



INDICATEUR 6.3.2 DES ODD – DOCUMENT D'ORIENTATION TECHNIQUE N° 3 : SUIVI ET RAPPORTS SUR LES EAUX SOUTERRAINES



Ce document fournit des orientations techniques supplémentaires pour relever les défis liés au suivi et à la communication de données sur les eaux souterraines dans le cadre de l'indicateur ODD 6.3.2. Il s'agit d'un document d'accompagnement de [l'Introduction à l'indicateur ODD 6.3.2](#) et fait partie d'une série fournissant des orientations techniques détaillées sur des aspects spécifiques de la méthodologie de l'indicateur. Ces documents techniques ont été élaborés en réponse aux commentaires reçus de la part des personnes chargées de rendre compte de cet indicateur pour leur pays. Ces ressources, ainsi que d'autres, sont disponibles sur la [plateforme de soutien de l'indicateur ODD 6.3.2](#)¹, accessible via le [SDG Water Quality Hub](#)².

Ce document s'adresse aux praticiens qui souhaitent obtenir des informations complémentaires sur la manière de mettre en œuvre la méthodologie de l'indicateur pour les eaux souterraines et de renforcer la surveillance des eaux souterraines dans leur propre pays. Le document :

1. fournit des conseils sur l'identification des aquifères et la définition des masses d'eau souterraines ;
2. passe en revue les options d'échantillonnage des eaux souterraines
3. aborde le choix des paramètres et la déclaration de niveau 1 et de niveau 2 pour la qualité des eaux souterraines.

INTRODUCTION

Les données de surveillance collectées pour l'indicateur 6.3.2 des ODD devraient fournir des informations suffisantes sur l'état de la qualité de l'eau ambiante à l'échelle nationale et permettre d'identifier les tendances à long terme. Cela nécessite des données sur les groupes de paramètres clés provenant de sites répartis dans tout le pays, ainsi que des mesures effectuées de manière standardisée et cohérente. La mise en œuvre de cet indicateur a montré que moins de pays ont la capacité de surveiller les eaux souterraines par rapport aux eaux de surface. Cela n'est pas surprenant et constitue une caractéristique courante et constante de ce type d'activités dans le passé. Le présent document examine les raisons de cette situation et formule des recommandations sur la manière de renforcer les programmes de surveillance des eaux souterraines afin de fournir de meilleures informations sur la qualité de l'eau ambiante, ainsi que sur la manière de rendre les rapports sur les eaux souterraines plus solides et comparables.

POURQUOI LA SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES EST-ELLE PLUS DIFFICILE QUE CELLE DES EAUX DE SURFACE ?

Il existe de nombreuses raisons pour lesquelles les programmes de surveillance de la qualité de l'eau ne fournissent pas les informations qu'ils devraient. La surveillance doit être envisagée comme un cycle ou une chaîne continue (CEE-ONU, 2000), partant des besoins en informations et passant par la stratégie de surveillance, la conception du réseau, l'échantillonnage, l'analyse, le traitement des données, l'interprétation et la communication des résultats, afin de fournir des informations de manière claire et en temps opportun. Si une étape ou un maillon de la chaîne (figure 1) n'est pas correctement mis en œuvre, l'ensemble du processus peut ne pas aboutir à la production de données utiles. Les causes courantes d'échec proviennent :

- l'absence de définition des besoins en informations et des objectifs du programme de surveillance ;

¹ <https://www.wqa.info/knowledge-center/sdg632/>

² <https://www.sdg632hub.org>

³ Ce document a été rédigé par John Chilton, ancien directeur exécutif de l'Association internationale des hydrogéologues, en mars 2020, pour le compte du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) GEMS/Water, et révisé en mars 2026. Ce document a été traduit de l'anglais à l'aide d'un outil d'IA linguistique.



- la prise en compte insuffisante du contexte physique lors de la conception du réseau ;
- une planification insuffisante de la collecte, du traitement, du stockage et de l'analyse des échantillons ;
- l'absence de contrôle et d'assurance qualité ;
- une mauvaise gestion et interprétation des données obtenues ;
- l'absence de révision, de retour d'information et de modification de la conception si nécessaire.

L'objectif spécifique de l'indicateur 6.3.2 des ODD est de fournir un mécanisme permettant de déterminer si les efforts visant à maintenir et à améliorer la qualité de l'eau ambiante sont efficaces, à l'aide de données issues de programmes nationaux de surveillance, qui auront leurs propres objectifs.

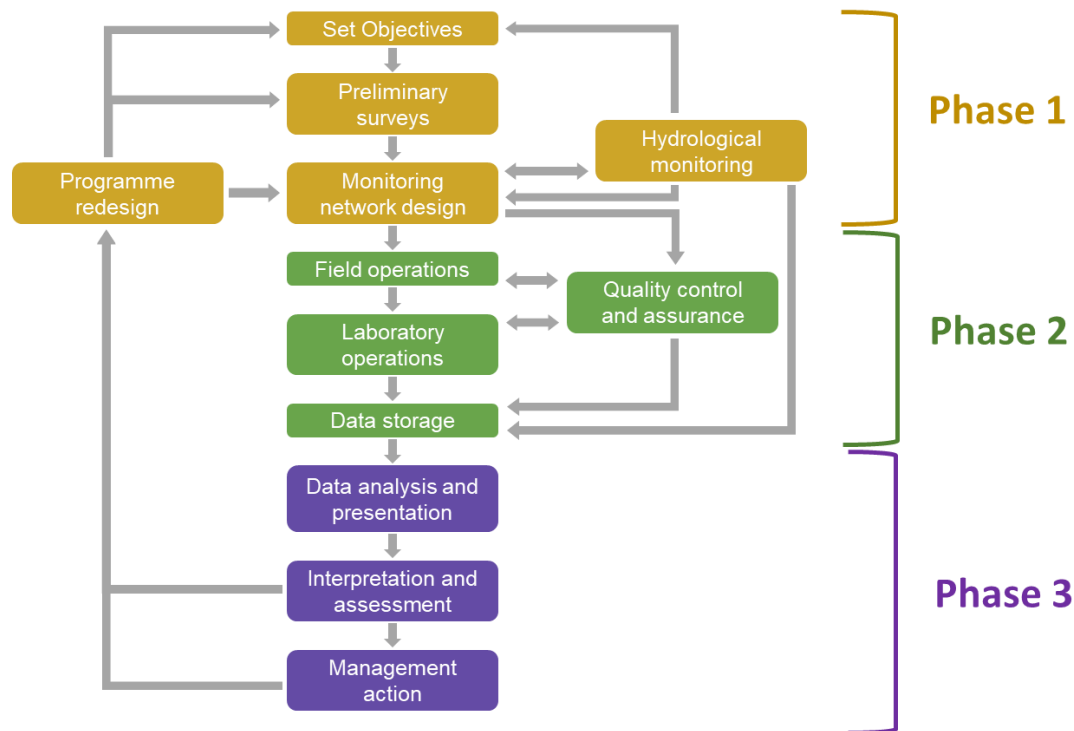


Figure 1. Organigramme de conception d'un programme de surveillance de la qualité de l'eau. Adapté de Chapman et al. (2005)

