

MODULE



LES RISQUES LIÉS À L'EAU SOUTERRAINE





MODULE 8

Les risques liés à l'eau souterraine

8.1	Introduction	4
8.2	Quantité de l'eau souterraine : la surexploitation	5
8.3	Qualité des eaux souterraines: la pollution	8
8.4	Évaluation de la pollution des eaux souterraines, la vulnérabilité des aquifères et la surexploitation	11
8.5	Protection des eaux souterraines	14
8.6	Résumé	16
8.7	References	18
8.8	Exercices	19

Mentions légales

© Droit d'auteur 2015, tous droits réservés

L'utilisation du manuel est gratuite. Les utilisateurs doivent toutefois faire référence à la source, comme suit: «L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique - un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC». Les modifications ne sont autorisées qu'avec l'accord de AGW-Net. Les droits d'auteur des photos sont détenus par leurs propriétaires respectifs

A4A – Aqua for All

AGW-Net – Le Réseau Eaux Souterraines en Afrique

RAOB – Réseau Africain des Organismes de Bassin

BGR – Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles

UNDP-Cap-Net

BMZ – Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement

GWP – Partenariat Mondial de l'Eau

igrac – Centre International pour l'Évaluation des Ressources en Eau Souterraine

imawesa – Improved Management of Agricultural Water in Eastern and Southern Africa
(Gestion améliorée de l'eau agricole en Afrique Australe et de l'Est)

IWMI – L'Institut International de Gestion de l'Eau

Equipe de rédaction: Vanessa Vaessen, Ramon Brentführer – BGR

Mise en page: ff.mediengestaltung GmbH, Hannover, Allemagne

Photo: BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe





LES RISQUES LIÉS À L'EAU SOUTERRAINE

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

Évaluer le risque de pollution des eaux souterraines et la dépréciation de la quantité

Protéger les eaux souterraines contre la pollution et la surexploitation

8.1 Introduction

Dans les conditions naturelles, l'eau souterraine est généralement potable et ne nécessite quasiment pas de traitement avant la distribution et l'utilisation. La bonne qualité de l'eau est le résultat de la protection des sols et des roches dans la zone non saturée au dessus de la nappe phréatique. Ils filtrent les bactéries et protègent les eaux souterraines des contaminants en surface. Mais l'entrée massive de polluants générés par l'agriculture moderne, l'industrie et le manque d'installations d'assainissement peut dépasser la capacité de la zone non saturée à filtrer les contaminants et protéger les eaux souterraines. Une fois la nappe souterraine est polluée, la décontamination est une tâche très coûteuse et de longue durée. En raison du très long décalage qui pourrait avoir lieu avant qu'un impact de la pollution sur la ressource soit perceptible, la bonne gestion des aquifères, avec des activités de prévention de la pollution, sont d'une grande importance.

Dans le cas des aquifères transfrontaliers, l'utilisation durable des eaux souterraines est souvent entravée par le manque de mécanismes juridiques et institutionnels, d'où un manque de gestion commune de ces aquifères. Pour activer la coopération entre les pays voisins, des mécanismes juridiques et institutionnels nécessaires ainsi que des capacités au niveau national, doivent d'abord être mis en place. L'élaboration et la mise en œuvre d'instruments juridiques appropriés et des outils de gestion pour la protection des ressources du Bassin, constituent encore quelques-uns des aspects difficiles concernant la gestion des aquifères transfrontaliers. Les premières étapes à suivre sont l'identification de ces aquifères et la formulation d'instruments appropriés pour renforcer la coopération pour la gestion durable et intégrée de ces ressources, et leur utilisation pour en tirer les avantages socio-économiques.

