INSTITUT DE GESTION DES EAUX SOUTERRAINES

Cadre de la SADC pour la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines

Avril 2019

igrac

UFS
UV

Le présent rapport découle du projet intitulé « Renforcement des capacités pour la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines dans les États membres de la SADC » commandé par l'Institut de gestion des eaux souterraines de la Communauté de développement de l'Afrique australe (SADC-GMI) et exécuté par le Centre international d'évaluation des ressources en eaux souterraines (IGRAC) et l'Institut d'études des eaux souterraines (IGS).

INSTITUT DE GESTION DES EAUX SOUTERRAINES DE LA SADC (SADC-GMI)
Dean Street, University of the Free State
205 Nelson Mandela Drive,
Bloemfontein, 9300
Afrique du Sud
E-mail info@sadc-gmi.org Website www.sadc-gmi.org

Équipe de projet :
Geert-Jan Nijsten (chef d'équipe

), IGRAC Arnaud Sterckx, (chercheur),
IGRAC Modreck Gomo, (chercheur),
IGS Eelco Lukas (chef d'équipe adjoint),
IGS

© SADC-GMI, 2019
Encadrés, tableaux, figures, cartes, photos et illustrations tels que précisés

Le présent document est couvert par une licence internationale Creative Commons Attribution-ShareAlike (CC BY-SA).
Voir https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode

Ce rapport peut être consulté sur le site internet de la SADC-GMI à l'adresse : www.sadc-gmi.org

Citation : SADC-GMI, IGRAC, IGS (2019). Cadre de la SADC pour la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines. SADC - GMI report : Bloemfontein, Afrique du Sud.

La désignation des entités géographiques, l'utilisation d'un nom quelconque dans cette publication et la présentation de la documentation n'impliquent l'expression d'aucune opinion de la part de la SADC- GMI, de l'IGRAC ou de l'IGS concernant le statut juridique d'un pays, d'un territoire ou d'une région de son autorité, ou concernant la délimitation de ses frontières ou limites.

Rédaction et mise en page : Centre de recherche et de documentation de l'Afrique australe (SARDC)

Table des matières

Tableaux iv
Figures iv
Encadrés v
Acronymes vi
Remerciements vii
Résumé analytique viii

1 Introduction 1
1.1 Raison d'être du cadre de la SADC sur la collecte et la gestion des données 1
1.2 Objectifs et champ d'application du cadre 2
1.3 Position du cadre par rapport aux processus régionaux 4
1.4 Public cible du cadre 6
1.5 Développement du cadre 6
1.6 Plan du rapport 7

2 Besoins en données pour l'évaluation et la gestion intégrées des eaux souterraines 9
2.1 Introduction 9
2.2 Besoins en données 10
2.3 Messages principaux 12

3 Données essentielles relatives à la localisation, au forage et aux essais des puits 13
3.1 Introduction 13
3.2 Données pertinentes sur l'emplacement, le forage et les essais des puits 13
3.3 Stratégies visant à encourager la participation des parties prenantes à l'obtention des données essentielles 19
3.4 Messages principaux 21

4 Aspects relatifs à l'organisation et planification de la surveillance des eaux souterraines 22
4.1 Introduction 22
4.2 Objectifs et échelles de la surveillance des eaux souterraines 22
4.3 Élaboration d'un programme de surveillance 26
4.4 Évaluation des programmes de surveillance existants 35
4.5 Surveillance communautaire des eaux souterraines 36
4.6 Messages principaux 37

5 Assurance et contrôle de la qualité des données 39
5.1 Introduction 39
5.2 Mesures générales visant à réduire les erreurs et à améliorer la cohérence de la collecte des données 39
5.3 Contrôle et assurance de la qualité du Bureau 42
5.4 Messages principaux 44

6 Besoins en données 46
6.1 Introduction 46
6.2 Concepts de base de données et fonctionnalités importantes 47
6.3 Option de base de données d'un tableur 50
6.4 Base de données relationnelle - Option bureau 51
6.5 Base de données relationnelle - Option serveur 53
6.6 Messages principaux 55

7 Accès aux données et leur partage **56**
7.1 Introduction *56*
7.2 L'importance du partage des données et des informations *56*
7.3 Partage intelligent des données *58*
7.4 Messages principaux *63*

8 Convertir les données en informations **64**
8.1 Introduction *64*
8.2 Qu'est-ce qu'une information pertinente sur les eaux souterraines ? *64*
8.3 Organiser l'analyse et l'interprétation des données *66*
8.4 Cibler le bon public *66*
8.5 Réévaluer et améliorer la collecte et la gestion des données *67*
8.6 Messages principaux *67*

9 Planification budgétaire **68**
9.1 Introduction *68*
9.2 Emplacement, forage et essais des puits *68*
9.3 Surveillance des eaux souterraines *70*
9.4 Gestion des données *74*
9.5 Initiatives de collecte de fonds *75*
9.6 Messages principaux *76*

10 Aspects institutionnels nationaux et transfrontaliers **77**
10.1 Introduction *77*
10.2 Répartition des rôles au niveau national *77*
10.3 Accords transfrontaliers et internationaux *78*
10.4 Messages principaux 81

Références **82**

Annexes **A1**
Annexe A Procédures applicables au choix de l'emplacement des puits de forage *A1*
Annexe B Procédures et supervision des forages de puits *B1*
Annexe C Essais de forage *C1*
Annexe D Applications de téléphonie mobile pour la collecte de données sur les eaux souterraines *D1*
Annexe E Lectures recommandées *E1*

Tableaux

Tableau 2.1 Données devant être collectées aux fins de l'évaluation des aquifères transfrontaliers 11

Tableau 3.1 Étapes du processus d'implantation d'un forage avec les données et les informations recueillies à chaque 14

Tableau 3.2 étape Étapes du processus de forage avec les données et les informations recueillies à chaque étape. 17

Tableau 3.3 Un résumé des principales étapes et attentes des tests de pompage de l'aquifère 19

Tableau 4.1 Classification des réseaux de surveillance des eaux souterraines en fonction des objectifs de surveillance 24

Tableau 4.2 Exemple de besoins en matière de données provenant de différentes sources de données pour des objectifs 31

Tableau 4.3 spécifiques
Examens en vue de conserver ou de retirer un puits d'un réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines 36

Tableau 4.4 Examens relatifs à la modification de la fréquence d'échantillonnage des eaux souterraines 36

Tableau 5.1 Exemples de lignes directrices sur la collecte de données sur les eaux souterraines 40

Tableau 5.2 Rôles des acteurs impliqués dans les processus de collecte de données sur les eaux souterraines 42

Tableau 6.1 Aperçu des fonctionnalités de la base de données et des exigences organisationnelles pour les différentes options de bases de données. 54

Tableau 9.1 Principaux aspects à prendre en compte lors de l'évaluation du coût d'une étude géophysique pour le choix de l'emplacement de sites de forage. 69

Tableau 9.2 Principaux aspects à prendre en compte lors du calcul du coût d'un forage. 69

Tableau 9.3 Principaux aspects à prendre en compte lors de l'établissement du coût des tests de forage 70

Tableau 9.4 Exemple de tableau servant au calcul des investissements pour différentes options du programme de surveillance 71

Tableau 9.5 Exemple de tableau destiné au calcul des coûts annuels de différentes options du programme de surveillance 72

Tableau 9.6 Principaux aspects à prendre en compte lors de l'établissement du coût de l'échantillonnage 72

Tableau 9.7 Principaux aspects à prendre en compte lors du calcul du coût relatif à la surveillance du niveau des eaux souterraines 73

Tableau 9.8 Principaux aspects à prendre en compte lors du calcul du coût relatif à la surveillance de l'utilisation de l'eau souterraine 74

Tableau 9.9 Coûts liés à l'utilisation d'une option de fichier de stockage de données unique 74

Tableau 9.10 Coûts liés à l'utilisation d'une option de stockage des données sur un serveur SQL 75

Figures

Figure 1.1 Position du Cadre dans les instruments existants en matière d'eau souterraine de la SADC 3

Figure 1.2 Aperçu du cadre 8

Figure 2.1 Services relatifs aux eaux souterraines 10

Figure 3.1 Exemple de log lithologique d'un forage et de modèle hydrogéologique conceptuel, interprétés à partir des résultats du forage. 16

Figure 4.1 Synergies entre les différents programmes de surveillance 25

Figure 4.2 Schéma pour la conception d'un programme de surveillance des eaux souterraines 28

Figure 4.3 Profils du niveau des eaux souterraines dans deux aquifères sous-jacents 30

Figure 4.4 Facteurs à prendre en compte pour déterminer la fréquence de la surveillance du niveau des eaux souterraines 32

Figure 5.1 Ordinogramme des contrôles de qualité dans le cadre du processus de gestion des données 44

Figure 6.1 Modèle conceptuel du système de gestion des données sur les eaux souterraines 46

Figure 6.2 Exemple de structure de base de données en MS Access avec des relations entre les différentes tables d'une base de données sur les eaux souterraines. 48

Figure 6.3 Exemple d'une base de données dans MS Access, montrant différentes tables avec certaines des données. Les tableaux sont liés par l'identifiant « SiteName » 48

Figure 7.1 Différents niveaux d'accès aux données, les cercles représentant les groupes de parties prenantes qui ont un accès facile. 59

Figure 7.2 Aperçu des principales licences Creative Common 60
Figure 7.3 Aperçu schématique de l'échange de données entre deux organisations utilisant les normes et protocoles OGC 61
Figure 7.4 Exemples d'applications de partage de données sur les eaux souterraines dans la SADC 63
Figure 8.1 Le cadre d'analyse DPSIR (forces motrices - contraintes - état - impact - réponse), adapté à la gestion des ressources en eau souterraine 65
Figure 8.2 Formes choisies de présentation des données et informations sur les eaux souterraines pour des utilisateurs ciblés 66
Figure 8.3 Cercle vicieux dans le cadre de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines 67
Figure 10.1 Carte des bassins fluviaux internationaux et des aquifères transfrontaliers de l'UE. Région de la SADC

Encadrés

Encadré 1.1 Définition des termes 4
Encadré 1.2 Gouvernance des eaux souterraines : principales lacunes, définition et aspects de la gestion des données
Encadré 1.3 Déclarations de politique de la SADC la gestion de l'information relatives aux ressources en eau 5 6
Encadré 3.1 Identifiants uniques pour les données de l'implantation, du forage et des essais des puits de forage. 15
Encadré 3.2 Problèmes potentiels dans l'enregistrement de l'emplacement des forages 18
Encadré 4.1 Exemples d'objectifs de surveillance des eaux souterraines 26
Encadré 4.2 Réseau national de surveillance des eaux souterraines des États-Unis – Inspiration pour un réseau de surveillance des eaux souterraines à l'échelle de la SADC 26
Encadré 4.3 Description de différentes étapes du développement d'un programme de surveillance des eaux souterraines 29
Encadré 5.1 Garanties de qualité de base pour les mesures du niveau des eaux souterraines 43
Encadré 6.1 Exigences minimales requises pour insérer correctement un site (forage) dans la base de données 49
Encadré 7.1 Reconnaissance mondiale de l'importance de l'accès des parties prenantes aux données et informations environnementales 56
Encadré 7.2 Données c. informations 57
Encadré 7.3 Aperçu des logiciels gratuits pour le stockage, le partage en ligne et la visualisation des données géospatiales. 62
Encadré 10.1 Un exemple de coopération transfrontalière dans la SADC : le système aquifère transfrontière de Stampriet (STAS) 81

Acronymes

ACWI	Comité consultatif sur l'information relative à l'eau
AFD	Agence Française de Développement
CRD	Prélèvement à taux constant
DPSIR	Cadre forces motrices - contraintes - état - impact - réponse
AEE	Agence européenne pour l'environnement
UE	Union européenne
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FEC	Conductivité électrique du fluide
FEM	Fonds pour l'environnement mondial
GGRETA	Projet « gouvernance des ressources en eaux souterraines dans les aquifères transfrontaliers »
GMI	Institut de gestion des eaux souterraines
GPS	Système de positionnement mondial
GSM	Système mondial de communications mobiles
GWdataCoM	Collecte et gestion des données sur les eaux souterraines
GWHC	Comité sur l'hydrologie des eaux souterraines
GWML	Langage de balisage des eaux souterraines
AIH	Association internationale des hydrogéologues
EBI	Erreur de la balance ionique
TICT	Technologies de l'information et de la communication
IGRAC	Centre international d'évaluation des ressources en eaux souterraines
IGS	Institut d'études des eaux souterraines
PHI	Programme hydrologique international
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
MCCM	Mécanisme de coopération multi-pays
ONG	Organisation non gouvernementale
RNSES	Réseau national de surveillance des eaux souterraines
OGC	Open Geospatial Consortium
ORASECOM	Commission de la rivière Orange-Senqu
AQ	Assurance qualité
QC	Contrôle de la qualité
OBF	Organismes de bassin fluvial
SADC	Communauté de développement de l'Afrique australe
SDC	Agence suisse pour le développement et la coopération
IDS	Infrastructure de données spatiales
SOGW	Sous-comité sur les eaux souterraines
STAS	Système aquifère transfrontière de Stampriet
SWCI	Institution en charge des cours d'eau partagés
TBA	Aquifère transfrontalier
SDT	Solides dissous totaux
MT	Mercator transverse
UFS	Université du Free State
UNECE	Commission économique des Nations unies pour l'Europe
UNESCO	Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture
UNICEF	Fonds international d'urgence des Nations unies pour l'enfance
UPS	Alimentation électrique sans coupure
USEPA	Agence américaine de protection de l'environnement
WMS	Service de cartes Web
WRC	Commission de la recherche sur l'eau
WSCU	Unité de coordination du secteur de l'eau

Remerciements

L’élaboration du cadre de la SADC pour la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines a nécessité une forte collaboration de tous les États membres de la SADC à différents niveaux.

Les auteurs remercient sincèrement les membres du **sous-comité d'hydrogéologie de la SADC** d'avoir identifié le besoin de ce cadre sur la base de nombreux défis qu'ils rencontrent dans leurs pays respectifs. Sans l'aide et le soutien dédiés des membres du sous-comité d'hydrogéologie de la SADC qui servent également de points focaux pour la mise en valeur des eaux souterraines dans leurs pays respectifs, cet exercice n'aurait pas été accompli. À cet égard, nous remercions tout particulièrement M. Manuel Quintino, Angola; M. Kedumetse Keetile, Botswana; M. Cyrille Masamba, République démocratique du Congo; M. Trevor Shongwe, Royaume d'eSwatini, Mme Christinah Makoae, Lesotho; M. Luciano Andriavelojaona, Madagascar; Mme Zione Uka, Malawi; M. Pokhun Rajeshwar, Maurice; Mme Ana Isabel Fotine, Mozambique; Mme Maria Amakali, Namibie; M. Frankie Jose Dupres, Seychelles; M. Zacharia Maswuma, Afrique du Sud; Mme Mwanamkuu Mwanyika, République-Unie de Tanzanie; M. Frank Ngoma, Zambie; et M. Robert Mutepfa, Zimbabwe

En outre, les auteurs remercient tous les autres professionnels des **États membres** qui ont contribué au projet pour leurs idées et commentaires, en particulier les 145 professionnels de diverses organisations qui ont contribué au projet global par le biais d'entretiens, ainsi que les hauts fonctionnaires des États membres et les jeunes professionnels impliqués tout au long du projet et dans les ateliers.

Nous sommes particulièrement reconnaissants à l'équipe de l'**Institut de gestion des eaux souterraines de la SADC**, composée de M. James Sauramba, directeur exécutif, M. Brighton Munyai, spécialiste principal des eaux souterraines, M. Thokozani Dlamini, spécialiste de la communication et de la gestion des connaissances logistiques, Mme Nyakallo Khoabane, responsable de l'administration et des finances, et Mme Mampho Ntsheke, responsable des subventions et des achats, pour avoir rendu possible ce projet et pour leurs contributions techniques et logistiques.

La contribution de toutes les institutions et de tous les individus qui ont soutenu le projet à travers des idées et des commentaires et qui n’ont peut-être pas été nommément mentionnés est grandement appréciée

RÉSUMÉ ANALYTIQUE

Au moins 70 pour cent de la population de l'Afrique australe dépendent des eaux souterraines comme principale source d'approvisionnement eau pour la boisson, l'usage domestique et le soutien aux activités de subsistance. Les eaux souterraines présentent une vaste gamme d'applications importantes pour l'alimentation en eau des zones urbaines, d'irrigation, d'abreuvement du bétail et à des fins industrielles. Elles fournissent également un débit de base aux rivières et soutiennent les écosystèmes.

La demande en eau devrait augmenter en raison de la croissance démographique, de l'évolution des modes de vie et du climat. Si elles sont bien gérées, les eaux souterraines d'Afrique australe constituent une ressource qui pourrait garantir un approvisionnement en eau à long terme qui permettra de répondre aux demandes croissantes dues à la variabilité climatique prévue. Il y a plus d'aquifères transfrontaliers en Afrique australe que de bassins fluviaux transfrontaliers.

Bien que les eaux souterraines soient une ressource abondante dans la région, leur potentiel reste limité par la quantité restreinte de données sur les aspects de disponibilité, de qualité, de quantité et de prélèvement. La capacité limitée de prédire le comportement hydrogéologique et la mise en valeur des ressources en eau de manière suffisamment détaillée sur de longues périodes de temps affectent la mesure dans laquelle les eaux souterraines en tant que ressource sont appréciées et donc gérées. La collecte et la gestion appropriées et adéquates des données sur les eaux souterraines sont donc cruciales pour une gestion efficace des eaux souterraines.

L'évaluation réalisée par le Centre international d'évaluation des ressources en eaux souterraines et l'Institut d'études des eaux souterraines de l'Université du Free State en 2017/2018 sur l'état de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines dans la SADC confirme les défis auxquels la région est actuellement confrontée. Les contraintes comprennent notamment la limitation des ressources humaines, des équipements et des capacités financières adéquates pour la collecte, l'analyse, la gestion, la récupération et le partage des données ; l'incohérence dans la collecte des données et le contrôle de qualité de routine ; le stockage des données sous différents formats et la difficulté d'accès, d'utilisation ou d'interprétation des données.

Il s'avère que, bien que des politiques, des stratégies et des lignes directrices techniques sur la collecte de données sur les eaux souterraines soient disponibles dans la région de la SADC, il est nécessaire de relier les politiques aux lignes directrices techniques existantes qui ne sont pas utilisées efficacement en raison de l'absence d'une orientation claire sur la façon de les utiliser. Il n'existe pas de cadre organisationnel et de planification approprié pour l'utilisation des lignes directrices techniques afin de mettre en œuvre les politiques et stratégies existantes sur les ressources en eau, y compris les eaux souterraines. Par conséquent, le cadre de la SADC pour la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines sert d'instrument qui entraîne la mise en œuvre des politiques et des stratégies en utilisant les lignes directrices techniques existants.

Le Cadre s'adresse aux fonctionnaires qui jouent un rôle de coordination dans la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines. Il s'agit généralement de professionnels de haut niveau qui coordonnent les techniciens de terrain et interagissent avec les gestionnaires et les directeurs de départements.

L'objectif général du cadre est de **fournir des structures d'organisation et de planification pour la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines de manière stratégique, innovante et rentable.** Les objectifs spécifiques sont les suivants :

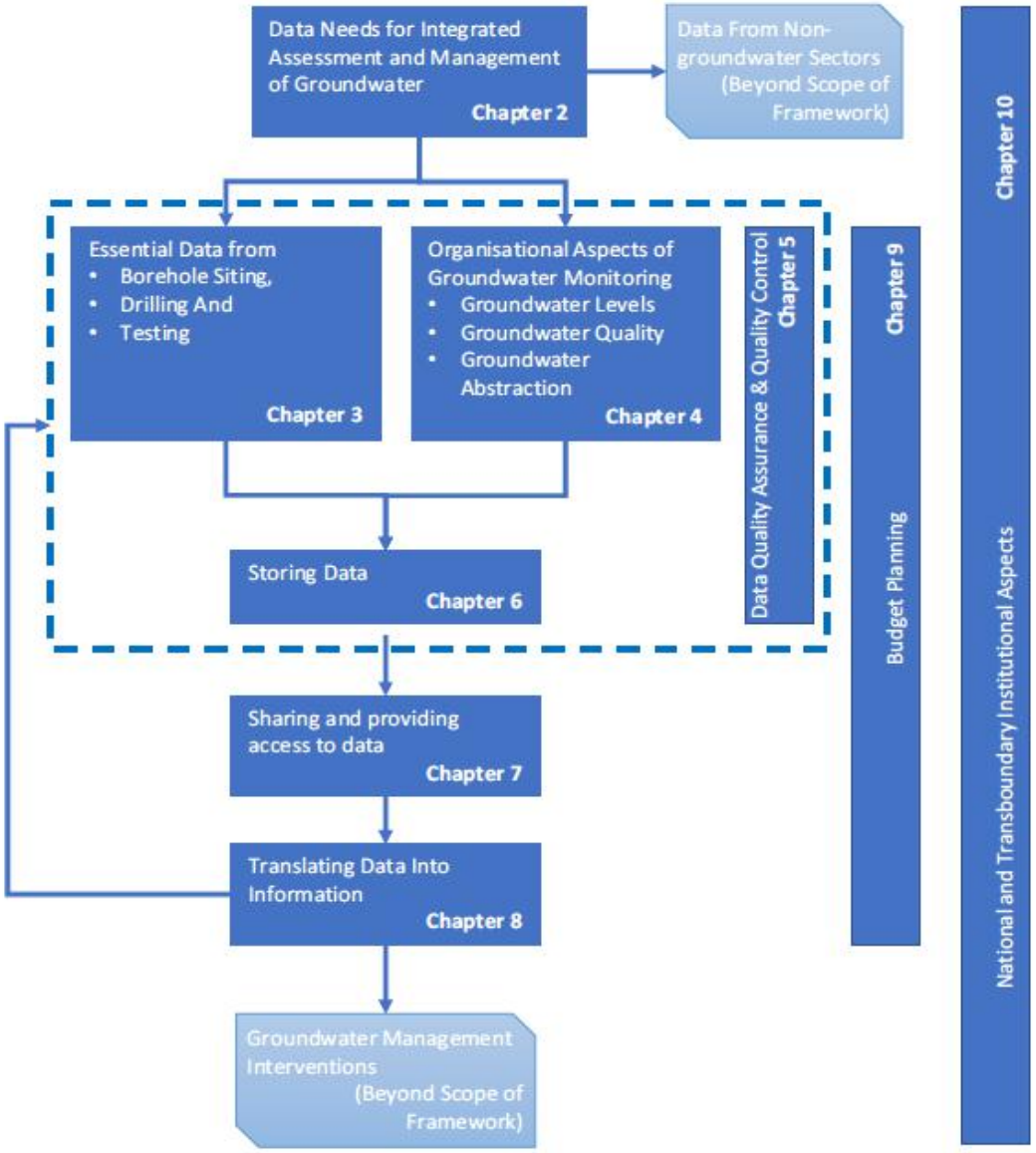
- **Aider les États membres de la SADC qui rencontrent actuellement des difficultés dans la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines à développer au niveau**

national des procédures adéquates correspondant à leurs capacités financières et humaines et à leur niveau de développement ; et

- **Renforcer la coopération transfrontalière et régionale en harmonisant les pratiques des États membres en matière de collecte et de gestion des données et faciliter l'échange de données.**

Le cadre aborde divers aspects de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines, tels que la localisation et le forage des puits, la surveillance des eaux souterraines, la collecte des données sur le terrain, les bases de données, le partage des données et la production de rapports.

Ce cadre aide à la mise en œuvre des actions prioritaires du programme de travail pour les eaux souterraines dans le plan d'action stratégique régional de la SADC pour la gestion intégrée des ressources en eau (PASR IV, 2016–2020). Les capacités institutionnelles et techniques pour mettre en œuvre les stratégies nationales peuvent être renforcées en utilisant ce cadre comme guide. Le Cadre facilitera également la coopération dans la gestion des aquifères partagés dans la région en vue de la mise en œuvre du Protocole révisé de la SADC sur les cours d'eau partagés et des accords sur les bassins fluviaux dans toute la région. Le cadre est divisé en 10 chapitres comme le montre la figure ci-dessous.



Le chapitre 1 présente la **raison d'être du cadre** ; il positionne le cadre par rapport aux processus régionaux et au **groupe cible** spécifique.

Le chapitre 2 donne un aperçu des **besoins en données pour l'évaluation et la gestion intégrées des eaux souterraines.** Les besoins en données vont au-delà des eaux souterraines et couvrent les données d'autres secteurs tels que l'agriculture qui utilisent ou polluent potentiellement les eaux souterraines, et les données des secteurs météorologiques et écologiques qui fournissent les informations nécessaires à la compréhension du système hydrogéologique.

Il souligne l'importance de données fiables et à jour sur les eaux souterraines, seul moyen permettant de développer une bonne compréhension conceptuelle des systèmes aquifères et de la dynamique ou des tendances de la mise en valeur des ressources en eau souterraine. Ce chapitre se base sur la nécessité pour les départements des eaux souterraines et d'autres secteurs de coopérer et d'échanger des données et des informations pertinentes requises pour des évaluations intégrées des ressources en eaux souterraines et le développement de politiques intégrées.

Le **chapitre 3** traite de l'importance de la collecte des **données essentielles relatives à la localisation, au forage et aux essais** des puits en matière de développement d'une compréhension conceptuelle des systèmes aquifères et d'usage réussi et de gestion durable des captages d'eau souterraine. Ce chapitre met l'accent sur les données essentielles qui doivent être correctement enregistrées pendant la phase de forage et de construction et stockées sous des formats plus largement compatibles dans des bases de données structurées pour une utilisation ultérieure.

Les départements des eaux souterraines doivent lancer des activités pour encourager et/ou contraindre les parties prenantes à soumettre les données essentielles provenant du forage, de l'essai et de l'emplacement des puits de forage. Le renforcement des capacités en matière d'application de la législation environnementale devrait inclure la collecte des données essentielles sur les eaux souterraines.

Le chapitre 4 traite des aspects **d'organisation et de planification de la surveillance des eaux souterraines.** La surveillance du niveau, de la qualité et du prélèvement des eaux souterraines est essentielle pour comprendre les tendances du développement des sources et pour définir des interventions de gestion efficaces. Ce chapitre souligne que pour avoir une **surveillance rentable**, les bons choix sur les méthodes (manuel et enregistreurs de données), l'entretien régulier, la réévaluation et l'optimisation des réseaux sont nécessaires. Il fait valoir que le **suivi des eaux souterraines n'est pas seulement un exercice technique**, il nécessite une organisation et une planification à différents niveaux au sein des organisations. Cela inclut l'allocation de capacités et de budgets pour les investissements accessoires et les coûts récurrents pour la collecte de données et la maintenance. Ce chapitre présente le potentiel de la **collecte communautaire de données sur les eaux souterraines** comme une mesure rentable associée à l'avantage supplémentaire du fait qu'elle peut déclencher la participation de la communauté à la gestion des eaux souterraines.

Le chapitre 5 porte sur l'importance de **l'assurance et du contrôle de la qualité des données** (AQ/CQ). La nécessité de renforcer les capacités en matière d'AQ/CQ et les avantages des technologies modernes sont mis en exergue. Cela comprend le développement et la conduite de programmes de formation professionnelle pour les techniciens des eaux souterraines afin d'améliorer la qualité et l'efficacité de la collecte de données sur les eaux souterraines, l'utilisation de technologies modernes telles que les formulaires numériques de terrain dans les applications de téléphonie mobile et les enregistreurs de données. Ce chapitre souligne la nécessité de procéder à des contrôles de routine (assistés par ordinateur) pour vérifier la qualité des données avant leur saisie dans les bases de données.

Le chapitre 6 souligne la nécessité de **stocker les données** de manière structurée et sous

des formats numériques faciles à traiter afin de permettre un accès, une extraction et un traitement efficaces et rentables pour des études ultérieures. Le choix du logiciel de base de données doit être basé sur la quantité prévue de données à stocker ainsi que sur les capacités et les compétences humaines disponibles pour gérer les données et les systèmes de base de données.

Le chapitre recommande l'utilisation de solutions avancées de bases de données basées sur des serveurs qui offrent les solutions les plus robustes, mais à un coût relativement élevé. Il faut tenir compte des coûts élevés d'installation et de maintenance, ainsi que du coût de l'entretien des solutions avancées de base de données sur serveur. Si, par contre, les ressources sont insuffisantes, le mieux serait d'utiliser des solutions plus simples. Des feuilles de calcul bien conçues peuvent constituer une alternative adéquate et très rentable aux solutions avancées de bases de données de bureau ou sur serveur. Si les données sont bien structurées, la migration des données vers des systèmes de base de données plus avancés est relativement simple, ce qui permet un développement progressif.

Le **chapitre 7** présente **l'importance du partage et de l'accès aux données** pour la promotion de la sensibilisation et de la participation des parties prenantes à la gestion des eaux souterraines. Le partage des données permet de prendre des décisions éclairées en matière de planification et de gestion des ressources aquifères nationales et transfrontalières. Ce chapitre encourage la coopération entre et parmi les dépositaires de données. Il encourage également l'utilisation des technologies modernes pour le partage des données. Par exemple, l'utilisation de normes de données ouvertes permet un accès transparent aux données d'autres organisations tout en éliminant le besoin de gérer les données dans plusieurs endroits et organisations.

Le chapitre 8 souligne que les **données doivent être transformées en informations** pour communiquer des messages clés aux parties prenantes et développer des interventions basées sur des faits. Ce chapitre prend note de différentes parties prenantes qui exigent que les informations soient présentées différemment. L'analyse et l'interprétation des données sont d'une grande importance pour le développement des politiques et des interventions de gestion. Autre fait très important, les analyses et l'interprétation aident également à identifier les lacunes et les problèmes de qualité des données qui peuvent conduire à une réévaluation des besoins en données et des procédures de collecte et/ou de gestion des données.

Le chapitre 9 souligne la nécessité de **planifier le budget** et de comprendre les différents coûts impliqués dans les activités de collecte et de gestion des données. Le financement des activités liées aux données sur les eaux souterraines peut provenir de différentes sources. Le financement externe peut être approprié pour les investissements initiaux, mais le budget pour la gestion et la maintenance continue devrait autant que possible provenir des ressources financières nationales.

Le chapitre 10 conclut le cadre en présentant les aspects institutionnels nationaux et transfrontaliers de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines. Cela couvre la nécessité de mettre en œuvre progressivement des programmes transfrontaliers de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines, en commençant par une évaluation initiale basée sur la collecte, l'harmonisation et la combinaison des ensembles de données existants dans les pays, avant de passer à une surveillance conjointe. Ce chapitre souligne la nécessité d'harmoniser la collecte et le stockage des données nationales de manière à ce qu'elles puissent être utilisées aux niveaux transfrontalier et régional. Bien que les données puissent être collectées par des organisations nationales, Les institutions transfrontalières et internationales telles que les organismes de bassins fluviaux et lacustres (OBF/L) ou l'Institut de gestion des eaux souterraines de la SADC (SADC-GMI) sont bien placées pour fournir un soutien ou même diriger des programmes transfrontaliers de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines.

1 INTRODUCTION

1.1 Raison d'être du cadre de la SADC sur la collecte et la gestion des données

Les eaux souterraines sont importantes dans toute la région de la Communauté de développement de l'Afrique australe (SADC), notamment pour l'approvisionnement en eau en milieu rural. On estime qu'au moins 70 % des 327,2 millions de personnes vivant en Afrique australe dépendent des eaux souterraines comme principale source d'alimentation eau pour la boisson, l'usage domestique et le soutien aux activités de subsistance (SADC, 2016a). L'utilisation des eaux souterraines à d'autres fins, comme l'approvisionnement en eau des zones urbaines, d'irrigation, d'abreuvement du bétail et à des fins industrielles, bien que différente d'un pays à l'autre, est également importante.

Les eaux souterraines constituent une source importante d'eau domestique dans toute l'Afrique australe.

La demande en eau dans la région augmente en raison de la croissance démographique et du développement socio-économique. Les extrêmes climatiques entraînent fréquemment des inondations et des périodes de sécheresse prolongées, rendant ainsi les eaux de surface moins fiables pour l'approvisionnement en eau tout au long de l'année. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a prédit que l'Afrique australe devrait connaître des sécheresses plus fréquentes, des périodes de sécheresse généralement plus longues et des précipitations plus variables qu'auparavant, avec une diminution des précipitations annuelles pouvant atteindre 20 % d'ici 2080 (GIEC 2014). Par conséquent, l'utilisation et la gestion durables des eaux souterraines deviennent cruciales.

Bien que les eaux souterraines soient une ressource importante dans la région, elles restent quelque peu cachées en raison du nombre limité de données sur leur disponibilité, leur qualité et leur utilisation, ce qui empêche une évaluation précise de leur état et de leur tendance. Sans une connaissance appropriée de la ressource et des principes de gouvernance sains, cette énorme ressource peut être rapidement et irréversiblement dégradée.

Les études sur les aquifères transfrontaliers et les études régionales sur les eaux souterraines concernant les impacts de la variabilité et du changement climatique, ainsi que les développements socio-économiques, nécessitent que les données et les informations régionales

soient compilées, harmonisées et rendues facilement accessibles.

Dans le cadre du projet intitulé *« Renforcement des capacités de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines dans les États membres de la SADC »* (IGRAC et IGS, 2019a), une évaluation a été réalisée en 2017 et 2018 sur l'état de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines dans les États membres de la SADC.

L'évaluation a impliqué une revue de la littérature, des consultations avec 145 experts du domaine des eaux souterraines par le biais d'entretiens, et la participation de jeunes professionnels des États membres de la SADC pour comprendre les besoins en matière de capacités de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines dans la région.

Les informations obtenues dans le cadre de cette évaluation ont été synthétisées dans un rapport sur l'état de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines dans les États membres de la SADC (IGRAC et IGS, 2019b). Le rapport fournit une évaluation détaillée par État membre et pour l'ensemble de la région SADC. La principale conclusion est que tous les États membres de la SADC ont, à des degrés différents, des défis à relever pour organiser efficacement la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines. Certains des principaux problèmes identifiés sont les suivants :

- Le manque de personnel, de compétences, de capacités et d'équipements ;
- L'absence d'objectifs et de procédures clairs pour la surveillance des eaux souterraines ;
- Les incohérences dans la collecte des données. La répartition spatiale et temporelle des données est faible ou inégale (nombreuses lacunes dans les données) ;
- L'assurance et le contrôle de la qualité des données insuffisants ;
- Peu de bases de données numériques fonctionnelles. Les données sont stockées à différents endroits et sous différents formats, ce qui compromet encore davantage l'exploitabilité des données ;
- Des stratégies de sauvegarde des données limitées, parfois inexistantes, et des risques de pertes de données ;
- L'accès aux données est compliqué, parfois même au sein du gouvernement, des ministères et le partage des données est très limité, tant au niveau national que régional.
- Les capacités limitées en matière d'interprétation des données sur les eaux souterraines et de production des informations pour une prise de décision efficace.

Ces problèmes révèlent des faiblesses dans toute la chaîne de collecte et de gestion des données et, par conséquent, peu d'informations actualisées sur les eaux souterraines sont produites pour soutenir la prise de décision dans la région. Les personnes interrogées ont souvent rapporté que les défis émanent du manque de fonds. Cela est conforme à la stratégie régionale de la SADC pour le secteur de l'eau (SADC, 2006) qui indique également que la région a des difficultés à mobiliser des fonds adéquats pour la mise en valeur et la gestion des ressources en eau souterraine. Bien que les programmes de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines aient besoin de plus de fonds, ils doivent également être optimisés en fonction de la disponibilité et des limites des budgets disponibles et limités. Des politiques, des stratégies et des lignes directrices techniques sur la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines sont disponibles, mais il est nécessaire de relier les politiques aux lignes directrices techniques telles que les lignes directrices pour le développement des eaux souterraines dans la région de la SADC (SADC, 2001), qui ne sont pas utilisées efficacement en raison d'un manque d'organisation et de planification claires et appropriées en matière de collecte et de gestion des données. C'est dans ce contexte que le cadre de la SADC pour la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines a été élaboré.

1.2 Objectifs et champ d'application du cadre

Le cadre a pour but de combler le fossé entre les stratégies et politiques régionales de la SADC et les lignes directrices et manuels techniques qui existent déjà, comme illustré dans la Figure 1.1, en fournissant des structures organisationnelles et de planification pour la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines de manière stratégique, innovante et rentable. Il reconnaît les différences entre les capacités, les défis et les besoins des États membres en termes de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines. Compte tenu de cette disparité, le cadre fournit un soutien stratégique et organisationnel pour différents niveaux et types de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines.

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

Objectif 1 : Aider les États membres qui rencontrent actuellement des difficultés dans la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines à développer au niveau national des procédures adéquates correspondant à leurs capacités financières et humaines et à leur niveau de développement ;

Objectif 2 : Renforcer la coopération transfrontalière et régionale en harmonisant les pratiques des États membres en matière de collecte et de gestion des données et faciliter l'échange de données.

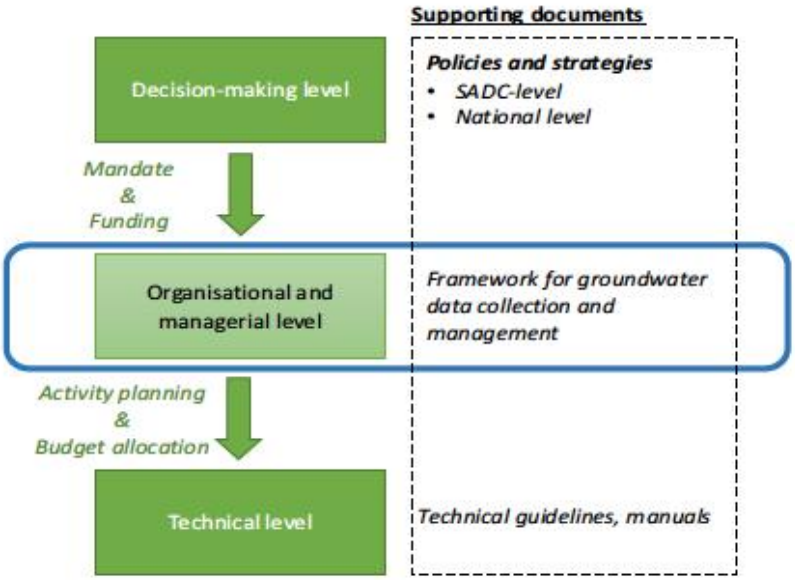


Figure 1.1 Position du cadre dans les instruments existants en matière d'eau souterraine de la SADC

L'objectif est que les États membres bénéficient du cadre, quel que soit leur niveau de mise en œuvre de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines. Le Cadre aborde de nombreux aspects de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines, de l'emplacement des forages à la surveillance des eaux souterraines, de la collecte des données sur le terrain aux bases de données et au partage des données. L'accent est mis sur les données qui sont collectées et archivées régulièrement, soit par des programmes de surveillance dédiés, soit par des activités régulières telles que le forage et le développement de nouveaux puits (voir encadrés 1.1 et 1.2). Les données collectées de manière fortuite (par exemple, dans le cadre de la cartographie hydrogéologique ou de la recherche spécialisée) ne sont pas couvertes par ce cadre. Le cadre n'est donc pas conçu pour guider les attentes techniques mais principalement pour renforcer les capacités des gestionnaires des eaux souterraines dans leur organisation et leur planification de la collecte et de la gestion des données.

Crédit : Mukundi

L'accès à l'eau potable devrait être améliorée en Afrique australe.

Encadrés 1.1 Définitions des termes

Dans ce cadre, la collecte de données sur les eaux souterraines, la surveillance des eaux souterraines et la gestion des données sur les eaux souterraines sont définies comme suit :

La collecte de données sur les eaux souterraines est la collecte de données de terrain sur les eaux souterraines sous la responsabilité des départements des eaux souterraines. Les données peuvent être regroupées en deux catégories principales : les données sur l'emplacement, les forages et les essais des puits de forages, et les données de surveillance.

Le choix de l'emplacement, le forage et les essais des puits sont les activités réalisées pour la mise en place de nouveaux puits de forage. De nombreuses données pertinentes sont recueillies au cours de ces activités qui fournissent des informations importantes sur la disponibilité, la qualité et l'utilisation des eaux souterraines.

La surveillance des eaux souterraines est le processus de collecte de données sur les eaux souterraines qui varient dans le temps, telles que les niveaux des eaux souterraines, les données sur la qualité des eaux souterraines et les données sur les prélèvements d'eau souterraine dans un réseau prédéfini et à intervalles fixes, dans le but d'observer et d'analyser les tendances.

La gestion des données sur les eaux souterraines est l'ensemble du processus d'utilisation des données sur les eaux souterraines après leur collecte. Elle englobe l'assurance et le contrôle de la qualité (AQ/CQ) de ces données, le stockage de ces données dans des archives et des bases de données, le partage et l'accès aux données, l'analyse et l'interprétation des données, et enfin la diffusion des informations sur les eaux souterraines qui en résultent.

1.3 Position du cadre par rapport aux processus régionaux

Le cadre de la SADC pour la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines contribuera de manière significative à la mise en œuvre de protocoles et de stratégies régionales dans la région de la SADC. C'est ainsi qu'il contribuera à l'application de l'article sur le partage des données et informations hydrogéologiques envisagé dans le protocole révisé de la SADC sur les cours d'eau partagés (SADC, 2000). Ceci alimente à son tour les conclusions du projet sur la Gouvernance des eaux souterraines (FAO 2016c), qui souligne l'importance d'une bonne information sur les eaux souterraines, comme indiqué dans l'encadré 1.2.

Le cadre contribuera à la réalisation des objectifs de la politique régionale de la SADC pour le secteur de l'eau (SADC, 2005), dont l'un est que les États membres mettent en place des systèmes d'information sur les ressources en eau et veillent à ce que le grand public ait accès à des informations pertinentes et faciles à comprendre sur les ressources en eau ayant un impact sur leur santé ou leur sécurité et sur les intérêts économiques, comme indiqué dans l'encadré 1.3.

En outre, le cadre contribuera au programme 6.2.2 (c) du plan d'action stratégique régional sur la mise en valeur et la gestion intégrées des ressources en eau, phase IV : 2016-2020 (SADC, 2016b), qui affirme la nécessité de renforcer les systèmes de surveillance des eaux souterraines et de gestion des données pour soutenir les États membres de la SADC.

Crédit : SADC-GMI

Une source d'eau souterraine à Motlhaka, en Afrique du Sud, indique la présence d'aquifères dans le sous-sol.

Encadré 1.2 Gouvernance des eaux souterraines : principales lacunes, définition et aspects de la gestion des données

Gouvernance des eaux souterraines - principales lacunes identifiées dans le « diagnostic global »

- Leadership inadéquat des agences gouvernementales ;
- Sensibilisation limitée aux risques à long terme liés aux eaux souterraines ;
- Aucune mesure de l'état des ressources en eau souterraine ;
- Systèmes juridiques sur les eaux souterraines non performants ;
- Engagement insuffisant des parties prenantes dans la gestion des eaux souterraines ; et
- Intégration limitée des eaux souterraines dans les politiques nationales connexes.

Gouvernance des eaux souterraines - une définition

La gouvernance des eaux souterraines comprend la promotion **d'une action collective responsable** pour assurer le contrôle, la protection et **l'utilisation** socialement durable des ressources en eaux souterraines et des systèmes aquifères au **profit de l'humanité et des écosystèmes dépendants.** Cette action est facilitée par un cadre favorable et des principes directeurs.

La gouvernance des eaux souterraines comporte quatre composantes :

- Un cadre juridique et réglementaire efficace et articulé ;
- Une connaissance précise et largement partagée des systèmes d'eaux souterraines concernés, ainsi qu'une sensibilisation aux défis de la durabilité ;
- Un **cadre institutionnel** caractérisé par un leadership, des organisations solides et des capacités suffisantes, un engagement permanent des parties prenantes et des mécanismes de travail pour assurer la coordination entre les eaux souterraines et les autres secteurs ; et
- **Politiques, plans, finances et structures d'incitation** alignés sur les objectifs de la société.