Le défi que représente la surveillance de la qualité des eaux souterraines est fondamentalement différent de celui qui concerne les rivières et les lacs (IAH, 2017). La surveillance des cours d'eau peut fournir une image globale d'un bassin versant étendu, en atténuant l'effet des facteurs locaux propres à la station d'échantillonnage. L'inverse est généralement vrai pour les eaux souterraines, pour lesquelles l'influence de facteurs très locaux, tels que la contamination à la tête de puits, la profondeur des puits, les débits de pompage, le bassin versant immédiat et les protocoles d'échantillonnage, peut être prépondérante. Cela peut fausser la vision d'ensemble de la qualité des eaux souterraines de l'aquifère, et doit être compris et pris en compte.

En ce qui concerne les eaux souterraines, les contraintes générales décrites ci-dessus sont souvent aggravées par un manque de connaissances hydrogéologiques, ce qui affaiblit à la fois la conception du réseau de surveillance et l'interprétation des résultats. Cela s'explique parfois par le fait que la surveillance des eaux souterraines est mise en place par des professionnels des eaux de surface dans le prolongement d'un programme existant sur les eaux de surface, sans prise en compte adéquate de l'hydrogéologie ; souvent, les informations hydrogéologiques nécessaires ou l'expertise en matière d'eaux souterraines font tout simplement défaut. Ce point est important car les aquifères, et les masses d'eau souterraines qu'ils contiennent, sont généralement plus complexes que les eaux de surface et beaucoup moins accessibles pour l'échantillonnage. Cette inaccessibilité contribue à l'attrait des eaux souterraines en tant que source d'approvisionnement. Si les aquifères sont moins accessibles, ils sont alors susceptibles d'avoir une bonne qualité d'eau naturelle (à quelques exceptions près) et d'être protégés des activités polluantes à la surface du sol. Une fois polluées, cependant, la lenteur du mouvement de l'eau dans l'aquifère signifie que la qualité des eaux souterraines peut mettre des décennies à se rétablir.



La plupart des eaux souterraines ont des temps de séjour beaucoup plus longs que les eaux de surface. Cela laisse le temps à des interactions physico-chimiques de se produire entre l'eau souterraine à circulation lente et les matériaux constituant l'aquifère, et la composition chimique de l'eau peut changer au fur et à mesure de son écoulement (Chilton, 1996). Du point de vue de la surveillance, cette circulation lente signifie qu'en général, les eaux souterraines doivent être échantillonnées moins fréquemment que les eaux de surface, mais l'obtention d'une image représentative de la qualité des eaux souterraines peut nécessiter une plus grande densité d'échantillonnage (IAH, 2017). De plus, la profondeur et la complexité souterraine des aquifères ont une incidence majeure sur le choix du point d'échantillonnage pour l' du réseau d'eaux souterraines et sur l'interprétation des résultats obtenus. Des échantillons prélevés dans des puits très proches les uns des autres peuvent donner des résultats très différents, surtout s'ils proviennent de différentes profondeurs de l'aquifère, voire de différents aquifères.

IDENTIFICATION DES AQUIFÈRES ET DÉFINITION DES MASSES D'EAU SOUTERRAINES

Les deux premières étapes de la méthodologie de l'indicateur 6.3.2 des ODD consistent à établir des districts de bassin de reporting (RBD) basés sur les bassins fluviaux et à définir les masses d'eau qu'ils contiennent. Pour les eaux souterraines, cela implique d'identifier l'emplacement des aquifères productifs et la manière dont ils pourraient être subdivisés en masses d'eau souterraines. Comme pour les eaux de surface, les éléments définis comme masses d'eau souterraines forment des unités distinctes qui sont classées comme « bonnes » ou « non bonnes ».

Dans certains pays, en particulier les États membres de l'UE et d'autres pays alignés sur la législation environnementale de l'UE, des efforts considérables ont déjà été déployés par les services géologiques nationaux ou les agences environnementales pour remplir leurs obligations en matière de définition des masses d'eau souterraines. Des orientations techniques accompagnant la législation les aident à le faire de manière cohérente et comparable (CE, 2004), mais les exigences en matière de données et l'expertise requise pour y parvenir sont considérables. Ces pays sont également susceptibles de disposer de programmes de surveillance de la qualité des eaux souterraines bien développés et sont encouragés à utiliser les mêmes unités de reporting pour la déclaration relative à l'indicateur 6.3.2 des ODD.

Pour de nombreux autres pays, l'emplacement des aquifères et leur importance en tant que sources d'eau souterraine sont connus. Cependant, la nature des systèmes d'écoulement des eaux souterraines dans ces aquifères – d'où proviennent les eaux souterraines et où elles vont – peut ne pas être bien connue et il se peut qu'il n'y ait aucune exigence nationale pour définir les masses d'eau souterraines. Les programmes de surveillance existants peuvent présenter de grandes variations en termes de couverture du réseau, d'adéquation des points d'échantillonnage, de fréquence d'échantillonnage et de choix des paramètres. D'autres pays peuvent en savoir encore moins sur leurs aquifères et leurs eaux souterraines ; ils peuvent disposer d'une surveillance régulière très limitée, voire inexistante, et de données très rares sur la qualité de leurs eaux souterraines. Certains pays peuvent ne disposer d'aucune donnée de surveillance, mais aspirer à mettre en place un programme de surveillance de la qualité des eaux souterraines.