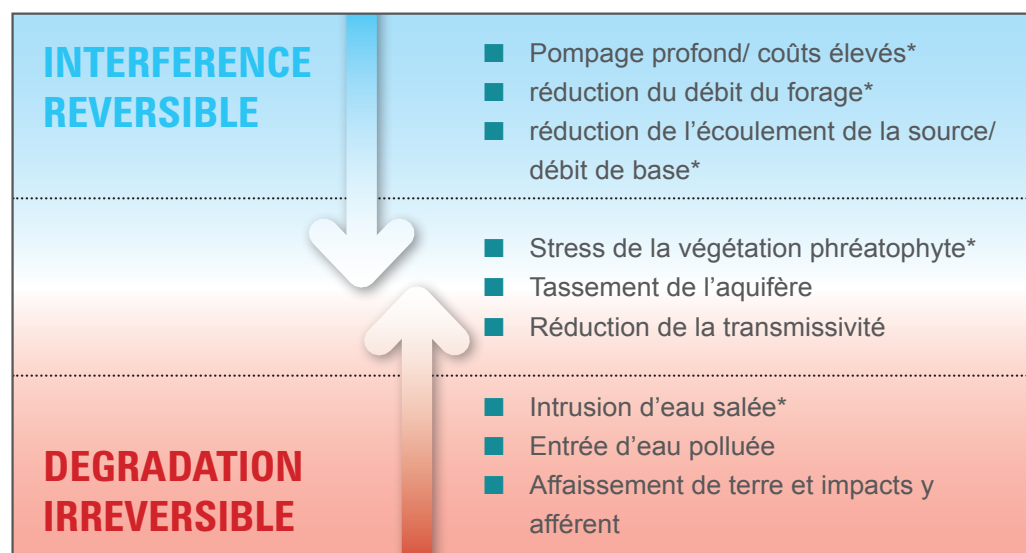
Ce module examine les aspects de la quantité et la qualité des nappes d'eau souterraine, et identifie les options de gestion de l'eau afin de préserver et protéger les ressources en eau souterraine.



8.2 Quantité de l'eau souterraine : la surexploitation

La croissance élevée de la population a pour conséquence un besoin accru en eau pour la production agricole et le développement industriel, qui, à terme conduit à plus de pompage des eaux souterraines à l'échelle mondiale (PNUE, 2003; FAO, 2003; Burke et Moench, 2000). Un pompage en hausse peut conduire à la baisse extrême des niveaux des nappes d'eau. Les impacts de la surexploitation des eaux souterraines sont nombreuses et souvent irréversibles (Figure 8.1). Les impacts directs sont :

1. La baisse des niveaux / pressions de l'eau souterraine;
2. La réduction de la décharge des nappes au profit des sources, du débit de base des cours d'eau et des écosystèmes aquatiques;
3. La détérioration de la qualité des eaux souterraines (salinisation) à la suite de l'intrusion d'eau de mer dans les aquifères côtiers et le soulèvement de l'interface eau douce / eau salée (up-coning) de nappe salée profonde;
4. L'affaissement de la surface terrestre ;



* l'importance des impacts varie considérablement en fonction de la sensibilité de l'aquifère au pompage intensif - et certains impacts commencent bien avant le niveau où le volume total des prélèvements dépasse celui de la recharge à long terme de l'aquifère

Figure 8.1: Conséquences de prélèvements excessifs des eaux souterraines. Source: GW-Mate

Impacts de la surexploitation des eaux souterraines

Théoriquement, la surexploitation des aquifères est atteinte lorsque le taux de prélèvement dépasse celui de la recharge à long terme. En pratique cependant, la surexploitation est toujours beaucoup plus liée aux conséquences des prélèvements intensifs des nappes (figure 8.1), qu'au niveau absolu de ces dernières. Ainsi, la définition la plus appropriée pour la surexploitation est probablement qu'elle est atteinte lorsque les coûts globaux des impacts négatifs de l'exploitation des eaux souterraines dépassent les bénéfices nets de leur utilisation, bien que ces effets ne soient pas toujours faciles à prévoir et / ou à quantifier en terme monétaire. Il est également important de souligner que certains de ces effets négatifs peuvent survenir bien avant que le taux de prélèvement des eaux souterraines ne dépasse la recharge moyenne à long terme. Par conséquent, la façon dont la surexploitation est interprétée varie avec le type de système aquifère concerné, les questions essentielles étant le volume de stockage exploitable et la sensibilité des aquifères aux effets secondaires irréversibles lors d'exploitation intensive à court terme.

