climatiques (tels que la réduction des précipitations ou l'augmentation de l'évapotranspiration) entraînent-ils une diminution de la disponibilité des eaux souterraines ?

2

#### Revoir la gestion des prélèvements :

Mettre en œuvre ou renforcer les mesures de conservation de l'eau, promouvoir des pratiques d'utilisation plus efficaces de l'eau et envisager de réviser les permis de prélèvement ou les accords locaux.

3

#### Explorer les alternatives et les augmentations :

Si la tendance est grave, commencer à rechercher d'autres sources d'eau ou étudier la faisabilité d'initiatives de recharge artificielle des aquifères.

4

#### Ajuster les plans futurs :

Intégrer le taux de déclin observé dans les futurs plans d'approvisionnement en eau et la conception des puits ; cela peut nécessiter de forer plus profondément ou de choisir des emplacements dans des zones aquifères plus résilientes.

**Si une tendance constante à la hausse est observée :**

#### Rechercher les causes :

1

Déterminer les raisons. Est-ce dû à une augmentation des précipitations, à une réduction du pompage local, à des fuites dans les systèmes d'approvisionnement en eau ou d'irrigation, ou à des changements dans l'utilisation des terres ?

2

**Évaluer les risques associés :**

Évaluer les risques d'engorgement pour les infrastructures souterraines, les infrastructures sanitaires (comme les latrines), les terres agricoles et les fondations des bâtiments.

3

**Évaluer le potentiel des ressources :**

S'il est confirmé que la hausse est due à une recharge durable accrue, évaluer si les taux de prélèvement peuvent être augmentés de manière prudente et durable pour répondre à la demande.



## Encadré 10 : Surveillance du décalage temporel entre la sécheresse et le niveau des eaux souterraines

La recharge des eaux souterraines après la pluie peut être retardée de plusieurs mois, voire plusieurs années, en raison des conditions locales, telles que le type de sol et la profondeur de la nappe phréatique. Ce décalage signifie que les effets de la sécheresse sur les eaux souterraines ne sont pas immédiatement visibles, et qu'une perspective de gestion à long terme s'impose.

Les délais de recharge ont une incidence sur la planification des infrastructures de gestion des eaux souterraines, en particulier dans les zones sujettes à la sécheresse, ce qui conduit souvent à des évaluations inexactes de la disponibilité en eau. Le niveau des eaux souterraines peut même continuer à baisser après des précipitations en raison desdits délais. Se fier uniquement aux précipitations récentes ou aux niveaux actuels des eaux souterraines peut conduire à des taux d'extraction non durables pendant les sécheresses, et s'accompagner d'un pompage excessif et d'un épuisement des ressources.

Il est essentiel de corréliser les données de surveillance à long terme des eaux souterraines avec les régimes pluviométriques afin d'identifier les décalages temporels locaux spécifiques à la recharge et d'intégrer ces informations dans la planification opérationnelle. Par exemple, lors de sécheresses prolongées, même en cas de précipitations, il convient d'envisager bien à l'avance des mesures de conservation de l'eau et l'activation de sources alternatives afin de tenir compte du retard prévu dans la recharge des aquifères.

**Mesures concrètes :**

1. *Collecter des données historiques* : obtenir des enregistrements pluviométriques à long terme (provenant de stations météorologiques ou d'observations communautaires) et les données correspondantes sur le niveau des eaux souterraines pour la même période.

2. **Établir des corrélations et analyser** : représenter graphiquement les données pluviométriques par rapport aux mesures du niveau des eaux souterraines sur plusieurs années. Comparer systématiquement ces ensembles de données afin d'identifier et de quantifier le retard typique dans la recharge des aquifères, et comprendre toute variabilité dans cette réponse due à l'intensité des précipitations ou à des conditions aquifères différentes.

## 4.1.2 Surveillance de la qualité des eaux souterraines

La collecte de données sur la qualité des eaux souterraines peut permettre de déterminer si des changements sont en train de se produire dans le milieu souterrain en raison d'une augmentation des prélèvements, d'une contamination des aquifères ou d'une modification du climat. Elle est également essentielle pour garantir que l'approvisionnement en eau souterraine reste propre à la consommation humaine. L'analyse de la qualité de l'eau peut être effectuée directement sur le terrain à l'aide d'équipements de surveillance spécifiques, ou bien des échantillons peuvent être prélevés puis analysés en laboratoire.

Il existe deux types principaux de surveillance de la qualité des eaux souterraines :

1. La surveillance stratégique est effectuée afin d'acquérir une vision générale de la qualité de l'eau dans un aquifère, de déterminer la qualité générale des eaux souterraines et les problèmes potentiels de contamination et de surveiller les changements à long terme de la qualité de l'eau.
2. La surveillance défensive est effectuée aux points d'eau « problématiques » afin de fournir des informations sur les impacts des sources de contamination suspectées (par exemple, lors de l'évaluation de la salinité des eaux souterraines dans les plaines côtières exposées au risque d'intrusion d'eau de mer induite par le pompage des eaux souterraines).

Selon les *Directives de l'OMS sur la qualité de l'eau de boisson : petits approvisionnements en eau*, les analyses de la qualité de l'eau doivent se concentrer sur :

- **Sécurité microbienne** : priorité absolue.
  - Paramètres critiques à surveiller : E. coli (ou coliformes thermotolérants), chlore résiduel libre (si chloré), turbidité, pH (si chloré)
- **Contaminants chimiques prioritaires** : ceux dont la présence locale à des concentrations préoccupantes est avérée ou probable.
  - Paramètres chimiques prioritaires à surveiller : arsenic, fluorure, plomb, manganèse, nitrate
- **Acceptabilité** : tenir compte des paramètres (tels que le goût, l'odeur, la couleur) qui pourraient inciter les utilisateurs à choisir des sources d'eau potentiellement moins

sûres. En général, les paramètres d'acceptabilité n'ont pas d'effets directs sur la santé, ou les niveaux de concentration préoccupants pour la santé sont nettement supérieurs à ceux qui affectent l'acceptabilité. Il n'est donc généralement pas nécessaire de surveiller ces substances (par exemple le fer), en particulier lorsque les ressources disponibles pour la surveillance sont limitées.

- **Révision régulière** : mettre à jour périodiquement la liste des paramètres et leurs limites afin de refléter les nouvelles informations et de favoriser l'amélioration continue.

Afin d'améliorer la résilience face aux inondations, il convient d'effectuer des tests plus fréquents pendant et après les inondations, ainsi que de désinfecter les puits/forages si nécessaire. Pour la résilience à la sécheresse, il convient de surveiller les changements dans la qualité des eaux souterraines dus à la réduction de la capacité de recharge et de dilution.