Dans tous ces cas, pour identifier les aquifères et comprendre les systèmes d'écoulement des eaux souterraines, il est essentiel de développer des modèles hydrogéologiques conceptuels simples. Ceux-ci peuvent se limiter à une carte indiquant l'étendue en surface des affleurements de divers aquifères et non-aquifères, ainsi qu'à de simples coupes transversales. Ces coupes doivent montrer les origines des eaux souterraines, les directions d'écoulement et les emplacements de décharge (Figure 2). Ceci est important, car la source de recharge, qui peut être l'infiltration des eaux de pluie ou des masses d'eau de surface, est également susceptible d'être une source de pollution de l'aquifère, contribuant ainsi à la détérioration de la qualité. De même, les points de rejet vers les sources, les rivières, les lacs ou les zones humides, ou vers les puits, sont les endroits où la mauvaise qualité des eaux souterraines a un impact sur les



récepteurs

(figure

2).

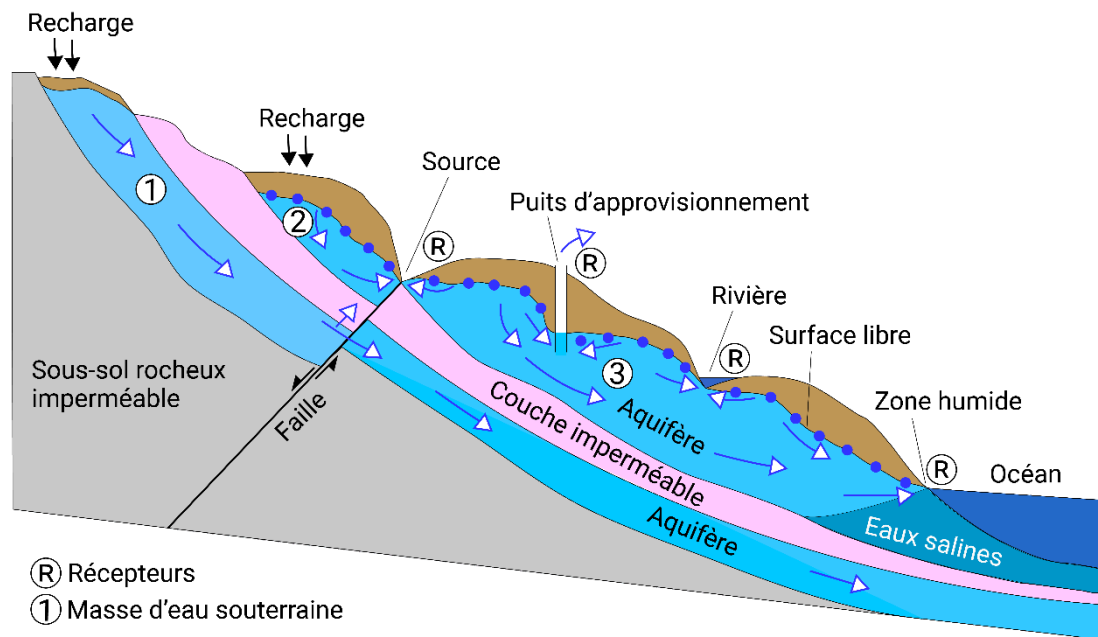


Figure 2 : Modèle hydrogéologique conceptuel simple permettant de visualiser les affleurements aquifères, les zones de recharge des eaux souterraines, les directions d'écoulement des eaux souterraines et les points de décharge

Même lorsque des modèles hydrogéologiques conceptuels ne sont pas encore disponibles, presque tous les pays disposent de cartes géologiques, peut-être établies à des fins de prospection minière ou d'exploration pétrolière. Celles-ci permettent d'identifier les principaux types de formations géologiques et de repérer celles susceptibles de constituer des aquifères productifs. Bien sûr, cela peut être facilement confirmé si les aquifères sont déjà largement utilisés pour l'approvisionnement en eau. Si l'organisme chargé de la surveillance ne dispose pas lui-même d'une expertise en matière d'eaux souterraines, il convient de solliciter l'aide du service géologique national, d'une université locale ou d'un cabinet de conseil compétent.

Au sein des DBC basées sur les bassins hydrographiques, les masses d'eau souterraines doivent être définies afin de permettre la description de la qualité ambiante. La méthodologie de l'indicateur 6.3.2 des ODD prévoit que, dans l'idéal, les masses d'eau devraient être dimensionnées de manière à garantir leur homogénéité en termes de qualité de l'eau et à pouvoir être classées à l'aide d'un nombre relativement restreint de points de surveillance⁴. Cependant, comme cela a été clairement établi, les aquifères peuvent être complexes et loin d'être homogènes. Lorsqu'un aquifère doit être subdivisé en masses d'eau souterraines, celles-ci doivent constituer des systèmes d'écoulement distincts dans lesquels les eaux souterraines ne franchissent pas les limites. Les éléments suivants peuvent fournir des critères utiles pour une telle subdivision.

- Lorsqu'il existe suffisamment de données pour établir des cartes du niveau des eaux souterraines, les masses peuvent être délimitées par des lignes de partage des eaux souterraines. La figure 3 montre trois masses d'eau souterraines de ce type dans un aquifère recouvrant des roches imperméables et s'enfonçant sous les strates sus-jacentes. Toutefois, contrairement aux limites des masses d'eau de surface, les limites des masses d'eau souterraines ainsi définies peuvent ne pas être statiques et peuvent varier de manière saisonnière, en réponse aux changements climatiques à long terme, à la recharge et aux effets du pompage à partir de puits situés près des limites.