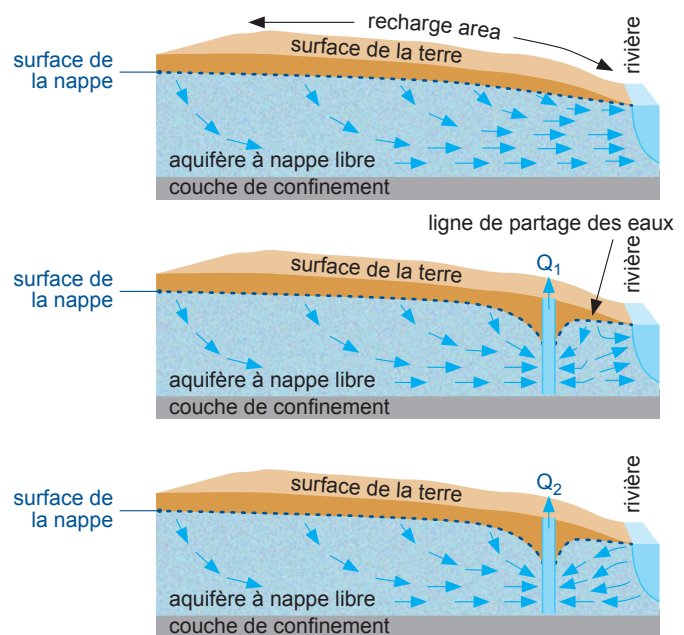


Abaissement des niveaux / pressions de l'eau souterraine

L'abaissement de la nappe d'eau est un processus relativement lent. Contrairement à l'eau de surface, la nappe d'eau souterraine ne s'abaisse pas simultanément dans l'ensemble de l'aquifère, mais dans les environs immédiats du forage. Le temps d'écoulement de l'eau souterraine est beaucoup plus faible que celui de l'eau de surface, en raison de son mouvement à travers les pores et les fissures. Lorsque les forages pompent l'eau de ces aquifères, le niveau de la nappe près des forages/puits baisse sous la forme d'un cône de dépression. Dans ce cône de dépression, l'eau souterraine s'écoule vers le forage. Si deux cônes de dépression se chevauchent, il y a interférence entre les forages, et le volume d'eau disponible pour chaque forage se réduit. L'interférence des forages peut être un problème quand de nombreux forages sont en concurrence pour l'eau de la même nappe, en particulier à la même profondeur.

Un pompage de longue durée à des taux élevés pourrait causer une baisse irréversible des nappes d'eau, réduisant la décharge vers les plans d'eau de surface (Figure 8.2).

Figure 8.2 : Un pompage continu à des taux élevés abaisse le niveau de la nappe, réduisant la décharge de l'aquifère vers la rivière (au milieu). Il peut aussi conduire à une inversion du sens d'écoulement avec l'eau de la rivière qui atteint le forage. Source: US Geological Survey, modifié



Les cônes de dépression apparaissent uniquement dans les aquifères libres, qui sont des aquifères qui ont une connexion hydraulique directe avec l'atmosphère. Dans le cas d'aquifères captifs, c'est la pression de l'aquifère qui diminue sous la forme d'un cône, plutôt que le niveau de l'eau.