Organiser la collecte de données, la génération d'informations et le partage des connaissances.

- Une bonne gestion des aquifères nécessite de bonnes informations ;
- Les informations comprendront à la fois des aperçus des caractéristiques statiques et le suivi des changements dynamiques ;
- Les informations doivent être converties en connaissances afin de permettre aux parties prenantes de prendre des décisions de gestion en connaissance de cause ;
- Les informations et les connaissances qui en résultent doivent être largement partagées avec toutes les parties prenantes ;

  les quatre tâches liées à l'information et à la connaissance – acquisition de données, analyse, partage de l'information ; et
- Diffusion des connaissances utiles – il s'agit des étapes clés à suivre pour guider la gestion des eaux

Source :

Projet de gouvernance des eaux souterraines (www.groundwatergovernance.org) :

- Global Diagnostic on Groundwater Governance (FAO, 2016a)
- A Shared Global Vision for 2030 (FAO, 2016b)
- Global Framework for Action to Achieve the Vision on Groundwater Governance (FAO, 2016c)

Il est essentiel de renforcer les capacités des jeunes professionnels en matière d'eaux souterraines.

Encadré 1.3 Déclarations de politique de la SADC la gestion de l'information relatives aux ressources en eau

Déclaration de politique générale :

Information et gestion des ressources en eau Acquisition et gestion des données et des informations

Les États membres mettent en place sur leur territoire des systèmes d'acquisition et de gestion des données et des informations sur les ressources en eau, de manière intégrée aux niveaux régional, national et du bassin hydrographique afin de répondre à tous les besoins en matière de gestion des ressources en eau.

Les États membres adoptent des systèmes compatibles pour l'acquisition et la gestion des données et des informations.

Partage d'informations

Les États membres partagent en temps utile les informations et les données pertinentes disponibles concernant l'état hydrologique et hydrogéologique, la qualité de l'eau, la météorologie et l'environnement des cours d'eau partagés.

Les États membres veillent à ce que les membres du public de la région aient accès à des informations pertinentes et compréhensibles concernant les ressources en eau ayant un impact sur leur santé ou leur sécurité et sur les intérêts économiques.

La SADC, les SWCI ainsi que les États membres doivent établir des mécanismes pour l'interprétation et la diffusion régulières d'informations essentielles sur les ressources en eau afin que le public soit régulièrement informé.

Source : Politique régionale de la SADC pour le secteur de l'eau (SADC, 2005)

1.4 Public cible du cadre

La collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines sont de nature assez technique. Ce cadre n'a toutefois pas pour but de servir de ligne directrice au personnel technique qui se rend sur le terrain pour collecter des données (techniciens de terrain). Les lignes directrices, les manuels de meilleures pratiques et les modèles de formulaires de terrain existants et disponibles dans la région sont appropriés pour le personnel technique.

Le cadre s'adresse principalement aux fonctionnaires qui jouent un rôle de coordination dans la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines, généralement à un niveau plus élevé, aux professionnels qui interagissent ou coordonnent avec les techniciens de terrain ainsi qu'avec les gestionnaires et les directeurs de départements. Il s'agit d'un instrument destiné à améliorer le flux de données du terrain vers des bases de données adéquates et accessibles, ce qui permet d'utiliser les données pour le développement de politiques et d'interventions de gestion des eaux souterraines. Le cadre est destiné à améliorer les procédures de travail existantes, ainsi qu'à sensibiliser davantage à l'importance de la collecte et de la gestion des données, tout en tenant compte des exigences en matière de capacité et de budget.

1.5 Développement du cadre

L'Institut de gestion des eaux souterraines de la SADC (SADC-GMI) a demandé au Centre international d'évaluation des ressources en eaux souterraines (IGRAC) d'exécuter le projet de renforcement des capacités pour la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines dans les États membres de la SADC (SADC-GWdata-CoM) dans le cadre du contrat CS2017/05 du 1er septembre 2017. S'étant déroulé de septembre 2017 à avril 2019, le projet a été exécuté par IGRAC en étroite collaboration avec l'Institut d'études des eaux souterraines (IGS) de l'Université du Free State (UFS) en Afrique du Sud. Le développement de ce cadre était l'une des composantes du projet, en plus de l'analyse de l'état de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines dans les États membres de la SADC et du renforcement des capacités des jeunes professionnels de la région.

L'équipe du projet a, en consultation régulière avec le personnel de la SADC-GMI, rédigé le

cadre tout en utilisant les lignes directrices existantes et les initiatives similaires documentées. Une version préliminaire du cadre a été discutée lors d'un atelier qui s'est tenu en novembre 2018 à Johannesburg, auquel ont participé des cadres supérieurs des départements des eaux souterraines des États membres de la SADC, ayant une expérience de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines. Les aspects techniques du cadre ont fait l'objet d'une discussion, ce qui a apporté une contribution précieuse au rapport. Un projet mis à jour a été partagé avec les personnes focales de la SADC- GMI dans les États membres pour un retour d'information ultérieure via le comité de pilotage de la SADC-GMI en avril 2019, après quoi le cadre a été achevé.

L'élaboration des politiques relatives aux eaux souterraines doit impliquer les parties prenantes à tous les niveaux.

1.6 Plan du rapport

Le chapitre 2 explique l'importance de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines ainsi que celle d'autres données relatives aux eaux souterraines. Il décrit le contexte plus large des données sur les eaux souterraines traitées dans le présent cadre. Le chapitre 3 décrit les données essentielles à recueillir lors du choix de la localisation, du forage et de l'essai des puits de forage. Le chapitre 4 traite des aspects organisationnels de la surveillance de l'eau souterraine, y compris une section sur le potentiel de la collecte communautaire de données sur l'eau souterraine. Le chapitre 5 traite des aspects de contrôle et d'assurance qualité, tandis que les chapitres suivants traitent du stockage (chapitre 6), du partage (chapitre 7) et du traitement (chapitre 8) des données. Le chapitre 9 traite des questions budgétaires et le chapitre 10 complète le cadre par des considérations institutionnelles sur la collecte et la gestion des données aux niveaux national et transfrontalier. La figure 1.2 donne un aperçu des aspects couverts par le cadre.

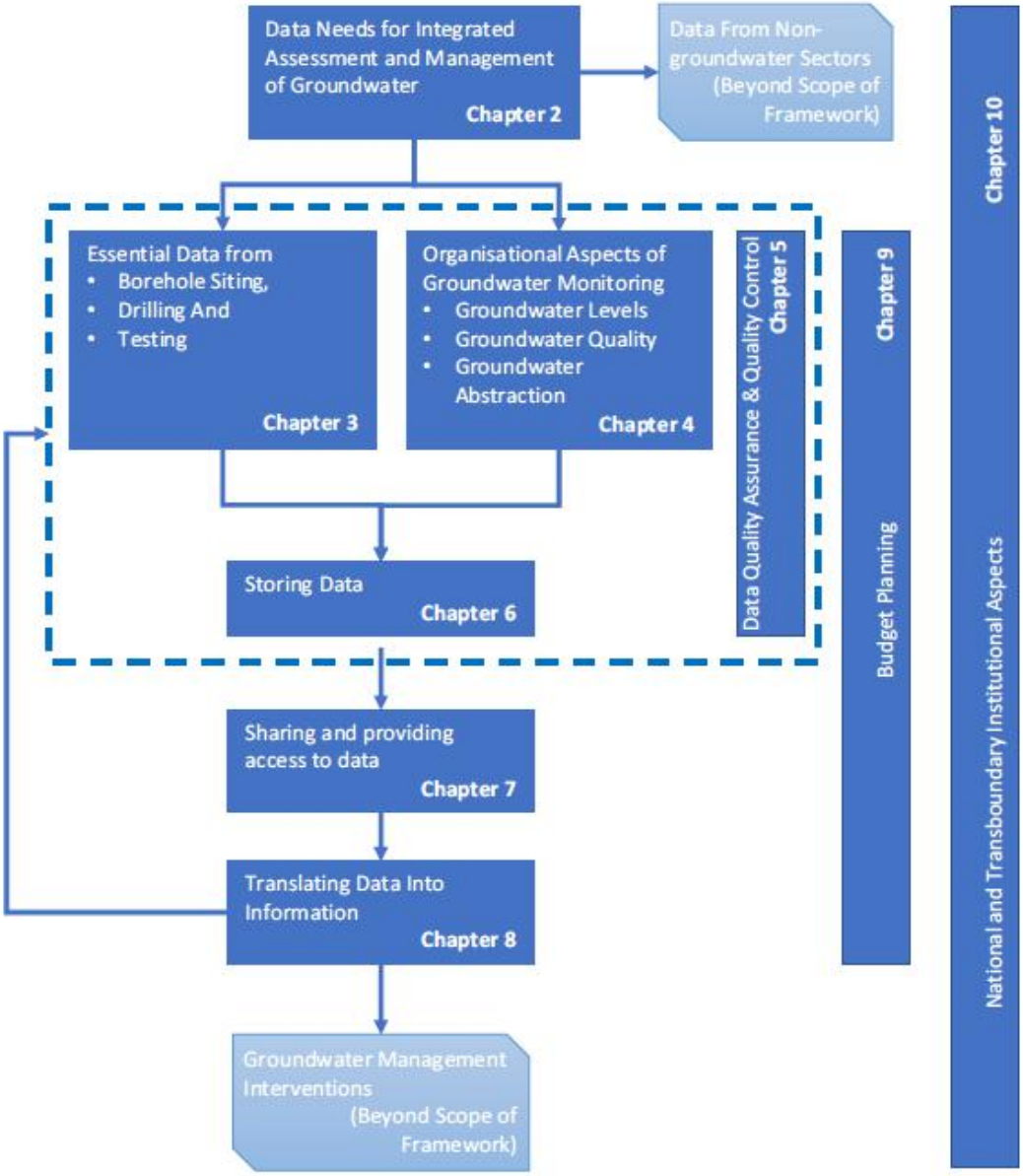


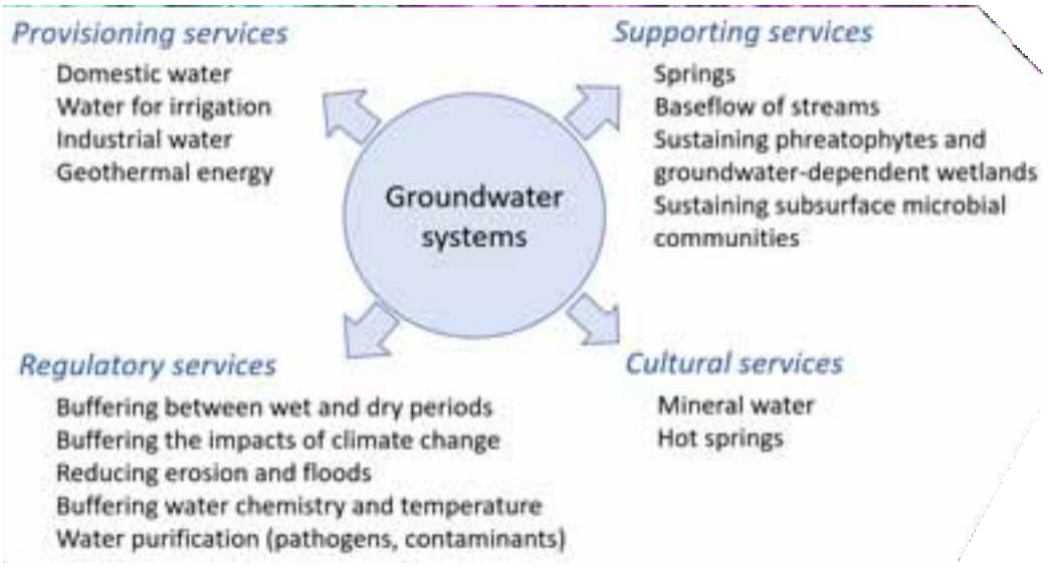
Figure 1.2 Aperçu du cadre

2 BESOINS EN DONNÉES POUR L'ÉVALUATION ET LA GESTION INTÉGRÉES DES EAUX SOUTERRAINES

2.1 Introduction

Les eaux souterraines sont une ressource importante pour l'usage domestique, l'agriculture (irrigation et abreuvement du bétail) et l'industrie. Les eaux souterraines sont également cruciales pour plusieurs écosystèmes, par exemple pour alimenter les sources et le débit de base des rivières. En raison de l'effet tampon généralement important des aquifères, les systèmes d'eaux souterraines peuvent être utilisés pour stocker l'eau (naturellement ou artificiellement) pendant les périodes humides afin de l'extraire pendant les périodes sèches. Ces fonctions et d'autres fonctions des eaux souterraines sont appelées services des systèmes d'eaux souterraines (Bergkamp et Cross, 2006). La figure 2.1 donne un aperçu des différents services ou fonctions du système des eaux souterraines. Pour maintenir ces services, une bonne gestion des eaux souterraines est nécessaire.

Les eaux souterraines sont une ressource essentielle pour l'agriculture face au changement climatique



Source : Van der Gun, J. (2018), Unpublished document for IGRAC

Figure 2.1 Services relatifs aux eaux souterraines

2.2 Besoins en données

La gestion des ressources en eau souterraine nécessite une évaluation et un suivi régulier de l'état des ressources (quantité et qualité), de son interaction avec les autres composantes du cycle de l'eau (par exemple, les eaux de surface, les précipitations et l'évaporation), de sa relation avec les activités socio-économiques et les questions environnementales, ainsi que du cadre juridique et institutionnel dans lequel elle est régie. Pour évaluer ces interactions et établir des tendances, des données sur tous ces processus sont nécessaires. Tableau présente les données requises pour l'évaluation intégrée des ressources en eau souterraine qui peuvent être utilisées pour décrire l'état général des ressources en eau souterraine. Il a été développé pour l'évaluation des aquifères transfrontaliers mais peut également être utilisé pour l'évaluation des aquifères nationaux. Toutes les données ne sont pas nécessaires dans toutes les circonstances et la liste des paramètres du tableau n'est pas exhaustive. Plus important encore, il met en évidence la multitude de données nécessaires à la gestion intégrée des ressources en eau souterraine.

Formation de jeunes professionnels à la collecte de données

Tableau 2.1 Données devant être collectées aux fins de l'évaluation des aquifères transfrontaliers

Parameters, variables and information to be collected	
A. Physiography and climate	C.9. Discharge by springs
A.1. Temperature*	D. Environmental aspects
A.2. Precipitation*	D.1. Groundwater quality (suitability for human consumption)
A.3. Evapotranspiration	D.2. Groundwater pollution
A.4. Land use*	D.3. Solid waste and wastewater control
A.4.1. Groundwater-fed agricultural land	D.3.1. Wastewater being collected in sewerage systems
A.4.2. Groundwater-irrigated land	D.3.2. Wastewater treated
A.4.3. Groundwater-supported wetlands and ecosystems	D.3.3. Solid waste being stored in controlled fields
A.4.4. Areas with land subsidence	D.4. Shallow groundwater table and groundwater-dependent ecosystems
A.5. Topography: elevation data*	E. Socio-economic aspects
A.6. Surface water network (rivers, lakes, swamps, reservoirs, canals, etc.)	E.1. Population (total and density)*
B. Aquifer geometry	E.2. Groundwater use
B.1. Hydrogeological map	E.2.1. Total volume groundwater abstraction
B.2. Geo-referenced boundary of the Transboundary Aquifer	E.2.2. Groundwater abstraction for domestic use
B.3. Depth of water table/piezometric surface	E.2.3. Groundwater abstraction for use in agriculture and livestock
B.4. Depth to top of aquifer formation	E.2.4. Groundwater abstraction for commercial and industrial use
B.5. Vertical thickness of the aquifer	E.3. Surface water use*
B.6. Degree of confinement	E.3.1. Total volume of surface water use
B.7. Aquifer's cross section	E.3.2. Surface water for domestic use
C. Hydrogeological characteristics	E.3.3. Surface water use for agriculture / livestock
C.1. Aquifer recharge	E.3.4. Surface water for commercial and industrial use
C.1.1. Natural recharge	E.4. Dependence of industry and agriculture on groundwater
C.1.2. Return flows from irrigation	E.5. Percentage of population covered by public water supply
C.1.3. Managed aquifer recharge	E.6. Percentage of population covered by public sanitation
C.1.4. Induced recharge	F. Legal and institutional aspects**
C.1.5. Extent of recharge zones	F.1. Transboundary legal and institutional framework
C.1.6. Sources of recharge	F.2. Domestic legal and institutional framework
C.2. Aquifer lithology	F.2.1. Ownership of groundwater
C.3. Soil types	F.2.2. Water resource planning
C.4. Porosity	F.2.3. Groundwater resource abstraction and use
C.5. Transmissivity and vertical connectivity	F.2.4. Abatement and control of groundwater pollution
C.6. Total groundwater volume	F.2.5. Other water resource protection measures
C.7. Groundwater depletion	F.2.6. Government and non-government water institutions
C.8. Natural discharge mechanism	F.2.7. Implementation, administration and enforcement of the legislation

* Des données nationales ou locales peuvent être utilisées ; des estimations sont également disponibles à partir de séries de données mondiales.
** Les aspects juridiques et institutionnels sont évalués par des questionnaires.

Source : IGRAC, PHI-UNESCO (2015)

La majorité des données requises pour l'évaluation intégrée des ressources en eau souterraine ne sont pas collectées par les départements des eaux souterraines mais proviennent d'autres secteurs tels que les services météorologiques, l'aménagement du territoire, l'agriculture et les bureaux de statistiques. Cela implique un besoin évident d'échanges actifs et fréquents de données et d'informations entre les différents secteurs, permettant ainsi des évaluations intégrées des ressources en eaux souterraines et le développement de politiques réellement intégrées.

Les données régulièrement recueillies sous la responsabilité des services des eaux souterraines peuvent être regroupées en deux catégories principales :

- Les données sur l'emplacement, le forage et les essais des puits : Ils comprennent toutes les données pertinentes produites lors des activités liées à l'installation de nouveaux forages. Ces activités fournissent deux types de données : les données hydrogéologiques sur les aquifères, par exemple les dimensions et les propriétés hydrauliques, qui sont généralement fournies par des études géophysiques, des diagraphies lithologiques et des tests de pompage, ainsi que les données sur les forages, qui donnent un aperçu de l'utilisation des eaux souterraines. Que les activités de localisation, de forage et d'essai des puits soient réalisées par les ministères eux-mêmes ou par d'autres parties prenantes, les données doivent être recueillies et stockées pour une utilisation future (voir le chapitre 3).
- Données de surveillance des eaux souterraines : Ils résultent de mesures répétées à des niveaux déterminés et à des fréquences choisies. Les données variables dans le temps les plus courantes sont le niveau des eaux souterraines, la qualité des eaux souterraines et le prélèvement des eaux souterraines. Dans la région de la SADC, la surveillance de la qualité et du captage des eaux souterraines est très limitée et souvent inadéquate. Contrairement aux données relatives à l'emplacement, au forage et aux essais des puits qui ne sont collectées qu'une seule fois à chaque fois que de nouveaux puits sont creusés, la collecte des données de surveillance des eaux souterraines est planifiée et organisée par les services des eaux souterraines et nécessite donc des approches différentes en termes d'organisation et de planification (voir chapitre 4).

Les données provenant de l'implantation, du forage et de l'analyse des puits ainsi que de la surveillance des eaux souterraines sont toutes des données cruciales permettant de comprendre les systèmes aquifères, l'état et les tendances des ressources en eau souterraine. Des données fiables et à jour sur les eaux souterraines sont essentielles pour développer des interventions de gestion basées sur des faits et des politiques en matière d'eaux souterraines. Ce cadre vise à contribuer à l'amélioration de la collecte et de la gestion de ces deux catégories de données.

2.3 Messages principaux

- **Les données fiables et à jour sur les eaux souterraines constituent le seul moyen permettant de développer une bonne compréhension conceptuelle des systèmes aquifères et de la dynamique ou des tendances de la mise en valeur des ressources en eau souterraine ; et**
- **Les départements des eaux souterraines et d'autres secteurs doivent coopérer et échanger des données et des informations pertinentes requises pour des évaluations intégrées des ressources en eaux souterraines et le développement de politiques intégrées.**

3 DONNÉES ESSENTIELLES RELATIVES À LA LOCALISATION, AU FORAGE ET AUX ESSAIS DES PUITS

3.1 Introduction

Les forages sont réalisés à de nombreuses fins, notamment pour l'approvisionnement en eau, l'exploration et l'observation des eaux souterraines. Dans de nombreux cas, en particulier pour les forages destinés à l'approvisionnement public en eau, le gisement de forage (localisation et estimation de la profondeur) sera déterminé par des activités de localisation des forages impliquant généralement la géophysique. Après le forage, les puits sont généralement testés. Les tests peuvent être effectués pour déterminer le rendement sûr pour le pompage ou pour déterminer les propriétés hydrogéologiques de l'aquifère.

Il est essentiel de saisir et de stocker les données relatives à l'emplacement des forages, au forage et aux essais, car elles fournissent des informations importantes sur les aquifères et l'utilisation des eaux souterraines. À cet égard, peu importe que le forage ait été fructueux, de faible rendement ou sec. Tous les forages fournissent des données significatives. Il faut prêter attention aux données de forage, car elles ne peuvent pas être recueillies par la suite. Les données relatives à l'emplacement et aux essais peuvent être recueillies deux fois, mais ce n'est certainement pas une option rentable.

Ce chapitre fournit des conseils sur la façon d'organiser la collecte de données à partir des activités d'implantation, de forage et de test des puits. Les annexes A, B et C décrivent en détail les étapes à suivre pour implanter, forer et tester de nouveaux puits de forages, ainsi que les données qui en découlent à chaque étape. Ce chapitre détermine les données les plus importantes qui doivent être stockées pour une utilisation ultérieure. Il se focalise également sur la façon dont les services des eaux souterraines (ou les autorités compétentes) peuvent mettre la main sur les données relatives à l'implantation, au forage et aux essais des puits de forages collectées par d'autres parties prenantes.

3.2 Données pertinentes sur l'emplacement, le forage et les essais des puits

Pendant le choix de l'emplacement du forage, le forage et les essais, des données sont recueillies sur le milieu hydrogéologique et sur le forage lui-même, comme par exemple :

- la profondeur et étendue des aquifères ;
- les caractéristiques hydrogéologiques pertinentes telles que des aperçus tridimensionnels des formations géologiques, des fractures, des failles et des digues, obtenus à partir de l'étude géophysique ;
- des journaux lithologiques détaillés décrivant les différents types de roches traversées, des informations sur les plans d'eau et la qualité de l'eau, obtenues pendant le forage ; et
- la performance du puits et/ou propriétés hydrauliques de l'aquifère obtenues à partir d'essais en forage.

Toutes ces informations sont cruciales dans toute étude sur les eaux souterraines, notamment pour l'implantation de nouveaux forages, les études de modélisation des eaux souterraines et les études de recherche détaillées. L'ensemble du processus de localisation, de forage et de test est un processus coûteux et il est important que les bonnes données soient collectées et stockées dans des bases de données structurées ou des archives de données pour une utilisation ultérieure.

3.2.1 Implantation des forages ;

La localisation de la bonne position pour le forage de nouveaux puits comprend généralement des études de site. En fonction des objectifs du forage et du budget, les études du site peuvent

consister en de simples visites sur le terrain ou impliquer plusieurs méthodes géophysiques. Le processus de localisation d'un forage comprend cinq étapes distinctes couvrant les aspects clés suivants :

- Les objectifs de chaque étape ;
- Ce qui doit être fait à chaque étape ;
- Un aperçu de l'équipement requis ; et
- Informations et données devant être collectées.

Crédit : Immo Blecher

Les études géophysiques fournissent des informations importantes pour le choix de l'emplacement des forages.

Le tableau 3.1 fournit des informations détaillées sur les étapes à suivre pendant le processus d'implantation des forages et sur les données et informations recueillies à chaque étape. Les étapes 1, 2 et 3 sont des étapes préparatoires, qui utilisent les données existantes (par exemple les bases de données nationales). De nouvelles données sont générées et traitées aux étapes 4 et 5.

Les données suivantes, issues des étapes 4 et 5, doivent être saisies et stockées dans des bases de données (nationales) auprès des services des eaux souterraines ou d'autres autorités compétentes :

- Les données brutes du levé géophysique, y compris les emplacements exacts et la date du levé ; et
- Le rapport contenant les résultats (interprétations) de l'étude géophysique, y compris des données sur les techniques et l'équipement utilisés ainsi que sur l'entrepreneur ou l'équipe qui a effectué l'étude.

Il faut veiller à ce que les données brutes et le rapport de chaque étude géophysique puissent être liés dans la base de données par une sorte d'identifiant unique et/ou de marqueur de lieu géographique (voir également l'encadré 3.1).

Tableau 3.1 Étapes du processus d'implantation des forages assorties des données et informations recueillies à chaque étape.

Activité	Objectifs	Informations et données clés devant être collectées
1. Étude documentaire	• Développer une compréhension conceptuelle préliminaire de l'hydrogéologie de la région.	Avoir une compréhension générale en ce qui concerne les points suivants : • Enregistrements des forages existants, par exemple, l'emplacement des forages dans un rayon d'influence spécifique de la zone d'intérêt (par exemple, un rayon de 2 km), les plans d'eau, la lithologie, les rendements et les niveaux des eaux souterraines, • Les contrôles géologiques de la présence d'eaux souterraines • Les types d'aquifères typiques à l'échelle régionale et à l'échelle locale, s'il y en a.
2. Hydro-recensement et visite du site	• Identifier et comprendre les activités d'utilisation des eaux souterraines dans la zone d'intérêt. • Confirmation des informations recueillies à l'étape 1	• Données de localisation du puits de forage (x, y, z) • Données sur l'utilisation des forages • Les données des rendements des forages installés avec des compteurs d'eau. • Avoir une première idée de la disposition des traverses pour l'étude géophysique.
3. Rapport provisoire	• Plan de l'enquête géophysique sur le terrain	• Décider/recommander le type d'équipement adapté à l'étude géophysique sur le terrain en fonction de la compréhension des conditions du site • Design the traverses' layout on the map for the geophysical survey.
4. Field geophysical survey	Locate the suitable drilling target using an appropriate geophysical method(s) and equipment recommended in interim report (Activity 4)	• **Data of the investigated geophysical parameters,** • **Coordinates of start and end points of traverses,** Identified potential drilling sites
5. Borehole siting report	Give a detailed description of the borehole siting work and the main findings (Activity 1-5)	• Data and analysis to motivate the selected target • Coordinates of the drilling target, • Description of the drilling target, e.g. geological features being targeted like fault, fractures etc., • Estimated depth of water strikes and overall drilling depth, • Provisional basic well design can be part of this phase **Report inclusive of all activities (1-5).**

Le texte en gras indique les données qui doivent être stockées dans des bases de données ou des archives de donnée. Voir Annexe B.

Encadré 3.1 Identifiants uniques pour les données relatives à l'implantation, au forage

Identification des données :

Pour s'assurer que les données soient être facilement retrouvées dans une archive ou une base de données et qu'elles soient reliées à un emplacement de forage spécifique, les données doivent être stockées sous un identifiant unique et de préférence logique, et si la base de données le permet, il devrait également être possible d'effectuer une recherche géographique. Les noms géographiques sont souvent utilisés pour identifier les données des études hydrogéologiques. L'utilisation des noms géographiques n'est cependant pas la méthode la plus robuste, car la localisation n'est pas très précise et dans le cas où la base de données ne le permet pas, il est possible d'effectuer une recherche géographique. Si des orthographes différentes existent, il peut être très difficile de trouver les données dans la base de données (voir encadré 3.2).

Pour les données provenant de forages, l'identifiant préféré est le numéro national de forage, et les coordonnées constituent un outil supplémentaire pour localiser les données sur une carte. Le numéro de forage doit également être utilisé pour les données provenant d'essais de forage (ou d'aquifères). Dans le cas où plusieurs forages sont utilisés pour observer les changements de la hauteur piézométrique à des fins d'essais sur l'aquifère, le forage pompé sera l'identifiant préféré.

Pour les données relatives à l'emplacement des forages, l'identifiant n'est pas aussi évident car souvent le numéro du forage n'est pas encore disponible/attribué. Si les données sur l'emplacement des forages sont liées à un forage spécifique, le numéro du forage doit être utilisé autant que possible. Dans le cas où une étude géophysique couvre une zone plus large, ce qui a entraîné l'implantation de plusieurs forages, les coordonnées du point central de l'étude d'implantation (géophysique) peuvent être utilisées comme un identifiant. En fonction de la fonctionnalité de la base de données, des caractéristiques géographiques plus avancées, telles que la boîte de délimitation des traversées géophysiques, peuvent également être utilisées pour localiser les données.

et aux essais des puits

3.2.2 Forage de puits

Comme pour le choix de l'emplacement d'un forage, le processus de forage comporte de multiples étapes. L'annexe B donne une vue d'ensemble des différentes étapes, y compris les responsabilités du foreur et du superviseur et les données clés à collecter à toutes les étapes du processus de forage.

Les données qui doivent être stockées dans les bases de données nationales des départements des eaux souterraines ou d'autres autorités compétentes sont les suivantes :

- Lieu et date ;
- Construction des puits (par exemple, géométrie, matériaux, tamisage, pompe) ;
- Digraphie lithologique : enregistrement des lithologies rencontrées lors du forage (profondeur par rapport au type de formation, texture, couleur, état d'altération) ;
- Taux de pénétration par profondeur ;
- Profondeur de la masse d'eau, zones d'écoulement perméable/préférentiel des eaux souterraines ;
- Débit de la soufflante de chaque plan d'eau ;
- Qualité de l'eau de chaque masse d'eau (par exemple, pH et EC comme indicateurs) ;
- Les conceptions et les dimensions réelles des forages ;
- Détails sur la construction du puits - tubage, crépine et profondeur de filtres à graviers/sable ;
- Facultatif : Description du site avec photographies
- Rapport sur le forage.

Le tableau 3.2 met en évidence les principales données à collecter au cours de chaque phase. Les étapes 4 (forage), 5 (construction du forage) et 8 (documentation) sont les étapes au cours

desquelles les données essentielles sont collectées et doivent être stockées dans les bases de données (nationales) des départements des eaux souterraines ou d'autres autorités compétentes. Les données de forage sont cruciales en ce qu'elles permettent de comprendre les systèmes d'eaux souterraines.

A titre d'exemple, la figure 3.1 montre le log lithologique d'un forage avec deux plans d'eau distincts, ainsi que le modèle conceptuel hydrogéologique interprété. Dans ce cas : un aquifère non confiné séparé d'un aquifère confiné plus profond par une couche de confinement.

La mesure du niveau de l'eau dans le forage ouvert ne permettra pas de saisir la différence des hauteurs piézométriques (et l'écoulement vertical potentiel) entre les deux aquifères. Cet exemple montre clairement que des piézomètres devront être placés dans chaque aquifère pour mesurer correctement (les tendances) les hauteurs d'eau souterraine dans chaque aquifère.

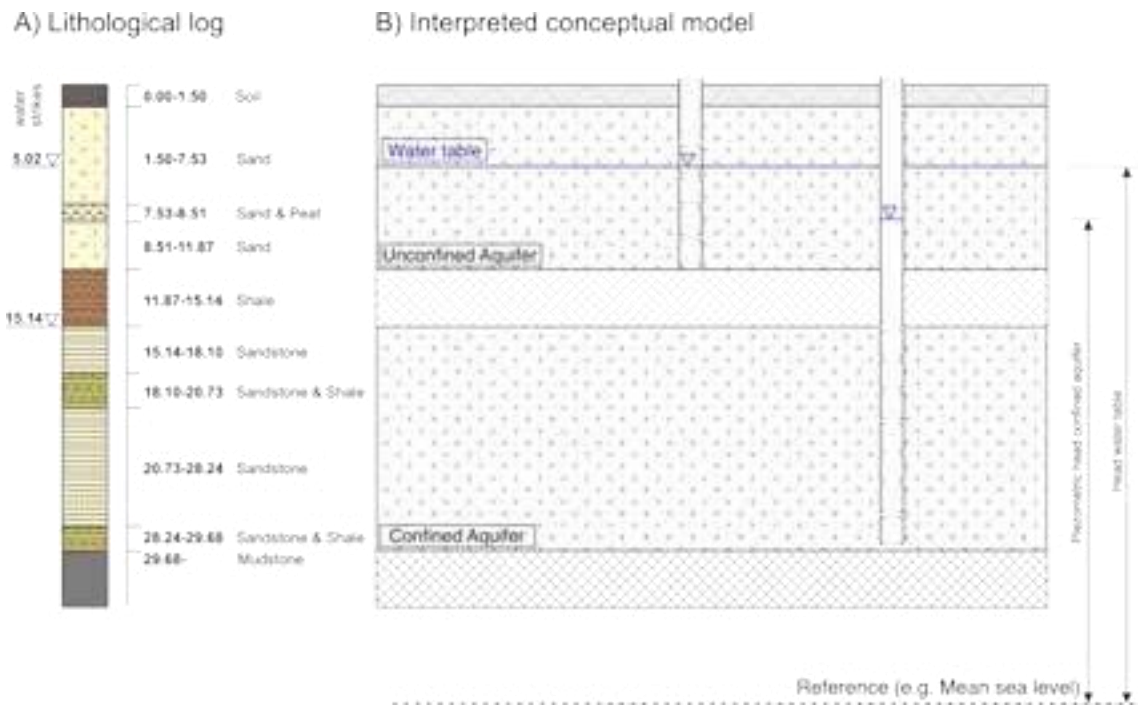


Figure 3.1 Exemple de log lithologique d'un forage et de modèle hydrogéologique conceptuel, interprétés à partir des résultats du forage.

Il faut prendre soin de lier toutes les données au bon forage. Cela se fait généralement en attribuant un numéro d'identification unique à chaque forage (*voir* encadré 3.1). Si elles ne sont pas collectées correctement pendant le forage et la construction du puits, des données telles que le log lithologique, les profondeurs des plans d'eau et les données sur la construction du puits peuvent être perdues à jamais, car elles sont très coûteuses à obtenir par la suite. Par exemple, pour refaire la collecte du log lithologique dans un forage équipé d'un tubage, il faut forer un nouveau puits.

Tableau 3.2 Étapes du processus de forage de puits assorties des données et informations recueillies à chaque étape

Forage de puits Phases de surveillance	Phase de collecte des données clés
1. Recherche du foreur approprié	• Devis initial pour les services de l'entrepreneur de forage devant assurer le forage, la construction, le développement et l'achèvement
2. Pré-mobilisation	• Sélection du foreur le plus rentable et le plus compétent en vue de sa nomination • Indication de la satisfaction de la qualité du matériel et aussi de la capacité du foreur, si ce n'est pas le cas : • Faire des recommandations au foreur pour des améliorations, • Si vous n'êtes pas satisfait du matériel, communiquer avec le foreur et procurez-vous séparément, si possible, ce que vous considérez comme le plus approprié.
3. Mobilisation	• Les chefs de la communauté sont au courant de la présence de l'équipe de forage et ont donné leur accord, • Le foreur est arrivé sur le site et est prêt pour le forage,
4. Forage	• **Date du forage** • **Emplacement exact du forage** • **Diagraphies lithologiques (normalement par mètre de profondeur de forage) telles que : le type de formation, la texture, la couleur, la structure, l'état d'altération, etc.** • **Taux de pénétration par mètre de profondeur de forage** • **Profondeur du plan d'eau,** • **Débit de la soufflante de chaque plan d'eau et au final,** • **Qualité de l'eau de chaque masse d'eau (par exemple, pH et EC comme indicateurs)**
5. Forage **Construction**	• **Les conceptions et les dimensions réelles des forages** • **Détails sur la construction du puits – tubage, crépine et profondeur de filtres à graviers/sable** • **Facultatif : Description du site avec photos**
6. Développement et achèvement	• Forage terminé, en attente de remise au client/ autorités responsables. • Enregistrement des données sur le niveau des eaux souterraines après l'achèvement des travaux, • Enregistrement des rendements inférieurs et des profondeurs de soufflage
7. Démobilisation	• Le site de forage est maintenant propre et restauré à son ancien état et le site est prêt à être remis. • Commencer à compiler le rapport de forage
8. Documentation et remise	Soumettre le rapport de forage et remettre le puits de forage au client. • Le rapport doit documenter l'ensemble des processus d'installation du forage, analyser les données de forage obtenues et développer une compréhension conceptuelle initiale de l'aquifère où le forage a été réalisé. • Cette compréhension conceptuelle initiale doit inclure des aspects tels que les diagraphies lithologiques, l'emplacement des principales zones d'écoulement (plans d'eau), les potentiels piézométriques/hydrauliques, la structure et le type d'aquifère.

Le texte en gras indique les données qui doivent être stockées dans des bases de données ou des archives de données. Voir l'annexe B.

Encadré 3.2 Problèmes potentiels dans l'enregistrement de l'emplacement des forages

Emplacement/coordonnées du puits :

Dans l'inventaire de l'état actuel de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines dans les États membres de la SADC (IGRAC et IGS, 2019b) et sur la base de l'expérience provenant des projets sur les eaux souterraines, il a été noté que l'enregistrement correct de l'emplacement unique d'un forage n'est pas évident.

Un problème courant est que pour les anciens forages, l'emplacement n'est souvent pas connu avec précision. Cela peut être dû au fait que le puits a été foré avant l'utilisation des GPS et qu'une carte topographique à petite échelle a été utilisée pour tracer l'emplacement ou au fait que plusieurs puits sur une ferme sont tous tracés au même endroit (aléatoire) sur la ferme. Il existe également des problèmes liés à l'utilisation de différentes projections cartographiques et différents systèmes de coordonnées dans le passé, ainsi qu'aux emplacements d'anciens forages qui n'ont pas été convertis au nouveau système.

Des problèmes moins évidents existent également : un forage peut avoir plusieurs coordonnées différentes, ce qui crée une confusion. Par exemple, parce que les coordonnées ont été enregistrées à différents moments, avec des équipements différents et avec une précision différente (par exemple, pendant le forage, pendant la construction et pendant les tests ou les relevés du puits). Si une telle situation existe, il est important de la nettoyer dans la base de données et de décider d'une coordonnée (précise) pour décrire l'emplacement du forage. Cela peut nécessiter un travail supplémentaire sur le terrain.

3.2.3 Essai d'un puits

Pour tester la performance des puits, estimer le rendement durable et estimer les propriétés hydrauliques de l'aquifère. Les tests de performance des puits et l'estimation du rendement durable sont souvent appelés tests de performance des puits ou tests des forages, tandis que les tests visant à calculer les propriétés physiques ou hydrauliques de l'aquifère/système aquifère sont généralement appelés tests de pompage. De nombreuses méthodes différentes sont disponibles en fonction de l'objectif spécifique du test, de la disponibilité de forages d'observation appropriés dans le rayon d'influence du forage pompé et de la compréhension conceptuelle de l'aquifère ou du système aquifère. Le tableau 3.3 donne une vue d'ensemble des principales étapes et des résultats attendus des essais de puits.

L'annexe C fournit une vue d'ensemble plus complète en décrivant les considérations et les étapes des essais de puits et de la mise en place des essais de pompage.

Les données suivantes, issues des tests de forage, doivent être stockées dans des bases de données (nationales) auprès des services des eaux souterraines ou d'autres autorités compétentes :

- Emplacement de l'essai de pompage (puits de pompage et puits d'observation, le cas échéant) ;
- Date de l'essai de pompage ;
- Type d'essai de pompage ;
- Durée de l'essai de pompage ;
- Données variant dans le temps :
  - Taux de pompage en fonction du temps
  - Pour chaque forage : Prélèvement et/ou récupération dans le temps

Rapport sur les résultats de l'analyse du forage/essai de pompage, y compris (le cas échéant) :

- Caractéristiques de performance du puits - Capacité spécifique et efficacité du puits ;
- Débit durable/sûr/fiable ; et
- Caractéristiques physiques/hydrauliques de l'aquifère ou du système aquifère : conductivité ou transmissivité hydraulique, stockage spécifique ou storativité, rendement spécifique, résistance hydraulique.

Tableau 3.3 Un résumé de principales étapes et attentes des tests de pompage de l'aquifère

Étape	Objectif	Données clés à collecter	Paramètres estimés
Planification du développement	Pour permettre la préparation de l'essai de décharge à débit constant	• Emplacement du site, • Date, • Profondeur du plan d'eau, • Lithologie de l'aquifère, • Débits de la soufflante, • Voir le rapport de forage	Non applicable
Profilage de la conductivité électrique des fluides (FEC) du puits	Localiser les plans d'eau et les zones d'écoulement des eaux souterraines	• Profil FEC du puits	• Profondeur de la masse d'eau et zones d'écoulement des eaux souterraines
Essai d'étalonnage	Sélectionner le CRD approprié	• Temps et niveaux des eaux souterraines (rabattement), • Débits progressifs	• CRD approprié
Essai de rabattement étagé	Évaluer les caractéristiques d'efficacité des puits	• Temps et niveaux des eaux souterraines (rabattement), • Débits progressifs	• Efficacité du puits • Propriétés hydrauliques
Essai de prélèvement à taux constant (CRD)	Estimer le rendement durable/fiable du forage, Estimer les propriétés hydrauliques et de stockage de l'aquifère.	• Le temps et le niveau des eaux souterraines (rabattement), • Moyenne CRD	• Débit durable/fiable • Propriétés hydrauliques de l'aquifère/aquitard
Essai de récupération	Estimer les propriétés hydrauliques et de stockage de l'aquifère Évaluer le % de récupération	• Temps résiduel, • Niveaux résiduels des eaux souterraines	• Propriétés hydrauliques • Évaluer le % de récupération

3.3 Stratégies visant à encourager la participation des parties prenantes à l'obtention des données essentielles. Les sections précédentes ont décrit les données essentielles qui devraient être collectées lors de la localisation, du forage et de l'essai des puits de forages, pour être stockées dans des bases de données ou des archives de données sur les eaux souterraines. La difficulté de maintenir à jour les bases de données et les archives de données est de s'assurer que les données correctes sont correctement enregistrées sur le terrain et que les données sont soumises à la section responsable de la gestion des bases de données et des archives de données (voir également le chapitre 5 sur le contrôle de la qualité). Pour que ce processus soit couronné de succès, il est essentiel de connaître les acteurs concernés et de les inciter à collecter et à soumettre les données correctes. Les parties prenantes impliquées dans les différentes étapes peuvent être :

- des fonctionnaires du gouvernement (du département de l'eau, de l'enquête géologique) ;
- Des fonctionnaires d'autres organisations publiques ou semi-publiques (telles que les sociétés de distribution d'eau) ;
- Des consultants (sociétés d'hydrogéologie et/ou de géophysique, sociétés de forage de puits)
- Les propriétaires de puits, qui peuvent être le gouvernement lui-même, des organisations semi-publiques/paraétatiques, des entreprises privées ou des propriétaires de puits privés

individuels.

Il est important de trouver des moyens d'engager et d'encourager en permanence la participation des parties prenantes à la collecte des données essentielles relatives au forage, à l'implantation et à l'essai des puits, et de fournir ces données au service gouvernemental compétent pour qu'il les stocke dans des archives ou des bases de données. Différentes stratégies sont nécessaires compte tenu de la diversité des parties prenantes. Les stratégies peuvent consister à créer un environnement stimulant (par exemple en facilitant la collecte et la transmission des données) et peuvent inclure des instruments juridiques ou réglementaires permettant de garantir la collecte et la transmission des données.