⁴ https://wwqa.info/knowledge-center/sdg632/SDG632_Technical Guidance Document No1 Monitoring Programme Design_fr

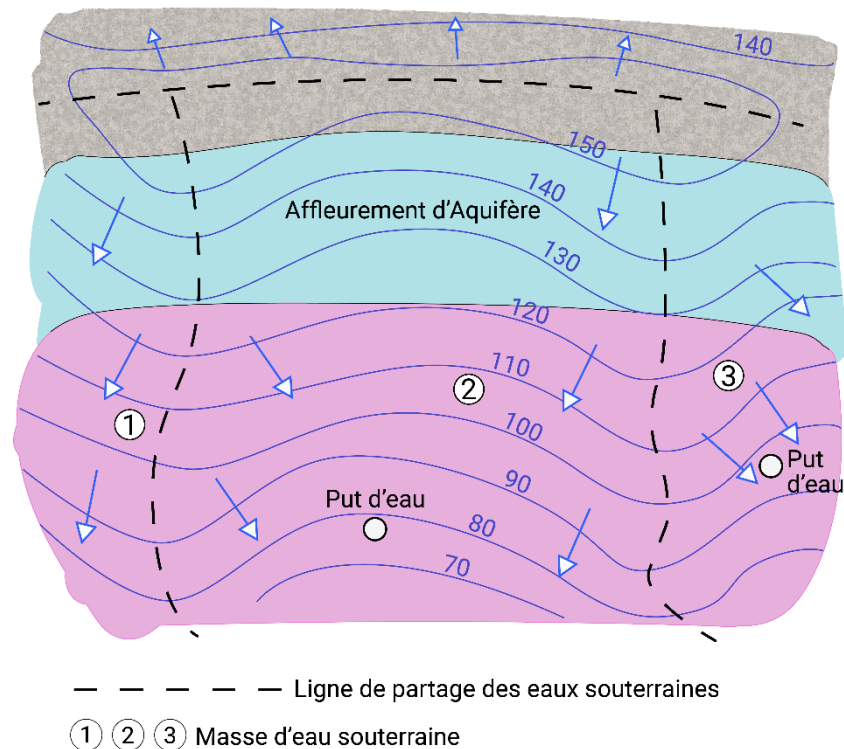


Figure 3. Masses d'eau souterraines définies par des lignes de partage des eaux souterraines

- Si de telles données ne sont pas disponibles, les limites pourraient être basées sur les bassins versants de surface, qui, dans de nombreux cas, sont étroitement suivis par les lignes de partage des eaux souterraines. La figure 4 montre deux masses d'eau souterraines définies de cette manière.

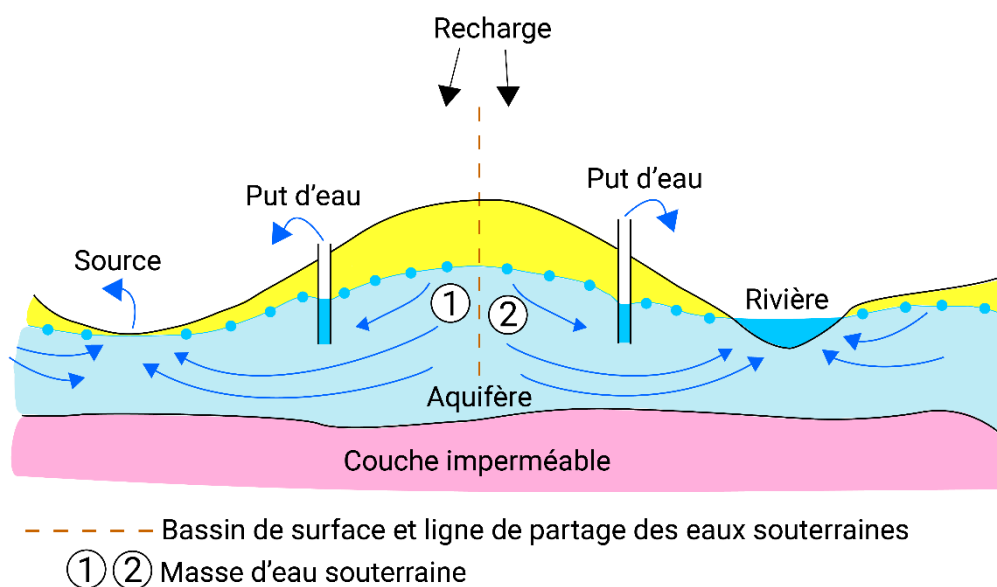


Figure 4. Masses d'eau souterraines définies par les bassins versants de surface et les lignes de partage des eaux souterraines

- Lorsque des failles géologiques majeures amènent des matériaux imperméables contre un aquifère, limitant ainsi l'écoulement des eaux souterraines, cela peut également constituer une limite appropriée. Sur la figure 2, l'aquifère non confiné supérieur est divisé en deux masses d'eau souterraines (dont l'une est assez petite) par une grande faille. Dans l'aquifère confiné sous-jacent, le déplacement de la faille n'est pas suffisant pour entraver l'écoulement des eaux souterraines.



- Dans le cas d'aquifères relativement petits et peu profonds, formés de sédiments alluviaux ou glacio-fluviaux et recouvrant un substrat rocheux moins perméable, l'aquifère tout entier peut constituer une masse d'eau souterraine.

La complexité des aquifères, leur dimension verticale en termes de variation de qualité et la lenteur de leur mouvement font que même des masses d'eau souterraines relativement petites ont peu de chances d'être correctement représentées par un seul point de surveillance, voire par un petit nombre de points.

Les pays arides et semi-arides se caractérisent souvent par des aquifères étendus mais peu ou pas d'eaux de surface, de sorte qu'il n'existe pratiquement aucune limite de bassin versant pour la définition des bassins hydrographiques ou des masses d'eau souterraines. De plus, ces aquifères sont souvent profonds, épais, de faible inclinaison avec de faibles gradients d'eau souterraine, et avec des temps de séjour de l'eau souterraine mesurés en siècles plutôt qu'en décennies. Souvent, ils ne bénéficient pas d'une recharge significative des eaux souterraines dans les conditions climatiques actuelles. Ces ressources en eaux souterraines dites « fossiles » ou non renouvelables sont souvent fortement exploitées, ce qui pose des défis considérables en matière de gestion de la quantité d'eau. Elles sont toutefois bien protégées contre les éventuels impacts sur la qualité liés aux activités à la surface du sol, et la qualité des eaux souterraines ne changera que très lentement. Il convient donc d'utiliser des unités de rapport basées sur les aquifères pour l'indicateur 6.3.2 des ODD dans ces contextes, qui constituent peut-être l'un des rares exemples de masses d'eau souterraines pouvant être caractérisées par un petit nombre de points d'échantillonnage.

Une mise en garde s'impose toutefois. Au sein de ces régions arides, on trouve également des aquifères de sable et de gravier beaucoup plus petits et moins profonds, souvent associés à des lits de rivières asséchés, des oueds et des oasis. Ces aquifères peuvent revêtir une grande importance pour les communautés locales en matière d'approvisionnement en eau et d'agriculture irriguée intensive, ce qui peut avoir des répercussions significatives sur la quantité et la qualité de leurs eaux souterraines. Chacun d'entre eux peut constituer une masse d'eau souterraine distincte, sans lien avec la suivante, et nécessitera une surveillance plus fréquente, adaptée aux pressions locales et aux réactions plus rapides de ces systèmes d'eaux souterraines peu profonds.