Dans le cas d'aquifères transfrontaliers, le problème de l'épuisement des eaux souterraines s'applique principalement aux systèmes aquifères profonds, qui sont la plupart du temps captifs. Il s'agit d'un problème majeur parce que généralement ces aquifères ne reçoivent que peu ou pas de recharge, par exemple, en Afrique du Nord et au Moyen-Orient. Les prélèvements élevés, nécessaires pour l'irrigation, sur de longues périodes de temps conduisent à la baisse définitive des niveaux d'eau souterraine. Ce problème peut être observé de façon impressionnante dans le désert



de l'Arabie Saoudite. Des images satellitaires Landsat montrent une augmentation de la superficie agricole de 1987 à 2012 (figure 8.3). En raison de l'absence de recharge, l'augmentation de l'irrigation a provoqué la chute du niveau de la nappe (FAO, 2009). Sur le long terme, cela va aussi affecter les ressources en eau souterraine dans les pays voisins, comme la Jordanie. Récemment la Jordanie a également commencé à pomper le même aquifère pour fournir de l'eau à la ville d'Amman, et cela exacerbe la situation.

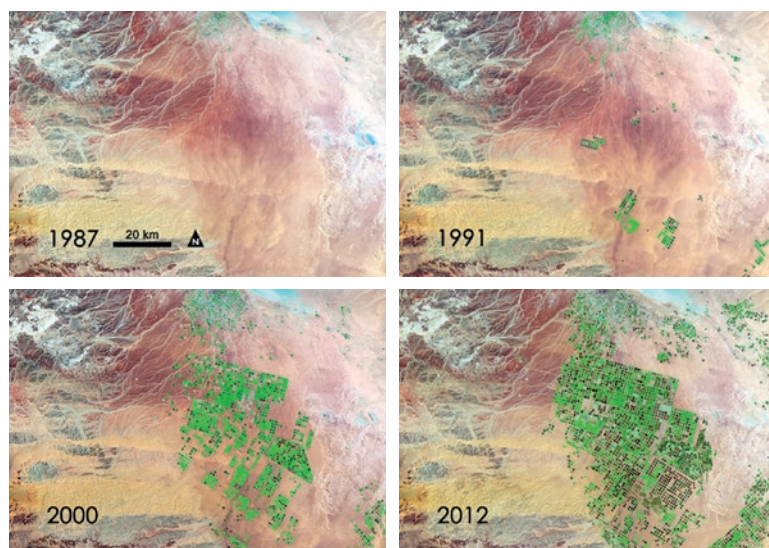


Figure 8.3: L'étendue de la zone agricole dans le désert de l'Arabie Saoudite à la frontière de la Jordanie de 1987 à 2012. Les points verts sont les zones irriguées utilisant les eaux souterraines. Source: USGS

Réduction de la décharge de la nappe vers les sources, le débit de base des cours d'eau et des écosystèmes aquatiques

Les systèmes d'eau de surface et souterraine interagissent souvent étroitement (voir module 3 «caractérisation des aquifères»). Les eaux souterraines fournissent le débit de base de la rivière, même dans les périodes de sécheresse et fournit aux écosystèmes l'eau douce (module 3). Lorsque l'eau souterraine est pompée de façon excessive, les décharges de surface comme les sources, les débits de base et les émergences ont tendance à tarir, parfois de façon permanente, dégradant les écosystèmes tributaires des eaux souterraines et réduisant ainsi l'eau souterraine pour les communautés d'utilisateurs.

L'affaissement du sol

La subsidence est encore un autre effet particulièrement répandu du pompage excessif, avec quelques exemples notables dans un certain nombre de grandes villes en Chine, au Japon, au Mexique et aux États-Unis (figure 8.4). L'affaissement du sol se produit lorsque des quantités excessives d'eau souterraine ont été retirées d'un aquifère poreux. En conséquence, les matériaux aquifères poreux se compactent et s'affaissent, ce qui entraîne un abaissement de la surface du sol dans la zone (www.sjra.net). L'affaissement du sol peut entraîner de nombreux problèmes tels que : les changements de l'élévation de la surface du sol ; des dommages à des structures telles que les canalisations d'eau pluviale et d'eau usées, routes, chemins de fer, canaux, digues et ponts; des dommages structurels aux bâtiments publics et privés; et des dommages aux forages. Le plus souvent, cependant, l'affaissement augmente le risque d'inondation.