Pour plus d'informations sur les paramètres de surveillance de la qualité de l'eau potable, y compris les valeurs indicatives ou cibles et les fréquences minimales de surveillance, voir les *Directives de l'OMS sur la qualité de l'eau de boisson : petits approvisionnements en eau* (OMS, 2024b).

#### 4.1.2.1 Prélèvement d'échantillons

Les échantillons doivent être prélevés dans un récipient en plastique ou en verre transparent muni d'un couvercle hermétique. Idéalement, consulter le personnel du laboratoire qui analysera les échantillons afin d'obtenir des conseils sur le type de récipient à utiliser (ou utiliser les récipients fournis par le laboratoire).

En général, les forages ou puits doivent être soigneusement purgés avant tout échantillonnage (sauf en cas d'utilisation d'un sac d'échantillonnage à prélèvement instantané) afin de garantir que l'échantillon n'est pas de l'« eau stagnante » qui s'est accumulée pendant un certain temps dans le puits ou le tubage. Voir *Misstear et al.* (2017) et l'[encadré 8](#) pour plusieurs méthodes pratiques permettant d'évaluer si le puits a été suffisamment purgé.

Après leur prélèvement, les échantillons ne doivent pas être exposés de manière prolongée à la lumière du soleil pendant leur transport ou leur stockage. Tous les échantillons prélevés pour analyse bactériologique doivent être conservés dans une glacière remplie de blocs réfrigérants pendant leur transport du terrain au bureau ou au laboratoire. Idéalement, les échantillons seront livrés au laboratoire dès que possible, et au plus tard 24 heures après leur prélèvement. Le délai entre le prélèvement et la livraison au laboratoire doit être consigné dans les registres d'échantillonnage. Les laboratoires peuvent avoir leurs propres protocoles pour la livraison des échantillons, et il est important de les obtenir par écrit auprès du laboratoire.

### 4.1.2.2 Interprétation des données

Il est essentiel de comprendre les résultats des analyses de base de la qualité de l'eau afin de garantir à la population un approvisionnement en eau potable propre et sûre. Lorsque les résultats des paramètres des échantillons dépassent les directives de l'OMS ou celles spécifiques au pays, ils doivent être signalés et des mesures appropriées doivent être mises en œuvre, par exemple un traitement approprié de l'eau, une dilution avec de l'eau souterraine non contaminée, la mise hors service du forage, etc.

L'identification des principales tendances en matière de qualité de l'eau peut aider à prévoir et, éventuellement, à minimiser ou à prévenir toute contamination supplémentaire. Par conséquent, les données sur la qualité de l'eau doivent être examinées par un ou une spécialiste technique au moins une fois par an. La qualité de l'eau étant susceptible de varier tant sur le plan saisonnier qu'à long terme, il est nécessaire de disposer d'au moins 12 mois consécutifs de données sur la qualité de l'eau pour saisir pleinement les variations saisonnières.

Une analyse chimique complète doit être effectuée chaque année dans les principaux forages. Les données collectées doivent être examinées par un ou une spécialiste technique afin d'identifier les principales tendances, d'améliorer la compréhension des systèmes aquifères et de leurs interactions avec les caractéristiques de la roche hôte, et de faciliter l'identification de la recharge.

## 4.2 Utilisation des données de surveillance pour la planification à long terme et la résilience

Lorsque les données de surveillance des niveaux et de la qualité des eaux souterraines sont collectées régulièrement pendant plus d'un an, elles deviennent un atout inestimable pour la planification stratégique.

Les données peuvent être utilisées par les professionnels du secteur WASH pour prendre des décisions éclairées concernant le développement futur des ressources en eau, améliorer la conception et la durabilité des infrastructures hydrauliques et renforcer la résilience à long terme face aux inondations et aux sécheresses.

### 4.2.1 Applications de la planification stratégique

Les informations recueillies grâce à la surveillance peuvent être utilisées pour :

- **Développer et affiner les modèles conceptuels** : les données sur la géologie, les découvertes d'eau et les rendements de chaque nouveau forage permettent d'affiner en permanence le modèle conceptuel de la zone, c'est-à-dire la compréhension pratique de la présence et du mouvement des eaux souterraines dans les aquifères locaux.

- **Guider le choix des sites et la conception futurs** : la base de données croissante doit servir à orienter toutes les décisions futures en matière de choix de sites et de conception. Si la surveillance montre que les puits peu profonds dans une certaine formation géologique sont systématiquement défailants pendant la saison sèche, les interventions futures peuvent cibler dès le départ des aquifères plus profonds et plus résistants.
- **Créer des outils de planification et d'alerte précoce** : au niveau régional ou national, les données hydrogéologiques peuvent être compilées pour créer des outils de planification puissants (tels que des modèles régionaux des eaux souterraines, des cartes de la sécurité hydrique et de la sécheresse) ou pour définir des mesures liées aux risques climatiques (par exemple, un faible niveau des eaux souterraines détecté pendant une sécheresse pourrait déclencher un approvisionnement en eau par camion-citerne). Ces outils aident les décideurs politiques à identifier les zones vulnérables, à hiérarchiser les investissements et à fournir une alerte précoce en cas de pénurie d'eau.

## 4.2.2 Analyse avancée pour une gestion durable des eaux souterraines

À mesure que les ressources en eaux souterraines sont davantage exploitées ou soumises à des pressions, et que la planification à long terme nécessite des prévisions, il devient essentiel de passer à des outils d'analyse plus sophistiqués. Les données de surveillance constituent la base essentielle de ce travail. L'objectif de l'analyse avancée est d'acquérir une compréhension quantitative plus approfondie des ressources en eau afin d'assurer leur protection et leur viabilité à long terme.

La mobilisation de spécialistes issus d'organismes techniques gouvernementaux, d'universités ou de cabinets de conseil spécialisés peut s'avérer utile dans les scénarios suivants :

- **Prévision des impacts des changements climatiques** : comme les problèmes de baisse du niveau des eaux devraient s'aggraver avec l'impact des changements climatiques, il est possible d'évaluer la durabilité à long terme de l'aquifère dans différents scénarios, en particulier en ce qui concerne les changements dans les schémas de recharge et la fréquence des sécheresses.
- **Caractérisation des tendances à l'échelle de l'aquifère** : une tendance cohérente et statistiquement significative (par exemple, baisse du niveau statique de l'eau > 0,5 m/an ou augmentation constante de la salinité) est observée dans plusieurs puits de surveillance, ce qui nécessite une étude du bilan hydrique à l'échelle du bassin.
- **Étude des origines de la qualité de l'eau** : la source de la contamination persistante ou émergente (par exemple, salinité, arsenic, nitrate) n'est pas claire et nécessite une modélisation du transport des solutés afin d'identifier les voies de migration et de prévoir leur évolution future.