Les aquifères, et donc potentiellement les masses d'eau souterraines, peuvent traverser des frontières internationales. Un aquifère peut être alimenté dans un pays et se déverser dans un pays voisin. Là encore, des modèles conceptuels des eaux souterraines peuvent aider à déterminer si cela est susceptible de se produire (Lipponen & Chilton, 2018) et, le cas échéant, un échange transfrontalier d'informations et une collaboration en matière de surveillance peuvent s'avérer nécessaires.

SÉLECTION DES POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES

S'il existe un grand nombre d'options d'échantillonnage, l'emplacement général des points de surveillance doit être choisi de manière à refléter autant que possible l'ensemble de la masse d'eau souterraine, en particulier le système d'écoulement des eaux souterraines « source – voie – récepteur » décrit ci-dessus. En outre, le réseau devra peut-être tenir compte de la répartition de la population et de l'utilisation des sols, avec une plus grande densité de points de surveillance là où les pressions agricoles, urbaines et industrielles sont les plus fortes. Le choix devra peut-être également tenir compte de facteurs très localisés autour du point de surveillance qui pourraient influencer la qualité des eaux souterraines et la fiabilité de l'échantillonnage. Tout point de surveillance gravement compromis de cette manière ne devrait pas être utilisé.

Le choix du type de point d'échantillonnage influe également sur la fiabilité et la représentativité. Les échantillons d'eaux souterraines peuvent être prélevés dans des puits existants alimentant des usages domestiques, municipaux, d'irrigation ou industriels, dans des sources ou dans des puits de surveillance spécialement construits à cet effet. Chacun présente des avantages et des inconvénients (tableau 1) en termes de praticité, de coût et d'aspects techniques. Ceux-ci doivent également être compris dans le contexte de la configuration hydrogéologique locale.



Tableau 1 Caractéristiques des points d'échantillonnage potentiels des eaux souterraines

Point de prélèvement	Avantages	Inconvénients
Puits d'approvisionnement municipal	- peu coûteux et facile à échantillonner - prélèvements répétés, visites régulières - débit élevé, représentatif de la qualité de l'aquifère - pompes généralement en service - peut disposer de séries chronologiques existantes	- construction et source d'échantillonnage potentiellement incertaines, mélange d'eau provenant de plusieurs profondeurs - délai potentiellement long après la survenue de la pollution - emplacements déterminés par la répartition de la population, ce qui fausse la couverture spatiale - la municipalité/la compagnie des eaux peut refuser l'échantillonnage
Puits d'irrigation	comme les trois premiers ci-dessus, mais moins susceptible de disposer de séries chronologiques existantes	- comme les deux premiers ci-dessus, mais moins susceptible de disposer de données de construction - couverture spatiale biaisée vers les zones agricoles - peut fonctionner uniquement de manière saisonnière
Puits industriel	comme pour le puits d'irrigation ci-dessus	Comme pour le puits municipal, mais moins susceptible de disposer de données de construction
Puits domestique	- peu coûteux et facile à échantillonner - prélèvements répétés, visites régulières	- débit faible et intermittent, en particulier avec une pompe manuelle - peut nécessiter une purge pour éliminer l'eau stagnante à l'intérieur du puits - peut être en panne et ne pas pomper - peut être peu profond et moins représentatif de l'aquifère - vulnérable à une pollution très localisée
Forage de surveillance peu profond	- peut fournir une alerte précoce en cas d'arrivée de polluants dans la nappe phréatique - échantillonnage répété et régulier - la construction est susceptible d'être entièrement connue - des matériaux inertes peuvent être utilisés	- coûts de construction modérés - nécessite une pompe pour prélever l'échantillon - il faut veiller à éliminer l'eau stagnante - peu représentatif de l'aquifère
Piezomètres à plusieurs niveaux	- la construction doit être parfaitement maîtrisée - des matériaux inertes peuvent être utilisés - alerte précoce en cas de pollution au niveau de la nappe phréatique - peut indiquer une stratification verticale de la qualité des eaux souterraines - peuvent indiquer des différences de charge verticale et des mouvements ascendants ou descendants de l'eau	- coûts de construction élevés - nécessite un entrepreneur spécialisé et des matériaux spécifiques - peut être difficile à installer correctement avec une bonne étanchéité entre les intervalles d'échantillonnage - nécessite des dispositifs de prélèvement spéciaux et un opérateur qualifié
Sources	peu coûteux et facile à échantillonner	- vulnérables aux sources de pollution locales - peuvent être sensibles aux précipitations directes



	• Échantillonnage répété et visites régulières • les grandes sources peuvent être représentatives de masses d'eau souterraines importantes • les sources utilisées pour l'approvisionnement public peuvent disposer de séries chronologiques existantes	• les petites sources peuvent représenter un écoulement superficiel
--	---	---

De nombreux programmes nationaux de surveillance de la qualité des eaux souterraines s'appuient entièrement, ou presque, sur les puits d'approvisionnement existants en raison du faible coût et de la facilité d'échantillonnage, ainsi que de l'accessibilité générale permettant des visites régulières, à condition que l'organisme de surveillance ait conclu un accord avec l'exploitant du puits. Comme ces puits sont exploités fréquemment, voire de manière plus ou moins continue, l'eau prélevée est susceptible d'être représentative de celle de l'aquifère (tableau 1). Souvent, le principal inconvénient de ces puits est qu'il n'existe que peu ou pas d'informations disponibles sur leur profondeur, les intervalles de filtrage et les pompes, les niveaux d'eau, les matériaux de construction, ainsi que les débits et les durées de pompage. Ce manque de métadonnées peut entraver l'interprétation et la communication des résultats de la surveillance : certains puits peuvent puiser des eaux souterraines peu profondes et polluées provenant de la partie supérieure d'un aquifère, d'autres des sections plus profondes moins polluées, voire de différents aquifères dans une séquence stratifiée. Dans la mesure du possible, les puits de surveillance devraient être sélectionnés parmi ceux pour lesquels des données de construction sont disponibles.