Figure 8.4: Affaissement de terrain dans la vallée de San Joaquin, en Californie, USA. Source: www.sjra.net



La salinisation

Le sur-pompage des aquifères d'eau douce dans les zones côtières peut provoquer l'intrusion d'eau saline dans les zones d'eau douce des aquifères. Cela se produit par le soulèvement de l'eau salée et le mélange avec de l'eau douce, donnant lieu à une salinisation irréversible de l'aquifère (voir section 8.3 et figure 8.7). Il s'agit d'un problème majeur pour un grand nombre de villes côtières dans le monde entier.

8.3 Qualité des eaux souterraines: la pollution

Lorsque l'on considère la qualité des eaux souterraines et leur dégradation, il faut faire la différence entre la contamination naturelle et anthropique. Dans la plupart des cas l'eau souterraine est naturellement potable, et ne nécessite pas de traitement. Il y a quelques exceptions à travers le monde, où l'eau souterraine naturelle a des concentrations de divers matériaux solubles à des niveaux qui sont nocifs pour la santé humaine, animale ou végétale. Un cas bien connu est la forte concentration en arsenic de la nappe au Bangladesh. La salinisation est aussi un exemple de contamination naturelle, mais elle est très souvent aggravée par les activités humaines. Il semble que dans le contexte africain, la plupart des problèmes de qualité des eaux souterraines sont liés à :

- La baisse de la qualité des eaux souterraines en milieu urbain, en raison d'une combinaison de fuite de latrines / fosses septiques et des rejets d'effluents non contrôlés de l'industrie, des eaux usées et des zones d'enfouissement municipales.
- La salinisation des eaux souterraines due à un excès de prélèvement pour l'irrigation, conduisant à une baisse de qualité des eaux souterraines
- L'intrusion saline en raison de l'abaissement de la nappe par des forages de production d'eau non loin ou dans les zones côtières.

Les risques naturels de qualité des eaux souterraines

Les eaux souterraines se minéralisent à des degrés divers en raison des interactions sol/roche-eau, ce qui conduit à la dissolution de certains minéraux et éléments chimiques. Neuf principaux constituants chimiques (Na, Ca, Mg, K, HCO₃, Cl, SO₄, NO₃, Si) représentent 99% de la teneur en soluté de l'eau souterraine naturelle.

Le degré de dissolution dépend de la longueur de la trajectoire, du temps de séjour, la solubilité des minéraux du sol / roche et la quantité d'eau (douce) de dilution par la recharge. Les réactions de l'eau de pluie dans le profil de sol / roche au cours de l'infiltration fournissent aux eaux souterraines sa composition en minéraux essentiels. L'eau souterraine dans les zones de recharge des régions humides est susceptible d'avoir une minéralisation globale faible, par rapport aux régions arides ou semi-arides où la combinaison de la concentration par évaporation et le mouvement plus lent de l'eau souterraine, peut produire des concentrations beaucoup plus élevées.

Sous certaines conditions et dans certains géo-environnements, des éléments naturellement présents, mais dangereux entrent en solution à des concentrations excessives :

- L'arsenic (As) est un élément de trace qui donne actuellement beaucoup de préoccupations dans les eaux souterraines, car étant à la fois toxique et cancérigène, à de faibles concentrations
- Le fluor (F) est un élément qui est parfois absent, mais à des concentrations excessives, il peut être un problème, surtout dans les climats arides et dans les roches volcaniques et granitiques



- Le manganèse (Mn) et le fer (Fe) sous forme soluble sont très répandus, là où les conditions anaérobies des eaux souterraines se posent. Lorsque l'eau est extraite, le manganèse et le fer s'oxydent, donnant lieu à un goût et / ou à une couleur inacceptable des eaux souterraines. Alors que Fe n'est pas un danger pour la santé, la consommation d'eau à des concentrations élevées de manganèse, pourrait avoir des effets neurologiques sur les êtres humains. L'OMS a fixé la limite supérieure de la concentration de Mn dans les eaux souterraines à 0,4 mg/l

On peut rencontrer diverses autres éléments de trace (y compris notamment Ni, U et Al) dans les conditions naturelles dans les nappes d'eau souterraine; ils sont cités par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) comme potentiellement dangereux dans l'eau potable.