- **Évaluation des scénarios de développement futurs** : un nouveau besoin en eau à grande échelle (par exemple, irrigation, nouveau réseau d'approvisionnement en eau pour un camp de personnes déplacées, etc.) est prévu, et son impact à long terme sur l'aquifère et les utilisateurs existants doit être prédit de manière quantitative.
- **Optimisation de l'emplacement et de la conception des infrastructures** : de nouveaux forages à haut rendement sont nécessaires. Les données peuvent être analysées afin de minimiser les interférences avec les points d'eau existants ou de concevoir des mesures de protection contre les inondations basées sur une modélisation numérique/probabiliste plutôt que sur les seuls événements historiques.
- **Résolution des conflits liés à la répartition de l'eau** : des preuves objectives, basées sur des modèles, sont nécessaires pour arbitrer les conflits d'utilisation de l'eau entre différentes communautés ou différents secteurs et pour établir des limites de prélèvement équitables et durables.

Cette compréhension quantitative plus approfondie permet une gestion optimisée des ressources, une planification à long terme solide et la conception en toute confiance de grands projets d'infrastructure.

# Bibliographie

- Agence britannique pour l'environnement (2022). *Monthly water situation report*. Agence pour l'environnement. Disponible [ici](#)
- Ahmed, K.M. et al. (2016). *Guidelines for assessing the risk to groundwater from on-site sanitation*. British Geological Survey, Natural Environment Research Council (NERC), Keyworth, Royaume-Uni. Disponible [ici](#)
- Aqualinc Research Ltd (2014). *Marlborough District Council Infiltration Gallery Guidelines - Design, Construction, Operation & Maintenance* (Préparé pour le Marlborough District Council n° 14003/2). Disponible [ici](#)
- Ascott, M. et al. (2022). *Impacts of climate and land use change on groundwater quality in England: a scoping study*. British Geological Survey, Nottingham, Royaume-Uni [document WWW]. Disponible [ici](#) (consulté le 25/03/25)
- Association Sphère (2018). *Le manuel Sphère : La Charte humanitaire et les Standards minimum de l'intervention humanitaire*, 4<sup>e</sup> éd. Association Sphère, Genève, Suisse.
- Ball, P. (2001). *Drilled Wells*. Série de manuels sur l'approvisionnement en eau potable. Volume 6. SKAT (Centre suisse pour la coopération au développement dans les domaines de la technologie et de la gestion), Saint-Gall, Suisse. Disponible [ici](#)
- CARE Nederland (2012). *Resilient WASH systems in flood prone areas*. Disponible [ici](#)
- Carter, R. (2021). *Rural Community Water Supply: Sustainable Services for all*. Practical Action Publishing Ltd, Rugby, Royaume-Uni. Disponible [ici](#)
- Collins, S. (2000). *Hand-dug shallow wells*. Série de manuels sur l'approvisionnement en eau potable. Volume 5. SKAT (Centre suisse pour la coopération au développement dans les domaines de la technologie et de la gestion), Saint-Gall, Suisse. Disponible [ici](#)
- Dao, P.U. et al. (2024). *The impacts of climate change on groundwater quality: A review*. Science of the Total Environment. Volume 912, 2024, 169241. Disponible [ici](#)
- Davis, J. et Lambert, R. (2002). *Engineering in Emergencies. A Practical Guide for Relief Workers*. Deuxième édition. ITDG Publishing, 103–105 Southampton Row, Londres, Royaume-Uni. Disponible [ici](#)
- Driscoll, F.G. (1986). *Groundwater and Wells. A comprehensive study of groundwater and the technologies used to locate, extract, treat, and protect this resource*. Johnson Division, St Paul, Minnesota. Disponible [ici](#)
- Geyik, M.P. (1986). *FAO watershed management field manual: Gully control*. Cahier FAO conservation 13/2. FAO, Rome. Disponible [ici](#)
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (2022). « Élévation du niveau de la mer et implications pour les îles, les côtes et les communautés de faible altitude », dans : *L'océan et la cryosphère dans le contexte du*

*changement climatique*. Rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge University Press, Cambridge, p. 321-446. Disponible [ici](#)

- IGRAC (2008). *Ligne directrice sur la surveillance des eaux souterraines à des fins de référence générale* (rapport n° GP 2008-1). Centre international d'évaluation des ressources en eaux souterraines (IGRAC), Utrecht. Disponible [ici](#)
- Inter Aide (2015). *Rehabilitation of hand-dug wells: diagnostic and technical solutions* | Inter Aide. Sierra Leone. Disponible [ici](#)
- MacDonald, A., Davies, J., Calow, R. et Chilton, J. (2005). *Developing Groundwater: A guide for rural water supply*. Practical Action Publishing Ltd, Rugby, Royaume-Uni. Disponible [ici](#)
- Maddrell, S. (2018). *Sand Dams: A Practical & Technical Manual*. Excellent Development Limited. Disponible [ici](#)
- Meuli, C. et Wehrle, K. (2001). *Spring Catchment*. Manuals on Drinking Water Supply, volume 4. SKAT (Centre suisse pour la coopération au développement dans les domaines de la technologie et de la gestion). Disponible [ici](#)
- Misstear, B., Banks, D. et Clark, L. (2017). *Water Wells and Boreholes*, 2e éd. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, Royaume-Uni. Disponible [ici](#)
- Musche, F. *et al.* (2018). *A field study on the construction of a flood-proof riverbank filtration well in India – Challenges and opportunities*. International Journal of Disaster Risk Reduction. Volume 31, octobre 2018, p. 489-497. Disponible [ici](#)
- Njanike, J. (2024). *Borehole Drilling Supervision Capacity in Zimbabwe*. Rural Water Supply Network. - Blog. Disponible [ici](#)
- OMM (2024). *State of the Global Climate 2023*. Organisation météorologique mondiale. Disponible [ici](#)
- OMS (2024a). *Sanitary inspection packages – a supporting tool for the Guidelines for drinking water quality: small water supplies*. OMS. 15 février 2024. Disponible [ici](#)
- OMS (2024b). *Directives sur la qualité de l'eau de boisson : petits approvisionnements en eau*. Organisation mondiale de la Santé. Disponible [ici](#)
- Oxfam GB (2013). *Rain Water Harvesting Guidelines for Emergencies Water Supply*. Disponible [ici](#)
- PNUE (2022). *Water Quality Monitoring and Assessment of Groundwater: Technical Guidance Document*. Programme des Nations Unies pour l'environnement. Disponible [ici](#)
- Rambags, F., Raat, K., Leunk, I. et van den Berg, G. (2011). *Flood proof wells. Guidelines for the design and operation of water abstraction wells in areas at risk of flooding*. Disponible [ici](#)
- Ravenscroft, P et Lytton, L. (2022). *Practical Manual on Groundwater Quality Monitoring*. Banque mondiale, Washington. Disponible [ici](#)