3.3.1 Promouvoir la collecte de données sur les eaux souterraines

Il existe diverses stratégies permettant aux services des eaux souterraines d'encourager les parties prenantes de tous les secteurs (public, semi-public et privé) à collecter les données essentielles et à les soumettre pour qu'elles soient stockées dans des archives ou des bases de données. Ces étapes sont les suivantes :

- **Simplifier l'enregistrement et la soumission des données**
  Cela peut être fait en spécifiant clairement la liste minimale de données et les formats de données requis. Des formulaires de terrain clairs et faciles à utiliser peuvent guider et simplifier la collecte de données. Les outils modernes tels que les applications de téléphonie mobile peuvent faciliter encore davantage l'enregistrement précis des données (en utilisant des formulaires numériques de terrain qui peuvent inclure des contrôles simples et des options prédéfinies) et qui peuvent également faciliter la soumission des données (par exemple en exportant des fichiers de données qui peuvent être partagés par e-mail, ou plus avancé en soumettant les données directement à la base de données).
- **Former les parties prenantes**
  Pour de nombreux acteurs concernés, la collecte et, en particulier, la transmission de données à des fins d'archivage ne constituent pas une priorité absolue. Certains peuvent également ne pas être conscients des données qui doivent être collectées. Afin de sensibiliser les parties prenantes à l'importance de ces données et de leur donner les moyens de recueillir les bonnes données, les services des eaux souterraines peuvent organiser des ateliers ou fournir des instructions claires sur la collecte et la transmission des données, non seulement pour les techniciens de terrain de leurs propres services mais aussi à l'intention d'autres parties prenantes telles que les sociétés de forage et les cabinets d'experts-conseils.
- **Fournir aux parties prenantes un accès aux données**
  SADC-GMI (2018) indique que la question de l'accès public aux données sur les eaux souterraines détenues par l'État est mal formulée au niveau politique. Cette question doit être abordée. Si les parties prenantes peuvent facilement utiliser les données et les informations des bases de données nationales pour leurs propres besoins, elles seront peut-être plus enclines à contribuer à ces bases de données en fournissant des données provenant de leurs propres activités d'implantation, de forage et d'essai de puits.
- **Aborder les questions liées aux données sensibles**
  Les parties prenantes doivent savoir clairement quelles sont les données qu'il leur est demandé de fournir qui seront utilisées par qui et dans quel but. Dans le cas contraire, les parties prenantes peuvent être réticentes à soumettre des données.
- **Sensibiliser aux avantages des données**
  L'analyse et l'interprétation des données sur les eaux souterraines dans la région de la SADC sont très limitées (IGRAC, 2019b). Il est important pour les départements des eaux souterraines de développer des produits informatifs basés sur les données des archives /

bases de données nationales pour montrer l'importance de ces données au grand public et en particulier aux professionnels des eaux souterraines tels que les foreurs et les consultants. Il peut s'agir par exemple de cartes de la productivité des aquifères, de modèles conceptuels des systèmes aquifères, etc. mais aussi de rapports réguliers sur la gestion des ressources nationales en eaux souterraines. L'intérêt pour les propriétaires de forages privés de soumettre des données pourrait être d'obtenir des conseils gratuits sur l'état de leur forage en termes de rendement et de qualité (bilan de santé du forage).

3.3.2 Instruments juridiques et/ou réglementaires

Le gouvernement, par l'intermédiaire des départements compétents en matière d'eaux souterraines, est le gardien de toutes les ressources en eaux souterraines, et des instruments juridiques exécutoires font partie des stratégies visant à garantir que les données essentielles sont collectées et soumises au gouvernement. Des instruments juridiques exécutoires peuvent être appliqués aux principales parties prenantes dans les considérations suivantes :

- **Enregistrement ou octroi de licences pour le forage de puits et l'utilisation des eaux souterraines**
  Tous les propriétaires de forages, par le biais d'un enregistrement obligatoire ou d'une licence pour les forages et/ou l'utilisation des eaux souterraines avec des conditions sur la soumission des données, peuvent être obligés de collecter et de soumettre des données sur l'emplacement, le forage et les tests. Pour des secteurs spécifiques tels que les installations de traitement des déchets (par exemple, les sites d'enfouissement, les décharges minières, etc.), la collecte et la transmission des données essentielles sur les eaux souterraines peuvent également être organisées par le biais des licences d'exploitation.
- **Licences et/ou enregistrements professionnels**
  Pour les foreurs et les consultants, la condition d'enregistrement adéquat et de transmission rapide des données essentielles peut faire partie de leur licence d'exploitation et/ou de leur enregistrement professionnel.
- **Accords contractuels**
  Les documents d'appel d'offres pour les travaux liés aux ressources en eau souterraine pour le secteur (semi-)public devraient inclure des conditions pour collecter et soumettre les données essentielles.

La réussite de la mise en œuvre des instruments juridiques et réglementaires exige non seulement que ces instruments soient développés en fonction des besoins, mais surtout qu'ils soient appliqués sur le terrain. Les réglementations visant à protéger les ressources en eaux souterraines sont souvent inexistantes et, lorsqu'elles sont en vigueur, il arrive souvent qu'aucune application ou sanction des activités illégales n'ait lieu (SADC-GMI, 2018). Il est nécessaire de développer la capacité à faire respecter les réglementations sur les eaux souterraines (non seulement en ce qui concerne la collecte de données sur les eaux souterraines, mais surtout sur l'utilisation des eaux souterraines et la protection de leur qualité). Selon la structure organisationnelle du gouvernement, il peut être plus efficace de développer cette capacité dans le secteur plus large de l'application de la loi environnementale, plutôt que spécifiquement pour les eaux souterraines.

3.4 Messages principaux

- **Les données provenant de la localisation, du forage et des essais des puits sont essentielles pour développer une compréhension conceptuelle des systèmes aquifères et pour gérer durablement les prélèvements d'eau souterraine ;**
- **Les données issues du forage et de la construction des puits sont pratiquement**

perdues si elles ne sont pas correctement enregistrées pendant la phase de forage et de construction. Il est donc crucial de mettre en place des procédures permettant à toutes les parties prenantes d'enregistrer correctement ces données essentielles et de les soumettre pour qu'elles soient stockées dans des archives de données ou des bases de données ; et

- **Les départements des eaux souterraines doivent initier des activités pour stimuler ou même obliger les parties prenantes à soumettre les données essentielles provenant du forage, des essais et de l'emplacement des puits de forage. L'application de la réglementation sur les eaux souterraines nécessite un renforcement des capacités dans le domaine de l'application de la législation environnementale.**

4 ASPECTS RELATIFS À L'ORGANISATION ET À LA PLANIFICATION DE LA SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES

4.1 Introduction

La surveillance des eaux souterraines est la mesure continue de variables telles que les niveaux, la qualité ou le prélèvement des eaux souterraines afin d'évaluer l'état et les tendances. Alors que la collecte de données provenant de l'implantation, du forage et des essais des puits (traitée dans le chapitre 3) est effectuée sur une base ad hoc, la collecte de données de surveillance des eaux souterraines est continue, d'où la nécessité d'une planification et d'une organisation appropriées à long terme.

Ce chapitre se focalise sur les aspects organisationnels et de planification du développement et de la mise en œuvre des programmes de surveillance des eaux souterraines. Ce chapitre commence par une discussion sur les objectifs de surveillance et l'échelle des programmes de surveillance. Les aspects organisationnels et de planification du développement et de la mise en œuvre d'un programme de surveillance sont ensuite abordés. Il fournit des conseils pour la mise en place de programmes de surveillance des eaux souterraines avec des objectifs clairs et des ambitions réalistes (en termes de coûts d'équipement, de logistique et de personnel) qui peuvent être maintenus pendant de longues périodes. Le chapitre ne couvre pas les considérations hydrogéologiques pour la conception des réseaux d'eau souterraine, les protocoles et les procédures de surveillance des eaux souterraines, car il existe déjà de nombreuses lignes directrices, de manuels et d'articles scientifiques sur ces sujets. Le chapitre se termine par une discussion sur une autre façon de collecter des données par le biais d'une surveillance communautaire des eaux souterraines.

Tout au long de ce chapitre, les auteurs ont fait un usage intensif du guide sur la surveillance des eaux souterraines à des fins de référence générale (IGRAC, 2008), dont la lecture est fortement recommandée lors de l'élaboration d'un programme de surveillance des eaux souterraines.

4.2 Objectifs et échelles de la surveillance des eaux souterraines

Des questions ou des objectifs de surveillance différents nécessitent des données différentes et donc des programmes de surveillance différents (paramètres à surveiller, distribution spatiale 3-D ou réseau de points d'observation, et fréquence d'observation). L'absence d'objectifs de suivi clairs entraînera des programmes de suivi inefficaces. De nombreuses lacunes dans la surveillance des eaux souterraines peuvent être expliquées par l'absence d'objectifs de surveillance clairs dans la SADC et dans d'autres régions du monde (Tuinhof, et al. 2006). Définir clairement les objectifs de surveillance des eaux souterraines est la première étape. Il est nécessaire de définir les questions auxquelles vous souhaitez répondre à l'aide des données de surveillance (encadré 4.1).

Mesure du niveau des eaux souterraines

En voici quelques exemples :

- Quelle est la tendance générale de la disponibilité des ressources en eau souterraine dans un aquifère ou une zone (surveillance de référence générale) ?
- Y a-t-il des fuites de contaminants d'un site industriel (surveillance du confinement de la pollution) ?
- Quelle est la qualité attendue à long terme des eaux souterraines prélevées dans le champ de captage pour l'approvisionnement en eau publique (surveillance de la protection) ? et
- Quel est le régime de pompage sûr dans le champ de captage pour l'approvisionnement public en eau (surveillance de la protection) ?

Ces différentes questions/objectifs de surveillance déterminent lesquels des paramètres sont nécessaires à partir de quels endroits et à quelle fréquence. Le tableau 4.1 présente une vue d'ensemble des programmes de surveillance classés par objectif et échelle de surveillance, et par rapport aux étapes de développement et de gestion des eaux souterraines.

La mesure des niveaux d'eau fait partie de la surveillance des eaux souterraines.

Tableau 4.1 Classification des réseaux de surveillance des eaux souterraines en fonction des objectifs de surveillance

Stade de développement et de gestion des eaux souterraines	Catégorie principale		Objectif/fonction(s) de surveillance		Échelle**	Emplacement des puits
Reconnaissance du système des eaux souterraines	Réseau de contrôle de ressource	Surveillance impromptue	Caractériser le système des eaux souterraines (quantité et qualité) Estimer le potentiel de mise en valeur des eaux souterraines		Régionale***	Utilisation des points d'observation existants
Stade précoce de l'exploration et de la mise en valeur des eaux souterraines		Basic - Surveillance de référence générale	Identifier les tendances dans le temps du stockage des eaux souterraines Identifier les tendances dans le temps de la qualité des eaux souterraines Étudier et prévoir les impacts régionaux des prélèvements d'eau souterraine	Déterminer les effets (positifs) des interventions de gestion des eaux souterraines	Régionale***	Amélioration du réseau de points d'observation (existants et nouveaux)
Stade de l'exploitation et de la gestion intensive des eaux souterraines		Primaire – Contrôle de référence	Évaluation du comportement général des eaux souterraines : • les tendances résultant du changement d'affectation des terres, de l'utilisation des eaux souterraines et des variations climatiques • les processus tels que la recharge, l'écoulement et la contamination diffuse		Régionale	Réseau optimisé dans des zones uniformes du point de vue de l'hydrogéologie et de l'utilisation des sols, et éloigné de l'influence directe du pompage.

	S *					
		Contrôle de la protection ou Contrôle de la conformité	Protection des éléments suivants: • ressource stratégique en eau souterraine • champs de captage/source pour l'approvisionnement public en eau • infrastructures urbaines contre les affaissements de terrain • sites archéologiques contre la montée de la nappe phréatique • les écosystèmes dépendant des eaux souterraines contre les impacts potentiels (par exemple, l'extraction, la pollution, les changements dans l'utilisation des terres).		Locale régional dans certains cas (par exemple, ressource stratégique en eau souterraine dans un aquifère régional)	Autour des zones/installations/éléments à protéger
		Surveillance du confinement de la pollution ou Contrôle de conformité	Information d'alerte précoce sur l'impact des eaux souterraines : • utilisation intensive des terres agricoles • les sites industriels présentant des risques de pollution des eaux souterraines • les décharges de déchets solides et les stations d'épuration des eaux • les carrières et les mines, • etc.		Locale	Gradient hydraulique immédiatement inférieur et supérieur au danger.
	réseaux	Suivi des projets (temporaire !)	Surveillance spécifique, souvent temporaire, visant à étudier un phénomène précis, par exemple : • la recherche spécifique (état de contamination) • l'effet d'une intervention (par exemple, une mesure corrective)		Locale (principalement)	Défini par le phénomène à étudier

* Dans la transition entre la surveillance impromptue – de base – primaire, les objectifs / fonctions s'accumulent, c'est-à-dire qu'un réseau de surveillance de référence primaire pointillée.

** Régionale / Locale. Régionale peut être infranationale (par exemple, un aquifère régional), national ou supranational (par exemple, un aquifère transfrontalier, région de la SADC).

*** Une certaine surveillance à l'échelle locale (secondaire, tertiaire ou quaternaire) peut déjà exister, également à ces stades précoces.

Source : Modifiée par rapport à IGRAC (2008) et Tuinhof, et al. (2006)

Les objectifs de surveillance peuvent évoluer (comme le montre le tableau 4.1), allant d'une surveillance de référence non planifiée, utilisant simplement les données des forages existants et sans définition préalable des objectifs de surveillance et/ou du réseau de surveillance, à des réseaux de référence primaires bien conçus, complétés par des réseaux de surveillance secondaires et tertiaires. Les réseaux de surveillance secondaires et tertiaires nécessiteront généralement une distribution plus dense de points de données, voire une fréquence de surveillance plus élevée. En termes de qualité des eaux souterraines, les mesures peuvent nécessiter l'analyse d'un plus grand nombre de paramètres.

S'il est clair que des objectifs de surveillance différents nécessitent des programmes de surveillance différents, il est essentiel de réaliser qu'un site de surveillance (forage) peut faire partie de plusieurs programmes de surveillance. A titre d'exemple, la figure 4.1 illustre comment certains points d'observation (et les données recueillies à partir de ces points) peuvent contribuer à différents programmes de surveillance. Par exemple, un point peut servir à la surveillance de la protection locale, à la surveillance de référence générale nationale et au réseau international, mais tous les points de la surveillance de la protection locale ne sont pas utilisés pour répondre aux questions liées au grand réseau international.

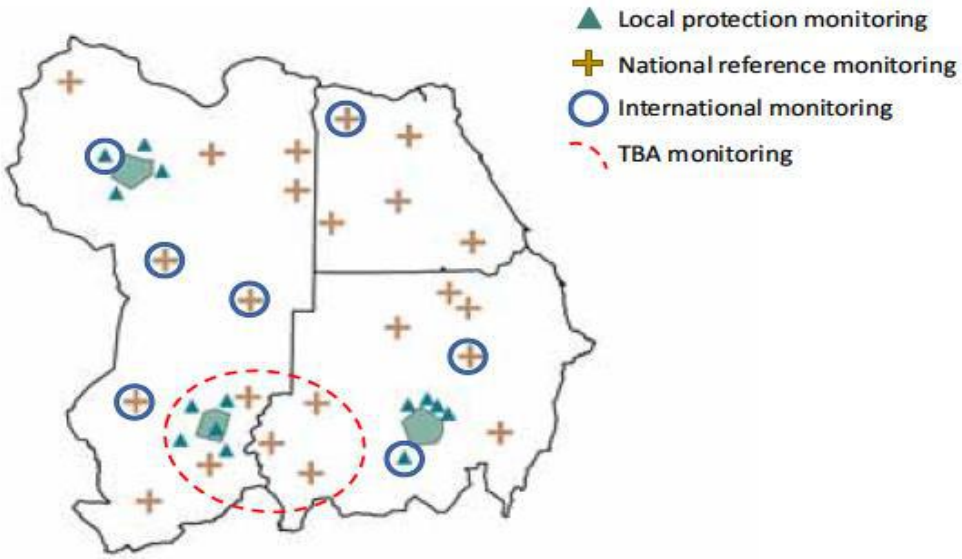


Figure 4.1 Synergies entre les différents programmes de surveillance

Un autre exemple serait dans un programme de surveillance de la qualité des eaux souterraines où une sélection de points de surveillance est échantillonnée annuellement pour suivre les tendances dans le temps, tandis qu'un plus grand nombre de points peut être utilisé pour des rapports quinquennaux sur la distribution spatiale de la qualité de l'eau (IGRAC, 2008).

L'utilisation efficace des données d'un seul site de surveillance pour différents programmes de surveillance nécessite une coopération entre les organisations impliquées dans la surveillance à différentes échelles et ce processus bénéficie de bases de données nationales sur les eaux souterraines bien structurées et largement accessibles (chapitre 6). Les programmes de surveillance transfrontaliers utilisent généralement les données recueillies dans le cadre de programmes nationaux ou locaux. Aux Etats-Unis d'Amérique, un réseau national de surveillance des eaux souterraines a été créé sur base des programmes de surveillance fédéraux, multiétatiques, étatiques, tribaux et locaux existants (encadré 4.2). C'est également la stratégie qui a été recommandée pour développer un programme de surveillance à l'échelle de la SADC (Wellfield Consulting Services, British Geological Survey, 2011a ; Wellfield Consulting Services, British Geological Survey 2011b ; Wellfield Consulting Services, British Geological Survey et 2011c).

Encadré 4.1 Exemples d'objectifs de surveillance des eaux souterraines

Besoins en données relatives à l'état et à la mise en valeur des eaux souterraines :

Gestion durable des captages d'eau souterraine ;

Déterminer les meilleurs emplacements pour le captage des eaux souterraines ;

L'étude des effets du changement climatique sur les ressources en eau souterraine ; et

Informer périodiquement les gestionnaires ou le grand public sur l'état réel des eaux souterraines.

Besoins de données liés à la protection des systèmes d'eaux souterraines et de l'environnement :

Protection des systèmes d'eaux souterraines contre la surexploitation ;

Protection des zones de conservation de la nature contre la baisse des nappes phréatiques ;

Protection des aquifères contre la contamination provenant de « sources ponctuelles » telles que les mines ou les sites d'élimination des déchets ;

Le contrôle de l'intrusion ou de la remontée d'eau saline dans les aquifères ; et

Protection des aquifères contre la contamination par des sources diffuses de pollution ; et contrôle de l'affaissement des sols causé par le captage des eaux souterraines.

Modifié par rapport à : IGRAC (2018) Lignes directrices sur la surveillance des eaux souterraines à des fins de référence générale.

Box 4.2 Réseau national de surveillance des eaux souterraines des États-Unis – Inspiration pour un réseau de surveillance des eaux souterraines à l'échelle de la SADC

Le sous-comité américain sur les eaux souterraines (SOGW), (http://acwi.gov/sogw/pubs/tr/index.html), ainsi que ses groupes de travail, est composé de plus de 70 personnes représentant le secteur privé et 54 organisations différentes, dont des organisations non gouvernementales, des agences étatiques et locales, des agences fédérales et des universités. Le SOGW a été chargé par le Comité consultatif fédéral sur l'information relative à l'eau (ACWI) d'élaborer un cadre qui établit et encourage la mise en œuvre d'un réseau de surveillance à long terme de la quantité et de la qualité des eaux souterraines. Ce cadre a conduit à la création d'un réseau national de surveillance des eaux souterraines), fournissant les données et les informations nécessaires à la planification, à la gestion et au développement des ressources en eau souterraine de manière durable (c'est-à-dire pour répondre aux besoins actuels et futurs en eau et aux exigences des écosystèmes). Les données du NGWMN sont partagées via un portail dédié : https://cida.usgs.gov/ngwmn/.

Le NGWMN est envisagé comme un système volontaire, coopératif et intégré de collecte, de gestion et de communication des données qui fournira les données nécessaires pour aider à répondre aux questions actuelles et futures de gestion des eaux souterraines. Ainsi, le NGWMN peut être considéré comme une agrégation de puits sélectionnés à partir des réseaux de surveillance des eaux souterraines fédéraux, multiétatiques, étatiques, tribaux et locaux existants dans des aquifères sélectionnés à travers le pays. Il tire parti des efforts de surveillance existants, mais cherche également à les améliorer.

Le NGWMN fournira des données qui pourront être utilisées pour évaluer les conditions de base et les tendances à long terme des niveaux d'eau et de la qualité de l'eau dans les aquifères importants à l'échelle nationale, multi-états et régionale.

Source : SOGW (2013)

4.3 Élaboration d'un programme de surveillance

L'IGRAC (2008) présente la conception et la mise en œuvre d'un programme de surveillance des eaux souterraines comme un processus par étapes, comme le montre la figure 4.2 avec plus de détails dans l'encadré 4.3. Les étapes visent à assurer que les programmes de surveillance sont développés de manière à fournir les bonnes données aux utilisateurs (institutions et personnes

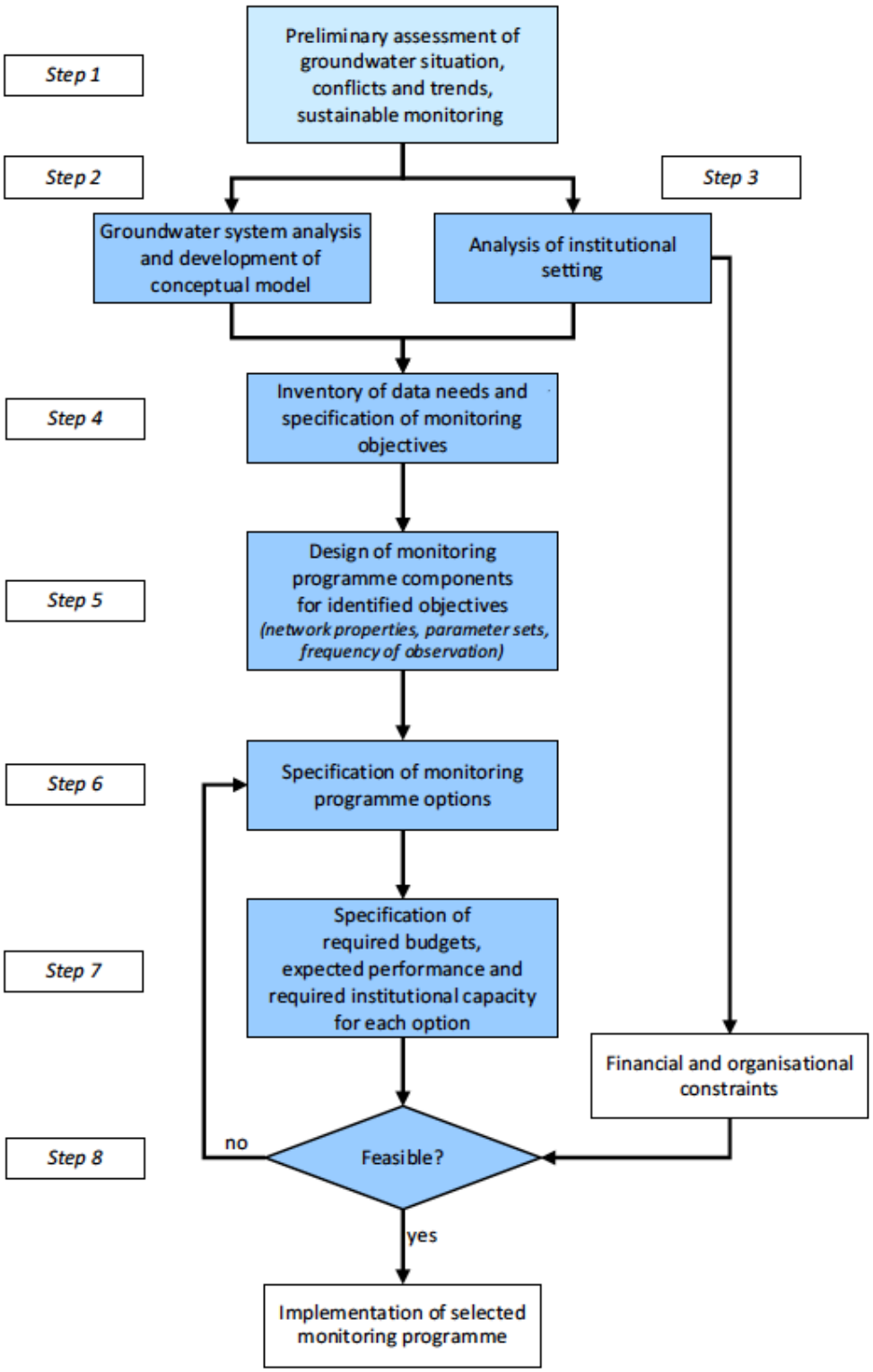
impliquées dans l'évaluation, la mise en valeur, la gestion et la protection des eaux souterraines ou d'autres activités dépendantes des données sur les eaux souterraines) dans le cadre du budget, des capacités et des dispositions institutionnelles disponibles.

L'examen détaillé de tous ces aspects va au-delà du présent cadre. Pour cela, le lecteur est invité à consulter IGRAC (2008).

Les sections suivantes mettent en évidence les aspects les plus pertinents, classés en trois étapes : l'évaluation préliminaire (étape 1), la conception d'un programme de surveillance (étapes 2 à 7) et la mise en œuvre et la maintenance (étapes 7 et 8).

Crédit :

Les données de forage sont cruciales en ce qu'elles permettent de comprendre les systèmes d'eaux souterraines



Source : IGRAC (2008)

Voir l'encadré 4.3 pour une explication

Figure 4.2 Schéma pour la conception d'un programme de surveillance des eaux souterraines

Encadré 4.3 Description de différentes étapes du développement d'un programme de surveillance des eaux souterraines

Étape 1 : Évaluation préliminaire de la situation des eaux souterraines, des problèmes et des tendances ainsi que de la taille d'un programme durable de surveillance des eaux souterraines.

Cette étape a pour but d'aider à apprécier si une surveillance systématique des eaux souterraines est souhaitable ou non dans une région et quels devraient être les objectifs et la portée du ou des programmes de surveillance, compte tenu des conditions budgétaires et organisationnelles données. Les activités décrites sont destinées à fournir les éléments d'un « examen rapide » de la situation des eaux souterraines, des problèmes réels et d'une liste de questions clés pour la surveillance.

Étape 2 : Analyse du système des eaux souterraines et développement d'un modèle conceptuel

Cette étape implique l'analyse du système des eaux souterraines (aquifères et systèmes d'écoulement) et le développement d'un modèle conceptuel sur la base des informations hydrogéologiques et hydrologiques disponibles. Le modèle conceptuel, à son tour, constitue le cadre technique pour la conception du réseau de surveillance des eaux souterraines. La qualité des eaux souterraines est également analysée par rapport aux systèmes d'écoulement des eaux souterraines définis.

Étape 3 : Analyse du cadre institutionnel

Cette étape concerne un inventaire des institutions impliquées dans l'exploitation, la gestion et la protection des eaux souterraines ainsi que l'analyse de leurs rôles, mandats, tâches et des budgets et effectifs correspondants. L'évaluation de ces conditions devrait permettre d'avoir une meilleure idée de la portée et des limites liées à l'extension ou à l'amélioration de la surveillance des eaux souterraines.

Étape 4 : Inventaire des besoins en données et spécification des objectifs de surveillance

L'inventaire des besoins en données comprend la liste des utilisateurs de données sur les eaux souterraines et l'évaluation de leurs besoins en données. Les objectifs de la surveillance peuvent inclure la fourniture de données pour l'évaluation, la mise en valeur, l'utilisation, la gestion et la protection des ressources en eau souterraine.

Étape 5 : Conception des composantes du programme de surveillance des eaux souterraines pour les objectifs identifiés

Cette étape concerne l'analyse des objectifs de surveillance et leur traduction en composantes du programme de surveillance. Chaque objectif de surveillance conduit à une composante de surveillance avec ses propres exigences spécifiques (zone à couvrir, configuration préférentielle du réseau, paramètres nécessaires, fréquence d'échantillonnage, etc.) En rassemblant les composantes dans un schéma, les différentes fonctions et besoins du programme de surveillance deviendront clairs. En raison de la complexité des situations, une structure modulaire du programme de surveillance est recommandée.

Étape 6 : Spécification des options du programme de suivi

La faisabilité d'un programme de surveillance dépend, entre autres, des budgets et des capacités institutionnelles disponibles. Une bonne pratique consiste à envisager un nombre limité d'options possibles pour le programme de surveillance, par exemple avec un niveau de complexité croissant. Les options peuvent différer en ce qui concerne la portée du programme, la zone couverte ou les propriétés concernées (par exemple, la densité du réseau, la fréquence des observations, etc.) La spécification des options à considérer doit être faite en consultation avec les représentants de l'institution responsable de la gestion et de la surveillance des eaux souterraines. Les détails des programmes envisagés doivent être clairement spécifiés sur des cartes et/ou des tableaux.

Source : IGRAC (2008)

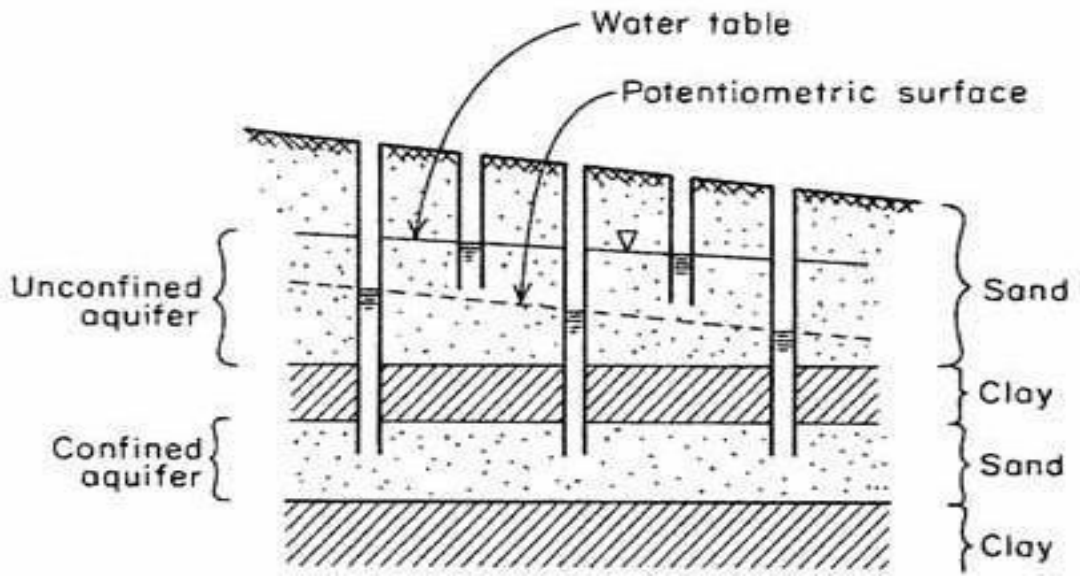
Voir la figure 4.2 pour un aperçu schématique

4.3.1 Évaluation préliminaire

À l'exception peut-être de la surveillance impromptue (Tableau 4.1), un minimum d'informations sur le contexte hydrogéologique est nécessaire avant de pouvoir développer un programme de surveillance. L'objectif de cette phase d'évaluation préliminaire est de créer une vue d'ensemble de tous les aspects pertinents définissant le besoin, les objectifs et les priorités du programme de surveillance. Cette phase implique :

- La définition des questions clés qui nécessitent un suivi ;
- La définition d'une échelle appropriée/gérable pour la surveillance (la zone à surveiller) ;
- La caractérisation générale de la zone cible en termes de caractéristiques climatiques, hydrologiques, topographiques et socio-économiques pertinentes ;
- La caractérisation hydrogéologique de la zone ; et
- La spécification des questions clés qui peuvent être analysées par le biais du suivi (IGRAC 2018).

La caractérisation hydrogéologique implique la conceptualisation du système des eaux souterraines. Il est essentiel d'avoir une idée de ce que sont les formations aquifères, de leur localisation, de la direction générale de l'écoulement dans les différents aquifères, y compris l'emplacement des zones de recharge et de décharge, et de l'utilisation qui est faite des eaux souterraines. Les informations préliminaires sur le contexte hydrogéologique sont acquises à partir de données provenant de l'implantation, du forage et des essais de puits, ainsi que des séries de données connexes, comme les cartes géologiques, pédologiques et d'occupation des sols, les données météorologiques et la topographie (*voir* également le chapitre 2). Les aquifères sont des corps tridimensionnels et, en tant que tels, une bonne compréhension des ressources en eau souterraine n'est possible que si cette composante tridimensionnelle est prise en considération. Cet aspect n'est souvent pas suffisamment pris en compte, ce qui fait que les données provenant de différents aquifères sont traitées comme si elles représentaient un seul aquifère, alors qu'il s'agit de systèmes très distincts (*voir l*a figure 4.3).



Source : Freeze and Cheery (1979)

Figure 4.3 Profils du niveau des eaux souterraines dans deux aquifères sous-jacents

La dernière étape de l'évaluation préliminaire est tout aussi importante pour la caractérisation générale et hydrogéologique, mais elle est souvent négligée par les hydrogéologues. Afin de concevoir un programme de surveillance qui puisse être mis en œuvre et maintenu sur de longues

périodes, il est essentiel de tenir compte dès le départ du budget disponible et des capacités humaines. Cela doit correspondre aux coûts et aux capacités requises pour la conception et la mise en œuvre, ainsi que pour la maintenance du réseau, la collecte, la gestion et l'analyse des données (voir également la section 4.3.3 et le chapitre 9).

4.3.2 Conception d'un programme de suivi

Une fois que les objectifs de surveillance, les besoins en données et l'échelle du programme de surveillance ont été déterminés sur la base de l'évaluation préliminaire, la conception du programme de surveillance peut commencer. Il s'agit de définir :

- Le genre de données à recueillir ;
- À quels endroits ;
- À quelle fréquence ;
- Pendant combien de temps ;
- Comment l'organiser ; et
- Comment payer pour cela ?

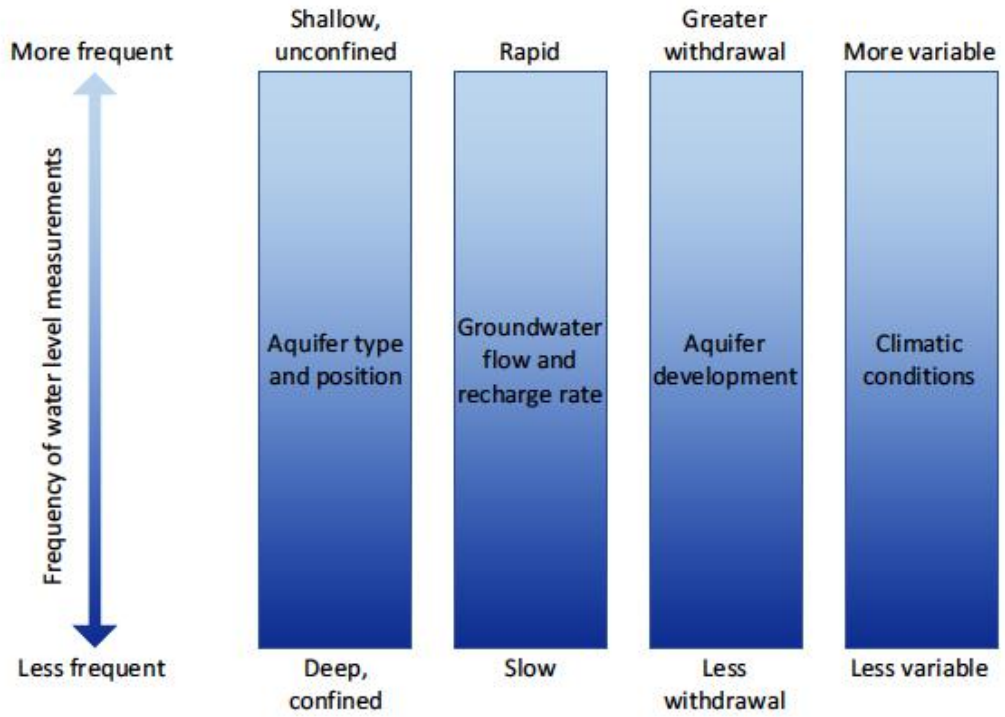
Comme expliqué dans l'introduction, il n'est pas du ressort de ce cadre de fournir des détails techniques, des directives ou des critères de conception complets pour les réseaux de surveillance des eaux souterraines. Il existe un grand nombre de directives et de manuels disponibles (voir aussi l'annexe E) et le choix final dépend des objectifs de surveillance combinés aux caractéristiques de la zone de surveillance et au budget disponible. À titre d'exemple, le tableau 4.2 donne une indication de différents besoins en données pour différents objectifs de surveillance, tandis que la figure 4.4 donne une impression des facteurs à prendre en compte pour déterminer la fréquence de surveillance des niveaux des eaux souterraines. Pour déterminer les exigences exactes de la surveillance de la qualité des eaux souterraines, des connaissances spécialisées sont nécessaires afin de définir les constituants à analyser, car cela dépend largement des caractéristiques chimiques de l'aquifère hôte, des processus hydrochimiques dans l'aquifère et du processus ou du contaminant devant faire l'objet de surveillance.

Tableau 4.2 Exemple de besoins en matière de données provenant de différentes sources de données pour des objectifs spécifiques

Objectifs de suivi	Puits d'observation des eaux souterraines			Puits de pompage des eaux souterraines			Sources			Points d'observation des eaux de surface		
	Niveaux	Décharge	Qualité	Niveaux	Décharge	Qualité	Niveaux	Décharge	Qualité	Niveaux	Décharge	Qualité
Mise en valeur des eaux souterraines												
Caractérisation du système des eaux souterraines	xx	n.a.		x			x			x		
Potentiel des eaux souterraines pour le développement (quantité et qualité)	xx	n.a.	xx		xx	xx		xx	xx		xx	xx
Meilleurs emplacements pour les champs de captage	xx		xx			xx			x			(x)
Contrôle et protection												
Tendances de la surexploitation	xx	n.a.		x	xx			xx			xx	
Conservation de la nature	xx	n.a.			xx		x	xx			xx	
Intrusion d'eau saline	x	n.a.	xx*		xx	xx*				x	x	(x)
Affaissement du sol	x	n.a.			xx							
Contamination des aquifères		n.a.	xx			xx			xx			xx

x = données souhaitables; xx = données nécessaires; xx* = principalement le chlorure; n.a. = non applicable.

Source : IGRAC (2008)



Source : Taylor and Alley (2001) cité dans SOGW (2013)

Figure 4.4 Facteurs à prendre en compte pour déterminer la fréquence de la surveillance du niveau des eaux souterraines

Au cours de l'évaluation des pratiques de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines dans la région (IGRAC, 2019b), il est apparu que dans de nombreux États membres, si pas tous, le budget et la capacité pour les eaux souterraines sont limités, de sorte qu'il n'est pas possible de s'appuyer uniquement sur des points d'observation dédiés aux eaux souterraines (c'est-à-dire des forages construits spécifiquement pour la surveillance des eaux souterraines et qui ne sont pas utilisés pour le prélèvement des eaux souterraines). Le budget pour le forage et la construction de puits d'observation dédiés est limité et il existe plusieurs exemples dans différents États membres où des trous de forage utilisés à l'origine pour la surveillance des eaux souterraines sont équipés de pompes pour fournir de l'eau. Cette situation signifie que, dans de nombreux cas, il est nécessaire de s'appuyer sur d'autres sites pour obtenir des données de surveillance des eaux souterraines. Il peut s'agir de forages équipés de pompes à moteur ou de pompes manuelles, de puits creusés à la main ou de sources.

Dans de nombreux cas, ces sites peuvent être utilisés à diverses fins de surveillance des eaux souterraines, à condition d'en connaître les limites, et des procédures spéciales peuvent devoir être observées. Par exemple, lors de l'utilisation d'un forage équipé d'une pompe, il est nécessaire de s'assurer que la pompe est arrêtée et qu'un temps suffisant est accordé pour que le niveau des eaux souterraines se rétablisse au niveau de l'eau statique (en supposant que le forage est utilisé pour surveiller le niveau général des eaux souterraines dans la région). Le temps de récupération après le pompage varie en fonction du taux de prélèvement et des caractéristiques de l'aquifère. Les forages dans les aquifères non confinés prendront plus de temps à se rétablir que ceux dans les aquifères confinés, et le rétablissement complet peut prendre beaucoup de temps. Une bonne règle générale est de s'assurer que la récupération est d'au moins 95 % du rabattement observé immédiatement après le pompage.

D'autres limitations avec les forages de production sont qu'il peut ne pas y avoir de point d'accès pour un plongeur pour puits ou que le plongeur peut s'emmêler autour de la pompe ou

du tuyau de levage. C'est un élément à prendre en compte dans la conception et la construction des forages de pompage pour les équiper d'un tuyau d'accès séparé, suffisamment profond sous la profondeur d'installation de la pompe, permettant des mesures manuelles du niveau des eaux souterraines et/ou l'installation d'un enregistreur de données.

Dans la plupart des cas, il est toujours possible de prélever des échantillons pour l'analyse de la qualité des eaux souterraines à partir de n'importe quel type de trou de forage, de puits creusé à la main ou de source, à condition de suivre les lignes directrices appropriées pour assurer qu'un échantillon représentatif de l'aquifère est prélevé. Par exemple, certains puits creusés à la main de grand diamètre peuvent être ouverts et sans joint d'étanchéité sanitaire. Cela signifie que l'eau souterraine du puits est particulièrement vulnérable à une contamination directe par le haut et que la composition chimique de l'eau du puits peut être affectée par l'exposition à l'atmosphère. Comme un puits creusé à la main ne peut pas être purgé comme c'est la pratique courante pour les forages, cela peut affecter l'échantillon.

Comme indiqué précédemment, les aquifères sont tridimensionnels et les systèmes multicouches ont tendance à présenter des caractéristiques différentes, telles que la composition des eaux souterraines et les différences de hauteur piézométrique (voir la figure 4.3). A des fins de surveillance, il est essentiel de savoir ce que vous mesurez (par exemple, de quelle profondeur provient l'eau souterraine dans le puits). S'ils sont construits correctement, les puits forés spécifiquement à des fins de surveillance des eaux souterraines ne comporteront que des crépines au niveau des couches aquifères individuelles, et dans le cas d'un système multicouche, les différentes couches seront étanchéifiées par des bouchons / packers de puits, de sorte que le niveau des eaux souterraines ou un échantillon puisse être prélevé dans un aquifère spécifique. Les forages réalisés pour le captage des eaux souterraines pénètrent souvent dans plusieurs couches aquifères. Cela signifie qu'un échantillon prélevé dans un tel forage sera un échantillon mixte et que la mesure du niveau de l'eau souterraine dans un tel forage sera principalement représentative de la couche aquifère avec la plus haute tête piézométrique. Ce facteur limite l'utilisation des forages de production à des fins de surveillance des eaux souterraines dans les couches aquifères individuelles.

Les prélèvements d'eau souterraine doivent également être surveillés. C'est un paramètre d'entrée important pour les modèles d'eau souterraine, mais il fournit également des informations uniques et cruciales sur l'utilisation des eaux souterraines, y compris l'importance socio-économique de l'utilisation des eaux souterraines. Le suivi exact des volumes d'extraction des pompes à main et des puits creusés à la main est difficile, mais peut être estimé. Le suivi des volumes de prélèvement dans les forages équipés de motopompes peut très facilement et efficacement être réalisé par l'installation et l'enregistrement régulier de compteurs d'eau. Ceci devrait être une pratique courante et doit être encouragé et appliqué dans toute la région pour obtenir une meilleure compréhension de l'utilisation des eaux souterraines et pour le contrôle de conformité.

Utilisation d'enregistreurs de données

La surveillance des eaux souterraines peut être effectuée manuellement ou à l'aide d'enregistreurs de données automatiques. Les enregistreurs de données automatiques peuvent être utilisés pour mesurer le niveau des eaux souterraines, les paramètres de qualité des eaux souterraines tels que les solides dissous totaux, la conductivité électrique, la température et le pH, ainsi que le prélèvement des eaux souterraines et le débit des sources.