Si des éléments de traces toxiques excessifs sont présents dans une réserve potentielle d'eau souterraine, alors un plan d'urgence doit être mis en œuvre et une stratégie à long terme identifiée. Le plan d'urgence est susceptible de comprendre ce qui suit :

- L'évaluation hydro-géochimique de l'aquifère à une échelle appropriée;
- Des orientations à la communauté sur les restrictions d'utilisation et les endroits sûrs pour l'implantation de forages d'eau;
- Des programmes de santé communautaires pour rechercher des symptômes liés à l'eau potable.

Pollution anthropique

Dans le monde entier, les aquifères sont confrontés à un risque croissant de pollution avec l'urbanisation, le développement industriel, les activités agricoles et les entreprises minières (Figure 8.5). Dans certains cas, il peut prendre plusieurs années avant que l'impact de la pollution par un contaminant persistant ne devienne tout à fait évident. Les eaux souterraines des forages profonds, ou des sources ou des écosystèmes tributaires des eaux souterraines, ont souvent une trajectoire d'écoulement longue qui peut prendre des décennies ou plus pour se déplacer de la zone de recharge à la zone de décharge. Cela peut conduire à la méprise de la menace de pollution. Malheureusement lorsque que les gens prennent conscience que la source d'eau souterraine est devenue polluée, de grands volumes de l'aquifère auront été généralement déjà contaminés. Des mesures d'atténuation ont alors tendance à être très coûteux et la réhabilitation est techniquement problématique et chronophage. Ces aquifères contaminés peuvent être impropres à l'utilisation pendant des décennies ou des siècles. C'est pourquoi les mesures de prévention telles que la protection des eaux souterraines doivent être intégrées dans les activités de planification de l'occupation des sols.

La pollution des eaux souterraines se produit si la charge de contaminants du sous-sol, générés par les émissions d'origine humaine (déversement de déchets, les rejets et fuites) est mal contrôlée, et dépasse la capacité d'atténuation naturelle des sols et couches sous-jacents. Les profils de sous-sol naturels atténuent activement de nombreux polluants de l'eau, et ont longtemps été considérés comme potentiellement efficaces pour l'élimination sûre des excréments humains et des eaux usées domestiques. L'auto-élimination des contaminants pendant le transport souterrain dans la roche / sol est le résultat de la dégradation biochimique et de la réaction chimique;



mais un mouvement retardé du contaminant (dû à la sorption sur les minéraux argileux et / ou matière organique) est également importante, car elle augmente considérablement le temps disponible pour les processus aboutissant à l'élimination du contaminant. Cependant, tous les profils de sous-sol et toutes les couches sous-jacentes ne sont pas aussi efficaces dans l'atténuation des contaminants, ce qui conduit à des risques de contamination des aquifères libres peu profonds (nappe phréatique).

Les menaces de pollution des eaux souterraines proviennent d'une variété de points différents et de sources de contamination non ponctuelles (figure 8.5 et tableau 8.1) provenant de sources industrielle, agricole, domestique (assainissement inadéquat), de stockage de carburant, médicale et d'autres sources courantes.