Une combinaison de puits municipaux, industriels et d'irrigation peut offrir une couverture adéquate des zones urbaines et agricoles. Lorsqu'il y a peu ou pas de développement industriel ou d'irrigation, l'échantillonnage dans les zones rurales à partir de puits domestiques peut être la seule autre option. Le choix de petites pompes motorisées dans les écoles ou les dispensaires peut offrir un accès régulier plus fiable et des échantillons plus représentatifs que les puits communautaires équipés de pompes manuelles.

Les sources sont souvent sous-estimées en tant qu'option pour la surveillance de la qualité des eaux souterraines ; elles sont peu coûteuses et faciles à échantillonner sans l'instabilité liée à la remontée des eaux souterraines à la surface, et elles sont généralement accessibles pour des visites régulières. Les grandes sources peuvent être représentatives de masses d'eau souterraines importantes et présenter des débits fiables même pendant la saison sèche. Les petites suintements avec des voies d'écoulement courtes et peu profondes sont beaucoup moins durables et très vulnérables à la pollution locale, et doivent être évités. Dans certaines zones karstiques calcaires, le mouvement des eaux souterraines peut être largement limité aux fractures et aux conduits reliés aux débits des sources, et les sources peuvent donc constituer la seule option de surveillance réaliste.

Des forages réalisés spécifiquement à des fins d'observation sont utilisés dans certains programmes nationaux pour améliorer la couverture du réseau là où il n'existe pas de puits de pompage, et pour fournir une alerte précoce en cas de pollution atteignant la nappe phréatique avant qu'elle n'affecte les puits d'approvisionnement plus profonds. Cependant, leur utilisation nécessite des ressources financières et techniques considérables pour la construction et les pompes d'échantillonnage, ainsi qu'une expertise en matière d'échantillonnage, notamment pour la purge de l'eau stagnante (Misstear *et al.*, 2017). Ces forages sont largement utilisés pour surveiller les conditions locales des eaux souterraines autour de sources de pollution telles que les décharges. Les installations spécifiques à la profondeur, notamment les piézomètres emboîtés et les dispositifs d'échantillonnage à plusieurs niveaux, sont rarement utilisés dans la surveillance à grande échelle de la qualité de l'eau ambiante en raison de leur coût et de la complexité de leur installation et de l'échantillonnage, qui nécessitent respectivement des entrepreneurs en forage et des techniciens d'échantillonnage hautement qualifiés. Leur utilisation est largement limitée à la surveillance des principales sources de pollution, telles que les décharges ou les panaches industriels, où une dimension de profondeur bien caractérisée dans l'évaluation de la qualité est essentielle pour observer la croissance et la propagation du panache ou pour évaluer l'impact de mesures correctives coûteuses.



Comme pour les eaux de surface, la fréquence d'échantillonnage des eaux souterraines doit tenir compte des conditions hydrologiques et hydrogéologiques et de leur influence sur les taux de variation probables de la qualité des eaux souterraines. Les données historiques ou une étude préliminaire fournissent des informations pertinentes. Du point de vue de la conception de la surveillance, il est essentiel de savoir si les aquifères sont composés de matériaux non consolidés, tels que le sable et le gravier dans les formations alluviales, ou s'il s'agit de formations consolidées, telles que le grès et le calcaire. Dans le premier cas, les eaux souterraines s'écoulent lentement entre les grains, tandis que dans le second, elles peuvent s'écouler beaucoup plus rapidement dans les fractures.

Ainsi, la fréquence minimale absolue pour l'échantillonnage des eaux souterraines devrait être d'une fois par an, mais en tenant compte des considérations suivantes pour adapter le régime d'échantillonnage si nécessaire. Des fréquences plus élevées, d'au moins deux fois par an, sont nécessaires pour les eaux souterraines peu profondes qui sont sensibles aux influences saisonnières liées aux précipitations, à la recharge, au pompage et à l'irrigation, ainsi que pour celles qui sont sensibles aux impacts urbains. Les échantillons doivent être prélevés avant et après la saison des pluies et/ou aux moments où les niveaux des eaux souterraines sont élevés ou bas, en tenant particulièrement compte des groupes de paramètres les plus sensibles à ces influences (tableau 2) et en fournissant la base pour les rapports de niveau 1. Des fréquences plus élevées, d'au moins quatre fois par an, sont nécessaires pour les calcaires karstiques. Les aquifères calcaires côtiers et insulaires peu profonds sont particulièrement sensibles aux changements de qualité plus rapides car ils sont souvent densément peuplés et leur régime hydrologique est fortement modifié par le captage, ce qui provoque ou risque de provoquer une intrusion saline. L'intervalle d'échantillonnage minimal d'une fois par an peut être maintenu pour les aquifères confinés (figure 2) et pour ceux contenant des eaux souterraines très anciennes qui ne bénéficient pas actuellement d'une recharge active. Dans ces deux cas, les changements de qualité sont susceptibles d'être très lents. Les groupes de paramètres pour le rapport sur l'indicateur 6.3.2 ne devraient pas varier beaucoup et d'autres indicateurs d'impacts humains spécifiques (tableau 2) ne devraient pas être détectés. Ce cadre pour la définition des fréquences d' s de surveillance devrait être l'objectif d'un réseau de surveillance des eaux souterraines nouveau ou amélioré, bien qu'il soit reconnu que les ressources ne le permettent peut-être pas immédiatement.

OPÉRATIONS SUR LE TERRAIN POUR LES EAUX SOUTERRAINES

De nombreux aspects des opérations sur le terrain pour les eaux souterraines sont identiques à ceux des eaux de surface, y compris les considérations de santé et de sécurité. Le travail sur le terrain doit également suivre une procédure opérationnelle standard (Document d'orientation 1) afin de garantir la cohérence et la fiabilité. Les dispositions en matière d'assurance qualité (AQ) et de contrôle qualité (CQ) sont tout aussi importantes pour les eaux souterraines et s'appliquent à toutes les étapes du programme de surveillance (Figure 1). Les notes de terrain sont utiles pour étayer l'interprétation et l'établissement des rapports, et doivent inclure le débit estimé et la durée de fonctionnement de la pompe, ainsi que des observations sur les conditions autour du point d'échantillonnage des eaux souterraines, telles que tout signe d'impacts de pollution très localisés.