Les principaux avantages des enregistreurs de données automatiques sont les suivants :

- Les données peuvent être collectées sans qu'il soit nécessaire de se rendre sur le site de surveillance pour chaque mesure. Cela signifie qu'il est possible d'effectuer une surveillance à des fréquences plus élevées que ce qui serait possible, d'un point de vue pratique ou budgétaire, par des observations manuelles. De plus, les données sont recueillies à des intervalles précis, ce qui peut également présenter des avantages.

- Les données peuvent être collectées à très haute fréquence, ce qui dans de nombreux cas ne sera pas nécessaire pour la surveillance des eaux souterraines, mais c'est extrêmement utile pour les tests de pompage ou pour observer la réponse dynamique des eaux souterraines au régime de pompage, par exemple dans un champ de puits.

Les enregistreurs de données ne peuvent toutefois pas remplacer totalement la nécessité de se rendre régulièrement sur les sites de surveillance. Les mesures doivent être étalonnées à l'aide de mesures manuelles, et cette opération doit être répétée à intervalles réguliers (au moins une fois par an, mais de préférence plus souvent) pour pouvoir corriger la dérive du capteur ; les mesures doivent être téléchargées pour être stockées dans les bases de données ; et pour vérifier si l'équipement fonctionne toujours correctement (vandalisme, batterie défaillante). La fréquence de visite des sites équipés d'enregistreurs de données dépend à nouveau de nombreux facteurs, mais il est préférable de le faire au moins deux à quatre fois par an pour éviter les lacunes dans les données, en cas de dysfonctionnement de l'équipement.

Les enregistreurs de données automatisés combinés à la télémétrie peuvent être utilisés pour transmettre des données directement à une base de données, sans nécessiter d'intervention humaine. Un avantage majeur de la télémétrie est l'accès aux données en temps réel. Cela signifie que les dysfonctionnements de l'équipement peuvent être détectés rapidement. Sans télémétrie, le dysfonctionnement d'un enregistreur de données peut n'être détecté qu'après plusieurs mois, entraînant une perte de données sur la même période, alors que dans le cas de la télémétrie, il est possible de résoudre le problème immédiatement et d'éviter la perte de données. Comme pour les enregistreurs de données normaux, il n'est pas nécessaire de se rendre régulièrement sur les sites pour remplacer les piles et effectuer des mesures manuelles pour le réétalonnage. Les visites sur site peuvent cependant être moins fréquentes, ce qui peut être particulièrement utile pour les sites éloignés. Ces sites ont besoin d'un accès aux réseaux de télémétrie (par exemple, GSM - Global System for Mobile Communications). Les coûts des enregistreurs de données et des dispositifs de télémétrie sont plus élevés que ceux des équipements manuels.
La question de savoir si les investissements supplémentaires sont justifiables ou même rentables à long terme dépend de nombreux facteurs tels que la disponibilité du personnel, les salaires du personnel, l'éloignement des sites de surveillance et la fréquence de la surveillance.

4.3.3 Mise en œuvre et maintien du programme de surveillance à long terme

Pour garantir que le programme de surveillance est mis en œuvre et peut être maintenu pendant une longue période, il est essentiel d'évaluer la faisabilité d'un programme de surveillance avant de le mettre en œuvre. La faisabilité comporte deux aspects principaux, notamment le budget et la capacité humaine :

1. **Budget :**

Les coûts de mise en œuvre et de maintenance ne doivent pas dépasser le budget disponible. Le budget disponible doit couvrir l'investissement initial pour établir le réseau de surveillance, mais un budget (annuel) doit également être garanti pour couvrir les coûts associés à la réalisation de la surveillance sur de longues périodes. Les coûts qui doivent être pris en compte sont ceux qui sont liés :

- à **l'établissement de points de surveillance (dépenses accessoires ou non récurrentes**), par exemple le forage de puits de surveillance, les mesures de protection des puits contre le vandalisme, l'achat des enregistreurs de données et/ou de compteurs à immersion, de pompes d'échantillonnage, etc. Dans certains cas, des instruments de laboratoire, voire des véhicules ;

- à **la logistique (dépenses récurrentes)**, par exemple les coûts de fonctionnement des véhicules ;
- **aux frais de laboratoire (dépenses récurrentes) ;** analyse de laboratoire ;
- **aux consommables (dépenses récurrentes)**, par exemple bouteilles d'échantillonnage, papier de tournesol, piles pour l'équipement ;
- **au personnel (dépenses récurrentes), par** exemple les coûts du personnel chargé du suivi, de la saisie des données, du contrôle de la qualité des données et des chauffeurs.
- à **la maintenance (dépenses récurrentes) ;**

Les coûts d'entretien comprennent la réparation ou le remplacement des puits de forage et des équipements endommagés et vandalisés, le nettoyage des puits de forage, et les coûts de maintenance.

- **Frais supplémentaires (accessoires)**

  Formation du personnel.

Si le programme de surveillance proposé dépasse le budget disponible (pour l'investissement initial et/ou le budget à long terme pour les coûts récurrents), les coûts devront être réduits. Cela signifie généralement que le réseau doit être redessiné avec moins de points de surveillance, des observations moins fréquentes (dans le cas de la surveillance manuelle et de l'échantillonnage des eaux souterraines), ou dans le cas de la surveillance de la qualité des eaux souterraines, les paramètres à surveiller peuvent également être réduits. Le remaniement du réseau peut signifier que l'objectif de surveillance initial doit être réévalué et éventuellement adapté à un objectif moins ambitieux. L'IGRAC (2008) donne quelques exemples sur la façon de prioriser les efforts de surveillance, par exemple en suivant une approche basée sur le risque et en priorisant les activités de surveillance de la qualité des eaux souterraines sur les (zones des) aquifères les plus vulnérables à la pollution (tirer des informations de la cartographie de la vulnérabilité des aquifères à la pollution), ou en réduisant les ambitions, par exemple en surveillant des zones pilotes considérées comme représentatives d'une région plus vaste, ou en réduisant la fréquence de la surveillance.

Déterminer si un programme de surveillance peut être mis en œuvre de manière réaliste et maintenu pendant de longues périodes est une étape cruciale pour une surveillance réussie. Il existe de nombreux exemples, également dans la région de la SADC, où un programme de surveillance a été mis en œuvre dans le cadre d'un projet avec un financement suffisant pour l'établissement du réseau, mais où les ressources n'étaient pas suffisantes pour maintenir le programme de surveillance, ce qui a entraîné une collecte de données désordonnée et, en fin de compte, des séries de données de mauvaise qualité.

2. **Capacité humaine :**

   La mise en œuvre et le maintien d'un programme de surveillance nécessitent un personnel ayant la formation et les compétences adéquates, comme des hydrogéologues, des techniciens de terrain, des chauffeurs et des techniciens de laboratoire. Les lacunes en matière de capacités humaines peuvent, dans une certaine mesure, être comblées par des contrats externes (par exemple, des analyses de laboratoire, ou même des prélèvements d'échantillons pour l'analyse de la qualité de l'eau), mais il est important d'investir également dans le renforcement des capacités du personnel permanent. Le plus important sera la formation (régulière) des techniciens de terrain, afin de s'assurer qu'ils sont capables de collecter des données de haute qualité. Comme pour le budget, il est important d'évaluer,

avant la mise en œuvre d'un programme de surveillance, si les capacités requises sont disponibles.

In Outre le budget et les capacités humaines, d'autres aspects organisationnels importants doivent être pris en compte. Par exemple, l'accès aux points de surveillance doit être garanti, ce qui signifie que les points de surveillance sont autant que possible situés dans des endroits accessibles et sur des terrains publics. Lorsque les points de surveillance sont situés sur des propriétés privées, le droit d'accès à long terme doit être garanti.

4.4 Évaluation des programmes de surveillance existants

De temps en temps, les programmes de surveillance doivent être revus pour vérifier si les objectifs de surveillance sont atteints. Si ce n'est pas le cas, le programme de surveillance (c'est-à-dire le réseau de points d'observation, la fréquence d'observation, la qualité des données collectées, etc.) doit être revu et repensé/adapté afin d'atteindre les objectifs. Si cela n'est pas possible (par exemple pour des raisons budgétaires), l'objectif de surveillance doit être revu.

L'évaluation du programme peut également indiquer que les objectifs sont atteints, mais que le programme de surveillance peut être optimisé (soit en supprimant des sites de surveillance, soit en réduisant la fréquence des observations). Le tableau 4.3 et le tableau 4.4 donnent quelques indications sur l'optimisation du nombre de puits et de la fréquence de surveillance pour les programmes de surveillance de la qualité des eaux souterraines.

Utilisation d'outils avancés pour l'étude des eaux souterraines

Table 4.3 Examens en vue de conserver ou de retirer un puits d'un réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines

Raisons de conserver un puits dans le réseau de surveillance	Raisons pour lesquelles un puits est retiré du réseau de surveillance
Un puits est nécessaire pour mieux caractériser le site ou surveiller l'évolution des concentrations de contaminants dans le temps.	Le puits fournit des informations spatialement redondantes avec un puits voisin (par exemple, mêmes constituants et/ou courte distance entre les puits).
Le puits est important pour définir l'étendue latérale ou verticale des contaminants.	Le puits est à sec depuis plus de deux ans*.
Un puits est nécessaire pour surveiller la qualité de l'eau à un point de conformité ou d'exposition du récepteur (par exemple, un puits d'approvisionnement en eau).	Les concentrations de contaminants sont constamment inférieures aux limites de détection des laboratoires ou aux objectifs de nettoyage.
Le puits est important pour définir la qualité de l'eau de fond	Le puits est réalisé dans la même zone aquifère que le ou les puits voisins.

* Un contrôle périodique du niveau d'eau doit être effectué dans les puits secs pour confirmer que la limite supérieure de la zone saturée reste sous la crépine du puits. Si le puits se réhumidifie, il faut alors évaluer son inclusion dans le programme de surveillance.

Source : US EPA (2007)

Table 4.4 Examens relatifs à la modification de la fréquence d'échantillonnage des eaux souterraines

Raisons de l'augmentation de la fréquence d'échantillonnage	Raisons de la diminution de la fréquence d'échantillonnage
La vitesse de l'eau souterraine est élevée	La vitesse de l'eau souterraine est faible
Un changement de la concentration de contaminants modifierait sensiblement une décision ou un plan d'action.	Le changement de la concentration de contaminants ne modifierait pas de manière significative une décision ou un plan d'action.
Le puits est nécessaire pour surveiller la zone source ou le système d'assainissement en fonctionnement.	Le puits est éloigné de la zone d'origine et du système correctif.
Impossibilité de prédire si les concentrations changeront de manière significative au fil du temps, ou tendance récente à l'augmentation significative des concentrations de contaminants à un emplacement de surveillance, entraînant des concentrations qui approchent ou dépassent un objectif de nettoyage, ce qui peut indiquer une expansion du panache.	Les concentrations ne devraient pas changer de manière significative au fil du temps, ou les niveaux de contaminants ont été inférieurs aux objectifs de nettoyage des eaux souterraines pendant une période donnée.

Source : US EPA (2007)

4.5 Surveillance communautaire des eaux souterraines

La plupart des données de base de la surveillance des eaux souterraines ne sont pas très compliquées à collecter, et cela peut être fait par des non-professionnels avec des équipements peu coûteux, s'ils sont suffisamment formés. L'implication de non-professionnels dans la surveillance des eaux souterraines présente deux avantages principaux :

- **Diminution des coûts :** En général, il y aura des économies sur la logistique si la population locale est engagée dans les activités de surveillance, ce qui peut être considérable pour les régions éloignées avec un accès routier limité ou mauvais. Les communautés peuvent volontairement s'engager. Si ce n'est pas le cas, les salaires ou les compensations accordés aux non-professionnels seront inférieurs à ceux du personnel régulier.
- **Sensibilisation** : L'engagement des communautés dans la surveillance des eaux souterraines peut développer un sentiment d'appropriation et de responsabilité à l'égard des ressources en eau souterraine (Tordiffe et al. 2010 ; Walker et al. 2016). Cela peut également contribuer à diminuer le vandalisme des forages de surveillance, un problème signalé dans presque tous les États membres de la SADC. La sensibilisation facilitera probablement l'adoption de bonnes pratiques d'utilisation et de protection des eaux souterraines. Pour cette raison, de nombreux projets communautaires vont au-delà de la collecte de données et impliquent également les communautés dans la prise de décision et la gestion.

L'inconvénient peut être le fait que la qualité des données est moins fiable mais, lorsqu'elles sont collectées en grande quantité, elles fournissent des informations statistiquement significatives sur les ressources en eau souterraine (Walker et al. 2016). Tout comme pour les techniciens professionnels de terrain, une formation adéquate aux procédures d'assurance et de contrôle de la qualité peut contribuer à la collecte de données fiables.

La collecte communautaire de données sur les eaux souterraines peut être facilitée par l'utilisation d'applications pour téléphones mobiles. Elles peuvent rendre la collecte des données amusante, éviter les erreurs d'enregistrement et de transfert des données et permettre un transfert rapide des données du terrain vers la base de données. Une sélection d'applications potentiellement utiles est fournie à l'annexe D. Avec l'expansion des technologies de l'information

et de la communication (TIC) et l'accès croissant à l'Internet et aux réseaux téléphoniques dans la SADC, l'implication des communautés dans la collecte de données sur les eaux souterraines pourrait débloquer une grande quantité de données à travers la SADC et accroître la sensibilisation de la population.

Le principal défi pour mettre en place un projet communautaire réussi est d'identifier les bons candidats. Les candidats doivent avoir accès à un point de surveillance des eaux souterraines et à un réseau de communication. Kongo et al. (2010) et Ministério da Energia e Águas (2014) recommandent d'utiliser les structures de gouvernance existantes dans les communautés et de traiter avec les leaders formels ou informels.

Après avoir sélectionné les candidats potentiels, il est crucial de trouver des incitations qui garantiront un engagement à long terme. Les incitations peuvent être des compensations financières ou en nature (par exemple, des téléphones portables, des bicyclettes ou des t-shirts, qui sont utiles pour accomplir les tâches du projet), mais un intérêt pour les objectifs du projet est apparemment la meilleure incitation (SADC, 2011 ; Roy et al. 2012). Les écoles, par exemple, sont reconnues comme étant de particulièrement bons candidats, car la surveillance de l'environnement et la sensibilisation aux questions environnementales s'inscrivent dans le cadre des programmes d'éducation (Roy et al. 2012). De même, on suppose que les projets communautaires ont plus de chances de succès s'ils améliorent visiblement les conditions de vie des communautés. Par conséquent, la collecte de données communautaires sur les eaux souterraines pourrait être mieux adaptée à la surveillance locale, et non à la surveillance primaire régionale (même si les autorités régionales pourraient promouvoir plusieurs projets de surveillance communautaire locale).

Pour la même raison, il peut être conseillé de combiner la surveillance des eaux souterraines avec celle des eaux de surface, si les communautés dépendent également des eaux de surface (Kongo et al. 2010). L'importance des incitations suggère que lors de la conception de projets communautaires, les services des eaux souterraines devraient identifier comment la surveillance des eaux souterraines peut contribuer aux communautés, avant d'identifier comment les communautés peuvent contribuer à la surveillance des eaux souterraines.

Pour que les candidats restent enthousiastes et actifs pendant le projet, il est important de leur fournir un retour d'information sous forme de données et d'informations, ou de les inclure dans la gestion des eaux souterraines. Des sites web et des applications dédiés peuvent être utilisés pour organiser l'échange de données et d'informations et maintenir un lien fort entre les partenaires du projet. Des formations sur le terrain devraient être organisées régulièrement pour renforcer les capacités des partenaires avant et pendant le projet (Kongo et al. 2010, SADC 2011).
Investir dans le renforcement des capacités et encourager les candidats augmentera les chances de réussite des projets communautaires et favorisera la sensibilisation aux questions de durabilité liées aux eaux souterraines.

4.6 Messages principaux

- **Le suivi du niveau, de la qualité et du prélèvement des eaux souterraines est essentiel pour comprendre les tendances du développement des ressources et pour définir des interventions de gestion efficaces. Le suivi régulier et cohérent du prélèvement des eaux souterraines est limité à la région de la SADC et doit être amélioré ;**
- **Des objectifs de surveillance différents nécessitent normalement des réseaux de surveillance différents, mais des points uniques peuvent potentiellement servir plusieurs réseaux ;**
- **Un suivi rentable nécessite un choix judicieux des méthodes (manuel, enregistreur de données, etc.), l'entretien régulier et la réévaluation et l'optimisation des réseaux ;**
- **La surveillance ne s'arrête jamais et nécessite un budget et des capacités permanents ;**

- **La surveillance des eaux souterraines n'est pas seulement un exercice technique, elle nécessite une organisation et une planification à différents niveaux dans les organisations, y compris des budgets pour les investissements accessoires et les coûts récurrents pour la collecte et la maintenance des données ;**
- **La collecte communautaire de données sur les eaux souterraines peut être une mesure rentable, en plus de la collecte conventionnelle de données sur les eaux souterraines, avec l'avantage supplémentaire qu'elle peut déclencher la participation de la communauté à la gestion des eaux souterraines ; et**
- **Equiper tous les forages pompés d'un tube d'accès pour mesurer le niveau des eaux souterraines, facilite grandement la collecte de données sur les eaux souterraines dans un pays.**

5 ASSURANCE ET CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES DONNÉES

5.1 Introduction

L'assurance de la qualité (AQ) est un ensemble de principes de fonctionnement, de procédures et d'actions visant à garantir que les données redevables sont collectées. Le contrôle de la qualité (CQ) est un ensemble de procédures et d'actions destinées à garantir que les données sur les eaux souterraines répondent aux exigences. L'assurance qualité vise à prévenir les erreurs pendant le processus de collecte des données, tandis que le contrôle qualité vise à identifier (et si possible à corriger) les erreurs dans les données collectées après coup. Dans le contexte des données sur les eaux souterraines, le principe de l'assurance qualité concerne principalement le processus de collecte des données sur le terrain (et pour l'analyse des eaux souterraines, également en laboratoire), tandis que le contrôle qualité aura lieu principalement au bureau avant l'acceptation des données pour leur inclusion finale dans la base de données.

.

5.2 General Measures to Reduce Errors and Improve Consistent Data Collection

There Il existe plusieurs ouvrages de référence, lignes directrices et manuels techniques qui fournissent des conseils sur les procédures à suivre pour améliorer la collecte et la qualité des données sur les eaux souterraines (pour une sélection, *voir le* tableau 5.1 et l'annexe E). En termes de planification et d'organisation, il est important de regarder au-delà de ces directives et de considérer quels acteurs (parties prenantes) peuvent influencer la qualité des données sur les eaux souterraines, et quels instruments sont à leur disposition pour collecter des données fiables.

Crédit : IGRAC

Training on data collection procedures helps to improve quality of groundwater data

Cette section souligne les mesures générales qui permettent de réduire les erreurs de collecte de données et améliorer la qualité des données. Ces mesures s'appliquent tout au long des différentes phases de la collecte des données sur les eaux souterraines et à des fins différentes. En utilisant ce cadre comme base, les États membres sont encouragés à développer des procédures spécifiques pour le contrôle et l'assurance de la qualité.

Tableau 5.1 Exemples des lignes directrices sur la collecte de données sur les eaux souterraines

Etapes de travail de la collecte des données	Exemples de lignes directrices
Localisation du puits et sondages	• Directives pour le développement des eaux souterraines dans la région de la SADC (SADC, 2001)
Forage et installation de puits de forage	• Code de pratique pour des forages rentables (Rural Water Supply Network, 2010) ; • Groundwater Protection Regulation Handbook (British Columbia Water Associa tion, 2017) • Forage professionnel de puits d'eau (UNICEF et Fondation Skat, 2016) • Cours de courte durée : Supervision des forages. Forages rentables (Adekile et Danert, 2014)
Essais de forage	• Analyse et évaluation des données d'essais de pompage (Kruseman et de Ridder, 1994) • Directives pour le développement des eaux souterraines dans la région de la SADC (SADC, 2001) • Manuel sur les essais de pompage et l'analyse des aquifères rocheux fracturés (van Tonder et al. 2001a). • Estimation des rendements durables des forages dans les formations rocheuses fracturées (van Tonder et al. 2001b)
Niveaux des eaux souterraines	• Mesure du niveau des eaux souterraines et de la profondeur des puits : Operating Procedure (US EPA, 2016a)
Échantillonnage des eaux souterraines	• Échantillonnage et analyse des eaux souterraines - Guide de terrain (Sundaram et al. 2009) • Lignes directrices pour l'échantillonnage des eaux souterraines (EPA Australie, 2000) • Manuel d'orientation technique pour les enquêtes sur les eaux souterraines - Chapitre:10 Échantillonnage des eaux souterraines (Agence de protection de l'environnement de l'Ohio, 2012). • Guide rapide pour le prélèvement d'échantillons d'eau potable (US EPA, 2016b). • Manuel d'échantillonnage des eaux souterraines (Commission de recherche sur l'eau (WRC), 2017)
Prélèvements d'eaux souterraines	• Mesurer les prélèvements d'eau (Department of Water- Western Australia, 2016).

Il existe différentes mesures pour réduire les erreurs et améliorer la cohérence de la collecte des données. Il s'agit notamment des mesures suivantes :

- **Formation et développement des capacités**
  - Personnel impliqué dans la coordination, la supervision et/ou l'interprétation : On ne peut distinguer si les données collectées ont un sens que si l'on comprend leur signification hydrogéologique. Il est donc important que les personnes chargées du contrôle de la qualité des données et des informations aient un bagage (académique) suffisant en matière de science des eaux souterraines. Une formation professionnelle supplémentaire ad hoc, par le biais de cours et d'ateliers, peut être nécessaire pour améliorer les compétences et les connaissances dans des domaines spécifiques et pour suivre les nouveaux développements.
  - Techniciens de terrain : Il est important d'avoir des techniciens bien formés et informés

impliqués dans la collecte de données sur les eaux souterraines ; généralement, les techniciens de terrain sont formés sur le tas. De plus, pour les techniciens, il est important de fournir des cours de recyclage pour améliorer les compétences et les connaissances dans des domaines spécifiques et pour se tenir au courant des nouveaux développements. Une approche plus structurelle pour renforcer les capacités des techniciens de terrain est la certification basée sur des programmes de formation professionnelle. La formation professionnelle pour les techniciens des eaux souterraines n'est pas largement disponible. Le développement de tels programmes pourrait être pris au niveau régional de la SADC.

- Parties externes (foreurs, consultants, services de laboratoire) : L'adhésion à des normes professionnelles minimales est la responsabilité des professionnels eux-mêmes. Les services des eaux souterraines peuvent cependant contribuer en organisant des cours de courte durée, des ateliers de formation ou des démonstrations pour les parties du secteur privé afin d'améliorer les compétences et de promouvoir les nouvelles technologies et méthodes. La certification formelle des professionnels est un autre instrument servant à améliorer la qualité de l'assurance.

- **Lignes directrices pour la collecte de données**
  - Les professionnels impliqués dans la collecte de données sur les eaux souterraines devraient utiliser les directives et les manuels disponibles. Les départements des eaux souterraines devraient normalement élaborer, adopter et mettre en œuvre des directives spécifiques nationaux de collecte de données pour les différents types de données sur les eaux souterraines présentées dans ce Cadre. *Voir le* tableau 5.1 en guise d'exemples.

- **Formulaires de collecte de données/formulaires de terrain**
  - Développer et/ou adopter des formulaires/modèles de collecte de données sur terrain, à utiliser par les techniciens de terrain pour la collecte de différents types de données. Des exemples adéquats de tels formulaires sont partout disponibles, comme dans l'œuvre intitulé SADC (2001) : Guidelines for the Groundwater Development in the SADC Region.
  - Ces formulaires permettent de garantir une collecte systématique et cohérente des données, indépendamment de la personne qui les collecte et du moment où elle le fait.
  - Le défi majeur des formulaires et des modèles de collecte de données est de mettre en œuvre une utilisation cohérente et continue de ces formulaires. Cette tâche devrait incomber au personnel chargé de la coordination et de la supervision.
- **Utiliser une application mobile pour l'enregistrement des données sur le terrain**
  - L'utilisation d'applications pour téléphones mobiles (apps) pour l'enregistrement/capture de données sur terrain peut être un complément utile ou même une alternative efficace à l'utilisation de formulaires de terrain.
  - Les applications peuvent aider à prévenir les erreurs simples en utilisant des contrôles logiques intégrés des données et en éliminant les erreurs de saisie de données résultant de formulaires peu clairs, etc.
  - Les applications peuvent réduire les coûts et le temps en enregistrant immédiatement les données au format électronique, ce qui raccourcit le processus consistant à enregistrer d'abord les données sur papier, puis à les transférer ultérieurement dans des bases de données électroniques au bureau.
  - Le gain de temps permet également des interventions plus rapides.
  - Des exemples d'applications pour téléphones mobiles sont donnés dans (*voir* annexe D).
- **Calibrage, test et utilisation des équipements**
  - L'équipement doit toujours être calibré et utilisé conformément aux spécifications et aux directives du fabricant.
  - L'équipement doit être vérifié périodiquement, conformément aux spécifications et aux directives du fabricant.

- **Techniques de collecte automatisée de données**
  - Bien que les techniques de collecte de données automatisées, telles que l'utilisation d'enregistreurs automatiques du niveau des eaux souterraines avec des enregistreurs de données, offrent de nombreux avantages, il est important d'obtenir quelques mesures de référence manuelles au cas où la technologie échouerait.
  - Dans certains cas, les dispositifs automatisés de collecte de données ont une précision de mesure inférieure à celle des dispositifs manuels. Par exemple, la précision des enregistreurs de niveau d'eau tend à être un pourcentage de la gamme complète de mesures. Cela signifie qu'un enregistreur avec une gamme de 100 m de variation du niveau de la nappe phréatique peut avoir une précision de +/- 5 cm, alors qu'une mesure manuelle soigneusement effectuée du niveau de la nappe phréatique avec un plongeur peut atteindre une précision de +/- 0,5 mm. Selon la situation, une mesure manuelle peut être préférée, tandis que dans d'autres situations, l'utilisation d'enregistreurs de données peut être préférée (par exemple, dans un test de pompage lorsque de nombreuses mesures consécutives doivent être prises à de courts intervalles).
- **Définir une qualité de données cible/acceptable et des mesures correctives**
  - Bien que ce ne soit pas une pratique courante en hydrogéologie, la qualité acceptée des données devrait être définie à l'avance dans le cadre des objectifs de qualité des données, suivant le but de la collecte des données. Une fois les données collectées, leur qualité doit être évaluée par rapport à ces normes. Par exemple, la fourchette d'erreur de la balance d'ions (IBE) qui sera acceptable pour la surveillance de la qualité des eaux souterraines doit être définie lors de l'élaboration d'un programme d'échantillonnage. Bien qu'il existe des lignes directrices dans la littérature, il faudrait que les personnes impliquées dans la collecte de données définissent quelle qualité serait acceptable.

Le tableau 5.2 présente les différents acteurs impliqués dans les différents processus liés à la collecte de données sur les eaux souterraines, les responsabilités de ces acteurs en matière de contrôle et d'assurance qualité, et les mesures disponibles pour les aider à accomplir ces tâches. Le personnel spécialisé et ayant reçu une formation académique (classé dans le tableau comme "superviseurs") joue un rôle central dans la gestion de tous les processus de contrôle et d'assurance qualité et dans la formation des autres acteurs impliqués.

Tableau 5.2 Rôles des acteurs impliqués dans les processus de collecte de données sur les eaux souterraines

<table>
<tr><th></th><th colspan="3">Installation de puits de forage</th><th colspan="3">Surveillance</th></tr>
<tr><th></th><th>Implantation</th><th>Forage</th><th>Essais</th><th>Niveaux</th><th>Qualité</th><th>Abstraction</th></tr>
<tr><td>Techniciens de terrain</td><td colspan="6">• Utilisation de formulaires de terrain ;
• Utilisation d'applications pour téléphones portables ;
• Formation sur le lieu de travail ;
• Formation professionnelle.</td></tr>
<tr><td>Foreurs</td><td></td><td>• Utilisation de formulaires de terrain ;
• Utilisation d'applications pour téléphones portables ;
• Inscription ;
• Certification.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Superviseurs*</td><td colspan="6">• Formation académique ;
• Formation professionnelle spécifique selon les besoins ;
• Développer et mettre en œuvre l'utilisation des formulaires et des procédures sur le terrain ;
• Initier le développement / la mise en œuvre d'applications pour téléphones mobiles ;
• Dispenser une formation en cours d'emploi ;
• Assurer une supervision régulière "sur place" ;
• Vérifier et signer les données collectées ;
• Développer des contrôles de routine pour l'application avant d'accepter les données dans la base de données ;
• Veiller à l'inclusion des procédures AQ/CQ pertinentes dans les mécanismes d'appel d'offres.</td></tr>
<tr><td>Personnel de bureau</td><td colspan="6">• Effectuer des contrôles de qualité des données à l'aide de listes de contrôle et d'outils simples (visualisations) avant d'accepter les données pour les inclure dans les bases de données finales**.</td></tr>
<tr><td>Personnel de laboratoire</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>• Routines standard ;
• Contrôles de base des résultats (par exemple, erreur de balance ionique) ;
• Certification.</td><td></td></tr>
<tr><td>Utilisateurs de données</td><td colspan="6">• L'analyse et l'interprétation constituent le meilleur contrôle de la qualité des données. Des procédures doivent être mises en place pour que les utilisateurs fournissent un retour d'information au gestionnaire de la base de données afin de signaler les données comme "suspectes".</td></tr>
</table>

* Superviseur : Géophysicien/Géologue/Hydrogéologue. Il peut s'agir aussi bien du personnel de bureau jouant un rôle de coordination que du personnel supervisant les activités sur le terrain.

** Dans l'idéal, la base de données est configurée de manière à ce que les données soient saisies dans la base de données et qu'il existe une fonctionnalité permettant d'étiqueter les données comme étant « temporaires/non vérifiées » et, une fois les contrôles de qualité effectués, comme étant « finales/contrôlées/approuvées ».

Les mesures importantes d'assurance qualité pour la mesure du niveau des eaux souterraines sont soulignées dans l'encadré 5.1, car il s'agit du paramètre le plus fondamental mesuré dans les eaux souterraines.

5.3 Contrôle et assurance de la qualité du Bureau

Les données recueillies sur le terrain doivent être saisies dans une base de données. Voici la procédure à suivre :

1. Le technicien de terrain saisit les données sur un appareil électronique sur terrain (applications mobiles). L'application téléchargera les données directement dans la base de données, éliminant ainsi les risques d'erreurs de saisie ;
2. Le technicien de terrain saisit les données sur les formulaires de terrain et, une fois au bureau, transfère les données dans la base de données. Les données doivent être retapées, mais par la même personne qui les a saisies sur le formulaire de terrain ; et
3. Le technicien de terrain saisit les données sur les formulaires de terrain et remet le formulaire à une

personne chargée de la saisie des données au bureau. Les données doivent être tapées par une autre personne, ce qui augmente le risque d'erreurs (difficultés à comprendre l'écriture, méconnaissance de la situation sur le terrain, etc.)

Lorsque les données sont saisies dans la base de données, il faut vérifier qu'elles ne comportent pas d'erreurs logiques. Par exemple, les niveaux d'eau mesurés sont plus profonds que le forage réel, ou les valeurs de pH saisies sont supérieures à 14. D'autres erreurs potentielles sont de grandes différences entre les valeurs mesurées et les valeurs ou tendances des données déjà présentes dans la base de données (filtrage statistique ou visuel sur les valeurs aberrantes). Le contrôle ultime de la validité des données mesurées est l'utilisation des données lors de l'analyse et de l'interprétation. Cela ne peut se faire qu'après l'introduction des données dans la base de données. La base de données doit donc être en mesure de signaler les enregistrements individuels comme suspects.

Encadré 5.1 Garanties de qualité de base pour les mesures du niveau des eaux souterraines

Certaines des mesures de routine importantes pour assurer la qualité lors des mesures du niveau des eaux souterraines sont :

- Toujours mesurer les niveaux des eaux souterraines par rapport au point de référence établi/convenu. Le point de référence de la mesure doit également être saisi sur le formulaire de terrain et dans la base de données.
- Il faut veiller à laisser le niveau d'eau s'équilibrer après avoir retiré les bouchons de scellement des forages. Le temps nécessaire à l'équilibre dépend des caractéristiques hydrogéologiques spécifiques du site, il n'est donc pas possible d'établir une ligne directrice. Cependant, la prise de plusieurs mesures répétées et leur comparaison peuvent donner une indication.
- Lorsque cela est possible sur un site/forage, le même modèle d'instrument de mesure du niveau d'eau doit être utilisé pour toutes les mesures.
- Les changements de niveau des eaux souterraines observés par la surveillance doivent être soigneusement évalués pour en déterminer la cause, car il peut y avoir une variété de causes. Toute modification du niveau des eaux souterraines doit avoir une cause explicable, sinon elle peut être considérée comme une erreur de mesure.
- Pour aider à comprendre la signification des niveaux d'eau souterraine mesurés, des informations sur la construction des forages, les types d'aquifères et les grèves de l'eau doivent être disponibles/accessibles.
- Décontaminer le dispositif de mesure du niveau d'eau avant de passer au forage suivant. Pour les sites dont on ne sait pas ou ne soupçonne pas qu'ils sont contaminés, il suffit de laver les dispositifs avec de l'eau déionisée ou de l'eau de ruban. Pour les sites contaminés et pollués, des procédures de décontamination spécifiques peuvent être requises, et les préparatifs doivent être faits avant la visite sur terrain.
- Calibrer, tester et utiliser les enregistreurs de données conformément aux instructions et aux spécifications du fabricant.
- Lorsque des enregistreurs de données de niveau d'eau sont déployés pour la surveillance continue des eaux souterraines, il est important d'effectuer des relevés manuels du niveau de référence à intervalles réguliers pendant leur déploiement. Cela sert de base/date pour évaluer les changements mesurés et corriger toute dérive des capteurs des enregistreurs de données.

Les données suspectes peuvent provenir d'erreurs de saisie ou de transfert de données, ou de problèmes sur le terrain lorsque les mesures ont été prises. Lorsque des données sont signalées comme suspectes, il faut retracer le processus d'obtention des données et le rectifier si nécessaire, si possible. Si toutes les procédures correctes ont été suivies et qu'aucune anomalie n'a été constatée, les données doivent être marquées comme "approuvées" ou "définitives" dans la base de données.

Pour mettre en œuvre cette forme de contrôle de la qualité des données sur les eaux souterraines, il faut que les membres du personnel occupant des postes de coordination et de supervision

développent et mettent en œuvre de tels contrôles, y compris l'ajout de cette fonctionnalité obligatoire aux bases de données sur les eaux souterraines.

La figure 5.1 présente un diagramme décrivant le flux de données depuis la collecte sur le terrain jusqu'au stockage final dans la base de données, avec divers processus de contrôle et d'assurance qualité.

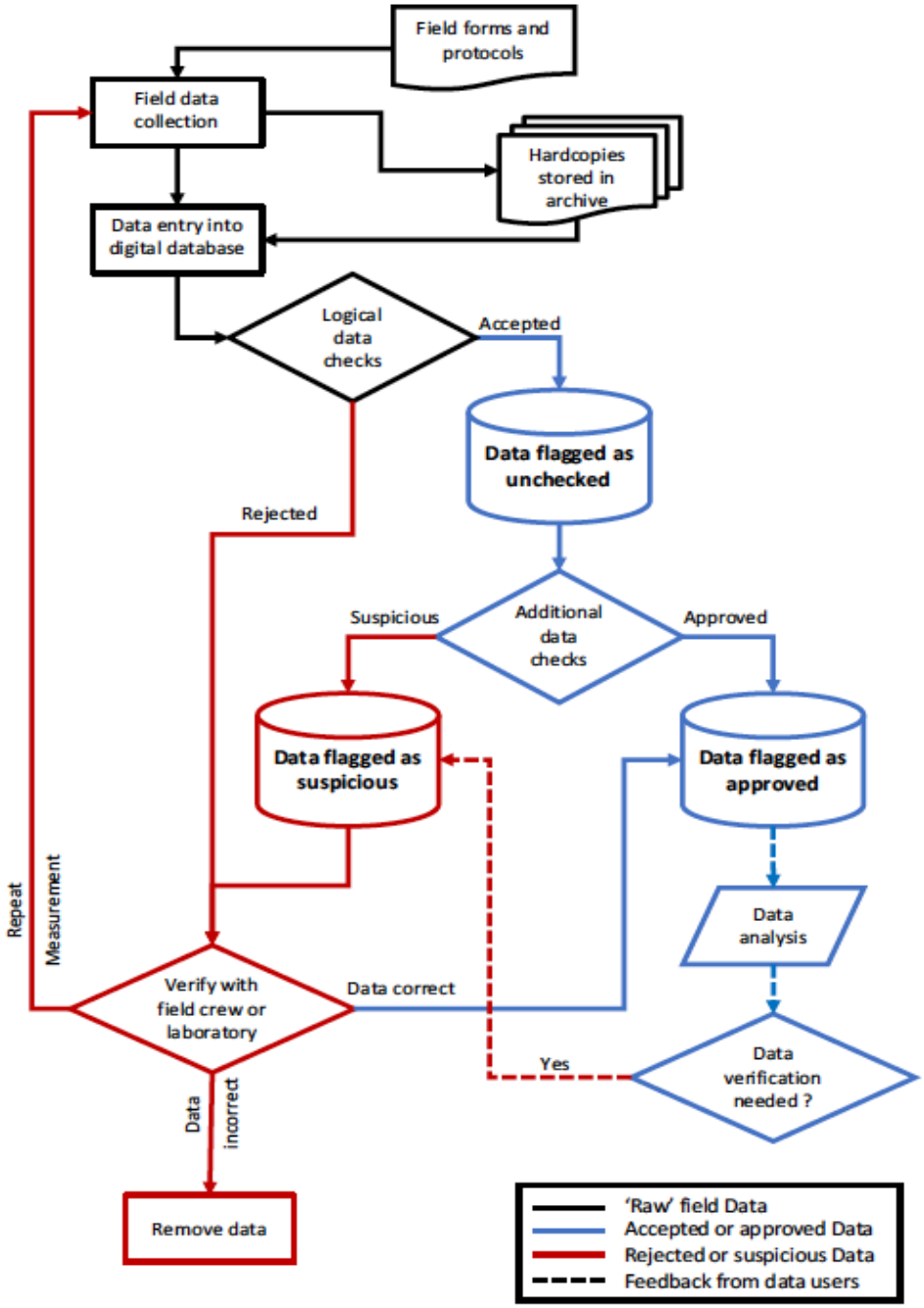


Figure 5.1 Organigramme des contrôles de qualité dans le processus de gestion des données

5.4 Messages principaux

- **La certification des professionnels impliqués dans la collecte de données sur les eaux souterraines (tels que les foreurs, les consultants en hydrogéologie et en géophysique, les services de laboratoire) contribuera à améliorer la qualité des**

données recueillies sur les eaux souterraines ;

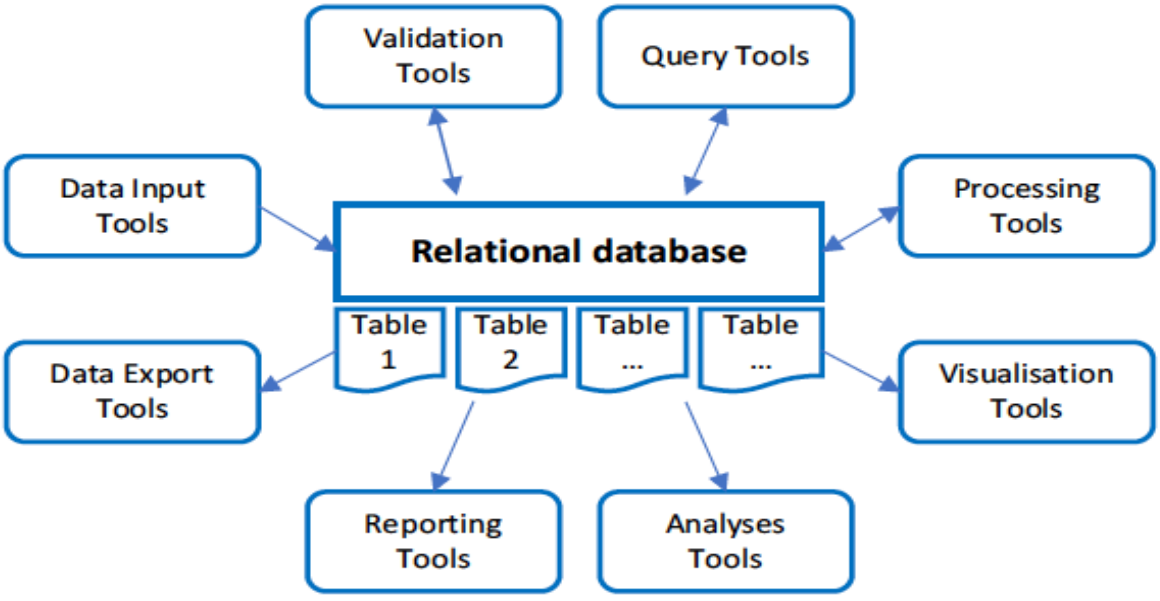
- **Le développement de programmes de formation professionnelle pour les techniciens des eaux souterraines (ou en général les techniciens de surveillance environnementale) est essentiel pour améliorer la qualité et l'efficacité de la collecte de données sur les eaux souterraines ;**
- **La collecte de données de bonne qualité sur le terrain est facilitée par le respect des directives et la formation suffisante des techniciens de terrain ;**
- **L'utilisation de technologies modernes telles que les formulaires numériques de terrain dans les applications de téléphonie mobile peuvent rendre le processus de collecte de données sur les eaux souterraines plus efficace et réduire les erreurs ;**
- **L'utilisation de dispositifs automatisés pour la collecte de données, tels que les enregistreurs de données, peut améliorer l'efficacité, mais ne se traduit pas nécessairement par des données plus précises ;**
- **Avant que les données ne soient stockées comme données finales dans les bases de données, des contrôles de routine doivent être effectués pour vérifier la qualité des données**.

6 STOCKAGE DES DONNÉES

6.1 Introduction

Toutes les données essentielles sur les eaux souterraines qui sont collectées (voir les chapitres 3 et 4) doivent être stockées dans un endroit central pour constituer un dossier historique et permettre aux données d'être utilisées à un stade ultérieur (par exemple pour l'analyse des tendances). Les données peuvent être stockées sur papier dans une salle d'archivage ou dans des archives. À l'ère du numérique, les copies électroniques des données doivent également être conservées sur un ordinateur ou un serveur central. Les copies papier peuvent être scannées et stockées pour remplacer la salle d'archivage. Mais pour être traitées et analysées, les données de terrain doivent être saisies dans un système informatique dans des formats pouvant être traités et dans une structure logique. L'acronyme FAIR traduit la nécessité pour les données d'être trouvables, accessibles, interopérables et réutilisables (Wil- kinson et al. 2016). Cela nécessite l'utilisation d'une base de données.

Il existe différents types de bases de données, allant de simples feuilles de calcul à des programmes de bureau élaborés et à des bases de données sur serveur. La figure 6.1 montre un système typique de gestion des données sur les eaux souterraines. Dans une configuration de base, les différents outils peuvent consister en différents logiciels avec des fonctionnalités d'importation et d'exportation permettant l'interopérabilité. Dans une configuration avancée, tous les outils essentiels seront intégrés dans une interface utilisateur (un seul logiciel), bien que même les solutions les plus avancées requièrent toujours des outils supplémentaires à des fins spécifiques (par exemple, l'analyse par la modélisation de l'écoulement des eaux souterraines).



Source : Fitch et.al. (2016)

Figure 6.1 Modèle conceptuel du système de gestion des données sur les eaux souterraines

L'exigence la plus fondamentale pour tout logiciel de base de données est la fonctionnalité :

- Saisir de nouvelles données (outil de saisie de données) ;
- Stocker plusieurs types de données de manière structurée (données stockées dans des tables liées) ; et
- Exporter les données sous des formats plus largement compatibles (outils d'exportation de données).