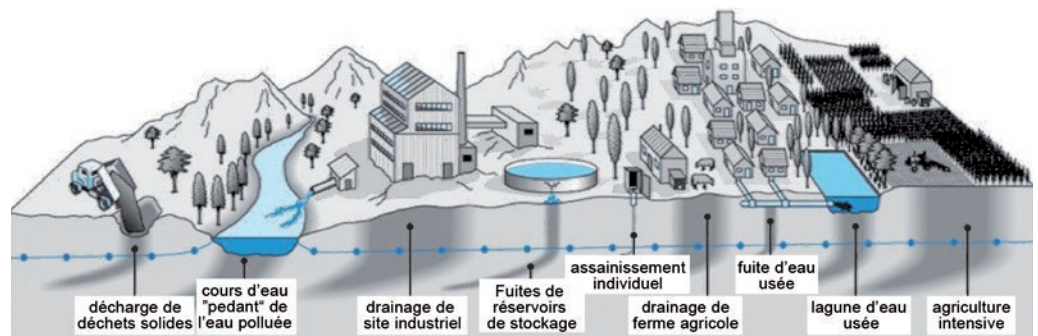


Figure 8.5: Différentes activités de l'occupation des sols qui génèrent fréquemment des menaces de pollution des eaux souterraines. Source: GW-MATE Briefing Note Series, Note 8, 2002-2006

Tableau 8.1: Certains contaminants courants des eaux souterraines et les sources de pollution associées. Source: GW-MATE Briefing Note Series, Note 8, 2002-2006

SOURCE DE POLLUTION	Type de contaminant
Activité agricole	les nitrates, ammonium, pesticides, organismes fécaux
Assainissement individuel	les nitrates, les organismes fécaux, hydrocarbures synthétiques de trace
Stations d'essence & Garages	benzène, d'autres hydrocarbures aromatiques, des phénols, des hydrocarbures halogènes
Enfouissement des déchets solides	ammonium, salinité, hydrocarbures halogènes, métaux lourds
Industries métalliques	trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, d'autres hydrocarbures halogènes, métaux lourds, des phénols, cyanures
Travaux de Peinture	alkylbenzène, tétrachloroéthylène, d'autres hydrocarbures halogènes, des métaux, quelques hydrocarbures aromatiques
Industrie du bois	pentachlorophénol, certains hydrocarbures aromatiques
Nettoyage à sec	trichloroéthylène, tétrachloroéthylène,
Fabrication de pesticides	divers hydrocarbures halogènes, des phénols, de l'arsenic
Vidange des boues d'eaux usées	les nitrates, les divers hydrocarbures halogènes, plomb, zinc
Tanneries	chrome, divers hydrocarbures halogènes, des phénols
Exploration / Extraction pétrolière et gazière	salinité (chlorure de sodium), les hydrocarbures aromatiques
Les mines de charbon et métallifères	acidité, divers métaux lourds, fer, sulfates



Salinisation des eaux souterraines

L'existence d'eau souterraine saline et le processus de salinisation des eaux souterraines peuvent provenir d'un certain nombre de mécanismes distincts, dont certains seulement sont les pompages liés et / ou associés à l'intrusion d'eau de mer.

Les principaux mécanismes de salinisation des eaux souterraines sont indiqués schématiquement à la figure 8.6; ils vont de la mobilisation d'eaux paléo-salines ou connées en profondeur, aux processus de surface liés, pour l'essentiel, à l'engorgement des sols due à la hausse du niveau des nappes phréatiques. Des investigations approfondies sont nécessaires pour diagnostiquer la présence d'eau souterraine saline, et d'évaluer la possibilité que ces processus se produisent lors d'un changement majeur ou progressif dans les prélèvements des eaux souterraines. On ne peut pas trop mettre l'accent sur cela, car une fois une hausse importante de la salinité ou de l'intrusion d'eau salée a eu lieu, il peut prendre un temps très long (des décennies ou même des millénaires) et un coût considérable pour y remédier; cela peut détruire les ressources en eau souterraine à la fois pour l'approvisionnement en eau potable et pour de nombreuses utilisations d'irrigation ou agricole.