- Robins, N. *et al.* (1997). *Final Report: Groundwater Management in Drought-Prone Areas of Africa* (rapport technique n° WC/97/57). British Geological Survey. Disponible [ici](#)
- Rohde, R. (2025). *Global Temperature Report for 2024*. Berkeley Earth. Disponible [ici](#)
- Sterrett, R.J. (2007). *Groundwater and Wells*, troisième édition. Johnson Screens. Disponible [ici](#)
- Taylor, R.G., Scanlon, B., Döll, P. *et al.* (2013). *Ground water and climate change*. *Nature Climate Change* 3, p. 322–329. Disponible [ici](#)
- UNESCO et ONU Eau (2020). *The United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*. Paris. UNESCO. Disponible [ici](#)
- UNICEF (2022). *New climate resilient facilities help prevent malnutrition in Jonglei State | UNICEF South Sudan*. Disponible [ici](#)
- Zhang, X. *et al.* (2022). *Drought propagation under global warming: Characteristics, approaches, processes, and controlling factors*. *Science of the Total Environment*. Volume 838, partie 2, 10 septembre 2022 156021. Disponible [ici](#)

# Annexe 1 : Liste de contrôle pour l'évaluation des forages

## 1. Informations générales

Date d'évaluation : (JJ/MM/AAAA)

Évaluation effectuée par :

Emplacement du forage (village/ville/communauté) :

Identifiant/nom du forage :

Coordonnées GPS :

Latitude

Longitude

Année de construction (si connue) :

L'eau est-elle actuellement disponible à partir du forage ?

Oui

Non

Si non, veuillez en indiquer la raison (par exemple, pompe défectueuse, niveau d'eau bas, etc.) :

Si oui, quel est le niveau statique de l'eau (NS) (en mètres sous le niveau du sol) :

Si oui, quel est le niveau dynamique de l'eau (ND) (en mètres sous le niveau du sol) :

Débit de pompage :

l/s

## 2. Examen des données et informations historiques

**Les documents suivants sont-ils disponibles pour examen ?**

Journal de forage (détails de construction, géologie, rendement) :

Oui

Non

Données historiques des essais de pompage :  Oui  Non

Rapports historiques sur la qualité de l'eau :  Oui  Non

Registres d'entretien (réparations, nettoyage, restauration des pompes) :  Oui  Non

Données historiques de surveillance du niveau d'eau :  Oui  Non

Le forage est-il affecté par un assèchement saisonnier ou des baisses importantes du niveau d'eau ?  Incertain  Oui  Non

Si oui, précisez votre réponse (par exemple, quand, à quelle fréquence, pendant combien de temps, etc.) :

### 3. Informations sur la communauté et utilisation de l'eau

Nombre estimé de ménages utilisant le forage :

Le forage est-il une source principale ou secondaire d'eau potable ?  Principale  Secondaire

La communauté dispose-t-elle d'autres sources d'eau ?  Oui  Non

Si oui, précisez votre réponse (type, fiabilité, problèmes de qualité) :

Le forage dessert-il des installations essentielles (par exemple, écoles, centres de santé) ?  Oui  Non

Si oui, précisez votre réponse :

Les membres de la communauté ont-ils signalé des changements dans le débit ou la disponibilité de l'eau (par exemple, réduction du débit, allongement du temps de pompage) ?  Oui  Non

Si oui, précisez votre réponse :

Pendant les saisons sèches/sécheresses, les membres de la communauté ont-ils signalé :

Une diminution de la disponibilité ou de la fiabilité de l'eau ?  Oui  Non

L'assèchement des forages à proximité ?  Oui  Non

Une augmentation du temps passé à aller chercher de l'eau ?  Oui  Non

Une pénurie ou un rationnement de l'eau ?  Oui  Non

Y a-t-il des conflits au sein de la communauté liés à ce forage ?  Oui  Non

La communauté est-elle consciente des risques de sécheresse et des mesures de conservation de l'eau ?  Oui  Non

Existe-t-il des plans communautaires de gestion de l'eau ou un comité de l'eau ?  Oui  Non

Si oui, décrivez brièvement la structure et l'efficacité :

#### 4. Étude sur les têtes de puits, les infrastructures de surface et l'assainissement

##### Hauteur du tubage :

Le sommet du tubage du forage se trouve-t-il à au moins 0,4 m au-dessus du niveau de crue le plus élevé connu/estimé ?  Oui  Non

Niveau de crue le plus élevé enregistré/estimé (en mètres au-dessus du sol) :

##### État des ouvrages de tête :

Les ouvrages de tête de la pompe/du forage sont-ils en mauvais état ou desserrés (par exemple, béton fissuré, joints défectueux, capuchon/boulons manquants) ?  Oui  Non

Si oui, précisez votre réponse :

### Plateforme/margelle :

Y a-t-il une margelle autour du forage ?

Oui

Non

Si une pompe manuelle est installée, le rayon de la plateforme/margelle est-il d'au moins 1,5 m à partir de la tête de puits ?

Oui

Non

Rayon réel (m) s'il est inférieur :

La margelle est-elle en bon état (par exemple, pas de fissures profondes, pas d'érosion en dessous) ?

NA

Oui

Non

### Drainage :

Le drainage est-il inadéquat, permettant à l'eau de s'accumuler/stagner autour de la tête de puits ou dans la zone source (par exemple, canal de drainage endommagé/bloqué, pente vers le puits) ?

Oui

Non

### État du tubage (partie visible) :

Le tubage visible est-il corrodé, endommagé ou fissuré ?

Oui

Non

Si oui, précisez votre réponse :

Y a-t-il des espaces visibles autour du tubage du forage au niveau du sol (suggérant des problèmes d'étanchéité sanitaire) ?

Oui

Non

### Conditions sanitaires et protection :

La zone située directement autour du joint/de la margelle du forage est-elle sale (par exemple, signes de pollution, déjections animales, eau stagnante) ?