Les systèmes de base de données (qu'il s'agisse d'un progiciel intégré ou d'une combinaison de différents outils logiciels) utilisés pour stocker les données sur les eaux souterraines au niveau national nécessiteront également des fonctionnalités pour assurer la sécurité des données (par exemple, des outils de sauvegarde), et vérifier la qualité des données (outils de validation).
Au fur et à mesure que le nombre de personnes utilisant la base de données augmente et que la quantité de données s'accroît, il est nécessaire de disposer de fonctionnalités supplémentaires permettant des options multi-utilisateurs, avec différentes autorisations d'utilisateurs facilitant un contrôle de qualité des données plus avancé, la sécurité des données, les requêtes et les outils de rapport.
Dans ce chapitre, les concepts de base de données les plus pertinents sont abordés, suivis d'une discussion sur les avantages et les limites des trois catégories de solutions logicielles.

6.2 Concepts de base de données et fonctionnalités importantes

6.2.1 Structure des données

La structure logique d'une base de données est essentielle pour que les différents utilisateurs puissent travailler avec la base et pour garantir la cohérence des données. Une base de données est un ensemble de tables stockant différents types d'informations. La table centrale est celle qui définit le nom des points de surveillance (nom/numéro d'identification du site) ainsi que leur position (coordonnées) et d'autres paramètres descriptifs de base (voir encadré 6.1). D'autres tableaux sont utilisés pour stocker des types de données spécifiques, tels que les données de séries chronologiques sur les niveaux d'eau, la qualité de l'eau et les prélèvements d'eau, et d'autres données telles que les journaux lithologiques des forages, les données de construction des forages, les données géophysiques des forages de fond, les données des tests de pompage, ainsi que les étiquettes de contrôle de qualité.

Les tables sont reliées par des champs spécifiques (identifiants). Dans une configuration simple mais robuste, les tableaux sont reliés à l'aide de l'identifiant du site (par exemple, le numéro du forage ou SiteName dans la Figure 6.2) qui doit être saisi pour chaque série de données/tableau.

La répétition des données dans différentes tables doit être évitée, car elle présente un risque en termes de cohérence des données. Par exemple, les coordonnées et l'altitude d'un forage de haute précision obtenues à partir d'un levé sont censées remplacer celles obtenues à partir d'un simple GPS portable, mais elles ne sont mises à jour que dans une seule table, et les données répétées moins précises dans d'autres tables sont oubliées et ne sont pas mises à jour. Cela entraîne une confusion. Seuls les identifiants utilisés pour relier les tables doivent être répétés (voir figure 6.3).

6.2.2 Interface utilisateur

L'interface utilisateur est la partie du logiciel avec laquelle l'utilisateur interagit directement. Les interfaces utilisateur sont conçues pour simplifier l'utilisation de différents outils (voir figure 6.2) par le biais de menus et de boutons. L'avantage est que les utilisateurs n'ont pas besoin de connaître les commandes de base de données de bas niveau sous-jacentes ou le codage des routines, et il est également possible d'empêcher les utilisateurs non autorisés d'utiliser certaines fonctionnalités qui pourraient endommager la base de données. Le développement d'une interface utilisateur adéquate nécessite une compréhension approfondie du flux de travail lié aux données (voir par exemple la figure 5.1 sur le diagramme de flux pour les contrôles de qualité), de différents utilisateurs, de leurs besoins et de leur capacité technique à utiliser le logiciel.

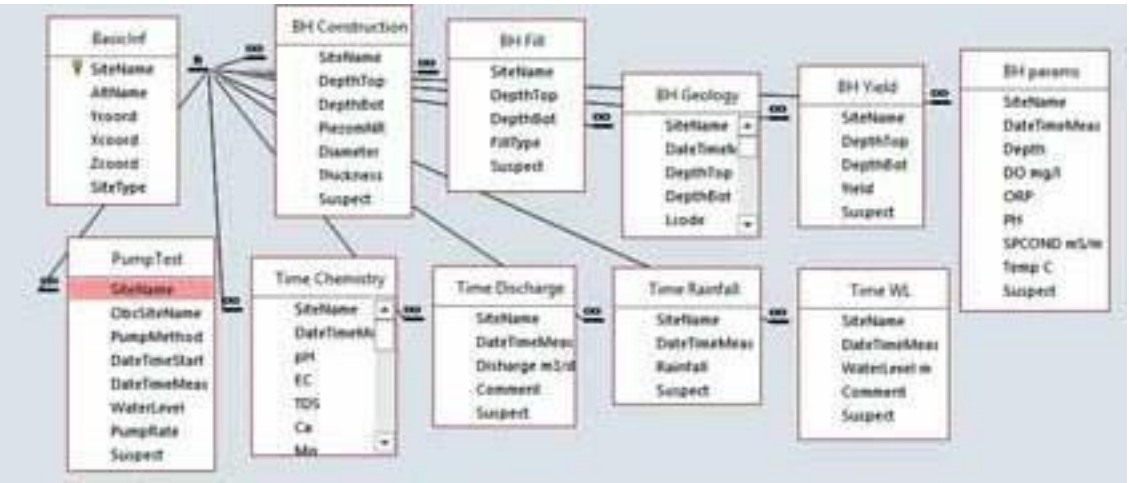


Figure 6.2 Exemple de structure de base de données en MS Access avec des liens entre différentes tables dans une base de données sur les eaux souterraines.

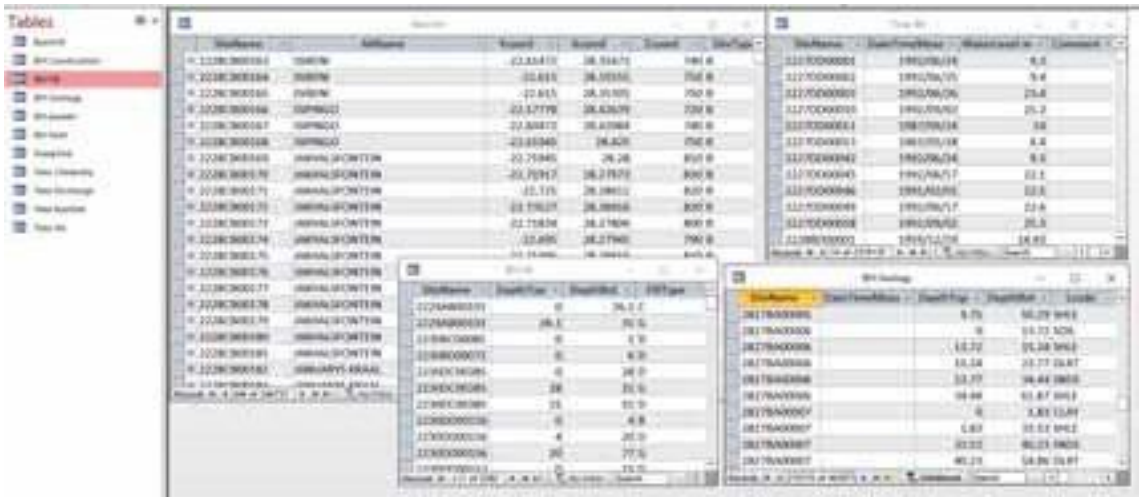


Figure 6.3 Exemple d'une base de données en MS Access, montrant différentes tables avec certaines des données. Les tables sont liées par l'identifiant « SiteName ».

6.2.3 Options multi-utilisateurs

Un environnement à utilisateur unique peut être suffisant dans une installation pour un groupe relativement petit de professionnels impliqués dans la gestion des données, qui sont tous basés dans un bureau et avec une quantité limitée de données. Des bases de données nationales complètes sur les eaux souterraines, avec différents paramètres, auront généralement un groupe d'utilisateurs plus important, avec plusieurs utilisateurs entrant des données dans le système tandis que d'autres utilisateurs, éventuellement d'autres endroits (par exemple des bureaux régionaux, ou des organismes parapublics avec un accès direct à la base de données) peuvent interroger et extraire des données de la base en même temps. Cette situation nécessite des opérations multi-utilisateurs avec des autorisations d'utilisateurs et des niveaux d'accès différents.

Encadré 6.1 Exigences minimales requises pour insérer correctement un site (forage) dans la base de données

Localisation des puits de foage et « données administratives » :

Pour établir correctement un site (forage) sur une base de données, chaque site nécessite les données essentielles suivantes :

- Nom/identifiant du puits de forage : Il doit s'agir d'un identifiant unique basé sur une convention nationale de dénomination/numérotation des forages. En pratique, il est très utile que la base de données permette des numérotations alternatives supplémentaires, par exemple, celles utilisées dans les projets, au niveau régional ou au stade de l'implantation des forages.

- Les coordonnées : X et Y (ou longitude et latitude) sont cruciaux, mais dans le cas des eaux souterraines, l'élévation (valeur Z) de la surface du sol et le point de référence pour les mesures du niveau des eaux souterraines (généralement le haut du tubage) sont également importants.

Différents systèmes de coordonnées projetées sont utilisés dans la région et parfois aussi au sein des pays. Par exemple, l'Afrique du Sud utilise une projection de Mercator transverse (TM) pour les cartes au 1/50 000, tandis qu'une projection d'Albers Equal Area est utilisée pour les cartes à petite échelle au 1/250 000, toutes deux avec le datum Hartebeeshoek (WGS84). La Namibie utilise également la projection TM mais avec le datum Schwar- zeck, tandis que le Botswana utilise l'UTM avec le datum de la zone 35S. Si la projection et le système de référence ne sont pas connus, des incohérences importantes peuvent apparaître. Par exemple : un changement de datum du Cap (officiellement utilisé en Afrique du Sud avant 1992) au datum Hartebeeshoek (utilisé après 1992) sans conversion appropriée a entraîné des changements de coordonnées de plus de 400 mètres par endroits. Il est donc crucial d'enregistrer la projection et le datum dans la base de données.

- Idéalement, la méthode utilisée pour établir les coordonnées (carte avec échelle et année de publication, GPS portable, GPS différentiel, relevé traditionnel) avec une indication de la précision des coordonnées est également enregistrée.

Toute autre information décrivant le point de surveillance et son environnement.

- Type : le type de point de surveillance doit être enregistré (forage, puits creusé à la main, source, rivière, barrage, etc).

- Statut du site : Statut du point de surveillance (en service, abandonné, détruit, inconnu).

- Objectif : Objectif principal du point d'accès à l'eau (surveillance, approvisionnement en eau potable, irrigation, abreuvement des animaux, utilisation industrielle, etc.)

- Propriétaire : les informations concernant le propriétaire du site (nom du propriétaire, coordonnées) sont importantes, par exemple pour demander l'autorisation d'accès à des fins de surveillance ou pour demander des informations relatives aux conditions d'octroi de licence.

- Cadre topographique : observations pertinentes concernant les eaux souterraines, telles que le bassin alluvial, le lit de rivière asséché, les collines.

6.2.4 Contrôle de la qualité et de la sécurité des données

La collecte de données sur les eaux souterraines est coûteuse et parfois impossible à répéter (par exemple, les enregistrements historiques du niveau des eaux souterraines ou les journaux lithologiques des forages). Il est donc crucial que les données collectées soient contrôlées en termes de qualité et protégées contre la perte ou les altérations par les utilisateurs.

Contrôle de la qualité

Tout au long du processus de collecte des données, différentes étapes d'assurance et de contrôle de qualité sont nécessaires, dont certaines peuvent être intégrées dans la solution de base de données (voir figure 5.1). L'une de ces étapes est la validation des données à l'aide de contrôles logiques. Par exemple, pour refuser les valeurs négatives dans le champ de profondeur du

forage, les niveaux d'eau souterraine au-dessus du sommet du tubage ou les valeurs de pH en dehors de la plage 0 - 14. D'autres fonctionnalités peuvent permettre de signaler les données non vérifiées, suspectes et vérifiées, voire d'enregistrer une piste d'audit complète (voir ci-dessous).

Rôles des utilisateurs

Pour éviter les erreurs, une base de données ne doit être exploitée que par un personnel autorisé (et convenablement formé). Les différents utilisateurs de la base de données ont généralement des rôles et des responsabilités différents : par exemple, saisie des données, contrôle de qualité, gestion/administrateur de la base de données, utilisateurs des données. Idéalement, différentes autorisations (niveaux d'accès) peuvent être attribuées à ces différents utilisateurs.

Sauvegardes

Toutes les bases de données doivent régulièrement faire l'objet des sauvegardes afin de réduire les risques de perte de données en cas de calamité comme une panne de disque dur, un incendie ou une inondation. Pour les grandes bases de données qui sont utilisées de manière intensive, les sauvegardes doivent être effectuées quotidiennement, tandis que pour les bases de données plus petites et moins utilisées, une sauvegarde peut être effectuée après la saisie de nouvelles données (bien que le risque que posent les sauvegardes ad hoc est qu'on a tendance à les oublier). Les sauvegardes doivent être stockées hors site (dans un autre endroit), ou au moins sur un autre ordinateur. Par simple copie du fichier maître, seule la dernière version du fichier peut être restaurée. Si la restauration de différentes versions est une exigence, il faut installer un logiciel capable d'effectuer des sauvegardes et des restaurations incrémentielles.

Audit trail, commit et rollback

Pour permettre une procédure de contrôle de qualité des données dans une base de données, il est utile de conserver une « piste d'audit » des opérations cruciales de la base de données. Cela signifie que si une valeur est modifiée, une copie de la valeur originale est stockée, ainsi que la date, l'heure et l'utilisateur qui l'a modifiée. Un tel journal est utile pour vérifier les procédures, repérer et corriger les erreurs éventuelles. Les transactions de base de données telles que « commit » et « roll-back » (généralement gérées via l'interface utilisateur) sont utiles pour protéger la base de données contre les erreurs et pour faciliter les procédures de contrôle de la qualité des données. Les modifications apportées à une base de données par l'ajout, la modification ou la suppression de données ne seront permanentes qu'après le lancement d'une transaction de validation et, en cas d'imprévu, toutes les modifications peuvent être annulées en émettant un retour en arrière.

6.3 Option de base de données de type feuille de calcul

Les logiciels de tableur tels que Microsoft Excel, Google Docs Spreadsheets, Apache OpenOffice Calc, Libre Office Calc, peuvent être utilisés pour mettre en place une base de données simple pour stocker les données sur les eaux souterraines. Outre le fait qu'il sage une option peu coûteuse ou gratuite, c'est aussi une option facile car la plupart des professionnels des eaux souterraines savent comment travailler avec des tableurs.

Structure des données : Les tableurs permettent d'utiliser plusieurs feuilles de calcul dans un même fichier. Différentes feuilles de calcul peuvent stocker des données liées à un paramètre spécifique, imitant ainsi les tableaux d'une base de données. Les différentes colonnes du tableur jouent le rôle des différents champs de chaque table, tandis que les lignes jouent le rôle des enregistrements. L'avantage est que la structure des données peut être mise en place par toute personne ayant des compétences de base en Excel et une compréhension élémentaire des bases de données relationnelles.

Interface utilisateur : Comme la plupart des professionnels de l'eau souterraine sont capables d'utiliser un logiciel de tableur, il ne sera pas nécessaire de mettre en place une interface utilisateur « au-dessus' d'une base de données de tableur. Il est cependant possible de développer par exemple des formulaires d'entrée de données, des modèles de rapports et des macros pour certaines routines.

Contrôle de la qualité et de la sécurité des données : Les tableurs permettent également de valider les données de base lors de l'introduction de nouvelles données. Les tableurs peuvent également être utilisés pour créer des graphiques (par exemple, pour des contrôles de qualité visuels) et effectuer des calculs, des statistiques et des évaluations logiques plus avancées (pour des contrôles de qualité des données et/ou pour l'analyse des données).

6.3.1 Limitations des bases de données basées sur des tableurs

- **Non conçu comme une base de données** : Les tableurs ne sont pas spécifiquement développés pour être utilisés comme une base de données relationnelle. L'accent est davantage mis sur l'exécution de calculs sur des données multiples et sur la visualisation des données, par exemple dans des graphiques. Cela signifie qu'il ne s'agit pas de la solution de base de données la plus robuste, en particulier si le nombre d'utilisateurs augmente et si le besoin d'outils de données intégrés s'accroît. Par exemple, il est très facile de déplacer des données sur une feuille de calcul, et il y a un risque que les utilisateurs modifient la structure des données en fonction de leurs propres besoins spécifiques (à court terme), corrompant ainsi la structure de la base de données. De nombreux utilisateurs ont l'habitude de « comprimer » toutes les données d'un forage sur une feuille de calcul, imitant ainsi un rapport avec différentes données pour un site (forage) plutôt que d'imiter une base de données relationnelle où les données sont regroupées par catégorie. Si la structure de la base de données relationnelle n'est pas maintenue, les données finissent par être copiées à plusieurs endroits, ce qui rend plus difficile (ou presque impossible) la gestion de la base de données et le maintien de l'intégrité des données. De plus, les utilisateurs peuvent facilement utiliser une feuille de calcul supplémentaire pour des données ou des traitements « temporaires rapides », ce qui aboutit finalement à des feuilles de calcul désordonnées et à ce que personne ne sache plus à quoi correspondaient les données brutes originales du terrain.

- **Capacité limitée :** La quantité de données qui peut être stockée sur une feuille de calcul est limitée, bien que pour les comtés avec des ensembles de données plus petits, cela peut en pratique ne pas être le facteur limitant. Selon la complexité de la base de données, un tableur peut devenir lent à traiter les données lorsque la quantité de données augmente.

- **Outils limités : Il** est possible de programmer des outils simples tels que des formulaires de saisie de données et de générer des rapports à partir de tableurs, mais de façon pratique, les fonctionnalités d'une base de données de tableurs sont limitées par rapport aux bases de données avancées.

- **Utilisateur unique :** Une feuille de calcul est une option à utilisateur unique, car un seul utilisateur peut modifier la feuille de calcul à tout moment. Plusieurs utilisateurs peuvent travailler sur plusieurs copies de la base de données en même temps, mais lorsque tous les utilisateurs commencent à apporter des modifications, il devient très difficile et long d'incorporer les modifications dans une base de données (principale). L'utilisation d'une feuille de calcul en combinaison avec un service cloud comme MS One-drive, Google Drive et Dropbox, signifie que les fichiers de données peuvent être édités directement dans le

cloud, ce qui élimine le risque de perdre des données à cause d'un matériel défectueux ou d'un vol de matériel, tout en permettant une forme de base d'accès multi-utilisateurs.

- **Sauvegarde de base :** Les tableurs ne disposent que de la fonctionnalité de sauvegarde automatisée la plus élémentaire, qui consiste à ne sauvegarder que la version précédente la plus récente du fichier. Pour une sauvegarde automatisée plus avancée de la base de données, des outils logiciels supplémentaires sont nécessaires, ou les sauvegardes doivent être effectuées manuellement. Les sauvegardes manuelles sont très peu fiables car elles sont facilement oubliées. Lorsque l'on travaille avec des bases de données à fichier unique, une sauvegarde peut être effectuée en copiant simplement le fichier sur un autre ordinateur, un disque dur externe ou un service cloud. Il est possible d'utiliser des services cloud gratuits, à condition que les ensembles de données ne soient pas trop volumineux, mais ce n'est pas la meilleure solution, car ces services gratuits peuvent être annulés à tout moment.

6.4 Base de données relationnelle - Option de bureau

Si les inconvénients de l'utilisation d'une feuille de calcul l'emportent sur les avantages, des options de base de données de bureau dédiées peuvent être envisagées. Il existe de nombreuses options de bureau rentables, telles que Microsoft Access, OpenOffice Base, LibreOffice Base et bien d'autres, dont certaines sont même gratuites.

Structure de la base de données : Les principaux avantages des progiciels de base de données dédiés sont qu'ils ont la capacité standard de relier les enregistrements de données, ce qui permet plus de fonctionnalités et de flexibilité lorsqu'il s'agit d'effectuer des requêtes et de générer des rapports. La base de données relationnelle doit être configurée avant de pouvoir être utilisée (contrairement à un tableur dont vous pouvez modifier la structure à tout moment). Les différentes tables doivent être définies, ainsi que chaque champ (colonne) de la table et la relation entre les différentes tables. Tous les champs doivent être prédéfinis par type de données (texte, nombre, date, etc.).

Interface utilisateur : L'avantage de cette configuration est qu'elle est plus robuste (la structure de la base de données ne peut pas être corrompue par un utilisateur standard) et que des règles de validation plus avancées sont possibles. Les fonctionnalités de recherche et d'interrogation des données seront plus avancées et plus conviviales qu'avec les tableurs. Les bases de données relationnelles ont également la capacité de créer des fichiers d'index. Ces fichiers d'index permettent d'effectuer des recherches et des requêtes rapides, ce qui est particulièrement utile pour les grands ensembles de données.

Option multi-utilisateur : Les options de bureau permettent un accès multi-utilisateur (avantage par rapport aux feuilles de calcul), mais le nombre d'utilisateurs simultanés est limité, tout comme les différentes autorisations d'utilisateur qui peuvent être définies.

Contrôle de la qualité et sécurité des données : Les logiciels de base de données dédiés prennent généralement en charge d'importantes fonctionnalités qui facilitent le processus de saisie et de contrôle de la qualité des données. Par exemple : Les modifications apportées à une base de données par l'ajout, la modification ou la suppression de données ne seront permanentes qu'après l'exécution d'une « transaction de validation ». En cas d'imprévu, toutes les modifications peuvent être annulées en effectuant un « retour en arrière ». Les versions de bureau stockent l'ensemble de la base de données dans un seul fichier, ce qui rend relativement simple la sauvegarde sur un disque dur externe ou dans le cloud, ou même le partage de la base de données complète, tout comme celui d'une feuille de calcul. Pour une option de sauvegarde plus

avancée, un logiciel dédié sera nécessaire.

Formation de jeunes professionnels des eaux souterraines des États membres de la SADC sur la collecte de données pendant l'atelier du projet.

6.4.1 Limitations of Desktop Based Database Solutions

- **Connaissance spécialisée des bases de données requise :**

  Les options de base de données de bureau peuvent être utilisées sans interface utilisateur spécialement développée, mais des connaissances sur les bases de données sont nécessaires pour y parvenir. Pour rendre la base de données plus accessible à un groupe d'utilisateurs plus large, une interface utilisateur doit être développée (pour cacher toutes les commandes de bas niveau à l'utilisateur final). Le développement d'une bonne interface utilisateur nécessite des connaissances spécialisées ainsi qu'une bonne compréhension du flux de travail et des capacités techniques du personnel concerné.
- Les **options multi-utilisateurs**, bien que possibles, restent limitées par rapport aux systèmes de base de données basés sur des serveurs. Pour permettre l'accès à distance à la base de données, des solutions basées sur un serveur sont nécessaires.

6.5 Base de données relationnelle – Option basée sur le serveur

Les principaux avantages des options sur serveur par rapport aux options sur ordinateur sont les suivants :

- L'énorme capacité de stockage des données ;
- Des options avancées pour un accès multi-utilisateur avec différents niveaux d'autorisation ; et
- Possibilités d'accès à distance.

Ce sont toutes les trois des fonctionnalités pertinentes pour une base de données nationale complète sur les eaux souterraines qui aura normalement de nombreux utilisateurs différents, éventuellement à différents endroits. Plusieurs options basées sur un serveur sont disponibles, comme MS SQL-Server ou la base de données Oracle.

Les options basées sur serveur sont supérieures (ou au moins égales) aux autres options de base de données. Les options basées sur serveur ont tendance à être personnalisées, ce qui permet également la mise en œuvre d'interfaces utilisateur avancées avec l'intégration de nombreux outils de données différents.

6.5.1 Limites des solutions de bases de données sur serveur

Les solutions basées sur un serveur ou les "moteurs de bases de données" sont extrêmement puissantes, mais nécessitent un personnel ayant une formation spécialisée dans la gestion des bases de données. L'administrateur de la base de données est responsable, avec les développeurs, du fonctionnement de l'interface utilisateur.

Outre le moteur de base de données, une structure de base de données est nécessaire, ainsi qu'une interface utilisateur (personnalisée) pour rendre la base de données utilisable par les personnes qui saisissent et récupèrent les données. Le développement d'une interface utilisateur personnalisée peut être un processus long et coûteux qui nécessite une compréhension approfondie des ensembles de données, du flux de travail lié aux données, des différents utilisateurs, de leurs besoins et de leur capacité technique à utiliser le logiciel. Si les tableurs et les versions de bureau peuvent être utilisés sans interface utilisateur, cela est impossible pour les bases de données sur serveur.

Lorsque la base de données est exécutée sur un serveur, une enceinte sûre est nécessaire pour la protéger. Il peut s'agir d'une pièce climatisée avec des matériaux ignifuges, un système d'extinction automatique, une alimentation électrique ininterrompue, etc. Le prix d'une base de données sur les eaux souterraines basée sur un serveur, ainsi que toute l'infrastructure, est considérable. Une alternative est d'utiliser un service d'hébergement. Beaucoup de ces services offrent des serveurs virtuels qui peuvent être utilisés pour faire fonctionner une base de données. Dans ce cas, l'organisme d'hébergement s'occupe de toute l'infrastructure (matériel), mais pas de l'interface utilisateur.

Tableau 6.1 : Aperçu des fonctionnalités de la base de données et des exigences organisationnelles pour les différentes options de base de données

Type de base de données	Base de données de type tableur	Base de données relationnelle de bureau	Base de données sur serveur
Nombre maximum d'utilisateurs simultanés	1	255 (théoriquement, MS Access)	32676 (MS SQL-Server)
Taille maximale de la base de données	2 GB (MS Excel)	2 GB (MS Access)	524272 TB
Modèle de base de données primaire	Plat	Relationnel	Relationnel
Fonctionnalité d'interrogation/filtrage	Élémentaire	Avancé	Avancé
Indexation des données	Non	Oui	Oui
Contrôles logiques de la saisie des données	Élémentaire	Avancé	Avancé
Processus de contrôle de la qualité des données	Très élémentaire / peu pratique	Possible	Avancé
Piste d'audit	Non	Non	Possible (doit faire partie de l'architecture de la base de données)
Sauvegarde	Disque dur externe ou dans le cloud.	Disque dur externe ou dans le cloud.	Des procédures de sauvegarde dédiées sont nécessaires.
Rôles et autorisations des utilisateurs	Seuls 2 rôles peuvent être définis en utilisant un mot de passe pour la feuille de calcul	Différents rôles d'utilisateur et niveaux d'autorisation peuvent être définis	Gestion avancée des rôles des utilisateurs et des niveaux d'autorisation possible (et nécessaire)
Interface utilisateur	Généralement, non requis mais possible (par exemple, les formulaires de saisie données)	Non requis, mais pratique ; relativement facile pour développer	Nécessaire et sur mesure

Intégration de différents outils (rapport sur le traitement, l'analyse et la visualisation.)	Élémentaire	Modéré (auto-fabriqué/sur mesure)	Avancé (sur mesure)
Capacité humaine nécessaire	• Les utilisateurs finaux ne doivent avoir qu'une connaissance de base des tableurs. • La configuration et la maintenance de la feuille de calcul par la personne concernée nécessitent une compréhension de base supplémentaire des concepts de base de données relationnelles et (facultatif) de la programmation en Visual Basic.	• Les utilisateurs finaux peuvent avoir besoin d'une formation de base sur l'utilisation de la base de données. • Le développement et la maintenance peuvent être assurés par du personnel ayant une expérience/formation plus avancée dans l'utilisation des bases de données de bureau et des concepts de bases de données relationnelles.	• Les utilisateurs finaux devront être formés à l'utilisation de l'interface de la base de données et des outils spécifiques qu'ils seront autorisés à utiliser (formation différenciée). • Développeur(s) de base de données et administrateur(s) nécessaire(s) ayant des connaissances spécialisées dans la gestion des bases de données et la maintenance des serveurs. etc.
Implication financière	• Logiciel : peu ou pas du tout (la plupart des gens ont déjà le logiciel) • Formation : très peu • Matériel : aucun matériel supplémentaire n'est requis, à l'exception des lecteurs de sauvegarde.	• Logiciel : limité • Formation : limitée pour les utilisateurs • Matériel : aucun matériel supplémentaire n'est requis, à l'exception des lecteurs de sauvegarde.	• Logiciel : Coûteux • Formation : extensive • Matériel : matériel supplémentaire requis (serveur, salle des serveurs) et infrastructure connexe, qui nécessitent tous une maintenance. (coûts récurrents)

Messages principaux

- **Le chapitre 6 souligne la nécessité de stocker les données de manière structurée et sous des formats numériques faciles à traiter afin de permettre un accès, une extraction et un traitement efficaces et rentables pour des études ultérieures ;**
- **Le choix du logiciel de base de données doit se fonder sur la quantité (prévue) de données à stocker ainsi que sur les capacités et les compétences humaines disponibles pour gérer les données ; - Les solutions avancées de bases de données basées sur des serveurs offrent les solutions les plus robustes mais ont un coût élevé : La mise en place et la maintenance de solutions avancées de bases de données basées sur des serveurs nécessitent un investissement initial important, mais entraînent également des coûts récurrents liés à la capacité des spécialistes à maintenir la base de données et les serveurs de données, en plus des coûts liés à la mise à jour standard des données de la base ;**
- **Pour les pays disposant d'une quantité limitée de données sur les eaux souterraines, de ressources et de capacités humaines limitées, des feuilles de calcul bien conçues peuvent être une alternative adéquate et très rentable aux solutions avancées de bases de données de bureau ou sur serveur. Si les données sont bien structurées, la migration des données vers des systèmes de base de données plus avancés à un stade ultérieur, lorsque nécessaire, est relativement simple ; et**
- **Les États membres doivent développer une convention de dénomination nationale pour les sites d'eaux souterraines et une dénomination unique standardisée pour tous les paramètres de la base de données.**

7 PARTAGE ET ACCÈS AUX DONNÉES

7.1 Introduction

Le Diagnostic mondial sur la gouvernance des eaux souterraines (FAO, 2016a) a souligné que la gestion efficace des eaux souterraines nécessite la participation active de toutes les parties prenantes. Pour s'engager activement et de manière responsable dans la gestion des eaux souterraines, les parties prenantes doivent être conscientes de l'état des eaux souterraines et des défis de durabilité, par exemple en ce qui concerne l'utilisation et la pollution des eaux souterraines. Les services des eaux souterraines doivent partager activement des données et des informations fiables et à jour sur les eaux souterraines avec les parties prenantes et leur donner accès aux données et aux informations à leur demande.

7.2 L'importance du partage des données et des informations

La nécessité de partager les données et les informations est reconnue depuis longtemps aux niveaux régional et mondial. (*Voir* encadré 7.1).

Encadré 7.1 Reconnaissance mondiale de l'importance de l'accès des parties prenantes aux données et informations environnementales.

Le principe 10 de la Convention de Rio des Nations Unies de 1992 stipule que "chaque individu doit avoir un accès approprié aux informations relatives à l'environnement détenues par les autorités publiques, y compris les informations sur les matières et activités dangereuses dans leurs communautés" et que "les États doivent faciliter et encourager la sensibilisation et la participation du public par une large diffusion des informations disponibles. " Voir https://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm

En Europe, cela a conduit à l'adoption de la convention d'Aarhus en 1988 par la CEE-ONU (entrée en vigueur en 2001, *voir* http://ec.europa.eu/environment/aarhus/index.htm) et de la directive INSPIRE en 2007 par l'Union européenne *(*voir https://inspire.ec.europa.eu/inspire-directive/2).

La convention d'Aarhus stipule que : "Afin de contribuer à la protection du droit de chacun, dans les générations présentes et futures, de vivre dans un environnement propre à assurer sa santé et son bien-être, chaque partie garantit les droits d'accès à l'information, de participation du public au processus décisionnel et d'accès à la justice en matière d'environnement, conformément aux dispositions de la présente convention.

La directive INSPIRE vise à "créer une infrastructure de données spatiales de l'Union européenne aux fins des politiques environnementales de l'UE et des politiques ou activités susceptibles d'avoir une incidence sur l'environnement. Cette infrastructure européenne de données spatiales permettra le partage d'informations spatiales environnementales entre les organisations du secteur public, facilitera l'accès du public aux informations spatiales sur toute l'Europe et aidera à l'élaboration de politiques par-delà les frontières". La directive est entrée en vigueur en 2007 et sera mise en œuvre en plusieurs étapes, la mise en œuvre complète étant requise pour 2021.

Parallèlement, l'UE a créé en 2007 le système d'information sur l'eau pour l'Europe (WISE, *voir* https://water.europa.eu/freshwater), une plateforme en ligne pour le partage des informations et des données sur l'eau. Conformément à la directive-cadre sur l'eau (*voir* http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html), les États membres de l'UE doivent faire rapport sur les ressources en eau. Les données sur l'eau fournies par les États membres sont compilées et partagées dans WISE.

L'expérience européenne montre jusqu'à présent que le partage des données au sein d'un même pays et entre pays est possible s'il est imposé par la loi et si les organisations disposent de suffisamment de temps pour le mettre en œuvre, étape par étape.

Au niveau de la SADC, l'importance du partage des données est reconnue dans la politique régionale de la SADC pour le secteur de l'eau (SADC, 2005), qui stipule que :

i) Les États membres partagent en temps utile les informations et les données pertinentes disponibles concernant l'état hydrologique, hydrogéologique, la qualité de l'eau, la météorologie et l'environnement des cours d'eau partagés ;

ii) Les États membres veillent à ce que les membres du public de la région aient accès à des informations pertinentes et compréhensibles concernant les ressources en eau ayant un impact sur leur santé ou leur sécurité et sur les intérêts économiques ; et

iii) La SADC, les Institutions chargées des cours d'eau partagés (SWCI) ainsi que les États membres établissent des mécanismes d'interprétation et de diffusion régulières des informations essentielles sur les ressources en eau afin que le public soit régulièrement informé.

La mise en œuvre de la politique régionale de l'eau de la SADC par les États membres gagne du terrain. Le partage d'informations (sous forme de rapports via des sites web) est désormais une pratique courante dans la plupart des États membres, même si la quantité d'informations générées à partir des données sur les eaux souterraines reste limitée (IGRAC et IGS, 2019b). L'accès aux données sur les eaux souterraines et leur partage actif sont généralement moins développés dans les États membres (IGRAC et IGS, 2109b). Pourtant, le partage des données est crucial car les données sont objectives et indépendantes du contexte, contrairement aux informations (Van der Gun 2018, encadré 7.2). Une exception notable est l'archive nationale des eaux souterraines d'Afrique du Sud qui permet d'accéder aux données sur les eaux souterraines en ligne.

Encadré 7.2 Données et informations

Les termes « données » et « information » sont souvent utilisés comme synonymes. Dans le présent cadre, nous considérons les "données" comme des données brutes, non traitées, stockées dans des bases de données sur les eaux souterraines, tandis que les "informations" sont le message résultant de l'analyse des données (*voir les* figures a et b ci-dessous). La nécessité de partager les « informations » est généralement bien comprise dans les États membres, bien qu'elle ne soit pas toujours efficacement mise en œuvre. La nécessité de partager les « données » est moins bien acceptée. Pourtant, le partage des données est crucial car les données sont objectives et indépendantes du contexte, contrairement aux informations (Van der Gun 2018). Les données peuvent être utilisées et réutilisées pour produire des informations à différents niveaux et pour des buts différents.

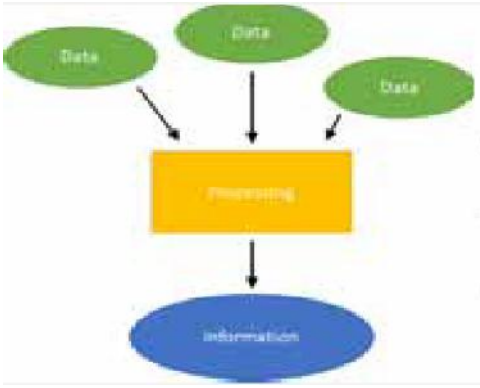


Fig. a : L'information est créée à partir de la chaîne de données

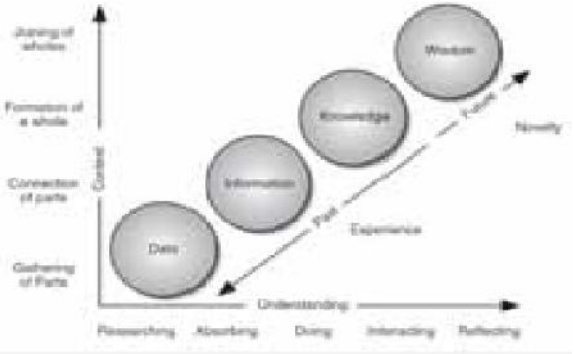


Fig. b : La hiérarchie DIKW représentée sous forme linéaire

Il existe plusieurs niveaux auxquels le partage des données et des informations sur les eaux souterraines doit être organisé :

- **Entre les organisations qui collectent des données sur les eaux souterraines**

  L'évaluation des eaux souterraines nécessite des données de différents types qui sont collectées par diverses parties prenantes (*voir le* chapitre 2 et le tableau 2.1 sur les données pour l'évaluation des aquifères transfrontaliers). Chaque État membre a généralement une organisation principale chargée de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines, comme un département des eaux souterraines, généralement au sein du ministère de l'eau. Des données supplémentaires sur les eaux souterraines et les données liées aux eaux souterraines peuvent être collectées par d'autres acteurs tels que les sociétés de distribution d'eau, d'autres département du ministère de l'eau, d'autres ministères au niveau des provinces, des districts, des municipalités, des universités et des organisations non gouvernementales. Il est important que les départements des eaux souterraines coopèrent activement avec les autres détenteurs de données pour avoir accès à toutes les données et informations nécessaires à l'évaluation intégrée des ressources en eaux souterraines et au développement d'interventions appropriées.
- **Au niveau transfrontalier**

  L'évaluation et la gestion conjointes des aquifères transfrontaliers (TBA) exigent que les pays échangent des données et des informations sur ces ressources. Le partage des données entre différents pays implique un défi supplémentaire d'harmonisation des données, car les différents pays stockent généralement les données sous des formats différents. Un travail de pionnier en matière de partage et d'harmonisation des données dans les TBA de la SADC a été réalisé pour l'aquifère de Stampriet, partagé par le Botswana, la Namibie et l'Afrique du Sud (projet GGRETA), et l'aquifère de Ramotswa, partagé par le Botswana et l'Afrique du Sud (projet RAMOTSWA). Les organisations de bassins fluviaux ou lacustres (OBF/L) jouent également un rôle dans le partage des données transfrontalières, et l'on prend de plus en plus conscience de la nécessité d'incorporer les données sur les eaux souterraines dans les systèmes gérés par les OBF/L en vue de la gestion intégrée des ressources en eau et de l'utilisation conjointe des eaux souterraines et de surface.
- **Au niveau régional**

  En plus de la coopération spécifique aux TBA ou aux OBF/L, il y a une demande croissante de données pour des études régionales, en particulier dans une région comme la SADC avec une coopération très active au niveau régional. Par exemple pour évaluer les impacts du changement climatique sur les eaux souterraines, car le changement climatique ne s'arrête pas aux frontières nationales. Les politiques régionales devraient être guidées par des informations régionales (par exemple, des indicateurs, des rapports), basées entre autres sur des ensembles de données fournies par les États membres. En outre, le partage des données et des informations présente un avantage supplémentaire, car les États membres peuvent apprendre les uns des autres. De nombreux États membres partagent les mêmes problèmes liés aux eaux souterraines (par exemple, la baisse des niveaux d'eau, la contamination, l'intrusion d'eau de mer) et peuvent bénéficier des expériences d'autres pays. L'échange de connaissances implique également l'échange d'informations et de données.
- **Avec le grand public et la société civile**

  Les utilisateurs des eaux souterraines sont les principaux bénéficiaires de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines. Ces parties prenantes peuvent être des individus ou des groupes ayant des intérêts similaires. Il est crucial pour les parties prenantes des eaux souterraines d'être bien informées sur les questions relatives aux eaux souterraines, sur base d'un accès transparent aux données et aux informations. Les programmes de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines sont

généralement financés par les recettes fiscales. On peut donc affirmer que les contribuables sont également propriétaires des données recueillies dans le cadre des activités qu'ils subventionnent. Cela est d'autant plus vrai lorsque des personnes contribuent à la collecte de données sur les eaux souterraines, comme les foreurs ou les communautés engagées dans la surveillance communautaire. Le fait de donner accès aux données peut également inciter les fournisseurs potentiels de données à contribuer à la collecte de données sur les eaux souterraines, car ils peuvent également utiliser les données à leur propre avantage.

7.3 Partage intelligent des données

Le fait que les données soient correctement stockées dans une base de données centralisée (*voir* chapitre 6) est la première condition permettant un accès efficace aux données. Cette section explore les différentes manières d'améliorer le partage des données.

7.3.1 Open Data

La figure 7.1 donne un aperçu des différents niveaux d'accès aux données. Le moyen le plus simple et le plus efficace de partager des données consiste à les rendre accessibles à tous, indépendamment de l'auteur de la recherche et de l'objectif poursuivi. Ces données sont appelées « données ouvertes ». Dans la plupart des États membres de la SADC, l'accès aux données sur les eaux souterraines est d'une manière ou d'une autre restreint, soit explicitement (par exemple, les données sont disponibles sur demande, éventuellement contre une somme nominale) ou implicitement (c'est-à-dire que l'organisation ne dispose pas d'un dépôt en ligne permettant un partage efficace des données). Un exemple de données ouvertes est l'archive nationale des eaux souterraines d'Afrique du Sud.

Les données protégées ont tendance à être moins efficaces que les données ouvertes. Les deux parties (celles qui demandent les données et celles qui les fournissent) doivent investir du temps et de l'argent chaque fois que des données sont nécessaires ou, pire encore, des données dont la collecte a coûté cher mais qui ne sont pas du tout utilisées. Investir dans une culture et une infrastructure informatique qui permettent des politiques de données ouvertes et l'accès aux données sans intervention du propriétaire des données, constitue en fin de compte un moyen rentable permettant le partage des données.