La qualité des eaux souterraines peut être influencée par les conditions hydrologiques et les variations saisonnières des niveaux et des débits des eaux souterraines. Bien qu'il puisse être difficile, voire impossible, d'accéder au puits pour mesurer le niveau des eaux souterraines, qui sera de toute façon perturbé par le pompage, la connaissance des variations locales du niveau et du niveau probable non perturbé au moment de l'échantillonnage fournit un contexte précieux pour les données sur la qualité de l'eau. L'exploitant du puits peut être en mesure de fournir ces informations. Lorsque des échantillons sont prélevés dans des sources, le débit doit être estimé ; des débits très élevés après de fortes précipitations peuvent être dilués par le ruissellement local et la qualité ne serait pas nécessairement représentative de celle de l'aquifère.

Pour s'assurer que l'échantillon est représentatif de l'eau de l'aquifère, il doit être prélevé à un robinet d'échantillonnage situé sur la conduite de refoulement, aussi près que possible de la tête de pompe, plutôt qu'à partir d'un réservoir ou d'un robinet du réseau de distribution d'eau. Le fait de faire remonter l'eau souterraine de la profondeur vers les conditions de pression, de température et d'oxygène différentes à la surface peut en altérer les caractéristiques, ce qui justifie la mesure des paramètres instables sur place. En cas de débits faibles ou intermittents, la colonne d'eau stagnante dans le puits doit être éliminée à l'aide de la pompe avant de prélever l'échantillon ; il existe des recommandations sur l'estimation du volume à éliminer pour s'assurer de prélever de l'eau provenant de l'aquifère.



plutôt que du puits (ASTM, 2006). Cela peut également être vérifié en surveillant la température et la conductivité du débit jusqu'à ce qu'une lecture stable corresponde à l'eau de l'aquifère.

GROUPES DE PARAMÈTRES POUR LES EAUX SOUTERRAINES

Afin de garantir la comparabilité mondiale des données communiquées pour l'indicateur 6.3.2, les paramètres de niveau 1 proposés pour les eaux souterraines sont la conductivité électrique, le pH et les nitrates (tableau 2) qui, tout comme la température, doivent être mesurés sur le terrain, au niveau du puits, du forage ou de la source. Ces caractéristiques, simples à mesurer, reflètent les impacts de la salinisation, de l'acidification et de l'enrichissement en nutriments (tableau 2), qui sont pertinents partout, mais elles ne peuvent pas rendre compte de tous les impacts sur la qualité des eaux souterraines, et l'aptitude d'un puits ou d'une source à fournir de l'eau potable ne peut pas être déterminée uniquement sur la base d'une évaluation de niveau 1.

Tableau 2 Groupes de paramètres pour la surveillance de la qualité des eaux souterraines (adapté de l'IAH, 2017)

Paramètres		Commentaires et raison de l'inclusion
Groupe de paramètres de niveau 1 pour les eaux souterraines		
à mesurer périodiquement dans toutes les situations – la fréquence dépendant des caractéristiques d'écoulement du système d'eau souterraine		
EC	conductivité électrique	Mesure de la salinisation et aide à caractériser la masse d'eau
pH	acidité	Mesure de l'acidification et aide à caractériser la masse d'eau souterraine
NO ₃	nitrate	Contaminant omniprésent, stable en conditions oxygénées, préoccupation sanitaire pour la consommation humaine
Température (T) Doit être mesurée et enregistrée en même temps que les autres paramètres,		
Paramètres supplémentaires parmi lesquels ceux destinés aux rapports de niveau 2 pourraient être sélectionnés		
à une fréquence moindre après des changements marqués dans ceux ci-dessus		
Ca, Mg, Na, K	Cations majeurs	Permettront d'évaluer les processus hydrogéologiques et de détecter et diagnostiquer des changements temporels significatifs. Le chlorure peut être un indicateur sensible d'une série d'impacts agricoles, urbains et industriels
Cl, HCO ₃ SO ₄	anions majeurs	
TDS	total des solides dissous	EC utilisé au niveau 1 comme indicateur de substitution
Surveillance microbiologique des sources d'eau potable		
sources désignées comme à risque par l'inspection sanitaire		
FC	coliformes fécaux	Une certaine surveillance est nécessaire pour les sources utilisées régulièrement sans désinfection, mais en raison de la forte variabilité temporelle et des difficultés d'échantillonnage, celle-ci doit être combinée à d'autres approches, notamment l'inspection sanitaire, afin d'évaluer la vulnérabilité à la pollution microbienne
FS	streptocoques fécaux	
E. coli	Escherichia coli	
Paramètres supplémentaires		
nécessaires dans des contextes hydrogéologiques spécifiques pour lesquels ils pourraient être rapportés au niveau 2		



F	fluor	Essentiels dans certaines conditions hydrogéologiques en tant qu'indicateurs des variations de la qualité naturelle des eaux souterraines qui affectent la santé humaine
As	arsenic soluble	
U	Uranium soluble	
NH₄	ammonium	Uniquement dans des conditions fortement anoxiques/réductrices
Fe	fer soluble	
Mn	manganèse soluble	
P	orthophosphate	Uniquement dans les aquifères karstiques soumis à des pressions agricoles intenses
Paramètres supplémentaires indicatifs de pollution lorsque des pressions agricoles, urbaines ou industrielles spécifiques ont été identifiées		
	pesticides spécifiques	Chaque paramètre nécessitera des protocoles d'échantillonnage spécifiques mis en œuvre par du personnel qualifié, ainsi que des analyses à des limites de détection très basses dans des laboratoires dotés d'équipements coûteux et d'un personnel spécialisé
	certaines composés organiques volatils	
	hydrocarbures sélectionnés	
	métaux lourds	
	contaminants émergents	

Parmi les sources de données suggérées pour le niveau 2 (document d'introduction, figure 1), des paramètres chimiques supplémentaires sont susceptibles d'être les indicateurs les plus utiles pour évaluer d'autres pressions sur les eaux souterraines, et également les plus susceptibles d'être disponibles dans le cadre des programmes nationaux de surveillance. Le tableau 2 présente une approche hiérarchique pour la sélection des groupes de paramètres, destinée à éclairer et à soutenir la mise en place de nouveaux programmes de surveillance des eaux souterraines ou le renforcement des programmes existants, et qui peut également être utilisée pour les rapports de niveau 2.