Oui

Non

Une clôture ou une barrière de protection autour du puits/de la source est-elle manquante ou inadéquate (par exemple, cassée, portail non sécurisé), permettant l'accès aux animaux ?

NA

Oui

Non

### Sources potentielles de pollution :

Existe-t-il des infrastructures sanitaires (par exemple, latrines, fosse septique) à moins de 100 mètres du forage ?

Oui

Non

Si oui, distance approximative (m) et direction :

Y a-t-il d'autres sources de pollution à moins de 50 mètres (par exemple, défécation à l'air libre, enclos pour animaux, égouts à ciel ouvert, décharges, stockage de carburant) ?

Oui

Non

Si oui, décrivez le type, la distance (m) et la direction :

Y a-t-il un point d'entrée non protégé vers l'aquifère à moins de 100 mètres (par exemple, forage non couvert, puits creusé à ciel ouvert, puits abandonné) ?

NA

Oui

Non

Si oui, précisez votre réponse :

## 5. Système de pompage et état du puits

### Système de pompage :

Y a-t-il des signes visibles d'inefficacité ou de détérioration de la pompe (par exemple, bruits inhabituels, fuites, corrosion) ?

Oui

Non

Si oui, précisez votre réponse :

La pompe est-elle correctement dimensionnée pour le rendement du forage et la demande de la communauté ?

Incertain

Oui

Non

Le niveau de captage de la pompe est-il situé à une profondeur optimale (compte tenu du niveau statique de l'eau, de la position de la crépine, du rabattement potentiel) ?

Incertain

Oui

Non

**Inspection du fond du puits** (si possible/si les données sont disponibles) :

Une inspection par caméra a-t-elle été effectuée précédemment ou récemment ?  Oui  Non

Si oui, date :

Résultats (corrosion du tubage/de la crépine, fissures, obstructions) :

Y a-t-il une accumulation connue/suspectée de sédiments à l'intérieur du forage ?  Incertain  Oui  Non

La profondeur totale actuelle du trou de forage a-t-elle été mesurée et comparée au journal de forage d'origine ?  Oui  Non

Profondeur actuelle mesurée (m) :

Profondeur d'origine (m) :

**6. Performances du forage** (si elles ont été évaluées lors de cette inspection ou si des données récentes sont disponibles) :

Un test de pompage à débit constant a-t-il été effectué ?  Oui  Non

Date :

NS avant le test (m) :

Niveau de pompage de l'eau (PWL) à la fin du test (m) :

à un débit de pompage de (l/s ou m<sup>3</sup>/h) :

pendant une durée de (heures) :

Abaissement (m) (NS-PWL) :

Capacité spécifique ( $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$  ou  $\text{l}/\text{s}/\text{m}$ ) :

Transmissivité calculée/estimée (si disponible) ( $\text{m}^2/\text{jour}$ ) :

Le rendement du puits a-t-il diminué par rapport aux données de performance initiales ou aux essais précédents (comparez la capacité spécifique initiale et actuelle) ?

Incertain  Oui  Non

Le rendement actuel durable est-il suffisant pour répondre à la demande de la communauté ?

Incertain  Oui  Non

## 7. Qualité de l'eau

Les utilisateurs ont-ils signalé des changements dans le goût, l'odeur ou la couleur de l'eau ?

Oui  Non

Si oui, précisez votre réponse (changements saisonniers, après la pluie/une inondation, etc.) :

L'eau est-elle traitée avant d'être utilisée ?

- Pas de traitement
- Au niveau du forage
- En aval (ménages)

Si oui, précisez la ou les méthodes utilisée(s) (par exemple, ébullition, chloration, filtration, désinfection solaire, autre) :

**Résultats des tests sur le terrain** (si effectués pendant l'évaluation) :

Turbidité (NTU) :

Conductivité électrique (CE) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) :

pH:

Chlore résiduel libre (le cas échéant, mg/L) :

Température (°C) :

Autres tests sur le terrain :

Échantillon prélevé ?

Oui

Non

Oui (ID de l'échantillon) :

### Résultats des analyses en laboratoire :

**Paramètre testé :** *E. coli* ou coliformes thermotolérants (fécaux) (entourer)

Résultats

Unités

Paramètre supplémentaire (ajouter tous les paramètres supplémentaires nécessaires) :

Résultats

Unités

## 8. Résumé de l'évaluation et recommandations

Problèmes immédiats (nécessitant une attention urgente) :

**Mesures correctives nécessaires** (cochez toutes les cases applicables et précisez votre réponse) :

Étanchéité de la tête de puits (fixation de la pompe, joint autour du tubage) :

Amélioration du drainage autour de la tête de puits :

Reconstruction/réparation de la margelle :

Remplacement ou réparation du couvercle (éléments du bloc de montage/margelle) :

Élévation du tubage et de la plateforme (en raison du risque d'inondation) :

Réparation/remplacement/réglage de la pompe :

Nettoyage/réaménagement du trou de forage :

Traitement/amélioration de la qualité de l'eau nécessaire :

Amélioration de la clôture/protection :

Déplacement/atténuation des sources de pollution à proximité :

Enquête complémentaire (par exemple, vidéosurveillance, test de pompage détaillé, étude géophysique) :

Formation de la communauté à l'exploitation et à l'entretien/l'hygiène des puits :

Mise en œuvre d'un programme de surveillance du niveau d'eau :

Élaboration d'un plan communautaire de gestion/conservation de l'eau :

# Annexe 2 : Liste de contrôle pour l'évaluation des puits creusés

## 1. Informations générales

Date de l'évaluation (JJ/MM/AAAA) :

Évaluation effectuée par :

Emplacement du puits (village/ville/communauté) :

Identifiant/nom du puits :

Coordonnées GPS :

Latitude

Longitude

Année de construction (si connue) :

Profondeur totale (m) :

Diamètre interne (m) :

L'eau est-elle actuellement disponible dans le puits ?

Oui

Non

Si non, veuillez expliquer pourquoi (par exemple, pompe défectueuse, niveau d'eau bas, puits asséché) :

Si oui, quel est le niveau statique de l'eau (NS) (en mètres sous le niveau du sol) :

Si oui, quel est le niveau dynamique de l'eau (ND) (en mètres sous le niveau du sol) :

Débit de pompage :

l/s

## 2. Examen des données et informations historiques

**Les registres suivants sont-ils disponibles pour examen ?**

Enregistrements historiques du niveau d'eau :  Oui  Non

Enregistrements des tests de rendement précédents du puits :  Oui  Non

Rapports des tests de qualité de l'eau précédents :  Oui  Non

Enregistrements des travaux d'entretien ou de restauration antérieurs :  Oui  Non

Si oui :

Date(s) :

Travaux effectués :

Efficacité signalée :

Efficace  Partiellement efficace  Inefficace  Inconnue

## 3. Informations sur la communauté et utilisation de l'eau

Nombre estimé de ménages utilisant le puits :

Le puits est-il une source principale ou secondaire d'eau potable ?