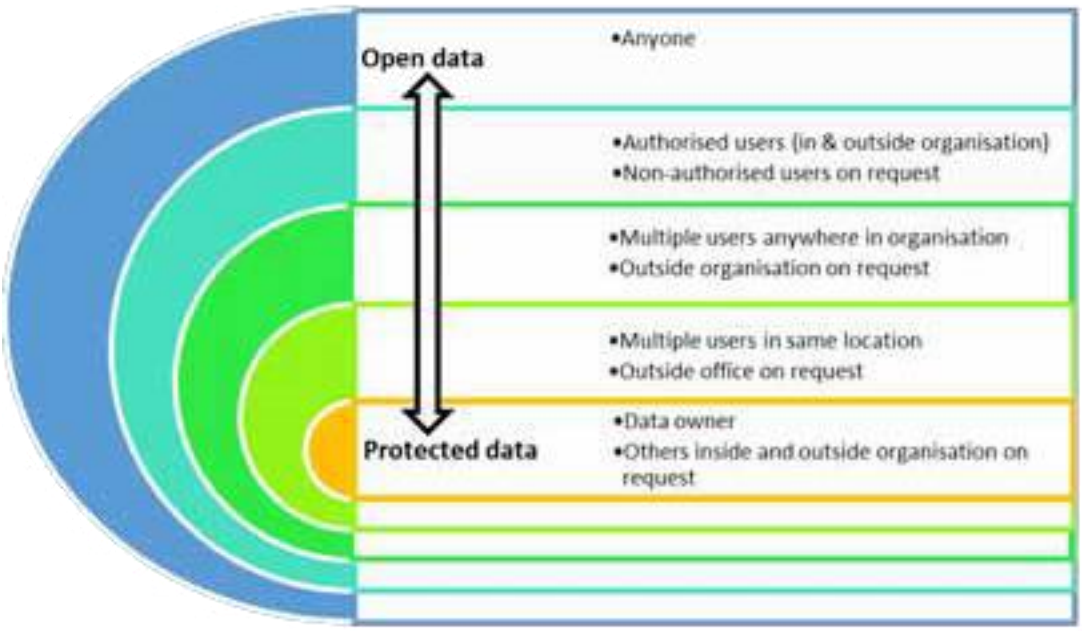


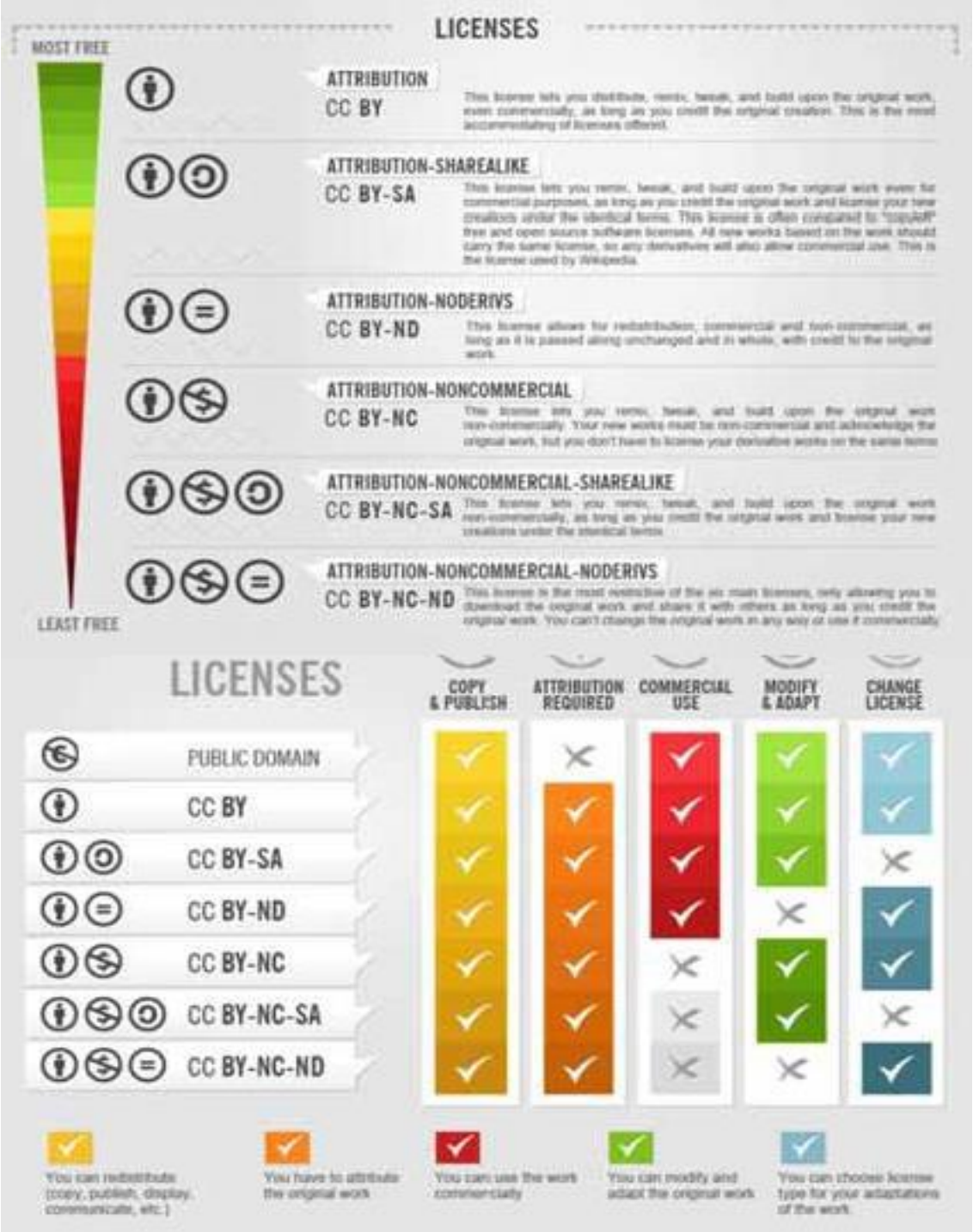
Figure 7.1 Différents niveaux d'accès aux données, les cercles représentant les groupes de parties prenantes qui ont un accès facile.

Pour résoudre les questions de propriété et de droits d'auteur, les données ouvertes peuvent faire l'objet d'une licence (Bureau of Meteorology, 2017). Des licences facilement disponibles comme les licences Creative Commons permettent de spécifier différentes options en termes d'attribution (fournir des crédits au propriétaire des données originales), si les données peuvent être utilisées sous une forme retravaillée ou non, pour un usage commercial et/ou non commercial. La figure 7.2 donne un aperçu des types de licences Creative Commons actuellement disponibles.

7.3.1 Métadonnées

Lors du partage des données, il est très important de partager toutes les métadonnées pertinentes, c'est-à-dire les « données sur les données ». Les métadonnées doivent expliquer ce que sont réellement les données. Par exemple, les niveaux des eaux souterraines peuvent être exprimés en élévations ou en profondeurs absolues, différentes unités peuvent être utilisées pour exprimer les données sur les eaux souterraines, différents systèmes de coordonnées sont utilisés dans la SADC. Les métadonnées doivent également fournir des informations pertinentes telles que la méthode utilisée pour la collecte des données, la date de la collecte, les coordonnées du propriétaire des données, l'objectif des données, etc. La pertinence des métadonnées augmente lors du partage des données au niveau transfrontalier ou international, car il est plus probable que des méthodes et des conventions différentes soient utilisées.

Pour utiliser efficacement les données, il est crucial de fournir (et donc de stocker dans les bases de données sur les eaux souterraines) toutes les métadonnées pertinentes. Ceci devrait être organisé au niveau national, mais l'harmonisation pourrait être portée au niveau de la SADC par un groupe de travail dédié dans le cadre des structures existantes, afin de faciliter l'échange de données entre les pays.



Source : https://foter.com/blog/how-to-attribute-creative-commons-photos/

Figure 7.2 Aperçu des principales licences Common Créatives

7.3.2 Normes et interopérabilité de l'Open Geospatial Consortium

Il existe un grand nombre d'applications logicielles et de formats de fichiers permettant de traiter des données tabulaires ou géospatiales. Toutes les applications logicielles ne peuvent pas lire tous les formats de fichiers. Cela pose des problèmes en termes d'interopérabilité car les fichiers de données reçus d'une autre organisation utilisant d'autres applications et formats peuvent être impossibles à utiliser.

L'Open Geospatial Consortium (OGC) a été créé pour résoudre les problèmes d'interopérabilité des applications et des formats de données géospatiales. Depuis 1994, l'OGC vise à développer et à

mettre en œuvre des normes et des protocoles pour le formatage et l'échange de données géospatiales, afin de garantir l'interopérabilité entre les systèmes de données géospatiales et les utilisateurs. Plus de 500 organisations traitant des données géospatiales, provenant de différents secteurs (par exemple, commercial, gouvernemental, à but non lucratif, recherche) et de différents pays sont activement impliquées.

Par exemple, le service de cartographie Web (WMS) est un protocole de l'OGC permettant de partager des images géoréférencées sur Internet, comme une carte de surveillance des puits de forage. Le WMS permet également de visualiser les données associées aux caractéristiques des images, comme les données de surveillance des eaux souterraines associées aux puits de forage sur une carte. Pour pouvoir partager des données via WMS, les organisations doivent avoir leurs données géospatiales stockées dans une base de données SIG sur un serveur cartographique permettant un accès à Internet (Figure 7.3).

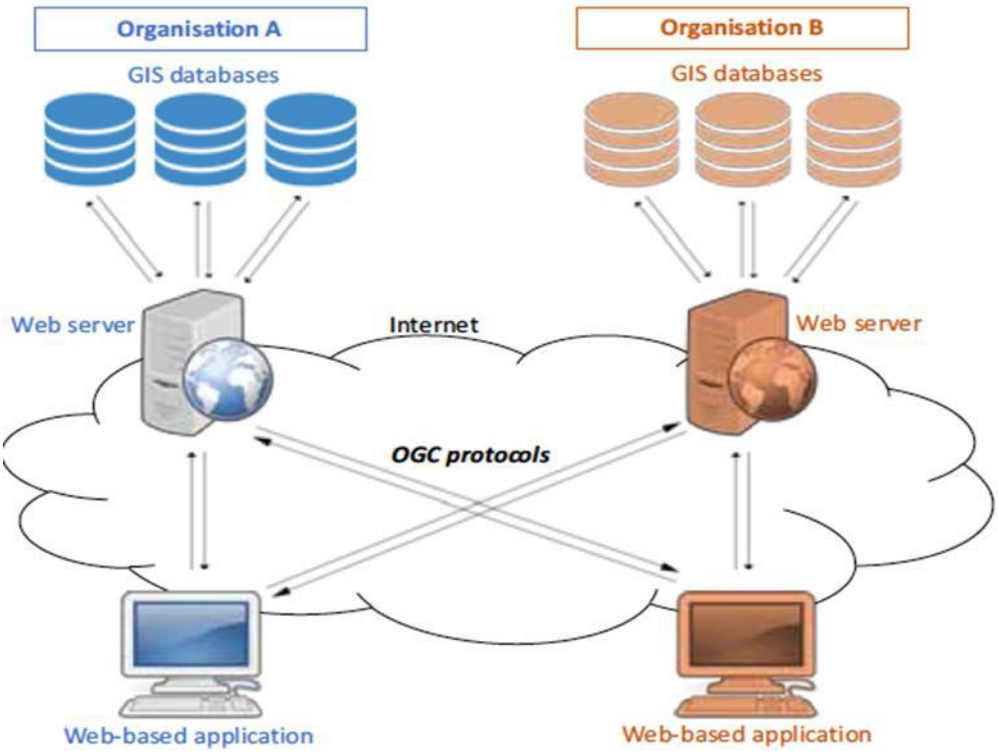


Figure 7.3 Aperçu schématique de l'échange de données entre deux organisations utilisant les normes et protocoles de l'OGC

Les données partagées via WMS peuvent être visualisées dans n'importe quel navigateur web au format de base. Les données deviennent plus utiles lorsqu'elles sont visualisées dans des applications SIG dédiées basées sur le Web qui prennent en charge les données provenant de plusieurs serveurs et permettent des interactions avec l'utilisateur, comme le zoom et l'accès à la table des caractéristiques. Il existe des applications logicielles gratuites pour les bases de données SIG, les serveurs cartographiques et les applications SIG basées sur le Web qui peuvent être utilisées pour mettre en place une infrastructure de données spatiales (IDS) (*voir* encadré 7.3).

Encadré 7.3 Aperçu des logiciels disponibles gratuitement pour le stockage, le partage en ligne et la visualisation de données géospatiales

Le partage de données géospatiales sur Internet à l'aide des normes de l'Open Geospatial Consortium (OGC) nécessite différents composants logiciels : une base de données SIG, un serveur cartographique et une application utilisateur basée sur le Web. Des solutions sous licence commerciale sont disponibles, mais il existe également plusieurs logiciels gratuits et très adéquats, qui réduiront les coûts de développement et de maintenance d'une (IDS).

Par exemple :

- Base de données SIG : PostGIS (https://postgis.net/)
- Serveur de cartes : GeoServer (http://geoserver.org/), MapServer (https://www.mapserver.org/)
- Applications basées sur le Web : OpenLayers (https://openlayers.org/)

Des logiciels gratuits comme GeoNode (http://geonode.org/) et GeoNetwork (https://geonetwork-opensource.org/) intègrent les trois composants dans un seul paquet et fournissent une interface facile à utiliser.

Elles sont toutes des applications à code source ouvert.

La mise en œuvre de services web pour les données géospatiales nécessite une connexion Internet raisonnablement fiable, ainsi que des investissements pour la mise en place et la maintenance des composants matériels (serveur) et logiciels et des coûts pour le personnel (spécialisé).

L'OGC a développé plusieurs autres services, en plus du WMS, qui fonctionnent de manière similaire et qui peuvent être utiles pour les données sur les eaux souterraines. Une liste complète des services de l'OGC est disponible sur le site de l'OGC : http://www.opengeospatial.org/.

Les services de partage de données de l'OGC sont soutenus par des langages informatiques dédiés basés sur XML, tels que le Geographic Mark-up Language (GML). Le langage de balisage des eaux souterraines (GWML) est en cours de développement. Il vise à soutenir l'échange de tous les types de données sur les eaux souterraines, c'est-à-dire non seulement les cartes, mais aussi les diagraphies lithologiques, les données de construction des puits, les données d'exploration géophysique, les modèles hydrogéologiques et les données de surveillance des eaux souterraines.

Grâce aux protocoles et aux normes de l'OGC, il est possible d'accéder aux données géospatiales n'importe où, à condition qu'il y ait un accès à Internet, et avec un large éventail d'applications. Ils offrent une flexibilité dans l'accès et les autorisations des utilisateurs. Différents protocoles de partage de données peuvent être choisis, permettant différentes actions avec les données, par exemple la visualisation, le téléchargement et l'édition. Les organisations peuvent verrouiller les données à l'aide d'une clé d'accès (mot de passe) et partager cette clé avec certaines organisations, contrôlant ainsi qui peut accéder aux données. Du point de vue des utilisateurs de données, celles-ci sont accessibles à tout moment sans qu'il soit nécessaire de les stocker et de les gérer, ce qui demanderait du temps et de l'argent supplémentaires. Le stockage et la gestion des données restent sous la responsabilité de l'organisation propriétaire des données. Les utilisateurs des données n'ont pas besoin de conserver des copies locales des données, ils ont toujours accès aux données les plus récentes directement auprès des propriétaires des données.

Les avantages des protocoles de partage de données sont évidents et certaines organisations de la SADC partagent déjà des données sur les eaux souterraines en utilisant les services de l'OGC, comme la SADC-GMI (http://www.gip.sadc- gmi.org/), l'ORASECOM (http://gis.orasecom.org/), et les départements de l'eau du Botswana et de l'Afrique du Sud pour partager des données sur l'aquifère transfrontalier de Ramotswa (http://www.ramotswa.un-igrac.org/) (Figure 7.4).

Figure 7.4 Exemples d'applications de partage de données sur les eaux souterraines dans la SADC.

7.4 Messages principaux

- **La sensibilisation et la participation des parties prenantes à la gestion des eaux souterraines exigent que celles-ci aient accès aux données et aux informations sur les eaux souterraines, ce qui relève de la responsabilité des services des eaux souterraines ;**
- **Le partage des données permettra de prendre des décisions éclairées dans la gestion des aquifères transfrontaliers ;**
- **Les départements des eaux souterraines doivent coopérer activement avec d'autres propriétaires ou gardiens de données pour avoir accès à toutes les données et informations nécessaires à l'évaluation intégrée des ressources en eaux souterraines et au développement d'interventions appropriées dans leur pays ;**
- **L'évolution des TIC offre des solutions prometteuses pour le partage des données, comme les normes de données ouvertes qui permettent un accès transparent aux données d'autres organisations tout en éliminant la nécessité de gérer les données dans plusieurs organisations ; et**
- **Des protocoles doivent être développés et mis en œuvre au niveau national et au niveau de la SADC pour les questions techniques et pratiques liées au partage des données, y compris des questions telles que les formats standardisés et les métadonnées minimales requises. Idéalement, cela se fait par le biais de groupes de travail dans le cadre des structures existantes.**

8 CONVERTIR LES DONNÉES EN INFORMATIONS

8.1 Introduction

L'objectif des données sur les eaux souterraines est de produire des informations qui soutiennent la gestion des eaux souterraines et des domaines connexes. Ce chapitre aborde le type d'information qui peut être traité à partir des données sur l'eau souterraine, ce qu'il faut pour transformer les données en information et comment l'information peut être partagée avec les parties prenantes ciblées. Des lacunes dans la collecte et la gestion des données sur l'eau souterraine peuvent être identifiées lors du traitement des données en information : ce chapitre discute de la façon dont le traitement des données devrait guider l'amélioration ou le développement des programmes de collecte et de gestion des données sur l'eau souterraine.

8.2 Qu'est-ce qu'une information pertinente dans le cadre des eaux souterraines ?

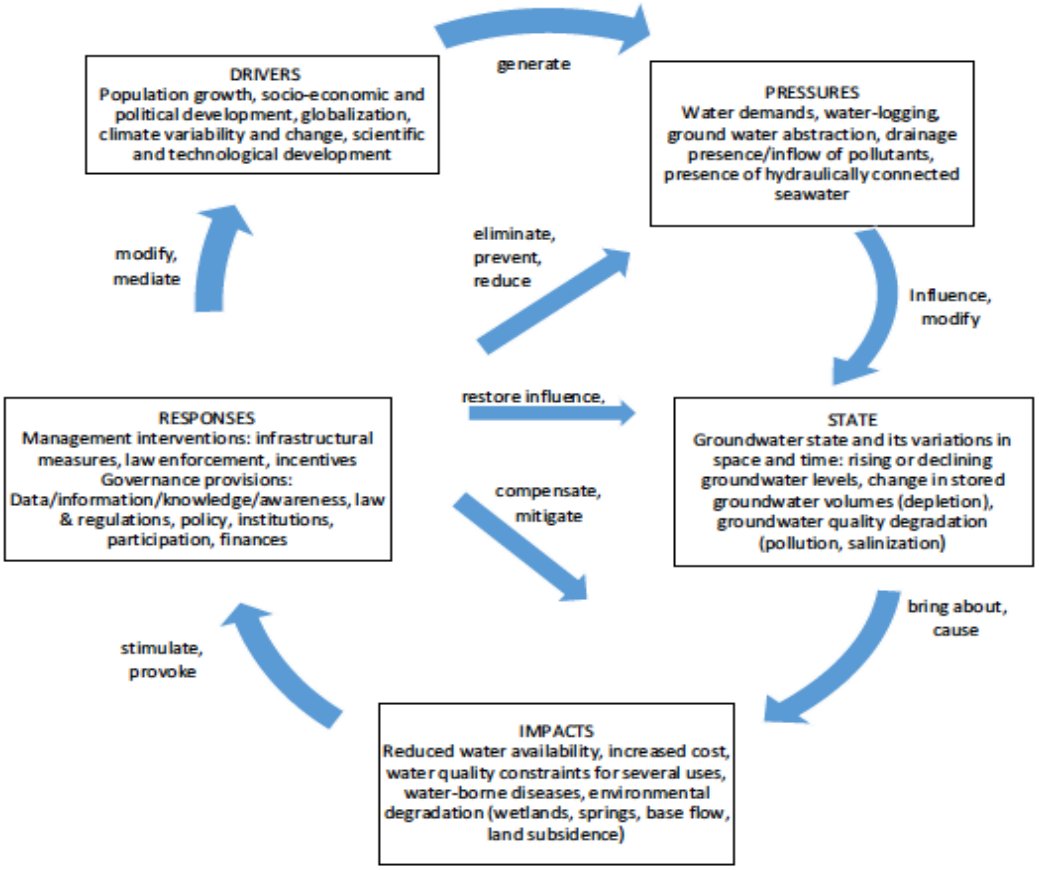
Le chapitre précédent a souligné la nécessité de partager les données et les informations sur les eaux souterraines avec toutes les parties prenantes. Les parties prenantes des eaux souterraines comprennent les hydrogéologues, les spécialistes des sciences sociales, les avocats, les planificateurs, les gestionnaires des eaux souterraines, les politiciens et autres décideurs, les industries utilisatrices d'eau, les ménages, les environnementalistes et le grand public (van der Gun 2018). Il est important de réaliser que les différentes parties prenantes ont des besoins différents en matière d'informations sur les eaux souterraines et un niveau de compréhension différent des eaux souterraines. Par exemple, un propriétaire de puits privé est susceptible d'être intéressé par la qualité de l'eau de son propre forage mais peut être moins intéressé par l'état général des ressources en eau souterraine dans une région ou un aquifère plus large. Il se peut également qu'il ne comprenne pas les résultats détaillés des analyses de laboratoire, mais qu'il veuille simplement savoir si la qualité de l'eau est suffisante pour son usage (par exemple, eau domestique, abreuvement du bétail et irrigation des cultures). Une société de forage aura besoin d'informations plus détaillées que le propriétaire du puits, par exemple des cartes indiquant la productivité de l'aquifère, la profondeur des couches aquifères et les eaux souterraines générales d'une région.

La surveillance des eaux souterraines fournit aux décideurs des informations pertinentes

Les décideurs politiques s'intéresseront à l'état et aux tendances des ressources en eaux souterraines afin d'apporter des réponses politiques aux défis rencontrés. Par exemple, « le niveau des eaux souterraines diminue dans la région x », « la contamination à l'arsenic se produit dans la région y », « l'intrusion d'eau de mer progresse dans la ville de... ». De telles informations sont toutefois insuffisantes pour développer des interventions adéquates. Pour parvenir à une gestion durable des ressources en eau souterraine, il est essentiel de comprendre les mécanismes qui influencent l'état et

les tendances des ressources en eau souterraine, ainsi que les impacts des changements sur la société et l'environnement. Par conséquent, des informations plus élaborées sont nécessaires, telles que « les niveaux des eaux souterraines diminuent dans la région x en raison du changement climatique, ce qui peut entraîner l'assèchement des puits creusés à la main à faible profondeur », « la contamination à l'arsenic dans la région y est d'origine naturelle et constitue une menace immédiate pour la santé des communautés rurales qui dépendent de ces puits pour l'eau domestique », « l'intrusion d'eau de mer progresse dans la ville de .... en raison du pompage excessif dans le champ de captage municipal et met en danger l'approvisionnement public en eau ».

Le cadre « forces motrices – contraintes – état – impact – réponse » (DPSIR)[5] adapté à la gestion des ressources en eau souterraine (van der Gun 2018, Figure 8.1), fournit un cadre utile pour analyser les facteurs et les pressions qui peuvent affecter l'état des eaux souterraines, les impacts que cela a et quelles pourraient être les réponses appropriées pour améliorer l'état des ressources en eau souterraine et pour compenser ou atténuer les impacts négatifs. Les programmes de collecte de données sur les eaux souterraines peuvent fournir des données pour évaluer les pressions (par exemple, la surveillance des prélèvements d'eau souterraine), l'état (par la surveillance du niveau et de la qualité des eaux souterraines) et les impacts (par exemple, la surveillance des sources). Les données typiques sur les eaux souterraines ne seront cependant pas suffisantes pour analyser l'ensemble du DPSIR, et d'autres données devront être obtenues auprès d'autres organisations (*voir* également le chapitre 2).



Source: van der Gun (2018)

Figure 8.1 Le cadre d'analyse DPSIR, adapté à la gestion des ressources en eau souterraine management

[5] 5 Développé par l'Agence européenne pour l'environnement, le DPSIR (pour Drivers, Pressures, State, Impact and Response) est un cadre causal permettant d'analyser les relations entre la société et l'environnement, c'est-à-dire la manière dont la société influence l'environnement et vice-versa. Agence européenne pour l'environnement (AEE), 1999 Environmental indicators: Typology and overview (disponible sur https://www.eea.europa.eu/publications/TEC25). Le cadre DSPSIR est une extension du modèle PSR original développé par l'OCDE, 1991 Indicateurs environnementaux. Un ensemble préliminaire. Paris, France.

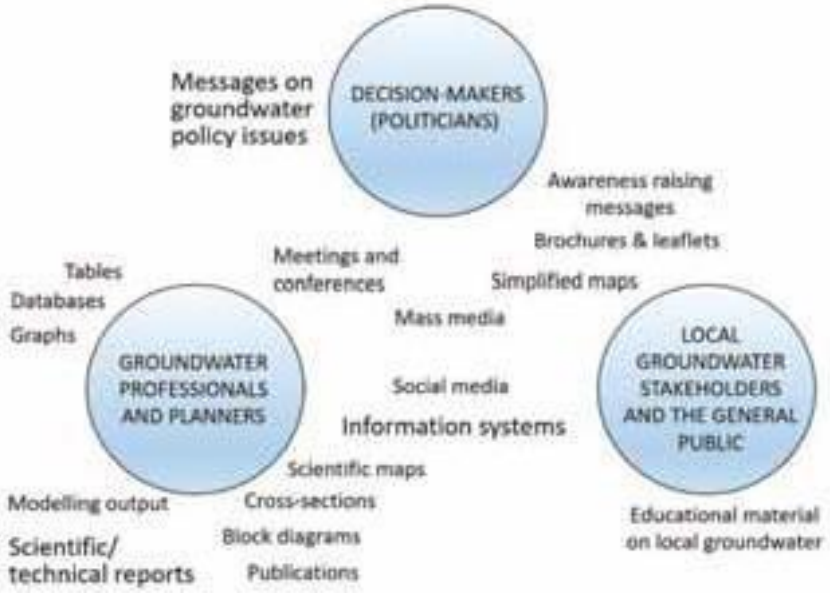
8.3 *Organiser l'analyse et l'interprétation des données*

Les eaux de surface et les eaux souterraines se comportent différemment, et nécessitent donc des outils, des méthodes et des connaissances différents et spécialisés pour les analyser. L'analyse des données sur les eaux souterraines requiert un personnel ayant une formation en hydrogéologie (de préférence un diplôme universitaire supérieur). Les questions spécifiques nécessitent un personnel spécialisé dans différents domaines de l'hydrogéologie, comme l'hydrogéochimie ou la modélisation de l'écoulement des eaux souterraines. Comme des données et des informations provenant d'autres disciplines sont nécessaires pour évaluer et gérer les ressources en eau souterraine, d'autres spécialistes devraient également être impliqués dans l'analyse, avec des formations en hydrologie, en ingénierie, en agriculture, en gestion de l'utilisation des terres ou en économie, selon les questions en jeu. Les grands départements des eaux souterraines peuvent disposer de certaines de ces connaissances spécialisées au sein du ministère, mais cela nécessite généralement une coopération avec d'autres départements et ministères ou l'embauche de consultants externes.

Outre les compétences et l'expertise scientifiques, l'analyse hydrogéologique nécessite la plupart du temps des logiciels spécialisés, tels que l'interprétation des tests de pompage ou des études géophysiques, l'interprétation des données hydrochimiques, l'analyse SIG et la modélisation de l'écoulement des eaux souterraines. L'accès aux logiciels ne devrait pas être un problème car beaucoup sont disponibles gratuitement. La formation adéquate du personnel à l'utilisation de ces outils logiciels est plus difficile. En plus des compétences développées dans le cadre de la formation académique, les services des eaux souterraines peuvent également organiser des formations en interne. Une sélection minutieuse des logiciels aidera également à réduire les problèmes de formation et d'interopérabilité. Le logiciel le plus complet ou le plus cher n'est pas toujours le meilleur. Pour un service des eaux souterraines avec une équipe relativement petite travaillant avec des données limitées et un personnel devant travailler sur différentes tâches, une solution logicielle différente peut être requise que pour un grand service avec un grand nombre de personnel dédié, gérant de grandes quantités de données.

8.4 *Cibler le bon public*

Une fois les informations appropriées produites, les services des eaux souterraines doivent trouver un moyen d'atteindre les parties prenantes ciblées avec ces informations. Sur la figure 8.2, Van der Gun (2018) regroupe les parties prenantes en trois catégories : les décideurs, les professionnels et les planificateurs des eaux souterraines, et les parties prenantes locales des eaux souterraines telles que les agriculteurs ou les propriétaires de puits privés et le grand public, et présente différents formats de partage de l'information pour mieux servir les différentes parties prenantes.



Source: van der Gun (2018)

Figure 8.2 Formes sélectionnées de présentation des données et informations sur les eaux souterraines pour des utilisateurs ciblés

8.5 Réévaluer et améliorer la collecte et la gestion des données

Il est très probable que des lacunes ou des insuffisances dans le programme de collecte et de gestion des données seront identifiées lors de l'interprétation des données. Des données supplémentaires peuvent être nécessaires, ce qui exige de mettre à jour certaines parties du programme. Il est également possible que plus de données que nécessaire soient collectées, ce qui n'est pas rentable. Là aussi, le programme pourrait être révisé et optimisé. Il est important que le personnel chargé de l'interprétation des données sur les eaux souterraines fournisse un retour d'information aux responsables de la collecte des données sur les eaux souterraines, afin de rendre ce processus plus efficace.

La production d'informations pertinentes justifie l'augmentation des budgets consacrés à la collecte et à la gestion des données sur les eaux souterraines. Les décideurs seront plus facilement convaincus d'investir davantage dans les programmes de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines s'ils *voient* les résultats de leurs investissements, comme le montre le dessin humoristique de la figure 8.3. Par conséquent, même les organisations qui souffrent d'une grave pénurie budgétaire devraient faire de leur mieux pour transformer les données en information et les partager.

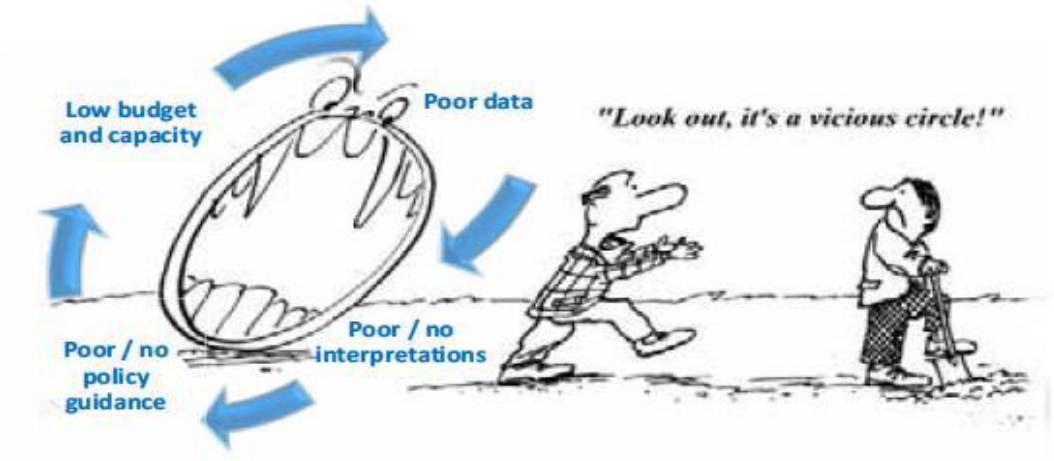


Figure 8.3 Cercle vicieux de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines

8.6 Messages principaux

- **Les données doivent être transformées en informations afin de communiquer des messages clés aux parties prenantes et de développer des interventions basées sur des faits.**
- **Les différentes parties prenantes exigent que les informations soient présentées différemment ;**
- **Les données doivent être transformées en informations pour démontrer l'utilité des données aux parties prenantes engagées dans la collecte des données sur les eaux souterraines.**
- **L'analyse et l'interprétation des données aident à identifier les lacunes et les problèmes de qualité des données qui peuvent conduire à une réévaluation des besoins en données et des procédures de collecte de données.**

9 PLANIFICATION BUDGÉTAIRE

9.1 Introduction

De nombreuses composantes de la collecte et de la gestion des données décrites dans le Cadre de la SADC pour la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines peuvent être réalisées au sein des départements responsables de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines. En cas de manque de capacité, des experts professionnels externes peuvent être engagés. Il est donc important de prendre en compte les différents coûts associés aux activités de collecte et de gestion des données. Ce chapitre fournit une vue d'ensemble des éléments de coût associés aux activités de collecte et de gestion des données. Il ne fournit pas le coût de chaque activité, car celui-ci varie selon les États membres de la SADC et dépend également de l'échelle du projet, de la géographie, de la topographie et du contexte hydrogéologique. La dernière section du chapitre fournit des suggestions pour le financement de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines.

Les coûts liés à la collecte et à la gestion des données doivent être pris en compte lors du processus de planification.

9.2 Choix de l'emplacement, forage et essai des puits de forage

9.2.1 Emplacement des sondages

Le choix de l'emplacement des puits de forage se fait par le biais d'une étude géophysique de surface. Le choix de l'emplacement des forages privés à des fins domestiques peut cependant se faire sur base d'une inspection visuelle du site. Les coûts d'implantation peuvent être fixés pour un seul ou plusieurs forages en fonction de la configuration. En cas de forages multiples, une étude géophysique plus importante peut être réalisée en une seule fois. Les coûts varient en fonction de la méthode géophysique et de l'échelle du levé. En général, un levé magnétique de surface avec un magnétomètre sera moins cher qu'une tomographie de résistivité ou un levé électromagnétique. Bien que l'utilisation de méthodes multiples comme techniques complémentaires soit encouragée pour améliorer la compréhension du sous-sol et augmenter ainsi les chances de succès, elle entraîne également un coût supplémentaire.

Les principaux éléments de coût sont la main-d'œuvre, la logistique liée au travail sur le terrain, ainsi que les coûts d'analyse des données qui dépendront de l'échelle de l'enquête et des méthodes utilisées. Les coûts de l'équipement peuvent comprendre l'achat, la location ou la dépréciation. Les principaux coûts de l'étude géophysique pour la localisation d'une cible de forage sont énumérés dans le tableau 9.1. Lors de la planification, ces coûts devraient tous être des éléments fixes.

Tableau 9.1 Principaux aspects à prendre en compte lors de l'évaluation du coût d'une étude géophysique pour l'implantation d'un forage

Activités	Unité de coût typique
Étude de bureau	• Honoraires professionnels (par heure ou par jour) • Coûts d'acquisition de données (cartes, données/études préexistantes)
Visite/marche/planification du site	• Honoraires professionnels (par heure ou par jour)
Etude géophysique de terrain	• Coût par forage/Coût par unité de longueur d'enquête/Coût par projet (selon la configuration) • Frais d'équipement (généralement par jour)
Logistique (coûts pour le véhicule, le carburant, les indemnités de terrain) pour la visite et enquête de terrain	• Coûts par kilomètre • Coûts par membre du personnel et par jour
Analyse des données, établissement de rapports et transfert des données*.	• Honoraires professionnels (par heure ou par jour) • Coûts d'impression ou de consommables

* Le transfert de données est crucial pour la construction d'une base de données sur les eaux souterraines, et il devrait être spécifiquement demandé (et budgétisé) pour recevoir toutes les données pertinentes (*voir* chapitre 3) sous des formats qui peuvent être traités.

9.2.2 Forage de puits

Le forage de puits englobe le forage proprement dit, la construction et le développement du puits. Les coûts liés à l'équipement d'un forage avec une pompe sont exclus car ils dépassent la portée de ce cadre de travail. Le tableau 9.2 donne un aperçu des coûts typiques. Les coûts fixes sont convenus avant le forage, tandis que les coûts variables sont finalisés après le forage.

Tableau 9.2 Principaux aspects à prendre en compte lors du calcul du coût d'un forage

Activité	Unité de calcul du coût de revient	Type de coût
Établissement du site	Par site/forage	Fixe
Forage	Par mètre de forage	Variable
Alésage	Par mètre de forage	Variable
Boîtier solide	Au mètre	Variable
Enveloppe grillagée	Au mètre	Variable
Paquet de gravier/sable	Par kilogramme	Variable
Développer	Par heure de développement	Variable
Joint sanitaire/bentonite	Au mètre	Fixe
Tampon de forage	Par forage	Fixe
Collecte de données professionnelles (diagraphie lithologique des forages, mesures de rendement intermittent, conception finale des forages, surveillance de la qualité de l'eau sur le terrain), surveillance du niveau d'eau pendant le forage)	Par mètre ou honoraires professionnels (par heure ou par jour)	Variable
Équipement de terrain (compteurs de niveau d'eau, encoches en V, appareils de mesure de la qualité de l'eau sur le terrain, lentilles à main)	Par équipement	Fixe
Logistique (coûts pour le véhicule, le carburant, les indemnités de terrain, etc.)	Par kilomètre parcouru Par membre du personnel par jour	Fixe
Analyse des données, établissement de rapports et transmission des données*	Honoraires professionnels/heure	Fixe

* Le transfert de données est crucial pour la construction d'une base de données sur les eaux souterraines, et il devrait être spécifiquement demandé (et budgétisé) pour recevoir toutes les données pertinentes (*voir* chapitre 3) sous des formats qui peuvent être traités.

9.2.3 Essai d'un puits

Les tests de forage se réfèrent aux tests pour l'estimation du rendement des forages, l'évaluation de la performance des forages et l'estimation des paramètres des aquifères. Les principaux coûts à prendre en compte sont associés à l'établissement du site et aux heures de test. Pour l'essai de rabattement par paliers et l'essai de débit constant, le type de coût est considéré comme fixe ou variable, car il peut varier d'un fournisseur à l'autre. Par exemple, certains ont des prix fixes standard pour des tests de 24 heures ou de 72 heures. Il est plus important que le service responsable comprenne l'objectif des tests et la durée requise afin de pouvoir négocier avec le fournisseur. Le

tableau 9.3 présente les principaux aspects à prendre en compte lors de l'établissement du coût des tests de forage.

Tableau 9.3 Principaux aspects à prendre en compte lors du calcul du coût des tests de forage

Activité	Unité de calcul du coût de revient	Type de coût
Établissement du site	Par site/forage	Fixe
Essai de rabattement étagé	Par unité ou par heure et le taux de pompage)	Fixe ou variable
Test de décharge à taux constant	Par unité ou par heure et le taux de pompage)	Fixe ou variable
Collecte de données - supervision (niveaux d'eau, suivi qualité, rendements, installation)	Honoraires professionnels (par heure ou par jour)	Variable
Logistique (coûts pour le véhicule, le carburant, les indemnités de terrain, etc.)	Par kilomètre parcouru par membre du personnel par jour	Fixe
Analyse des données, établissement de rapports et transfert des données*.	Honoraires professionnels/heure	Fixe

* Le transfert de données est crucial pour la construction d'une base de données sur les eaux souterraines, et il devrait être spécifiquement demandé (et budgétisé) pour recevoir toutes les données pertinentes (*voir* chapitre 3) dans des formats qui peuvent être traités.

9.3 Surveillance des eaux souterraines

La section 4.3.3 a fait référence à certains aspects des coûts liés au développement d'un programme de surveillance des eaux souterraines. Ces coûts peuvent être répartis entre les éléments suivants :

1) Conception du réseau (investissement unique) ;
2) Mise en place du réseau (investissement unique) ;
3) Surveillance et entretien (coûts récurrents annuels) ; et
4) Évaluation des réseaux (investissement périodique, par exemple tous les 5 ans)

IGRAC (2008) fournit des aperçus détaillés des différents éléments de coût liés au développement et à la mise en œuvre d'un programme de surveillance des eaux souterraines (*Voir* IGRAC 2008, sections 3.6, chapitre 8 et annexe F). Cette section fournit un résumé des éléments de coût.

Le tableau 9.4 fournit un exemple avec trois options de coûts pour l'établissement d'un réseau de surveillance utilisant des forages existants, de nouveaux forages, des mesures de décharge et des enregistreurs. En plus des coûts énumérés dans le tableau, l'investissement initial pour l'équipement de surveillance doit également être inclus (plongeurs de niveau d'eau, enregistreurs de données, EC-mètres, pompes d'échantillonnage, etc).

La surveillance des eaux souterraines doit être effectuée à l'aide d'outils appropriés

Tableau 9.4 Exemple de tableau servant au calcul des investissements pour différentes options du programme de surveillance

	Coût unitaire	Option 1		Option 2		Option 3	
		Nombre	Total des coûts	Nombre	Total des coûts	Nombre	Total des coûts
Modernisation des puits existants		n1		n2		n3	
Nettoyage, essais, petites réparations, échantillons de robinets	x		x		x		x
Site protection (base en béton, couvercle, margelles, etc.)	x		x		x		x
Coûts administratifs	x		x		x		x
Installation de nouveaux puits		m1		m2		m3	
Forage – classe de profondeur 1	x		x		x		x
Forage – classe de profondeur 2	x		x		x		x
Installation de puits – classe de profondeur 1	x		x		x		x
Installation de puits – classe de profondeur 2	x		x		x		x
Nettoyage et développement	x		x		x		x
Site protection (base en béton, couvercle, margelles, etc.)	x		x		x		x
Coûts administratifs	x		x		x		x
Stations de mesure du débit (seulement si cela est pertinent)		p1		p2		p3	
Installation	x		x		x		x
Protection du site	x		x		x		x
Coûts administratifs	x		x		x		x
Enregistreurs (seulement si cela est pertinent)	x	q1	x	q2	x	q3	x
Total des investissements			X		Y		Z

n, m, p et q : nombres d'unités impliquées

Source: IGRAC, (2008)

Les coûts annuels pour la surveillance et l'entretien (Tableau 9.5) peuvent être divisés en coûts afférents :

- à l'équipement (y compris le remplacement et la maintenance ;
- à la prise de mesures (y compris les salaires, les frais de déplacement ; et
- à la gestion des données (y compris les salaires, les frais de bureau.

Les coûts annuels de remplacement des équipements peuvent être calculés en divisant les investissements de remplacement par la durée de vie prévue. Pour un forage de surveillance bien protégé, la durée de vie peut varier entre 25 et 50 ans, tandis que pour la plupart des équipements de surveillance, la durée de vie sera plus courte, de l'ordre de 2 à 10 ans.

Des considérations sur le coût prise des mesures (échantillonnage des eaux souterraines, mesures du niveau des eaux souterraines et surveillance des prélèvements) sont fournies dans les sections ci-après.

Tableau 9.5 Exemple de tableau destiné au calcul des coûts annuels de différentes options du programme de surveillance

	Coût unitaire	Option 1		Option 2		Option 3	
		Nombre	Total des coûts	Nombre	Total des coûts	Nombre	Total des coûts
Coûts annuels relatifs au remplacement et à la réparation							
Puits de surveillance	x	m1	x	m2	x	m3	x
Stations de mesure du débit (si nécessaire)	x	n1	x	n2	x	n3	x
Matériel de mesure (cassettes, enregistreurs, etc.)	x	p1	x	p2	x	p3	x
Autre							
Coûts annuels de la collecte et de l'analyse des données							
Mesures du niveau des eaux souterraines *	x	q1	x	q2	x	q3	x
Echantillonnage de la qualité des eaux souterraines *	x	r1	x	r2	x	r3	x
Analyse de laboratoire *	x	s1	x	s2	x	s3	x
Mesure du débit *	x	t1	x	t2	x	t3	x
Coûts annuels de la gestion des données							
Mesures du niveau des eaux souterraines	x	u1	x	u2	x	u3	x
Echantillonnage de la qualité des eaux souterraines	x	v1	x	v2	x	v3	x
Analyse de laboratoire	x	w1	x	w2	x	w3	x
Coûts annuels des bureaux			x		x		x
Coûts annuels totaux			X		Y		Z

* Les coûts unitaires doivent inclure la fréquence d'observation, les frais de déplacement, etc.

Source : IGRAC (2008)

9.3.1 Échantillonnage des eaux souterraines

Les principaux coûts associés à l'échantillonnage des eaux souterraines sont ceux liés à la logistique (déplacements sur le terrain), au temps du personnel et aux frais de laboratoire. Si l'échantillonnage se fait par purge, alors les coûts de pompage doivent également être pris en compte et le temps du personnel va augmenter. Il est donc important pour les services des eaux souterraines de déterminer les moyens appropriés de collecte des échantillons représentatifs car cela aura d'énormes implications sur l'échantillonnage et les coûts.

Le coût des analyses de laboratoire varie en fonction du type et des paramètres analysés. Par exemple, le coût de l'analyse des paramètres de chimie organique et des paramètres de chimie inorganique sera différent.

Tableau 9.6 Principaux aspects à prendre en compte lors du calcul du coût relatif à l'échantillonnage des eaux souterraines

Activité	Coût de revient unitaire	Type de coût
Logistique (coûts pour le véhicule, le carburant, les indemnités de terrain, etc.)	Par kilomètre parcouru Par membre du personnel par jour	Fixe
Collecte d'échantillons sur le terrain, y compris la purge	Honoraires professionnels/heure	Variable ou fixe
Équipement	Coût par article (de remplacement), Coût par entretien et réparation	Variables
Consommables (flacons d'échantillonnage, kits de tests de terrain, etc)	Par article (les coûts peuvent être couverts par l'un ou l'autre article)	Fixe
Livraison des échantillons au laboratoire	Par distance	Fixe
Analyse de laboratoire	Par échantillon/type d'analyse et ou paramètre	Fixe
Analyse des données, établissement de rapports et transfert des données*	Honoraires professionnels/heure	Fixe

* Le transfert de données est essentiel pour la mise en place d'une base de données sur les eaux souterraines, et il devrait être spécifiquement demandé (et budgétisé) pour recevoir toutes les données pertinentes (voir chapitre 3) dans un format traitable.