Le choix des autres paramètres à surveiller et à déclarer doit tenir compte des pressions locales et du contexte hydrogéologique (tableau 2). Les ions majeurs sont souvent inclus de manière systématique et peuvent fournir des indications sur l'évolution de la qualité le long du réseau d'écoulement des eaux souterraines, par exemple lorsque l'interaction avec des aquifères carbonatés accroît la minéralisation. La qualité microbienne est incluse dans le tableau 2 pour rappeler qu'il s'agit souvent d'une exigence de surveillance essentielle liée à la consommation humaine, bien que cela ne concerne pas la qualité de l'environnement dans l'indicateur 6.3.2 des ODD. Les pressions exercées sur les eaux souterraines peuvent déjà être apparentes d'après le développement agricole, urbain ou industriel établi et les programmes de surveillance existants, ou peuvent être identifiées lors d'études préliminaires. Cela signifie qu'il n'existe pas de réponse « correcte » unique et universelle en matière de choix des paramètres de surveillance, mais le tableau 2 peut fournir un cadre approprié. Le praticien doit noter que le prélèvement d'échantillons d'eaux souterraines peut nécessiter des conteneurs spéciaux ou des procédures de terrain ; par exemple, les échantillons destinés aux analyses de cations et d'oligo-éléments doivent être filtrés et acidifiés, puis conservés dans des conteneurs appropriés qui n'altèrent pas la qualité de l'échantillon (Mistear *et al.*, 2017).

Les variations naturelles de la qualité des eaux souterraines d'origine géologique peuvent être nocives pour la santé humaine, principalement l'arsenic et le fluorure (tableau 2). Les impacts sur la santé peuvent déjà être apparents et des mesures d'atténuation, telles que l'élimination de l'arsenic et du fluorure des eaux souterraines captées, peuvent être mises en œuvre. La surveillance des eaux souterraines doit être maintenue afin de déterminer s'il existe des tendances en matière de qualité, en gardant à l'esprit que le captage des eaux souterraines peut modifier les conditions souterraines et favoriser la mobilisation de ces contaminants. Lorsqu'il n'existe pas encore de surveillance dans les



contextes hydrogéologiques où ces paramètres sont les plus susceptibles de poser problème, tels que les grands bassins alluviaux pour l'arsenic et les zones volcaniques, les vallées de rift et certaines zones de socle cristallin pour le fluorure, celle-ci doit être mise en place.

DÉFINITION D'OBJECTIFS POUR LES EAUX SOUTERRAINES

La qualité ambiante des eaux souterraines peut varier considérablement d'un aquifère à l'autre, en fonction des conditions hydrologiques et hydrogéologiques. Les aquifères des régions humides et tempérées sont susceptibles de présenter une minéralisation globale faible, indiquée par de faibles valeurs de conductivité électrique (CE) ambiantes, tandis que ceux des terrains plus arides, où la recharge est moindre, peuvent présenter des valeurs de CE jusqu'à quatre ou cinq fois plus élevées. Les longs parcours d'écoulement dans les aquifères profonds auront également tendance à produire une minéralisation élevée et des valeurs de conductivité électrique plus élevées. Il faut donc s'attendre à une fourchette de valeurs de référence pour l'état ambiant, où des valeurs de conductivité électrique plus élevées ne représentent pas nécessairement une pollution des ressources en eaux souterraines.

L'utilisation des valeurs de référence existantes pour évaluer la qualité ambiante des eaux souterraines dans le cadre de l'indicateur 6.3.2 des ODD n'est pas toujours appropriée. L'approche pour fixer des cibles consiste à déterminer des valeurs dérivées de la qualité de fond ou de référence des eaux souterraines pertinente au niveau local. Cela implique que, au moins pour la conductivité électrique (CE), les cibles fixées pour les aquifères ou les masses d'eau souterraines peuvent être préférables aux cibles nationales. En revanche, comme la surveillance et la déclaration des nitrates sont liées aux impacts potentiels sur la santé humaine, les cibles nationales sont susceptibles d'être appropriées.

RÉSUMÉ

Le présent document fournit des orientations techniques spécifiques sur la surveillance de la qualité ambiante des eaux souterraines dans le contexte de l'indicateur 6.3.2 des ODD. Les défis particuliers liés à la surveillance des eaux souterraines y sont expliqués. Les aquifères doivent être identifiés et les masses d'eau souterraines définies à l'aide de modèles hydrogéologiques conceptuels simples basés sur les données disponibles. Les avantages et les inconvénients de l'utilisation de puits d'approvisionnement existants, de nouveaux puits de surveillance ou de sources pour l'échantillonnage des eaux souterraines y sont examinés. Un cadre proposé de groupes de paramètres pour la surveillance des eaux souterraines peut être utilisé pour identifier des groupes de paramètres potentiels de niveau 2 et pour soutenir la mise en place ou l'amélioration de la surveillance nationale de la qualité des eaux souterraines.

RÉFÉRENCES

- ASTM, 2006. Standard Guide to Purging Methods for Wells Used for Ground-Water Quality Investigations, ASTM Standard D 6452, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Chapman, D.V., Meybeck, M. and Peters, N.E., 2005. Water Quality Monitoring. In: Anderson, M.G. [Ed.] *Encyclopaedia of Hydrological Sciences*. John Wiley & Sons
- Chilton P. J, 1996. Chapter 9: Groundwater. In Chapman, D. [Ed.] *Water Quality Assessments – A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. Second Edition Published by E&FN Spon on behalf of United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization and United Nations Environment Programme. Available at: https://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wqachapter9.pdf
- EC, 2004 Groundwater body characterisation. Technical Report No 2. Available at: <https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/groundwater/activities.htm>
- IAH, 2017 The UN-SDGs for 2030: Essential indicators for groundwater. Available at: <https://iah.org/education/professionals/strategic-overview-series>
- Lipponen A. & Chilton P. J., 2018. Development of cooperation on managing transboundary groundwaters in the pan-European region: The role of international frameworks and joint assessments. *Journal of Hydrology Regional Studies*; 20: 145-157.



Missteart B. D. R., Banks D. & Clark L., 2017. Water wells and boreholes, 2nd edition. J Wiley & Sons, UK.

UNECE, 2000 Guidelines on monitoring and assessment of transboundary groundwaters. UNECE, Geneva.