Principale  
 Secondaire

Existe-t-il d'autres sources d'eau disponibles pour la communauté ?

Oui  Non

Si oui, précisez votre réponse (type, fiabilité, problèmes de qualité) :

Le puits dessert-il des installations essentielles (par exemple, écoles, centres de santé) ?

Oui

Non

Si oui, précisez votre réponse :

Les membres de la communauté ont-ils signalé des changements dans le débit ou la disponibilité de l'eau (par exemple, réduction du débit, allongement des temps de pompage, augmentation du temps passé à aller chercher de l'eau, pénuries ou rationnement de l'eau) ?

Oui

Non

Si oui, précisez votre réponse :

Heures de pointe pour la collecte (Remarque : la collecte nocturne peut indiquer une pénurie) :

#### 4. Structure et intégrité du puits

##### A. Tête de puits et couvercle :

Hauteur de la tête de puits (au-dessus du niveau du sol) (m) :

Le sommet de la tête de puits se trouve-t-il à au moins 0,4 m au-dessus du niveau de crue le plus élevé connu/estimé ?

Oui

Non

Niveau de crue le plus élevé enregistré/estimé (en mètres au-dessus du sol) :

Matériau de la tête de puits :

Béton

Brique

Pierre

Autre :

État de la tête de puits :

Bon

Passable

Mauvais

Défectueux

Domages spécifiques (décrire : fissures, érosion, tassement) :

Couvercle de puits présent :

Oui

Non

Si oui :

Matériau :

Béton

Métal

Bois

Plastique

Autre :

État :

Bon

Passable

Mauvais

Défectueux

Décrire : fissures, interstices, pourriture, rouille

Étanchéité :

Partielle

Oui

Non

Fixation sécurisée (empêche tout retrait/déplacement facile) :

Oui

Non

Trappe d'inspection présente (si séparée du couvercle principal) :

Oui

Non

## B. Revêtement du puits :

Matériau du revêtement :

Anneaux en béton

Béton coulé sur place

Brique

Pierre

Non revêtu

Autre :

État visible du revêtement (vu du haut, utiliser une lampe si possible) :

Bon

Passable

Mauvais

Défectueux

Défauts observés dans le revêtement (décrire l'emplacement et le degré de gravité) :

Fissures :

Aucune

Capillaire

Mineure (<5 mm)

Majeure (>5 mm)

Emplacement :

Déplacement / désalignement des anneaux/briques :  Oui  Non

Emplacement :

Signes d'infiltration à travers le revêtement (par exemple, jets d'eau, taches d'humidité) :  Oui  Non

Emplacement :

Effondrement partiel ou total :  Oui  Non

Décrire la profondeur/l'étendue :

La structure du puits est-elle suffisamment solide pour son utilisation actuelle ?  Oui  Non

S'il présente des dommages mineurs, peut-il être réparé ?  Oui  Non

S'il n'est pas revêtu, un revêtement (par exemple, des anneaux en béton) pourrait-il être utile ?  Oui  Non

### C. Margelle et drainage :

Margelle présente :  Oui  Non

Si oui :

Dimensions (largeur x longueur) (m) :  x

Matériau :

Béton

Brique

Pierre

Autre :

État :

Bon

Passable

Mauvais

Défectueux

Décrire : fissures, interstices, érosion sous-jacente

Pente adéquate pour le drainage (éloignée du puits, min. 1:50) :  Oui  Non

Canal de drainage présent (pour évacuer l'eau de l'aire de service) :  Oui  Non

Si oui, état :

Bon (dégagé)  Passable (partiellement obstrué)  Mauvais (obstrué/ endommagé)

Signes d'accumulation/de stagnation d'eau sur ou à proximité de la margelle/tête de puits :  Oui  Non

Puits d'infiltration ou point de rejet fonctionnel pour les eaux de drainage :  N/A  Oui  Non

#### D. Mesures de protection :

Clôture ou barrière de protection autour du puits :

Oui  Non  Partiellement

Si oui/partiellement, état :

Bon  Passable (nécessite des réparations)  Mauvais (inadéquat)

#### 5. Système de pompage de l'eau

Type de système de pompage :

Pompe manuelle  Pompe motorisée  Corde et seau  Treuil

Autre :

Fonctionnalité :

Entièrement fonctionnel  Partiellement fonctionnel  Non fonctionnel

Si partiellement fonctionnel, décrivez les problèmes :

Si pompe manuelle/ motorisée :

Marque/modèle (si connu) :

État de la pompe/fixation :

- Bon
- Fixation desserrée
- Fuite
- Corrosion

Problèmes spécifiques observés :

- Bruit excessif
- Difficulté de fonctionnement
- Faible rendement
- Autre :

La pompe/le système de levage est-il adapté au débit et à la profondeur du puits ?

- Incertain
- Oui
- Non

Besoins estimés en matière de réparation du système de levage :

## 6. Hydrogéologie, disponibilité de l'eau et rendement

### A. Disponibilité de l'eau et variations saisonnières :

L'eau est-elle actuellement disponible dans le puits ?  Oui  Non

Si non, raison principale :

- Puits asséché
- Pompe défectueuse
- Revêtement effondré
- Contamination
- Autre :

Le puits est-il affecté par l'assèchement saisonnier ?  Oui  Non

Si oui, précisez votre réponse (par exemple, quels mois, à quelle fréquence, durée) :

(Remarque : s'il n'est à sec que pendant certains mois, une restauration, par exemple un approfondissement, pourrait permettre un approvisionnement tout au long de l'année. S'il est à sec toute l'année, la restauration est peu probable ; envisagez un nouveau puits.)

Le niveau des eaux souterraines fluctue-t-il de manière significative entre les saisons ?  Incertain  Oui  Non

Y a-t-il des signes d'infiltration/de recharge rapide après la pluie ?  Incertain  Oui  Non

### B. Rendement du puits :

Le rendement du puits aurait-il diminué récemment ou au fil du temps ?  Incertain  Oui  Non

Si aucun registre officiel du rendement n'est disponible, consultez la communauté :

Estimation du nombre de seaux (préciser la taille) (L) :

Généralement tirés par heure/jour :

Saison humide :

Saison sèche :

Un test de pompage/vidange de courte durée a-t-il été effectué récemment pour évaluer le rendement actuel ?  Oui  Non

Si oui, résultats (rendement en L/min ou L/h, rabattement en m) :

Si non/incertain, envisagez d'en effectuer un si le rendement est préoccupant.