Il est donc important pour les départements d'établir les paramètres qui sont vitaux pour leur programme de monitorage, car cela a des implications financières. Certains de ces aspects ont été abordés au chapitre 4. Le tableau 9.6 présente les principaux aspects à prendre en compte lors de l'évaluation du coût de l'échantillonnage des eaux souterraines.

9.3.2 Mesures du niveau des eaux souterraines

Les mesures du niveau des eaux souterraines peuvent être effectuées manuellement ou par des systèmes partiellement ou entièrement automatisés. Dans la section 4.3.2 « Conception d'un programme de surveillance », les avantages des enregistreurs de données et du transfert de données par télémétrie sont discutés. Le choix de l'utilisation de capteurs manuels d'eau souterraine ou d'enregistreurs de données, éventuellement en combinaison avec la télémétrie, n'est pas simplement financier, comme nous l'avons vu au chapitre 4. Quel que soit le choix, il est toujours nécessaire de se rendre sur place pour étalonner les enregistreurs de données sur la base de mesures manuelles, vérifier les équipements, remplacer les piles et éventuellement télécharger les données des enregistreurs de données.

Tableau 9.7 Principaux aspects à prendre en compte lors du calcul du coût de la surveillance du niveau des eaux souterraines

Activité	Coût de revient unitaire	Type de coût
Logistique (coûts pour le véhicule, le carburant, les indemnités de terrain, etc.)	Par kilomètre parcouru Par membre du personnel par jour	Fixe
Équipement : • Plongeurs manuels • Mètre ruban • Enregistreurs de données • Transmetteurs de données télémétriques • GPS portatif, etc.	Coûts par article (remplacement), coûts d'entretien et de réparation par article.	Variables
Collecte des mesures sur le terrain	Honoraires professionnels (par heure ou par jour)	Fixe
Analyse des données, établissement de rapports et transfert des données*	Honoraires professionnels (par heure ou par jour)	Fixe

* Le transfert de données est essentiel pour la mise en place d'une base de données sur les eaux souterraines, et il devrait être spécifiquement demandé (et budgétisé) pour recevoir toutes les données pertinentes (voir chapitre 3) dans des formats qui peuvent être traités.

9.3.3 Surveillance de l'utilisation des eaux souterraines

Le suivi de l'utilisation des eaux souterraines est essentiel car il permet de déterminer la quantité prélevée au fil du temps. L'utilisation des eaux souterraines est déterminée sur la base des volumes prélevés. En général, les volumes de prélèvement des eaux souterraines peuvent être déterminés par des mesures directes ou estimés par des approches indirectes. Cependant, les mesures directes sont le seul moyen précis à des fins réglementaires.

Il existe deux grandes méthodes d'installation des compteurs d'eau :

1) L'installation d'un compteur d'eau est une condition du permis d'utilisation de l'eau. Les propriétaires de forages (ou le titulaire du permis d'utilisation de l'eau) sont tenus d'installer un dispositif de mesure de l'eau approuvé à toutes les sorties des forages pour mesurer le volume d'eau souterraine pompé. Les coûts d'achat, d'installation et d'entretien sont à la charge du propriétaire du forage ; et
2) L'installation des compteurs d'eau est stimulée par les départements responsables, soit en subventionnant les coûts, soit en prenant en charge l'installation des compteurs d'eau. Dans ce cas, il est important de conclure des accords clairs et sans ambiguïté sur l'entretien et la propriété.

Le tableau suivant fournit un résumé des aspects à prendre en compte lors de l'établissement du coût de la surveillance de l'utilisation des eaux souterraines.

Tableau 9.8 Principaux aspects à prendre en compte lors de l'établissement du coût du suivi de l'utilisation des eaux souterraines

Activité	Responsabilité des coûts	Coût de revient unitaire	Type de coût
Achat d'un compteur d'eau	Utilisateur d'eau souterraine*	Par dispositif	Fixe
Installation	Utilisateur d'eau souterraine*	Par dispositif installé	Fixe
Entretien du dispositif	Utilisateur d'eau souterraine*	Par dispositif	Variables
Vérification de l'installation	Département	Par site et par distance parcourue (coûts pour la logistique et les heures de travail	Fixe
Soumission des données	Utilisateur d'eau souterraine	Par ensemble de données	Fixe
Inspection	Département	Par site et par distance parcourue (coûts pour la logistique et les heures de travail	Variables

* En fonction de l'organisation, cela peut également être la responsabilité du département.

9.4 Gestion des données

La gestion des données comprend tous les processus de traitement des données après leur réception des techniciens de terrain ou du laboratoire. Les coûts de la gestion des données dépendent de la taille prévue des ensembles de données et des exigences du service. Les coûts sont liés aux frais de personnel, au matériel et aux logiciels.

Les coûts de personnel sont liés à des responsabilités telles que :

- Assurer la liaison avec les fournisseurs de données (fournir les numéros d'identification des forages, recevoir les données, retour d'information après le contrôle de qualité, etc ;)
- Saisie des données ;
- Contrôles de la qualité des données ;
- Administration et gestion des bases de données
- Soutien informatique

Comme expliqué au chapitre 6, les données peuvent être stockées dans des feuilles de calcul ou dans une base de données complète basée sur un serveur et accessible à plusieurs utilisateurs. Dans une configuration simple, avec des quantités limitées de données, où l'on utilise des feuilles de calcul ou des solutions de base de données de bureau à fichier unique, les bases de données peuvent très facilement être stockées sur un lecteur réseau et les sauvegardes peuvent être effectuées dans le nuage, ce qui réduit le coût à un contrat avec un service de stockage dans le nuage (*voir* tableau 9.9).

Tableau 9.9 Coûts engagés dans le cadre de l'utilisation d'une option de stockage de fichiers uniques de données

Point/Activité	Responsabilité des coûts	Coût de revient unitaire	Type de coût
Logiciels pour le stockage des données (feuilles de calcul)	Département	Par dispositif	Fixe par an, ou une fois selon la licence*.
Sauvegarde des données dans le nuage	Département	Par abonnement ou contrat	Fixe par an

* Gratuit en cas d'utilisation d'un logiciel gratuit tel qu'OpenCalc

Les bases de données plus importantes, basées sur des serveurs, sont de préférence stockées localement sur des serveurs et des banques de stockage de données au sein du service. Elles nécessitent du matériel informatique et une infrastructure dédiée, telle qu'un logement à ambiance contrôlée doté d'une alimentation électrique sans interruption (ASI) et d'une alimentation de secours en cas de défaillance du réseau national. Pour réduire les risques de

perte de données, des sauvegardes doivent être effectuées quotidiennement et stockées hors site. Les bases de données plus importantes ont également besoin d'une interface utilisateur de « première ligne » pour permettre aux opérateurs de données d'interagir avec la base de données. Les interfaces utilisateur sont presque toujours faites sur mesure et leur développement et leur maintenance nécessitent du personnel spécialisé. Lors du développement d'un accès basé sur le Web pour des utilisateurs extérieurs à l'organisation, des pare-feu et d'autres mesures de sécurité doivent être mis en place pour protéger les données stockées (Tableau 9.10).

Tableau 9.10 Coûts engagés dans le cadre de l'utilisation d'une option de stockage des données sur serveur SQL

Point/Activité	Responsabilité des coûts	Coût de revient unitaire	Type de coût
Installation de stockage (salle des serveurs)	Département	Ponctuel	Fixe
Matériel (serveur)	Département	Par article	Fixe
Banques de stockage de données	Département	Par article	Fixe
Alimentation électrique sans coupure	Département	Par article	Fixe
Système d'extinction d'incendie	Département	Par article	Fixe
Alimentation électrique de secours (groupe électrogène)	Département	Par article + coût de fonctionnement /heure	Fixe
Connexions réseau à haut débit	Département	Vitesse et largeur de bande du réseau	Fixe
Installation de secours (hors site)	Département	Par abonnement ou contrat	Fixe
Logiciel de base de données	Département	Par nombre de sièges (utilisateurs)	Fixe
Administration des bases de données	Département	Honoraires professionnels/heure	Fixe
Développement de bases de données front-end	Département	Honoraires professionnels/heure	Fixe
Matériel (stations de travail)	Département	Par article	Fixe

Veuillez noter que la plupart des articles nécessitent un entretien annuel qu'il faut prévoir dans le budget.

9.5 Initiatives de collecte de fonds

La collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines sont des exercices continus ayant des coûts associés considérables qui nécessitent des plans de financement durables pour continuer à fonctionner. Dans de nombreux pays, il est nécessaire de réorienter les finances, d'aligner le financement public sur les priorités politiques (par exemple en recouvrant les coûts des interventions de gestion), et de développer de nouvelles incitations financières pour encourager l'engagement privé dans la gestion durable des eaux souterraines. Compte tenu de la valeur des eaux souterraines pour l'économie et la société, il convient d'assurer un financement suffisant et régulier des fonctions de base de la gouvernance des eaux souterraines, notamment la surveillance, l'administration, la réglementation, le renforcement des capacités et l'innovation (van der Gun et Custidio, 2018).

Dans cette section, nous soulignons certaines des options disponibles pour les services des eaux souterraines en matière de financement des activités de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines.

- **Budget national**
  Les activités liées aux données sur les eaux souterraines peuvent être financées par les allocations budgétaires régulières du département et du ministère responsables. Le risque de ce mécanisme de financement est que le budget destiné aux activités de données sur les eaux souterraines doit être garanti dans chaque cycle de budgétisation et risque d'être coupé lorsqu'il y a d'autres priorités, alors que les activités de collecte de données sur les eaux souterraines sont des activités continues à long terme nécessitant un budget à long terme.
- **Taxe sur l'eau souterraine**
  Une autre façon de financer les activités liées aux données sur les eaux souterraines est de créer une taxe sur les eaux souterraines. Aux Pays-Bas par exemple, la loi nationale sur l'eau autorise les gouvernements provinciaux, qui jouent un rôle important dans la gestion stratégique des eaux souterraines et la surveillance des ressources en eaux souterraines, à émettre une

taxe sur l'utilisation des eaux souterraines. La loi nationale sur l'eau (gouvernement néerlandais, 2009) stipule que les recettes provenant de la taxe sur les eaux souterraines sont à la disposition de la province concernée et ne peuvent être utilisées que pour couvrir les coûts associés :

- Les mesures directement liées à la prévention des effets négatifs du captage des eaux souterraines et de l'infiltration de l'eau dans les aquifères (cela comprend la recherche nécessaire à l'élaboration des politiques et la surveillance des eaux souterraines) ;
- La tenue d'un registre de tous les prélèvements et infiltrations d'eau souterraine ; et
- Les compensations financières liées à des dommages résultant d'un prélèvement d'eau souterraine autorisé.

L'avantage direct d'une telle taxe dédiée avec des possibilités de dépenses limitées est que le budget destiné aux activités spécifiques liées aux eaux souterraines est assuré. L'avantage supplémentaire est que l'institut responsable de la gestion des eaux souterraines est celui qui peut fixer le niveau de la taxe (prix par m^3 d'eau souterraine prélevée) et que les recettes fiscales augmentent à mesure que les prélèvements d'eau souterraine (et les activités de gestion requises) augmentent.

Le succès d'une telle taxe passe par une application correcte de la loi, y compris un système opérationnel d'enregistrement des prélèvements d'eau souterraine et des rapports réguliers (annuels ou trimestriels) sur l'utilisation des eaux souterraines.

- **Frais de recouvrement des coûts**
  Au lieu de taxer en fonction de l'utilisation des eaux souterraines, il est également possible de générer des revenus en fonction des frais de recouvrement des coûts. Il peut s'agir de frais d'enregistrement et de licence pour le forage de puits et/ou pour le captage d'eau souterraine. Une redevance portant sur le recouvrement des coûts peut également être facturée pour la fourniture de données provenant des bases de données sur les eaux souterraines.
- **Conditions d'octroi des licences**
  Par le biais de conditions d'octroi des licences, les titulaires d'un permis de forage ou d'un permis de captage d'eau souterraine peuvent être tenus de collecter et de fournir des données au service responsable. Cela ne génère aucun budget mais, si elle est appliquée, c'est un moyen qui permet d'assurer que les parties prenantes contribuent également à la collecte de données pertinentes à leurs propres frais.
- **Financement externe**
  Il n'est pas rare dans la région de la SADC que les activités liées à la collecte et à la gestion des données sur les eaux souterraines aient été / soient financées par des organisations internationales de donateurs. Pour lancer de nouvelles activités et couvrir les coûts des investissements initiaux, cela peut être une source de financement appropriée. Mais l'expérience a montré qu'une fois l'investissement initial réalisé et les budgets des projets épuisés, le budget est souvent insuffisant pour la poursuite des activités de collecte de données. Par conséquent, et afin d'éviter les investissements perdus, il est d'une importance capitale pour tout programme de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines financé par des fonds extérieurs d'assurer un financement continu pour la gestion et la maintenance grâce aux ressources nationales.

9.6 Messages principaux

- **Les services des eaux souterraines doivent comprendre les différents coûts impliqués dans les activités de collecte et de gestion des données.**
- **Le financement des activités de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines peut être assuré de différentes manières. Un financement externe peut convenir pour les investissements initiaux, mais le budget pour la gestion et la maintenance continues doit provenir autant que possible des ressources financières nationales.**

10 Aspects institutionnels nationaux et transfrontaliers

10.1 Introduction

L'implication de plusieurs organisations dans la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines nécessite une définition claire des responsabilités afin de s'assurer que tous les aspects soient pris en charge et de minimiser les doubles emplois et les chevauchements d'efforts. Ce chapitre traite des aspects institutionnels de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines au niveau national et transfrontalier.

10.2 Répartition des rôles au niveau national

Il est nécessaire d'avoir une image claire des parties prenantes engagées dans la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines dans chaque État membre pour comprendre qui fait quoi. Il peut y avoir plusieurs parties prenantes, telles que les départements nationaux (parfois dans différents ministères), les organisations d'usagers de l'eau, les entreprises de distribution d'eau et les ONG, agissant aux niveaux national, provincial, du district ou de la municipalité. Une répartition claire des rôles est nécessaire pour recueillir et gérer efficacement les données sur les eaux souterraines. Un examen des parties prenantes engagées dans la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines permettra de déterminer si toutes les activités sont dûment attribuées et de permettre une gestion efficace de toutes les ressources en eau souterraine. Elle permettra également d'identifier tout chevauchement d'activités des parties prenantes.

Il peut y avoir des divergences entre ce que les parties prenantes sont censées faire, conformément à leurs mandats, et ce qu'elles font réellement dans la pratique. Sur la base de cet examen préalable recommandé, les États membres peuvent attribuer ou réattribuer la responsabilité de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines aux parties prenantes concernées. Les responsabilités doivent être inscrites dans les mandats des organisations et dans les documents de politique officielle.

Des experts en eaux souterraines de la SADC lors d'un atelier de l'Institut de gestion des eaux souterraines de la SADC sur la gestion des aquifères transfrontaliers.

Dans le cadre du projet de développement politique, juridique et institutionnel pour la gestion des eaux souterraines dans les États membres de la SADC, un examen complet des institutions engagées dans la gestion des eaux souterraines a été effectué pour l'ensemble de la région de la SADC et pour les États membres de la SADC suivants : Afrique du Sud, Angola, Botswana, eSwatini, Lesotho, Malawi, Mozambique, Namibie, Seychelles, Tanzanie, Zambie et Zimbabwe (Institut de gestion des eaux souterraines de la SADC, 2019).

L'IGRAC (2008) fournit une liste de la façon dont les responsabilités de surveillance des eaux souterraines sont habituellement reparties :

- **Primaire – Contrôle de référence**
  La responsabilité de la surveillance de base des eaux souterraines peut se situer au niveau national, de l'état, du district ou de la municipalité. Cependant, en cas de contrôle de la qualité de l'eau des sources d'eau potable (eau du robinet, eau en bouteille/boissons, lait), la responsabilité incombe généralement aux entreprises qui les fournissent. Souvent, les compagnies de distribution d'eau disposent également de puits de surveillance dans le bassin versant en amont des puits de captage afin de pouvoir éviter la fourniture de ressources en eau polluées et sont obligées de soumettre leurs données de surveillance aux institutions qui ont le devoir de les superviser.
- **Protection et contrôle de la conformité**
  En ce qui concerne la surveillance des sites d'élimination des déchets, des effluents et des fuites des égouts et des stations d'épuration, des mines, des bassins de décantation, des raffineries, des installations de stockage et de traitement des substances chimiques et dangereuses, etc., la responsabilité peut être assumée soit au niveau national/de l'État (et payée par l'exploitant), soit par l'exploitant lui-même, qui est alors tenu de fournir les données.
- **Surveillance du confinement de la pollution**
  La surveillance des déversements est généralement ordonnée (et menée) par une institution gouvernementale et doit être payée par le pollueur (si le principe du pollueur-payeur est en place). Dans les cas où la contamination est généralisée et ne peut être attribuée à une seule source, comme l'agriculture, l'industrie, l'urbanisation, la circulation ou les sources d'eau de surface contaminées, une surveillance devra être effectuée et payée par le gouvernement. La surveillance de l'intrusion d'eau salée peut faire partie de la responsabilité du gouvernement ou, si elle peut être attribuée aux prélèvements excessifs par des utilisateurs individuels, être de la responsabilité de ces utilisateurs.

Dans le cadre de la surveillance des eaux souterraines, la collecte des données relatives à l'emplacement des sondages, aux forages et aux essais doit également être clairement attribuée. Comme le chapitre 3 l'a souligné, la collecte des données peut être difficile car elles ne sont pas mesurées directement par les services des eaux souterraines. Il est nécessaire que les départements aient les moyens (légaux) d'imposer la collecte de données auprès de toutes les parties prenantes.

Les activités de gestion des eaux souterraines (c'est-à-dire le stockage des données, le partage des données et l'interprétation des données) doivent également être explicitement attribuées. Il convient de déterminer clairement où les données doivent être stockées, qui peut accéder aux données, comment et dans quel but. Ces questions peuvent être résolues facilement (par exemple, toutes les données sont dans une base de données unique et disponibles en « libre accès ») ou nécessiter des dispositions et des protocoles plus complexes.

L'IGRAC (2008) fait quelques recommandations pour attribuer les responsabilités de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines. Il suggère que la surveillance des eaux souterraines soit organisée au même niveau que celui où les eaux souterraines sont gérées et protégées. Si les ressources en eaux souterraines et les secteurs liés aux eaux souterraines tels que l'utilisation des terres et l'environnement sont gérés au niveau national, la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines doivent être organisées au niveau national. Certaines tâches peuvent être déléguées, mais les responsabilités et les budgets associés doivent se situer à ce niveau.

La gestion des eaux souterraines s'effectue effectivement selon les unités hydrogéologiques (c'est-à-dire les aquifères) ou les unités des bassins versants des eaux de surface, et non les frontières administratives. Dans cette optique, il est préférable d'organiser également la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines en fonction des unités hydrogéologiques ou

des unités des bassins versants des eaux de surface.

Les organisations chargées de la collecte et de la gestion des données sur les eaux souterraines doivent être dotées d'une autorité suffisante pour collecter des données auprès d'autres parties prenantes. Comme nous l'avons déjà souligné au chapitre 7, le partage des données sur les eaux souterraines entre les parties prenantes devrait être imposé par la loi, et ne devrait pas dépendre de la bonne volonté des individus. Il devrait s'agir de l'ensemble du processus de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines.

10.3 Accords transfrontaliers et internationaux

La gestion des aquifères transfrontaliers exige que les pays qui les partagent aient une compréhension commune des ressources en eaux souterraines partagées. Cela nécessite une forme d'évaluation conjointe et un programme transfrontalier spécifique de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines. Ce programme peut être mis en œuvre en trois étapes.

1) La première étape consiste à rassembler les données déjà disponibles dans les pays, à les harmoniser et à les fusionner dans des ensembles de données communs (IGRAC, UNESCO-IHP, 2015). Des ensembles de données communes peuvent alors être interprétés et produire une première évaluation des ressources des aquifères transfrontaliers. Il s'agira d'un exercice unique, qui fournira un aperçu du système des eaux souterraines (par exemple, le cadre hydrogéologique, environnemental et socio-économique) ainsi que l'état et les tendances des ressources en eaux souterraines à ce moment-là. Il ne s'agit pas encore d'un programme de collecte et de gestion de données transfrontalières, car les données ne sont pas continuellement mises à jour et traitées. Un tel programme est nécessaire pour définir des stratégies de gestion adéquates.
2) Dans une deuxième phase, les pays devraient organiser la mise à jour régulière des ensembles de données transfrontalières à l'aide de données collectées de part et d'autre de la frontière (c'est-à-dire les données relatives à l'emplacement des puits, aux forages et aux essais ainsi que les données de surveillance). Le chapitre 7 fournit des conseils sur la manière d'organiser le partage des données entre les pays. L'harmonisation des données avant chaque mise à jour de l'ensemble de données transfrontalières pourrait devenir une charge. Au lieu de cela, il est recommandé que les pays harmonisent la manière dont ils collectent et stockent les données sur les eaux souterraines, afin que les données collectées soient formatées de la même manière et puissent directement entrer dans l'ensemble de données transfrontalières. Se mettre d'accord sur des normes relatives à la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines peut être un défi, mais cela facilitera grandement la mise à jour des ensembles de données transfrontalières et la coopération transfrontalière. Les ensembles de données transfrontalières régulièrement mis à jour doivent être transformés en informations pertinentes et, finalement, en stratégies de gestion adéquates (chapitre 8). Au cours de ce processus, des lacunes dans les données peuvent être mises en évidence, comme l'insuffisance des points de surveillance, de la fréquence de surveillance ou des paramètres surveillés.
3) Dans une dernière phase, les pays pourraient s'engager dans le développement de leur programme de surveillance transfrontalière, avec par exemple l'augmentation de la fréquence de surveillance ou la création de nouveaux forages de surveillance. Cela nécessite des budgets et des capacités supplémentaires de la part des pays, ainsi qu'un effort conjoint pour concevoir un programme de surveillance qui corresponde aux objectifs (et qui ne se contente pas de réutiliser les données recueillies dans le cadre d'autres programmes de surveillance).

L'AFD (2011) et l'Équipe spéciale de la Commission économique des Nations unies pour l'Europe

sur la surveillance et l'évaluation (2000) proposent une approche méthodologique visant à réaliser un tel programme conjoint de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines. Au niveau national, la collecte et la gestion des données transfrontalières nécessitent une répartition claire des responsabilités entre les pays et au sein des pays. La coopération transfrontalière à long terme nécessite un certain degré de formalisation. Il peut s'agir d'un protocole d'accord, d'un plan d'action ou d'un traité conjoint, précisant les objectifs et les activités à mener sur l'aquifère transfrontalier. Ces accords sont encouragés par des initiatives internationales telles que la résolution sur le droit des aquifères transfrontaliers adoptée par l'Assemblée générale des Nations unies (Nations unies, 2008) et la politique régionale de la SADC pour le secteur de l'eau (SADC, 2005).

Habituellement, les accords de ce type sont signés au niveau national. Ainsi, les départements nationaux des eaux souterraines seront généralement les principaux acteurs des programmes transfrontaliers, coordonnant les efforts entre les parties prenantes dans leur propre pays (IGRAC, UNESCO-PHI 2015). Ils fournissent généralement du personnel et un budget à l'organe commun, le groupe de travail chargé des activités relatives aux aquifères transfrontaliers (y compris le programme de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines). Pour le succès des programmes transfrontaliers, il est important que les départements nationaux des eaux souterraines disposent de capacités suffisantes. La collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines doivent être bien organisées au sein des pays. S'il y a d'autres parties prenantes qui font la collecte des données sur les eaux souterraines dans l'aquifère transfrontalier, il convient de les associer également au programme.

Les organisations transfrontalières ou internationales peuvent également soutenir les programmes transfrontaliers de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines. Les organismes transfrontaliers de bassins fluviaux et lacustres (OBF/L), initialement créés pour gérer les ressources en eau de surface, intègrent de plus en plus les ressources en eau souterraine. De ce point de vue, il est logique d'intégrer la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines transfrontalières dans des OBF/L bien établis, comme cela a été décidé par exemple pour le système aquifère transfrontalier de Stampriet dans le bassin du fleuve Orange-Senqu (encadré 7.1). Une institution à l'échelle de la SADC, telle que l'Institut de gestion des eaux souterraines de la SADC (SADC-GMI), peut également contribuer à la mise en place et au soutien de programmes transfrontaliers de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines. Le mandat de l'Institut de gestion des eaux souterraines de la SADC comprend les aquifères transfrontaliers, ainsi que la gestion des données et des informations pour la région de la SADC. L'Institut de gestion des eaux souterraines de la SADC n'a pas pour objectif de collecter des données sur le terrain, mais elle pourrait aider les pays et les OBF/L à établir et gérer des bases de données et des systèmes d'information transfrontaliers. Voir également la section 7.4 « Normes et interopérabilité de l'OGC » pour les modèles potentiels permettant de gérer le flux d'informations entre différentes organisations.

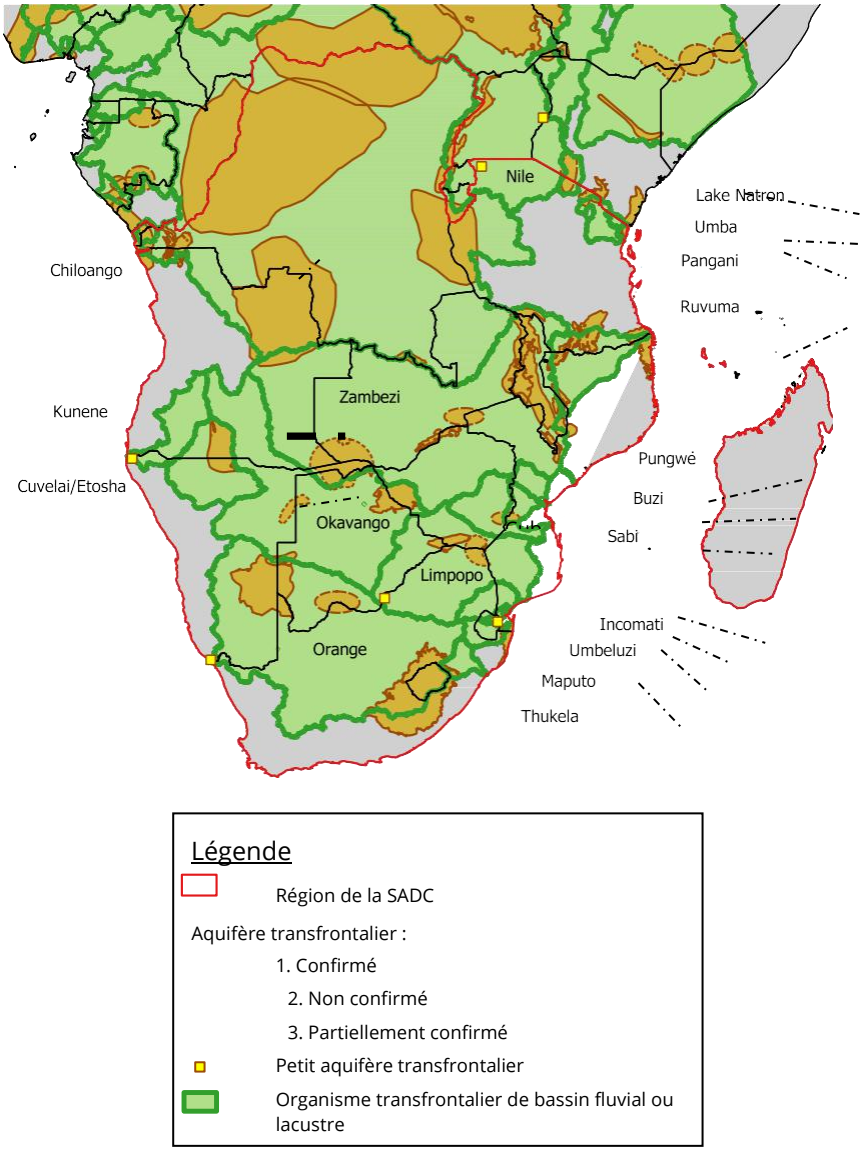


Figure 10:1 Carte des bassins fluviaux internationaux et des aquifères transfrontaliers de la région de la SADC

Encadré 10.1 Un exemple de coopération transfrontalière dans la SADC : le système aquifère transfrontière de Stampriet (STAS)

Le système aquifère transfrontalier de Stampriet (STAS) s'étend sur le Botswana, la Namibie et l'Afrique du Sud. Il se situe entièrement dans le bassin du fleuve Orange-Senqu. Depuis 2013, des efforts ont été déployés pour évaluer le STAS et coordonner sa gestion, avec le soutien du projet intitulé Gouvernance des ressources en eaux souterraines dans les aquifères transfrontaliers (GGRETA) dirigé par le PHI-UNESCO et financé par la Direction suisse du développement et de la coopération (DDC). C'est une étude de cas inspirante pour l'évaluation et la gestion des aquifères transfrontaliers dans la SADC.

Lors de la 1ère phase du projet (2013-2015), une évaluation générale du STAS a été réalisée, sur la base de la compilation, de l'harmonisation et de la réinterprétation des données des trois pays, coordonnées par le département des affaires de l'eau du Botswana, le département des affaires de l'eau et des forêts de la Namibie, et le département de l'eau et de l'assainissement de l'Afrique du Sud. L'évaluation a fourni des

informations importantes sur l'hydrogéologie du STAS et a identifié les domaines dans lesquels des mesures de gestion devraient être prises (principalement pour protéger les aquifères de la contamination). Il est important de noter que la première évaluation a souligné que l'absence de données de surveillance suffisantes empêchait de compléter le tableau de l'état et des tendances des eaux souterraines et de définir des stratégies de gestion adéquates. Pour organiser le suivi et la gestion du STAS, un mécanisme de coopération multi-pays (MCCM) a été mis en place dans la 2ème phase du projet GGRETA (2016-2018). Le MCCM du STAS était intégré à la Commission de la rivière Orange-Senqu (ORASECOM), et plus particulièrement dans son Comité d'hydrologie des eaux souterraines (GWHC). Le GWHC conseille l'ORASECOM sur les questions relatives aux eaux souterraines, notamment la collecte et la gestion des données et les aquifères transfrontaliers. Au sein du GWHC, le MCCM du STAS vise à institutionnaliser la
la coopération sur le STAS et son maintien après la durée du projet GGRETA.
Ensuite, le MCCM doit aborder :

- La nécessité de protocoles et de normes, afin que les données collectées par les trois pays soient dans le même format et puissent être facilement fusionnées dans la base de données transfrontalière ;
- La nécessité de mettre régulièrement à jour la base de données transfrontalière avec les données des pays. Cette opération doit être effectuée manuellement, jusqu'à ce que les bases de données nationales permettent l'échange automatique de données.
- La nécessité de disposer de données de surveillance supplémentaires dans certaines parties du STAS.

Source : PHI-UNESCO, ORASECOM (2018)

10.4 Messages principaux

- **L'implication de multiples organisations et parties prenantes dans la collecte et la gestion des données sur les eaux souterraines exige une répartition claire des rôles et des responsabilités ;**
- **Les programmes transfrontaliers de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines doivent être mis en œuvre progressivement, en commençant par une évaluation initiale basée sur la collecte, l'harmonisation et la combinaison des ensembles de données existants dans les pays, avant de passer à une surveillance conjointe ;**
- **Les programmes transfrontaliers peuvent dépendre des organisations représentatives nationales (comme les ministères) qui doivent coordonner la collecte de données dans leur propre pays et la création d'ensembles de données transfrontalières ;**
- **Les organisations nationales engagées dans des programmes transfrontaliers doivent disposer de capacités suffisantes. Les problèmes budgétaires et organisationnels au niveau national sont susceptibles de se reproduire au niveau transfrontalier ; et**
- **Même si les données peuvent être collectées par des organisations nationales, les institutions transfrontalières et internationales telles que les organismes de bassins fluviaux et lacustres (OBF/L) ou l'Institut de gestion des eaux souterraines de la SADC (SADC-GMI) sont bien placées pour fournir un soutien ou même diriger des programmes transfrontaliers de collecte et de gestion des données sur les eaux souterraines.**

RÉFÉRENCES

Adekile, D., Danert, K. (2014) Short Course: Drilling Supervision. Cost-Effective Boreholes. Skat Foundation. Disponible à l'adresse suivante : http://www.rural-water-supply.net/en/resources/details/570

Agence Française de Développement-AFD (2011) Towards a Joint Management of Transboundary Aquifer Systems. Département de la recherche de l'AFD

Bergkamp, G., Cross, C. (2006) Groundwater and Ecosystem Services : *Towards their Sustainable Use*. Proceedings from: International Symposium on Groundwater Sustainability

British Columbia Water Association (2017) Version du manuel du règlement sur la protection des eaux souterraines. 1. British Columbia. Disponible à l'adresse suivante : https://www.bcgwa.org/wp-content/uploads/2017-GWPR-Handbook_BCGWA_v1.pdf Bureau of

Meteorology (2017) Good Practice Guidelines for Water Data Management Policy: *World Water Data Initiative*. Bureau of Meteorology, Melbourne. Disponible à l'adresse suivante : http://www.bom.gov.au/water/about/publications/document/Good-Practice-Guidelines-for- Water-Data-Management-Policy.pdf

Department of Water - Western Australia (2016) Measuring the Taking of Water. Department of Water. Western Australia. Disponible à l'adresse suivante : https://www.water.wa.gov.au/_data/assets/pdf_file/0005/8186/109923.pdf

EPA Australia (2000) Groundwater Sampling Guidelines. Southbank Victoria. Disponible à l'adresse suivante : https://www.epa.vic.gov.au/~/media/Publications/669.pdf

FAO (2016a) Global Diagnostic on Groundwater Governance. FAO, Rome. http://www.fao.org/3/a-i5706e.pdf Available from: http://www.groundwatergovernance.org/

FAO (2016b) Shared Global Vision for Groundwater Governance 2030. FAO, Rome. http://www.fao.org/3/a-i5508e.pdf Available from: http://www.groundwatergovernance.org/

FAO (2016c) Global Framework for Action. FAO, Rome. http://www.fao.org/3/a-i5705e.pdf Available from: http://www.groundwatergovernance.org/

Fitch. P., Brodaric, B., Stenson, M., Booth, N. (2016) Integrated Groundwater Data Management. In: Jakeman A.J., Barreteau O., Hunt R.J., Rinaudo JD., Ross A.(eds) Integrated Groundwater Management. Springer, Cham. Disponible à l'adresse suivante : https://doi.org/10.1007/978-3- 319-23576-9_26

IGRAC (2008) Guideline on Groundwater Monitoring for General Reference Purposes. IGRAC report. International Working Group I. Utrecht 2006; revised 2008. Disponible à l'adresse suivante : https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/WG1-7-Guideline-v12-03-08.pdf

IGRAC, UNESCO-IHP (2015) Guidelines for Multidisciplinary Assessment of Transboundary Aquifers. pp. 96. IGRAC, Delft. Disponible à l'adresse suivante : https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/Guidelines%20for%20TBA%20 Assessment%2020150901.pdf

IGRAC and IGS (2019a) Report on Activities. Capacity Building for Groundwater Data Collection and Management in SADC Member States (SADC-GWdataCoM project), CS2017/05. SADC Groundwater Management Institute, Bloemfontein

IGRAC and IGS (2019b) State of Groundwater Data Collection and Management in the SADC Member States. Capacity Building for Groundwater Data Collection and Management in SADC Member States (SADC-GWdataCoM project), CS2017/05.SADC Groundwater Management Institute, Bloemfontein

IPCC (2014) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, New York

Jousma, G., Roelofsen, F.J. (2003) Inventory of Existing Guidelines and Protocols for Groundwater Assessment and Monitoring. Report nr. GP 2003-1. IGRAC, Utrecht, 2003. Disponible à l'adresse suivante : https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/Rapport%204%20-%20Inventory.pdf

Kongo, V.M., Kosgei, J. R., Jewitt, G. P. W. and Lorentz, S. A. (2010) Establishment of a Catchment Monitoring Network through a Participatory Approach in a Rural Community in South Africa. Hydrology

and Earth System Sciences 14, 2507–2525
Kovalevsky, V.S., Kruseman, G.P., Rushton, K.R., (Eds) (2004) Groundwater Studies - An international guide for hydrogeological investigations. IHP-VI, Series on Groundwater No.3. UNESCO-IHP, Paris, 2004. Pp 423. ISBN: 92-9220-005-4. Disponible à l'adresse suivante : https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000134432
Kruseman, G.P., de Ridder, N.A. (1994) Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. 2nd Edition. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen.
Ministério da Energia e Águas – Angola (2014) Modelo de Gestão Comunitária de Água. Direcção Nacional de Abastecimento de Água e Saneamento. (Model for Community Water Management. National Directorate of Water Supply and Sanitation)
Moleme M.F. and Gomo M (2019). Evolution of Fluid Electrical Conductivity Profiles Associated with a Saline Contaminant Plume in a Horizontal Single-Plane Fractured-Rock Aquifer System. Natural Resources Research, 28(1): 79-90. https://doi.org/10.1007/s11053-018- 9372-9
Netherlands Government (2009) Wet van, houdende Regels Met Betrekking tot het Beheer en Gebruik van Watersystemen (Waterwet). National Water Act, 2009
Ohio Environmental Protection Agency (2012) Technical Guidance Manual for Ground Water Investigations – Chapter: 10 Ground Water Sampling. Division of Drinking and Ground Waters, Columbus, Ohio. Disponible à l'adresse suivante : https://www.epa.state.oh.us/portals/28/documents/TGM-10.pdf
Roy, H.E., Pocock, M.J.O., Preston, C.D., Roy, D.B., Savage, J., Tweddle, J.C. and Robinson, L.D. (2012) Understanding Citizen Science & Environmental Monitoring. Final Report on behalf of UK-EOF. NERC Centre for Ecology & Hydrology and Natural History Museum.
Rural Water Supply Network (2010) Code of Practice for Cost Effective Boreholes. Disponible à l'adresse suivante : https://www.unicef.org/wash/files/Code_of_Practice_FINAL.pdf
SADC (2016a) SADC Selected Economic and Social Indicators. SADC, Gaborone
SADC (2016b) Regional Strategic Action Plan on Integrated Water Resources Development and Management – Phase IV (2016-2020). SADC Secretariat, Gaborone
SADC (2011) Development and Testing of Groundwater Drought Management Strategies in the Limpopo Basin Pilot Areas, Final Report.
SADC (2006) Regional Water Strategy. Southern African Development Community, Infrastructure and Services Directorate. SADC Secretariat, Gaborone
SADC (2005) Regional Water Policy. Southern African Development Community, Infrastructure and Services Directorate. SADC Secretariat, Gaborone
SADC (2001) Guidelines for the Groundwater Development in the SADC Region. Development of a Code of Good Practice for Groundwater Development in the SADC Region. Report prepared by Groundwater Consultants, Maseru, Lesotho. Prepared for: Southern African Development Community (SADC), Water Sector Coordination Unit (WSCU). Disponible à l'adresse suivante : http://www.dwa.gov.za/Groundwater/Documents/Guidelines%20for%20the%20 groundwater%20development%20in%20the%20SADC%20region%20-%20Report%20 No%202%20(Final).pdf
SADC (2000) Revised Protocol on Shared Watercourses in the Southern African Development Region. SADC, Gaborone
SADC Groundwater Management Institute (2019) Policy, Legal and Institutional Development for Groundwater Management in the SADC Member States (GMI-PLI). Regional Gap Analysis and Action Plan report. SADC GMI, Bloemfontein
Subcommittee on Ground Water (2013) A National Framework for Ground-water Monitoring in the United States. The Subcommittee on Ground Water of the Advisory Committee on Water Information, United States. First release – June 2009, Revised – July 2013. Available from: http://acwi.gov/sogw/pubs/tr/index.html
Sundaram, B., Feitz, A., Caritat, P., de Plazinska, A., Brodie, R., Coram, J., Ransley, T. (2009) Groundwater Sampling and Analysis – A Field Guide. Geoscience Australia. Available from: https://d28rz98at9flks.cloudfront.net/68901/Rec2009_027.pdf
Tordiffe, E.A.W. (2010) Groundwater Monitoring in the Orange-Fish River Basin, Namibia: Recommendations towards Establishing a Monitoring System. Report produced by GeoHydro Consultants Namibia and Karst Hydrogeological Consultants Namibia for the

Ephemeral River Basins in Southern Africa (ERB) Project, Desert Research Foundation of Namibia (DRFN), Windhoek

Tuinhof, A., Foster, S., Kemper, K., Garduño, H., Nanni, M. (2006) Groundwater Monitoring Requirements for Managing Aquifer Response and Quality Threats. GW-MATE Briefing note series. Note 9. The World Bank, Washington. Pp10. Disponible à l'adresse suivante : https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/GWMATE%20briefing%20notes%20-%20Monitoring%20Requirements.pdf

UNECE Task Force on Monitoring and Assessment (2000) Guidelines on Monitoring and Assessment of Transboundary Groundwater, Lelystad. Disponible à l'adresse suivante : http://www.unece.org/index.php?id=12609

UNESCO-IHP, ORASECOM (2018) Operationalization of the Stampriet Transboundary Aquifer System (STAS) Multi-Country Cooperation Mechanism (MCCM) https://groundwaterportal.net/sites/default/files/TORs_UNESCO_ORASECOM_Final.pdf

UN General Assembly (2008) Resolution on the Law of Transboundary Aquifers Adopted by the General Assembly of the United Nations (11 December 2008, A/Res/63/124)

UNICEF, Skat Foundation (2016) Professional Water Well Drilling: A UNICEF Guidance Note, Cost Effective Boreholes Partnership of the Rural Water Supply Network by UNICEF and Skat Foundation. Disponible à l'adresse suivante : www.unicef.org and www.rural-water-supply.net

United States Environmental Protection Agency-US EPA (2016a) Groundwater Level and Well Depth Measurement: Operating Procedure. Athens, Georgia. Disponible à l'adresse suivante : https://www.epa.gov/quality/groundwater-level-and-well-depth-measurement

United States Environmental Protection Agency-US EPA (2016b) Quick Guide to Drinking Water Sample Collection. Region 8 Laboratory Golden, CO 80403. Disponible à l'adresse suivante : https://www.epa.gov/sites/production/files/201511/documents/drinking_water_sample_collection.pdf

United States Environmental Protection Agency-US EPA (2007) Long-Term Groundwater Monitoring Optimization Clare Water Supply Superfund Site Permeable Reactive Barrier and Soil Remedy Areas Clare, Michigan. EPA 542-R-07-010. Disponible à l'adresse suivante : https://frtr.gov/pdf/PRB%20and%20Soil%20Remedy%20Areas%20Final%20Report.pdf

Van der Gun, J. (2018) Data, Information, Knowledge and Diagnostics on Groundwater. In Advances in Groundwater Governance, Karen G. Villholth, Elena Lopez-Gunn, Kirstin Conti, Alberto Garrido, Jac Van Der Guned(eds). CRC Press, Leiden

Van der Gun, J., Custidio, E. (2018) Governing Extractable Subsurface Resources and Subsurface Space. In Advances in Groundwater Governance, Karen G. Villholth, Elena Lopez-Gunn, Kirstin Conti, Alberto Garrido, Jac Van Der Gun(eds). CRC Press, Leiden

van Tonder, G., Bardenhagen, I., Riemann, K., van Bosch, J., Dzanga, P., Xu, Y. (2001a) Manual on Pumping Test, Analysis in fractured – Rock Aquifers. Water Research Commission (WRC), South Africa. WRC Report No III6/1/02, ISBN No 1 86845 861 X. Available from: http://scholar.ufs.ac.za:8080/xmlui/handle/11660/7423

van Tonder, G.J., Botha, J.F., Chiang, W.-H., Kunstmann, H., Xu, Y. (2001b) Estimation of the Sustainable Yields of Boreholes in Fractured Rock Formations. Journal of Hydrology, 241:70-90. Disponible à l'adresse suivante : https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169400003693

Walker, D., Forsythe, N., Parkin, G., Gowing, J. (2016) Filling the Observational Void: Scientific Value and Quantitative Validation of Hydrometeorological Data from a Community-Based Monitoring Programme. Journal of Hydrology 538, 713-725

Water Research Commission-WRC (2017) Groundwater Sampling Manual. WRC Report No. TT

733/17, ISBN 978-1-4312-0926-2. Pretoria. Disponible à l'adresse suivante : http://www.wrc.org.za/wp- content/uploads/mdocs/TT%20733-17.pdf

Wellfield Consulting Services, British Geological Survey (2011a) Groundwater Monitoring Guidelines. Final report October 2011. Groundwater and Drought Management in the Southern African Development Community (SADC). Component 2: Regional Groundwater Drought Management Support. Contract 003D: Regional Groundwater Monitoring Network, Gaborone

Wellfield Consulting Services, British Geological Survey (2011b) Groundwater Monitoring Pilot Study. Final report October 2011. Groundwater and Drought Management in the Southern African Development Community (SADC). Component 2: Regional Groundwater Drought Management Support. Contract 003D: Regional Groundwater Monitoring Network, Gaborone

Wellfield Consulting Services, British Geological Survey (2011c) Transboundary Aquifers in SADC. Review and Classification with respect to Regional Groundwater Monitoring. Final report September 2011. Groundwater and Drought Management in the Southern African Development Community (SADC). Component 2: Regional Groundwater Drought Management Support. Contract 003D: Regional Groundwater Monitoring Network, Gaborone

Wilkinson, M.D. et al. (2016) The FAIR Guiding Principles for Scientific Data Management and Stewardship. Scientific Data. doi:10.1038/sdata.2016.18

World Bank (2017) Hidden and Forgotten: Managing Groundwater in Southern Africa. Disponible à l'adresse suivante : http://www.worldbank.org/en/news/feature/2017/06/07/hidden-and-forgotten- managing-groundwater-in-southern-africa

Tableau A1 Résumé des principales activités qui doivent être entreprises pendant l'activité de localisation/diagraphie des puits de forage et des résultats attendus

Activité	Objectifs	Que faire ?	Équipement	Informations et données clés devant être collectées
1. Étude documentaire	• Développer une compréhension conceptuelle préliminaire de l'hydrogéologie de la région.	• Faire des recherches d'études pertinentes rapportées sur les eaux souterraines • Rechercher de cartes géologiques et hydrogéologiques en rapport avec la zone d'intérêt • Examiner et synthétiser les informations	• Internet, archives, bibliothèque • Imagerie aérienne et satellite • Cartes + études géologiques • Cartes + études hydrogéologique	Avoir une compréhension générale en ce qui concerne les points suivants : • Les données sur des forages existants, Par exemple, l'emplacement des forages dans un rayon d'influence spécifique de la zone d'intérêt (par exemple, un rayon de 2 km), les profondeurs de l'eau, la lithologie, les rendements et les niveaux des eaux souterraines, • Les contrôles géologiques de la présence d'eaux souterraines • Les types d'aquifères typiques à l'échelle régionale et à l'échelle locale, s'il y en a.
2. Hydro-recensement et visite du site	• Identifier et comprendre les activités d'utilisation des eaux souterraines dans le rayon d'influence de la zone d'intérêt. • Confirmation des informations recueillies à l'étape 1	• Effectuer une visite sur le terrain et recueillir les données existantes sur les puits de forage : coordonnées des forages, élévation, profondeur, rendement, utilisations et qualité (indicateurs généraux de qualité de l'eau : pH et conductivité électrique), • Effectuer une promenade sur le site où le forage sera implanté.	• Système de positionnement mondial (GPS) • Pendagemètre • pH et EC mètres • Plan du site	• Données de localisation du puits de forage (x, y, z) • Données sur l'utilisation des forages • Les données des rendements des forages installés avec des compteurs d'eau. • Avoir une première idée de la disposition des traverses pour l'étude géophysique.
3. Rapport provisoire	• Plan de l'enquête géophysique sur le terrain	• Analyser l'information provenant des activités 1 et 2 et rédiger un rapport provisoire qui servira de base à la planification de l'étude géophysique sur le terrain.	• Aucun équipement spécial n'est requis.	• Décider/recommander le type d'équipement adapté à l'étude géophysique sur le terrain en fonction de la compréhension des conditions du site, • Concevoir la disposition des traverses sur la carte pour la géophysique.
4. Étude géophysique de terrain	• Localiser la cible de forage appropriée en utilisant une (des) méthode(s) géophysique(s) appropriée(s) et l'équipement recommandé dans le rapport provisoire (activité 4).	• Réaliser l'étude géophysique, • Enregistrer les paramètres géophysiques de l'investigation, • Enregistrer les coordonnées des points de départ et d'arrivée des traverses, • Marquer les positions d'intérêt potentiel au cours de l'étude (affinées pendant l'analyse des données).	• GPS, • Caméra, • Équipement géophysique, • Matériel pour le marquage.	• Données des paramètres géophysiques étudiés, • Enregistrer les coordonnées des points de départ et d'arrivée des traverses, • Identification des sites de forage potentiels

Activité	Objectifs	Que faire ?	Équipement	Informations et données clés devant être collectées
5. Rapport sur l'implantation des forages	• Donner une description détaillée du travail de localisation des forages et des principaux résultats (activité 1-5)	• Traiter et interpréter les données de l'étude géophysique sur le terrain pour identifier la cible de forage	• Connaissance et logiciel/outil pour le traitement et l'analyse des données	• Données et analyse pour motiver la cible sélectionnée • Coordonnées de la cible ou des cibles de forage sélectionnée(s), • Description de la cible de forage, Par exemple, les caractéristiques géologiques visées comme les failles, les fractures, etc. • Estimation de la profondeur du plan d'eau et la profondeur globale du forage, • La conception de base provisoire du puits peut faire partie de cette phase. • Rapport incluant toutes les activités (1-5).