### C. Régions sujettes à la sécheresse : faisabilité de l'approfondissement et caractéristiques de l'aquifère

Des roches ont-elles été rencontrées lors de l'excavation initiale (si connu) ?  Incertain  Oui  Non

Si non, quelle est la nature du matériau au-dessus du substrat rocheux (par exemple, sable, argile, gravier) :

Remarque : l'approfondissement dans des matériaux à faible perméabilité comme le limon ou l'argile peut ne pas augmenter significativement le débit.

Si oui, le puits peut-il être approfondi à l'aide d'équipements spécialisés (par exemple, forage, dynamitage - tenir compte de la sécurité/du coût) ?  Oui  Non

La lithologie (types de sol/roche) et la stabilité des formations plus profondes ont-elles été évaluées (par exemple, à partir des registres des puits voisins, des connaissances locales) ?

Oui  Non

Si non, envisagez d'effectuer des recherches à partir des registres de forages/ puits à proximité ou de données géophysiques. Ou effectuez des forages d'essai (si un approfondissement est envisagé) afin de déterminer si des zones aquifères supplémentaires sont susceptibles d'être présentes à une plus grande profondeur, ou si un approfondissement supplémentaire pourrait rencontrer une roche imperméable (sous-sol hydrogéologique) ? (Remarque : l'approfondissement de puits creusés peut être moins rentable que la construction d'un nouveau puits, en particulier dans des formations rocheuses ou instables. L'approfondissement d'un puits déjà instable est dangereux).

#### D. Zones inondables : évaluation des risques d'inondation

Le puits aurait-il été submergé lors d'inondations passées ?

Oui  Non

Si oui :

Hauteur maximale enregistrée/observée de l'inondation à l'emplacement du puits (en mètres au-dessus du sol) :

Dernière inondation importante (mois/année) :

Durée typique des inondations à l'emplacement du puits (jours) :

Le puits est-il accessible pendant les inondations habituelles ?

Totalement  
 Partiellement  
 Inaccessible

Combien de temps la qualité de l'eau reste-t-elle généralement affectée après une inondation (jours) ?

#### 7. Évaluation des risques de contamination

Distance jusqu'aux latrines/installations sanitaires les plus proches (m) :

Type :

Distance jusqu'au cours d'eau le plus proche (rivière, étang, canal) (m) :

S'agit-il d'une source de pollution ?  Oui  Non

Autres sources potentielles de pollution dans un rayon de 50 m (par exemple, enclos pour animaux/zone d'élevage, terres agricoles, stockage de carburant, cimetières, activité industrielle, zones de défécation à l'air libre) :

Le puits est-il généralement situé en amont ou en aval de la plupart des sources potentielles de contamination à proximité ?

En amont  
 En aval  
 Incertain

Le sol environnant est-il très perméable (par exemple, sableux, graveleux), ce qui augmente le risque d'infiltration ?  Incertain  Oui  Non

### Qualité de l'eau

Les utilisateurs ont-ils signalé des changements dans le goût, l'odeur ou la couleur de l'eau ?  Oui  Non

Si oui, précisez votre réponse (changements saisonniers, après la pluie/une inondation, etc.) :

L'eau est-elle traitée avant d'être consommée ?

Pas de traitement  Au niveau du forage  En aval (ménage)

Si oui, précisez la ou les méthodes utilisée(s) (par exemple, ébullition, chloration, filtration, désinfection solaire, autre) :

Résultats des tests sur le terrain (si effectués pendant l'évaluation) :

Turbidité (NTU) :

Conductivité électrique  
(CE) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) :

pH:

Chlore résiduel libre (le  
cas échéant, mg/L) :

Température ( $^{\circ}\text{C}$ ) :

Autres tests sur le terrain :

Échantillon prélevé ?

Oui

Non

Oui (ID de l'échantillon) :

**Résultats des analyses en laboratoire :**

**Paramètre testé :** *E. coli* ou coliformes thermotolérants (fécaux) (entourer)

Résultats

Unités

Paramètre supplémentaire (ajouter tous les paramètres supplémentaires nécessaires) :

Résultats

Unités

## 8. Résumé de l'évaluation et recommandations

### A. État général du puits :

- Bon (bien entretenu, problèmes mineurs)
- Passable (fonctionnel, nécessite quelques réparations)
- Mauvais (problèmes importants, affectant l'utilisation/la sécurité)
- Défectueux (inutilisable/dangereux)

### B. Principaux problèmes identifiés :

### C. Potentiel et priorité de restauration :

La restauration est-elle considérée comme faisable ?

Oui  Non

Raison si non :

Priorité de restauration :

- Urgente (critique pour la santé/l'accès)
- Élevée
- Moyenne
- Faible

Complexité estimée de la restauration :

- Mineure (réparations simples)
- Modérée (main-d'œuvre qualifiée, certains matériaux)
- Majeure (reconstruction/équipement importants)

**D. Mesures correctives recommandées (cochez toutes les cases applicables et précisez vos réponses) :**

Réparation/reconstruction de la tête de puits

Matériaux :

Conception :

Remplacement/réparation du couvercle

Matériaux :

Étanche :

Oui  Non

Sécurisé:

Oui  Non

Réparation/reconstruction du revêtement

Type :

Profondeur (m) :

Méthode :

Installation d'un nouveau revêtement dans un puits non revêtu

Type :

	Profondeur (m) :	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Construction/réparation d'une margelle	Dimensions :	<input type="text"/>
	Pente :	<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non
	Matériau :	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Amélioration du drainage	Canal :	<input type="text"/>
	Puits d'infiltration :	<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non
<input type="checkbox"/> Réparation/remplacement du système de pompage de l'eau	Type :	<input type="text"/>
	Pièces :	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Nettoyage/désinfection du puits	Méthode :	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Approfondissement du puits	Profondeur estimée (m) :	<input type="text"/>
	Méthode :	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Mesures de protection des sources	Déplacement des sources :	<input type="text"/>
	Amélioration des barrières :	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Traitement de la qualité de l'eau nécessaire	À la source :	<input type="text"/>
	Au niveau des ménages :	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Enquête complémentaire nécessaire (par exemple, test de pompage détaillé, étude géophysique, analyse complète de la qualité de l'eau) :		<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Envisager l'abandon et la construction d'une nouvelle source d'eau (si la restauration n'est pas viable)		

# Annexe 3 : Liste de contrôle pour l'évaluation des sources

## 1. Informations générales

Identifiant / nom de la source :

Emplacement (village/région) :

Date d'évaluation (JJ/MM/AAAA) :

Évaluation effectuée par :

Coordonnées GPS : Latitude

Longitude

Altitude (en. mètres au-dessus du niveau de la mer) :

Année de construction/protection (si connue) :

Nombre approximatif de ménages utilisant la source :

## 2. Débit de la source et disponibilité de l'eau

### A. Situation actuelle et débit

L'eau est-elle actuellement disponible à la source ?

Oui

Non

Si non, veuillez en indiquer la raison (par exemple, obstruction, assèchement, composant défectueux) :

Débit actuel (L/s ou L/min) :

Méthode (par exemple, méthode du seau, déversoir à encoche en V) :

Le débit de la source aurait-il diminué récemment ou au fil du temps ?

Incertain  Oui  Non

## B. Variations saisonnières et fiabilité

La source est-elle connue pour être saisonnière ou pour avoir un débit considérablement réduit ?

Incertain  Oui  Non

Si oui, précisez votre réponse (par exemple, quels mois, signalements par la communauté) :

Cette source est-elle alimentée par une nappe phréatique peu profonde ou directement liée aux précipitations (ce qui la rend plus vulnérable à la sécheresse) ?

Incertain  Oui  Non

La source est-elle affectée par les inondations ?

Incertain  Oui  Non

Si oui, précisez votre réponse (par exemple, submersion, changements dans la qualité de l'eau, fréquence) :

## 3. Structure de protection (caisson de source / mur de soutènement)

### A. État général

La source dispose-t-elle d'une structure de protection fonctionnelle (par exemple, caisson de source, mur de soutènement) ?

Oui  Non

Si non, décrivez toute mesure de protection actuelle :

Matériau de la structure :

Béton       Brique       Pierre       Plastique

Autre :

### B. Intégrité structurelle et accès

Les murs, le fondement et le couvercle sont-ils exempts de fissures visibles, de fuites ou d'autres dommages ?  Oui  Non

Y a-t-il des signes d'érosion ou d'affaiblissement des fondations ?  Oui  Non

Le couvercle de la trappe d'inspection est-il présent, en bon état et bien fixé ?  Oui  Non

Y a-t-il des traces de contaminants à l'intérieur du caisson de source (par exemple, animaux, déjections, sédiments, débris) ?  Oui  Non

Si oui, précisez votre réponse :

Faut-il augmenter le volume de stockage du réservoir (pour gérer les pics de demande ou ralentir la recharge) ?  Incertain  Oui  Non

### C. Système de captage, de sortie et de ventilation

Les tuyaux de captage sont-ils exempts de sédiments ou de débris ?  Oui  Non

Y a-t-il un tuyau de trop-plein en état de fonctionnement et exempt d'obstructions ?  Oui  Non

La sortie de trop-plein est-elle protégée par un grillage pour empêcher l'entrée de vermine ?  Oui  Non

Le trop-plein est-il dirigé vers un endroit sûr et résistant à l'érosion ?  Oui  Non

Les événements d'aération sont-ils présents et protégés par un grillage afin d'empêcher l'entrée de contaminants ?

Oui

Non

Toutes les pénétrations de tuyaux dans le caisson sont-elles scellées et étanches ?

Oui

Non

#### 4. Zone de captage et protection des sources

##### A. Étude des sources de contamination

Distance jusqu'aux latrines/installations sanitaires les plus proches (m) :

Sont-elles situées en amont ?

Oui

Non

Autres sources de pollution visibles à moins de 30 mètres (par exemple, élimination des déchets, défécation en plein air, pâturage/enclos pour animaux, terres agricoles [utilisation de pesticides/engrais]) ?

Oui

Non

Si oui, précisez votre réponse :

Existe-t-il des points d'entrée non protégés vers l'aquifère à moins de 100 mètres (par exemple, puits non scellé, carrière) ?

Oui

Non

##### B. Drainage et clôtures

Y a-t-il un fossé de dérivation des eaux pluviales fonctionnel au-dessus/autour de la source ?

Oui

Non

Un mauvais drainage de surface provoque-t-il une accumulation d'eau autour du puits ?

Oui

Non

Existe-t-il une clôture ou une barrière de protection suffisante pour empêcher l'accès au bétail/aux personnes ?

Oui

Non

### C. Contexte géologique

Observations sur la géologie locale (type de sol, formations rocheuses) :

La couche de recouvrement (couche de sol/roche au-dessus de l'aquifère) est-elle suffisamment épaisse et peu perméable (par exemple, argileuse) pour agir comme un filtre naturel ?

Incertain  Oui  Non

## 5. Qualité de l'eau

### A. Évaluation sur place

Perception de l'utilisateur : Des problèmes ont-ils été signalés concernant le goût, l'odeur ou l'apparence ?

Aspect visuel :

Clair  
 Légèrement trouble  
 Trouble

Odeur :

Aucune  
 Légère  
 Forte

Si la réponse est forte, précisez votre réponse :

Température de l'eau (°C) :

Est-elle stable ?

Oui  Non

### B. Résultats des tests sur le terrain :

pH :

Conductivité électrique (CE) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) :

Turbidité (NTU) :

Échantillon prélevé en laboratoire ?

Oui

Non

Oui, date :

Microbiologique (E. coli) : Résultat

Nitrates : Résultat

Autres : Résultat

### C. Traitement de l'eau

Un traitement de l'eau est-il actuellement appliqué ?

Oui

Non

Si oui, décrivez le traitement à la source ou au niveau des ménages :

## 7. Évaluation globale et recommandations

### A. Résumé des points clés

## B. Mesures correctives recommandées

### Structure de protection :

- Réparer/reconstruire le caisson de source
- Réparer/remplacer le couvercle d'inspection
- Nettoyer l'intérieur du caisson de source

### Système de captage/de sortie :

- Nettoyer/déboucher les tuyaux de captage ou de trop-plein
- Protéger la sortie de trop-plein contre les nuisibles
- Améliorer le point de décharge de trop-plein (contrôle de l'érosion)
- Refermer les passages de tuyaux

### Protection du bassin versant et des sources :

- Construire/réparer le fossé de dérivation des eaux pluviales
- Construire/réparer les clôtures de protection
- Traiter/déplacer les sources de contamination à proximité

### Qualité et gestion de l'eau :

- Effectuer un suivi plus approfondi de la qualité de l'eau
- Mettre en œuvre/améliorer le traitement de l'eau
- Mettre en place une surveillance régulière du débit
- Dispenser une formation à la communauté (exploitation et maintenance, hygiène)