Des mesures de sûreté et de sécurité doivent être mises en place pour chaque visite sur le terrain, conformément aux normes, aux directives et à l'éthique professionnelle nationales.

Tableau B1 Résumé de principales étapes de l'installation d'un forage, des responsabilités en matière de supervision et de forage et d'autres attributs

Phases de supervision du forage de puits	Responsabilité du foreur	Responsabilité du superviseur	Phase de collecte des données clés
1. Recherche du foreur approprié	• Répondre aux demandes du client	• Demander un premier devis à au moins 3 entreprises de forage pour la tâche à accomplir, • Utiliser l'évaluation et la vérification de l'étape 2 et sélectionner le foreur le plus rentable et le plus compétent.	• Devis initial pour les services de l'entrepreneur de forage devant assurer le forage, la construction, le développement et l'achèvement
2. Pré-mobilisation	• Poser des questions spécifiques sur l'étendue des travaux et les exigences du contrat, • Soumettre des échantillons de matériaux	• Discuter de la conception du puits de forage (à utiliser comme un guide mais qui peut être modifié pendant le forage), • Vérifier la qualité et les spécifications des cuvelages et des crépines, • Vérifier la qualité et les spécifications du matériau de filtres à graviers/sable + les garnitures (le cas échéant), • Évaluer la capacité générale des foreurs.	• Sélection du foreur le plus rentable et le plus compétent en vue de sa nomination • Indication de la satisfaction de la qualité du matériel et aussi de la capacité du foreur, si ce n'est pas le cas : • Faire des recommandations au foreur pour des améliorations, • En cas de non satisfaction au regard du matériel, communiquer avec le foreur et si possible, se procurer des matériaux appropriés séparément.
3. Mobilisation	• Soumettre le programme de travail, • Fournir l'équipement et le matériel pour l'inspection de l'état de préparation par le superviseur du forage, • Déplacer les équipements et les matériaux vers le site.	• Vérifier l'état de préparation du foreur ; • Approuver l'équipement et le matériel de forage, • Assurer la liaison avec les dirigeants de la communauté et les informer de la date du forage une semaine ou deux avant celui-ci. • Guider le foreur jusqu'au site (de nos jours, le GPS est utilisé pour la direction)	• Les chefs de la communauté sont au courant de la présence de l'équipe de forage et ont donné leur accord, • Le foreur est arrivé sur le site et est prêt pour le forage,
4. Forage	• Positionner et faire fonctionner l'appareil de forage, • Forer, construire, développer et achever le forage conformément aux spécifications du contrat de forage, • Recueillir les échantillons des déblais de forage dans un endroit sûr en vue de la diagraphie, et • Effectuer un test de rendement de soufflage pour chaque gisement d'eau	• Surveiller la mise en place du droit de forage, garantir qu'il est orienté selon les spécifications du projet, • Surveillez le processus de forage, • Mesurer la qualité de l'eau souterraine du plan d'eau (EC et pH peuvent fournir un indicateur général) + enregistrer les rendements de soufflage.	• Date du forage • Emplacement exact du forage • Diagraphies lithologiques (normalement par mètre de profondeur de forage) telles que : le type de formation, la texture, la couleur, la structure, l'état d'altération, etc. • Indicateurs du taux de pénétration par mètre de profondeur de forage) •
5. Construction de puits de forage	Selon les spécifications du superviseur : • Filtres à graviers/sable pour puits • Installer le tubage et la crépine • Etc.	• Donner des orientations sur la profondeur du tubage et de la crépine en fonction des observations faites à l'étape 4. • Veiller à ce que le filtre à graviers soit correctement placé autour du puits aux profondeurs voulues.	• Les conceptions et les dimensions réelles des forages • Détails sur la construction du puits – tubage, crépine et profondeur de filtres à graviers/sable • Facultatif : Description du site avec photos
6. Développement et achèvement	Selon les spécifications du superviseur : • Développer le forage, • Construire un joint d'étanchéité sanitaire et une plateforme, • Désinfecter le puits si nécessaire.	Assurez-vous que : • Le trou de forage est suffisamment développé, c'est-à-dire que l'eau est claire, • Le joint d'étanchéité sanitaire et la plateforme sont correctement construits selon les spécifications de conception et pour convenir aux conditions du site. • Le trou de forage est suffisamment désinfecté. • Mesurer le niveau de la nappe phréatique après l'achèvement des travaux	• Forage terminé, en attente de remise au client ou aux autorites responsables, • Enregistrement des données sur le niveau des eaux souterraines après l'achèvement des travaux, • Enregistrement des rendements inférieurs et des profondeurs de soufflage

Annexe B Procédures et supervision des forages de puits

Le tableau B1 ci-dessous donne un résumé de principales phases de la supervision des forages, des responsabilités et des données clés à collecter au cours de différentes phases. Pour le processus de forage

Phases de supervision du forage de puits	Responsabilité du foreur	Responsabilité du superviseur	Phase de collecte des données clés
7. Démobilisation	• Enlever tous les équipements et les déchets du site	• Veiller à ce que le site de forage soit correctement nettoyé et remis dans son état antérieur.	• Le site de forage est maintenant propre et restauré à son ancien état et le site est prêt à être remis. • Commencer à compiler le rapport de forage
8. Documentation et remise	Soumettre tous les dossiers au superviseur du forage/client.	• Rapport et remise du puits de forage au client	Soumettre le rapport de forage et remettre le puits de forage au client. • Le rapport doit documenter l'ensemble des processus d'installation du (des) forage(s), analyser les données du forage obtenues aux étapes 9 (forage) à 11 (développement et achèvement) et développer une compréhension conceptuelle initiale de l'aquifère où le forage a été réalisé. • Cette compréhension conceptuelle initiale doit inclure des aspects tels que les diagraphies lithologiques, l'emplacement des principales zones d'écoulement (plans d'eau), les potentiels[1] piézométriques/hydrauliques, la structure et le type d'aquifère.

[1] Pour déterminer la valeur piézométrique/hydraulique exacte, utiliser l'altitude du forage (mètres au-dessus du niveau moyen de la mer) déterminée à l'aide d'un GPS différentiel.

il est important de distinguer les responsabilités du foreur de celles du superviseur du forage. Cette section est préparée principalement en s'inspirant des travaux menés par le Réseau rural d'approvisionnement en eau (2010), Adekile et Danert (2014), et l'UNICEF et la Fondation Skat (2016).

Annexe C Essais de forage

Introduction

Des tests de pompage sont effectués pour tester les performances du forage, estimer le rendement durable et/ou les propriétés hydrauliques de l'aquifère. Les tests de performance des puits et l'estimation du rendement durable sont souvent appelés tests de performance des puits ou tests des forages, tandis que les tests visant à estimer les propriétés physiques ou hydrauliques de l'aquifère/système aquifère sont généralement appelés tests de pompage. De nombreuses méthodes différentes sont disponibles selon l'objectif spécifique de l'essai, la disponibilité de forages d'observation appropriés dans le rayon d'influence du forage pompé, la compréhension conceptuelle de l'aquifère ou du système aquifère, etc. En raison de l'influence des hétérogénéités, les aquifères/systèmes aquifères répondent de manière non unique à la contrainte appliquée pendant les tests aquifères. Il n'est donc pas possible de fournir une recette unique sur la manière dont les données doivent être collectées et analysées. L'expert impliqué dans le test est entièrement responsable de la manière dont le test est mené et analysé (van Tonder et al. 2001a).

Pour des informations détaillées sur la réalisation d'essais de pompage d'aquifères, l'analyse et l'interprétation des données, la SADC (2001) et Kruseman et de Ridder (1994) fournissent des conseils complets.

Essai de rendement des forages

Toute personne possédant un puits de forage souhaite connaître le débit maximal auquel elle peut extraire l'eau souterraine pour son usage spécifique et de telle sorte qu'elle puisse être assurée d'obtenir de l'eau en continu de son puits de forage pendant une période déterminée. Le rendement des forages est parfois appelé rendement sûr (Kalf et Woolley, 2005), rendement fiable (Misstear et Beeson 2000 ; Hammond 2018) ou rendement durable (van Tonder et al.). 2001b). Dans ce cadre, le terme rendement durable sera utilisé, mais dans la pratique, ces termes sont interchangeables.

Pour estimer le rendement durable d'un seul puits de forage, les mesures sont généralement effectuées lors du pompage dans le forage. Il n'est pas obligatoire d'utiliser des puits d'observation supplémentaires, mais s'il existe des forages d'observation ou des forages de production (pompe commutée et après récupération suffisante) dans la localité du forage d'essai, des mesures peuvent être effectuées dans ceux-ci pour évaluer l'effet d'inférence du puits. Un diagramme montrant les principales étapes des tests de pompage de l'aquifère pour estimer le rendement durable d'un seul forage est présenté dans la Figure C1.

Pour un champ de captage, l'approche du bilan hydrique est appropriée pour déterminer les rendements de pompage durables, et ceci peut être appliqué par la modélisation numérique de l'écoulement des eaux souterraines.

La durée d'un essai de pompage à débit constant (CRD) pour estimer le rendement durable varie en fonction de l'objectif envisagé pour le forage. Les besoins en eau à grande échelle (par exemple, pour les villages, les villes, les instituts, etc.) peuvent nécessiter une durée d'analyse de 24 à 72 heures, alors que pour un forage domestique, elle peut être de 3 à 8 heures. La durée du CRD variera donc en fonction de l'utilisation prévue du forage. L'accent doit donc être mis sur la gestion opérationnelle du rendement des forages. Cela implique une surveillance régulière des niveaux des eaux souterraines pendant toute la durée de vie du forage afin que le rendement puisse être ajusté en fonction des demandes et de la réponse de l'aquifère.

Paramètres de l'aquifère – Essai de pompage de l'aquifère

Les caractéristiques physiques de l'aquifère, telles que la conductivité hydraulique et les caractéristiques de stockage, fournissent des informations importantes permettant de comprendre les caractéristiques de l'aquifère et la dynamique des eaux souterraines, et elles constituent une entrée importante pour les modèles numériques d'écoulement des eaux souterraines qui sont utilisés à des fins d'analyse ou de prédiction de scénarios. Les propriétés des aquifères varient selon le type d'aquifère (tableau C1). Les caractéristiques hydrauliques pertinentes de l'aquifère peuvent être estimées à partir de tests de pompage. Kruseman & de Ridder (1994) décrivent le principe de base des tests de pompage : « Si nous pompons l'eau d'un puits et que nous mesurons le débit du puits et le rabattement dans le puits et dans les piézomètres à une

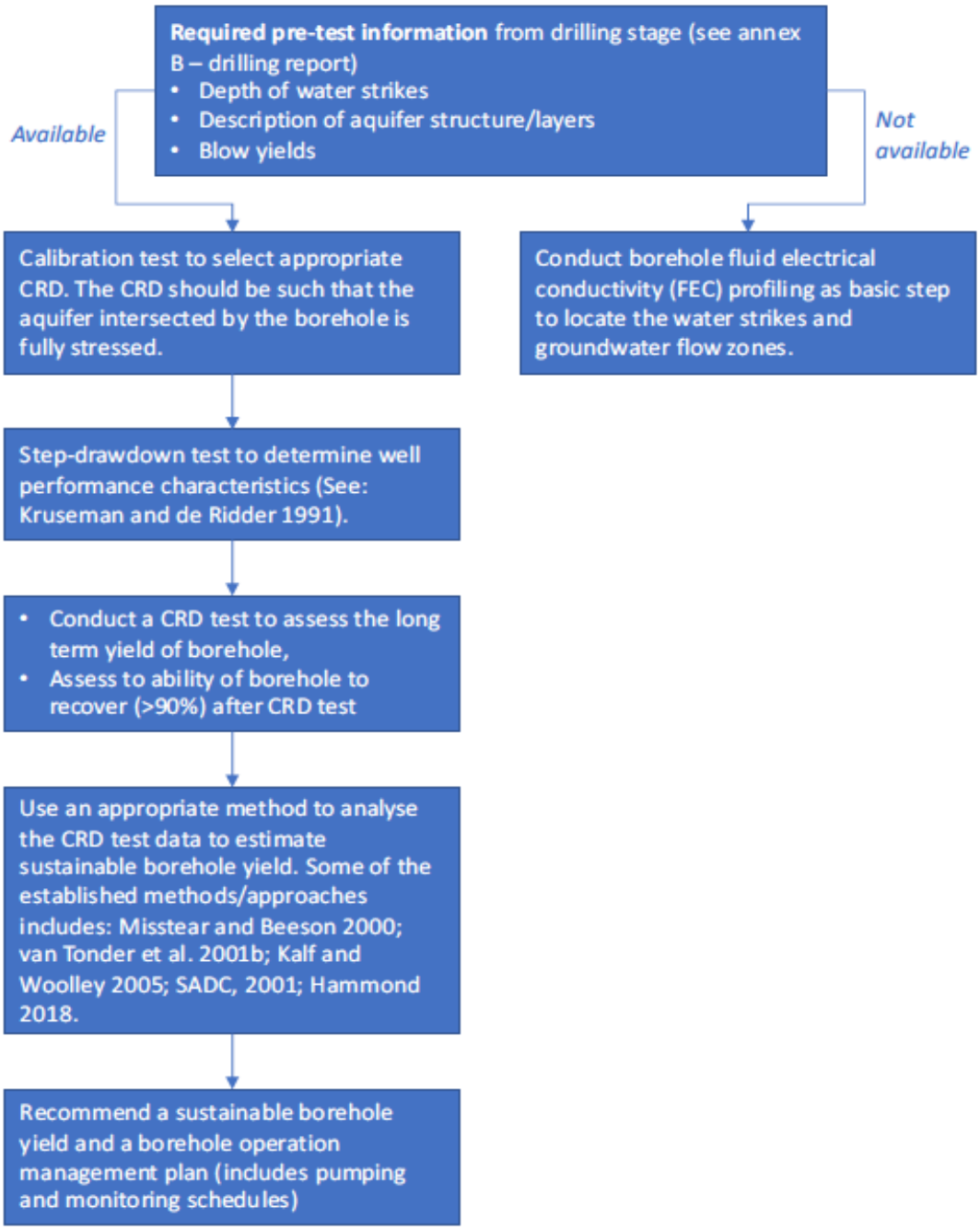


Figure C1 : Diagramme montrant les principales étapes des tests de pompage de l'aquifère pour estimer le rendement durable d'un seul puits de forage

distance connue du puits, nous pouvons substituer ces mesures dans une équation puits-débit appropriée pour calculer les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère ». Kruseman & de Ridder (1994) indiquent également que les données de rabattement provenant du puits pompé lui-même ou d'un piézomètre permettent souvent de calculer les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère, mais qu'il est néanmoins toujours préférable de disposer d'autant de piézomètres que les conditions le permettent. L'avantage d'avoir plus d'un piézomètre est que les rabattements mesurés dans ceux-ci peuvent être analysés de deux manières : par la relation temps-rabattement et par la relation distance-rabattement. Les résultats de cette analyse seront plus précis et représentatifs d'un plus grand volume de l'aquifère.

Tableau C1 Résumé des propriétés et paramètres hydrauliques des aquifères pouvant être estimés à partir de l'analyse des données des tests de pompage.

Type d'aquifère	Propriétés de stockage	Propriétés hydrauliques
Non confiné	Storativité (S) Rendement spécifique (Sy)	Conductivité hydraulique horizontale (Kh) Conductivité hydraulique verticale (Kv)
Aquifère semi-captif	Storativité (S)	Conductivité hydraulique horizontale (Kh) Transmissivité (T) Facteur de fuite (L)
Confiné	Storativité (S)	Conductivité hydraulique horizontale (Kh) - généralement désignée par K Transmissivité (T)
Couches/aquitards de confinement		Conductivité hydraulique verticale (Kv) / Résistance hydraulique (c)

Principales étapes et attentes des tests de pompage de l'aquifère

Un résumé des principales étapes et attentes des tests de pompage de l'aquifère est présenté dans le tableau C2. Les essais de pompage commencent par la planification sur la base du rapport de forage. Si le rapport de forage ou les informations sur le forage ne sont pas disponibles, le profilage de la conductivité électrique des fluides (FEC) peut être utilisé comme outil de base pour localiser les zones d'écoulement de l'eau ou des eaux souterraines. Ces zones sont importantes du fait qu'elles représentent généralement les zones de haute transmission et les zones porteuses d'eau souterraine de l'aquifère qui doivent être sollicitées pendant les tests. Il est idéal de placer la pompe d'essai en dessous de ces zones pour s'assurer qu'elles soient être sollicitées et que l'eau ne tombe pas en dessous des pompes pendant l'essai. Moleme et Gomo (2019) fournissent un exemple sur l'application du profilage de forage FEC pour identifier les zones d'écoulement des eaux souterraines dans des aquifères rocheux fracturés typiques.

Tableau C2 : Un résumé des principales étapes et attentes des tests de pompage de l'aquifère

Etape	Objectif	Données clés à collecter	Paramètres estimés
Planification du développement	Pour permettre la préparation de l'essai de décharge à débit constant	• Emplacement du site, • Date, • Profondeur du plan d'eau, • Lithologie de l'aquifère, • Débits de la soufflante, • Voir le rapport de forage	Non applicable
Profilage de la conductivité électrique des fluides (FEC) du puits	Localiser les plans d'eau et les zones d'écoulement des eaux souterraines	• Profil FEC du puits	• Profondeur de la masse d'eau et zones d'écoulement des eaux souterraines
Test d'étalonnage	Sélectionner le CRD approprié	• Temps et niveau des eaux souterraines (rabattement), • Débits progressifs	• CRD approprié
Essai de rabattement étagé	Évaluer les caractéristiques d'efficacité des puits	• Temps et niveau des eaux souterraines (rabattement), • Débits progressifs	• Efficacité du puits • Propriétés hydrauliques
Essai de prélèvement à taux constant (CRD)	Estimation du rendement durable/fiable des forages, Estimation des propriétés hydrauliques et de stockage des aquifères.	• Temps et niveau des eaux souterraines (rabattement), • Moyenne CRD	• Débit durable/sûr/fiable • Propriétés hydrauliques de l'aquifère/aquitard
Test de récupération	Estimation des propriétés hydrauliques et de stockage de l'aquifère Évaluation du % de récupération	• Temps résiduel, • Niveaux résiduels des eaux souterraines	• Propriétés hydrauliques • Évaluer le % de récupération

L'**essai d'étalonnage** est effectué pour aider à choisir un taux de décharge approprié pour le test de pompage de l'aquifère. La pertinence du taux de décharge varie en fonction de l'objectif des tests de pompage de l'aquifère (Figure C1 et Figure C2). Dans la pratique, des tests d'étalonnage efficaces nécessitent une expérience préalable, une observation sur le terrain et une certaine évaluation qualitative.

L'**essai de rabattement étagé** est effectué principalement pour évaluer les caractéristiques d'efficacité du puits.

Ceci est important car la composante perte de l'efficacité des puits est prise en compte lors de l'estimation du rendement durable des forages (Hammond 2018). L'estimation de la transmissivité et de la conductivité hydraulique horizontale de l'aquifère peut être faite à partir de données d'essais de rabattement étagé (Kruseman et de Ridder 1994).

Les essais de rabattement étagé sont généralement suivis d'un **essai de décharge à débit constant** (CRD), où le puits de forage est pompé à un débit constant pendant toute la durée de l'essai. Driscoll (1986) a suggéré une durée d'essai de pompage CRD de 24 heures pour les aquifères confinés et de 72 heures pour les aquifères non confinés. Selon les caractéristiques hydrogéologiques, des essais de plus longue durée peuvent encore fournir plus de données permettant de mieux analyser les effets des limites hydrauliques dans l'aquifère et les régimes d'écoulement dans les systèmes multicouches, mais en réalité, les coûts des essais prolongés constitueront souvent le facteur limitant.

Le **test de récupération** consiste à mesurer les niveaux d'eau résiduelle de récupération avec le temps après la mise en marche de la pompe. L'analyse des données de récupération fournit souvent une vérification indépendante des données d'essai de pompage car elle se fait naturellement. Traditionnellement, seules les propriétés hydrauliques pourraient être estimées à partir des données de récupération, mais des approches ont maintenant été développées pour estimer la capacité de stockage à partir des données de récupération (Ballukraya et Sharma 1991 ; Singh 2006 et Çimen 2015). La figure C2 montre un diagramme de flux illustrant les étapes générales des tests de pompage de l'aquifère pour estimer les paramètres de l'aquifère.

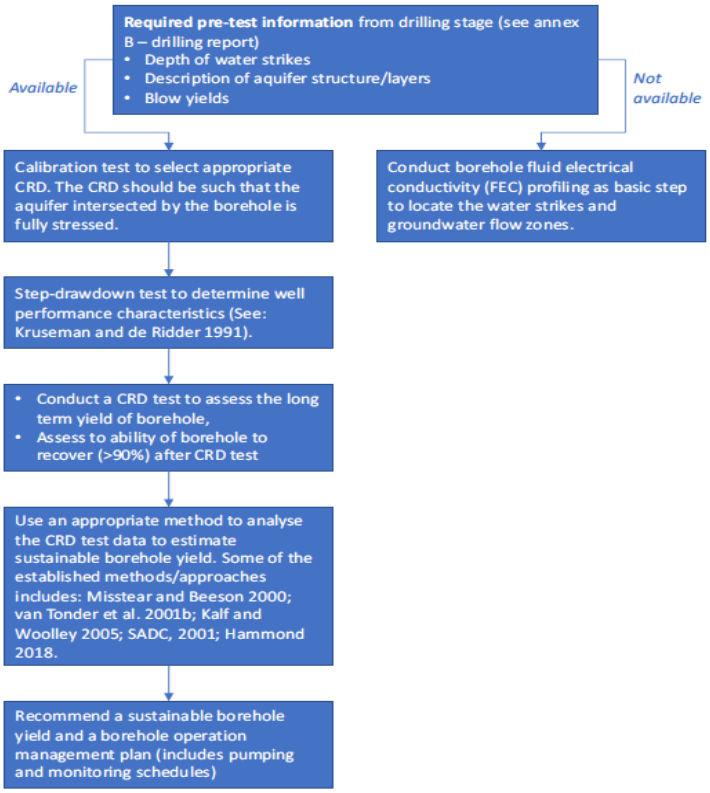


Figure C2 Diagramme de flux montrant les étapes générales des tests de pompage de l'aquifère pour estimer les paramètres de l'aquifère

Annexe D Applications de téléphonie mobile pour la collecte de données sur les eaux souterraines

Tableau D1 Description des applications de téléphonie mobile pertinentes aux fins de la collecte de données sur les eaux souterraines.

Application	Site web	Logiciel gratuit/payant
AKVO Flow	https://akvo.org/products/akvoflow/#overview http://flowsupport.akvo.org/container/show/akvo-flow-app	Payant
Application permettant de recueillir, de gérer, d'analyser et d'afficher les données de suivi et d'évaluation géographiquement référencées grâce à l'utilisation de téléphones mobiles et d'une connexion internet. Elle offre une collecte de données rapide, une flexibilité d'enquête et des outils d'analyse.		

Collector	https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/collector-for-arcgis/resources	Payant
Application permettant de recueillir et de mettre à jour les données (points, lignes ou polygones) à l'aide de la carte ou du GPS, de télécharger des cartes sur un appareil mobile pour travailler hors ligne, de créer des formulaires basés sur des cartes, de joindre des photos, d'utiliser des récepteurs GPS de qualité professionnelle et de rechercher des lieux et des caractéristiques.		
CrowdWater	https://www.crowdwater.ch/en/welcome-to-crowdwater/	Gratuit
Application pour la collecte de données hydrologiques. Les données collectées comprennent le niveau d'eau et le débit du cours d'eau, l'humidité du sol et l'état du débit d'un cours d'eau temporaire.		
FieldLogger	http://www.artesia-water.nl/software/fieldlogger/	Gratuit
Application permettant d'enregistrer de nouvelles stations sur le terrain (capture des coordonnées) et d'ajouter des données (de surveillance) aux emplacements. Stocke les valeurs sur le téléphone au format csv, et permet de partager les données par e-mail ou FTP.		
GeoPaparazzi	https://www.osgeo.org/projects/geopaparazzi/	Gratuit
Application pour les enquêtes qualitatives sur le terrain. Les caractéristiques comprennent des notes géoréférencées, des images géoréférencées et orientées, des enquêtes de données à base des formulaires, une exportation facile des données collectées, une vue cartographique pour la navigation avec un support de données combinées raster et vectorielles.		
GGMN App	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vesselstech.ggmn&hl=en	Gratuit
Application permettant de géoréférencer et d'enregistrer les stations de surveillance des eaux souterraines et de saisir les données de surveillance du niveau des eaux souterraines, avec la possibilité de soumettre les données recueillies au portail du Réseau mondial de surveillance des eaux souterraines (GGMN).		
Go-Canvas	https://www.gocanvas.com/	Payant
Application permettant de créer des formulaires de terrain et de saisir des données pour tout type d'enquête (par exemple, les données relatives à la surveillance ou à l'emplacement / le forage / l'essai de puits de forage). Permet la saisie manuelle de données, la capture de coordonnées et de photos et la lecture de codes-barres (déterminer le site).		
Go Ground-water	https://en.eijkelkamp.com/products/sensors-monitoring/go-ground-water-app-and-dongle.html	Payant
Application permettant de configurer et de lire les Divers (enregistreurs de données de la société van Essen) sans fil avec un smartphone via un dongle Bluetooth. Nécessite l'installation permanente d'un dongle Bluetooth (IP67) dans le puits de surveillance.		
GW-Mobil	https://www.ribeka.com/en/products/gw-mobil/	Payant
Application destinée à la surveillance des eaux souterraines. Les données de terrain sont importées de l'appareil mobile directement dans le système (commercial) de gestion des eaux souterraines GW-Base 9.0 ou plus (seule option disponible). Il comprend des outils de planification et de gestion des itinéraires et des lecteurs de codes-barres du site de surveillance pour connecter automatiquement les données au site.		
LithoHero	http://lithohero.com/	Gratuit
Application destinée à la collecte, l'enregistrement et la présentation des données sédimentologiques et stratigraphiques lors de travaux sur le terrain. Cette application peut être utilisée pour décrire des affleurements ou des carottes.		
mWater	https://www.mwater.co/	Gratuit / Payant
Application destinée au suivi de tout type de données : sites physiques comme les points d'eau et les installations (écoles, hôpitaux), cibles non géographiques comme les subventions et les projets. La version de base de cette application est gratuite, mais l'accès à toutes ses fonctionnalités nécessite une licence payante.		

Gestion mobile de l'eau (MWM)	https://www.mobilewatermanagement.nl/ https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mobilewaterman-agement.sensor&hl=en	Gratuit / Payant
Application destinée à la surveillance des eaux souterraines. L'application utilise le smartphone (sonar à haut-parleur et microphone) pour mesurer le niveau des eaux souterraines, jusqu'à 20 m de profondeur et avec une précision de 1 cm. Les données peuvent être exportées vers un système d'information sur l'eau (WIS). La version de base de cette application est gratuite, mais l'accès à toutes ses fonctionnalités nécessite une licence payante.		
MyWell	https://vesselstech.com/mywell.html	Gratuit
Application permettant de surveiller les données relatives aux eaux souterraines, ainsi que les précipitations et de vérifier les relevés des barrages. En plus des niveaux des eaux souterraines, l'utilisateur peut stocker et afficher des informations supplémentaires (texte / photo), ainsi que des données historiques et des données au niveau du village pour une comparaison et une analyse simples.		
Qfield	https://www.qfield.org//	Gratuit
QField aide les utilisateurs à faire la collecte des géodonnées sur le terrain pour les utiliser dans des projets QGIS (QGIS est un progiciel SIG librement accessible). Il est compatible avec le logiciel QGIS de bureautique et possède un paradigme de l'utilisation commutable (affichage, numérisation, mesure, inspection). Qfield et QGIS sont des logiciels ouverts.		

Note : Cet aperçu, n'étant pas exhaustif, a tout simplement pour but d'illustrer le potentiel et la disponibilité des applications, sans avoir pour autant l'intention de recommander ou de promouvoir un outil ou une application spécifique.

Annexe E Lectures recommandées

Politiques et stratégies de la SADC

SADC (2005). **Politique régionale de l'eau.**
L'objectif de la politique régionale de l'eau de la région de la SADC est de fournir un cadre pour le développement, l'utilisation, la protection et le contrôle durables, intégrés et coordonnés des ressources en eau nationales et transfrontalières dans la région de la SADC en vue de promouvoir le développement socio-économique ainsi que l'intégration régionale et l'amélioration de la qualité de vie de tous les habitants de la région.

Lignes directrices et manuels

Water Research Commission (2017). **Groundwater Sampling Manua**l. Water Research Commission, Pretoria, South Africa. WRC Report No. TT 733/17, ISBN 978-1-4312-0926-2. Disponible à l'adresse suivante : http://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/TT%20733-17.pdf
Le manuel d'échantillonnage des eaux souterraines fournit des conseils sur les techniques cohérentes d'échantillonnage des eaux souterraines qui garantiront que toutes les données recueillies sur la qualité des eaux souterraines sont représentatives de la qualité des eaux souterraines in situ au moment de l'échantillonnage. L'utilisation de ces lignes directrices réduira les erreurs d'échantillonnage, améliorant ainsi la qualité des données. Les données sur la qualité des eaux souterraines recueillies selon les techniques décrites peuvent ensuite être utilisées de façon fiable pour évaluer les conditions hydrogéochimiques et la qualité des eaux souterraines.

IGRAC (2008) **Guideline on Groundwater monitoring for general reference purposes.** IGRAC report. International Working Group I. Utrecht 2006; révisé en 2008. Pp165. Disponible à l'adresse suivante : https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/WG1-7-Guideline-v12-03- 08.pdf
Ce rapport fournit des lignes directrices détaillées visant à assurer le développement et la mise en œuvre de programmes efficaces et réels de surveillance des eaux souterraines. Ces lignes directrices couvrent les aspects de la conception des réseaux de surveillance des eaux souterraines en fonction des objectifs spécifiques de surveillance. En outre, et ce qui distingue ces lignes directrices des autres lignes directrices sur la surveillance des eaux souterraines, le rapport traite également des aspects pratiques, institutionnels, organisationnels et financiers de la surveillance des eaux souterraines. Cela fournit aux utilisateurs de ces lignes directrices les outils leur permettant de concevoir des réseaux de surveillance efficaces dont la mise en œuvre et le maintien sont réalistes.

Kovalevsky, V.S., Kruseman, G.P., Rushton, K.R., (Eds) (2004) **Groundwater Studies - An international guide for hydrogeological investigations**. IHP-VI, Series on Groundwater No.3. UNESCO-IHP, Paris, 2004. Pp 423. ISBN: 92-9220-005-4. Disponible à l'adresse suivante : https://un- esdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000134432

Guide/manuel détaillé (423 pages) couvrant tous les aspects des études hydrogéologiques. L'ouvrage commence par des introductions complètes à de nombreux principes hydrogéologiques et couvre également les aspects de la collecte de données sur les eaux souterraines assortis d'informations pratiques sur les méthodes et les équipements disponibles. En outre, l'ouvrage décrit différentes méthodes d'investigation hydrogéologique, les aspects du traitement des données et de la gestion des eaux souterraines. Des descriptions spécifiques de différents contextes hydrogéologiques (roches dures, roches carbonates et roches volcaniques) complètent l'ouvrage.

SADC (2001). **Guidelines for the Groundwater Development in the SADC Region**. Développement d'un code de bonnes pratiques pour le développement des eaux souterraines dans la région de la SADC. Rapport préparé par Groundwater Consultants, Maseru, Lesotho. Élaboré pour le compte de : l'Unité de coordination du secteur de l'eau de la Communauté de développement de l'Afrique australe (SADC WSCU). Financé par le gouvernement français. Disponible à l'adresse suivante : http://www.dwa.gov.za/groundwater/Documents/Guidelines%20for%20the%20groun-water%20development%20in%20the%20SADC%20region%20%20Report%20No%202%20(Final).pdf

Ce rapport fournit des lignes directrices détaillées (y compris certains formulaires/modèles de terrain) sur les points suivants :

- Étude documentaire et étude de reconnaissance pour la mise en valeur des eaux souterraines ;
- Implantation des forages ;
- Forage et construction de puits de forage ;
- Développement des forages ;
- Échantillonnage des eaux souterraines ;
- Essai de pompage des forages ;
- Recommandations sur le pompage des eaux destinées à la production ;
- Lignes directrices sur les sources et les puits creusés à la main ; et
- Lignes directrices pour l'établissement de rapports.

UNECE Task Force on Monitoring and Assessment (2000). **Guidelines on Monitoring and Assessment of Transboundary Groundwater.** Lelystad. Disponible à l'adresse suivante : https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2018/WAT/05May_28-30_IWRM_WGMA/Transboudary_Groundwaters.pdf

Le caractère de ces lignes directrices est plutôt stratégique que technique. Elles sont destinées à aider les gouvernements et les organismes communs de la CEE à élaborer des règles harmonisées pour la mise en place et le fonctionnement de systèmes de surveillance et d'évaluation des eaux souterraines transfrontalières. Le groupe cible comprend les décideurs et les planificateurs des ministères, des organisations et des institutions responsables des questions d'environnement, d'eau ou d'hydrogéologie et tous ceux qui sont également responsables de la gestion des eaux souterraines transfrontalières. Ces directrices visent également à fournir des conseils à ceux qui sont responsables ou impliqués dans le développement de programmes de gestion durable de l'eau.

Cadres

SOGW (Subcommittee on Ground Water) (2013). **A National Framework for Groundwater Monitoring in the United States**. Le sous-comité sur les eaux souterraines du comité consultatif sur l'information sur l'eau, États-Unis. Première version - Juin 2009, Révisée - Juillet 2013 http://acwi.gov/sogw/pubs/tr/index.html
En 2007, le Sous-comité sur les eaux souterraines (SOGW) a été chargé par le Comité consultatif fédéral sur l'information relative à l'eau (ACWI) d'élaborer un cadre qui établit et encourage la mise en œuvre d'un réseau national de surveillance à long terme de la quantité et de la qualité des eaux souterraines. Le réseau national de surveillance des eaux souterraines (NGWMN) proposé est conçu comme un système volontaire et intégré de collecte, de gestion et de communication des données qui pourrait fournir les données nécessaires pour aider à répondre aux questions actuelles et futures de gestion des eaux souterraines soulevées par le Congrès, les agences fédérales, étatiques et tribales ainsi que par le public.

FAO (2016). **Global Diagnostic on Groundwater Governance**. FAO, Rome (Italy). Disponible à l'adresse suivante : http://www.groundwatergovernance.org
Cette publication est l'un des produits du projet intitulé « Gouvernance des eaux souterraines - un cadre d'action mondial » qui a été mis en œuvre durant la période allant d'avril 2011 à juin 2016. Elle présente l'état de la gouvernance des eaux souterraines à travers le monde et comment elle diffère des « conditions idéales ». Elle s'appuie sur plusieurs activités du projet qui comprend la rédaction de douze documents thématiques décrivant l'état des lieux tel que perçu par des professionnels sélectionnés, et plusieurs études de cas, résumées ensemble dans un rapport de synthèse. Cinq réunions de consultation régionales ont été organisées dans différentes parties du monde dans le but de recueillir autant d'informations que possible sur la gouvernance des eaux souterraines dans différentes régions et différents pays et de saisir les perceptions et les opinions des plus de cinq cents participants. Par ailleurs, cinq rapports de diagnostic régionaux sur les eaux souterraines ont été préparés par des professionnels compétents de chacune de ces régions.

Gestion des données

Fitch P., Brodaric B., Stenson M., Booth N. (2016). **Integrated Groundwater Data Management.** In: Jakeman A.J., Barreteau O., Hunt R.J., Rinaudo JD., Ross A. (eds) (2016) Integrated Groundwater Management. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-23576-9_26
Document de synthèse décrivant divers aspects liés à la gestion des données, notamment les modèles de gestion des données, les aspects de l'assurance et du contrôle de la qualité, les licences de données et l'interopérabilité.

EPA Australia (2000). **Groundwater Sampling Guidelines**. Southbank Victoria, Australia. Disponible à l'adresse suivante : https://www.epa.vic.gov.au/~/media/Publications/669.pdf
Ces lignes directrices de bonnes pratiques concernant la politique de gestion des données sur l'eau ont été préparées pour aider les responsables de la formulation et de la mise en œuvre de la stratégie gouvernementale visant à améliorer l'information sur l'eau, dans le but de faire progresser la politique, la planification, la gestion et les opérations dans le domaine de l'eau. Ces lignes directrices décrivent les diverses utilisations de grande valeur des données sur l'eau et identifient sept éléments de bonne pratique en matière de gestion des données sur l'eau. Il s'agit notamment (1) d'identifier les objectifs prioritaires de la gestion de l'eau, (2) de renforcer les institutions chargées des données sur l'eau, (3) de mettre en place des systèmes durables de surveillance des données sur l'eau, (4) d'adopter des normes pour les données sur l'eau, (5) d'adopter une approche de données ouvertes pour l'accès aux données sur l'eau et l'octroi de licences, (6) de mettre en œuvre des systèmes efficaces d'informations relatives aux données sur l'eau et (7) d'utiliser des processus de gestion de la qualité des données sur l'eau.

SADC GROUNDWATER MANAGEMENT INSTITUTE
Institute for Groundwater Studies Building
Dean Street, University of the Free State
205 Nelson Mandela Drive,
Bloemfontein, 9300
South Africa
E-mail info@sadc-gmi.org **Website www.sadc-gmi.org**

GROUNDWATER MANAGEMENT INSTITUTE

igrac
International Groundwater Resources Assessment Centre

UNIVERSITY OF THE FREE STATE
UNIVERSITEIT VAN DIE VRYSTAAT
YUNIVESITHI YA FREISTATA
UFS UV