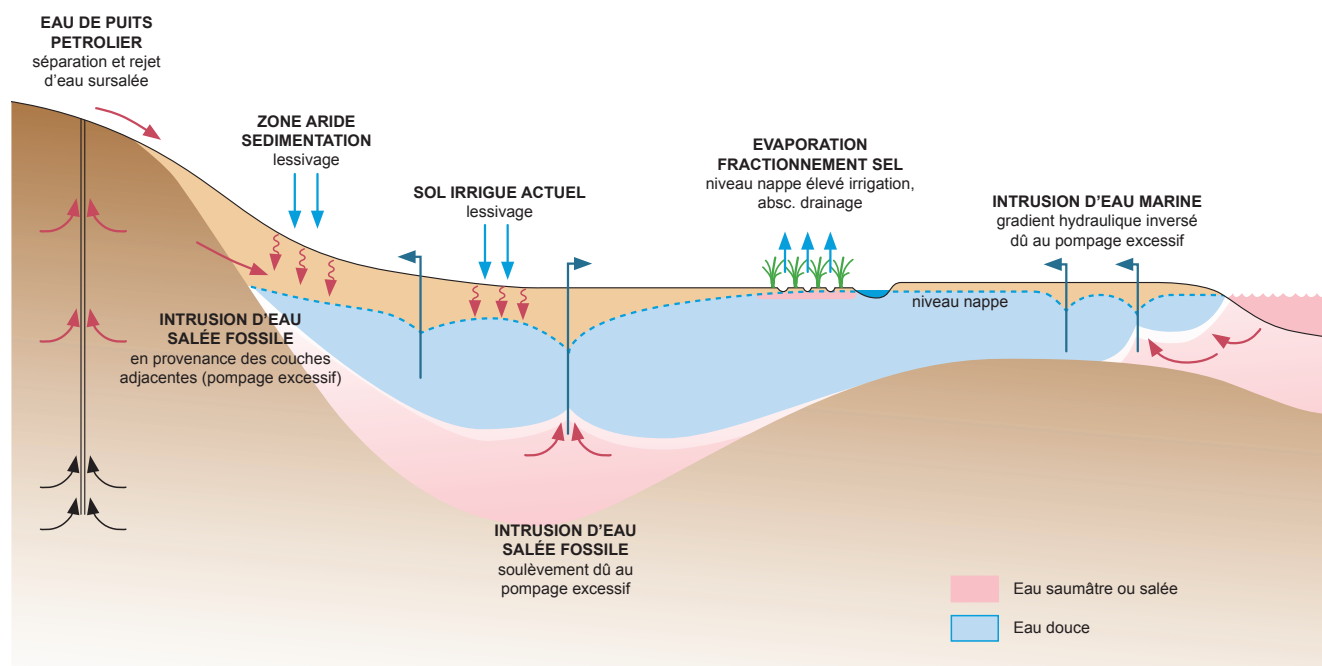


Figure 8.6: Salinisation comme effet possible de la surexploitation des eaux souterraines.

Source: GW-MATE

8.4 Évaluation de la pollution des eaux souterraines, la vulnérabilité des aquifères et la surexploitation

Pour protéger les eaux souterraines contre la pollution et la surexploitation, il est essentiel d'évaluer le contexte hydrogéologique et l'impact anthropique.

Pompage de l'eau souterraine et taux de recharge

À la lumière de toutes les considérations qui précèdent, il est évident que les gestionnaires des ressources en eau ont besoin d'avoir une estimation des prélèvements acceptables à partir d'un système de nappe d'eau souterraine.. Bien que, en réalité,



ces estimations puissent également être «trompeurs» parce que pour se faire, il est nécessaire d'avoir des jugements de valeur sur ce qui est «acceptable». Dans ce cas, les écosystèmes doivent également être considérés comme des parties prenantes qui sont tributaires de l'aquifère.

Pour évaluer un débit de sécurité, les quantités d'eau qui entrent (recharge) et qui sortent (décharge) du système des eaux souterraines doivent être estimées. Une composante importante du flux sortant, les prélèvements par pompage, varient en fonction de la demande humaine. Cependant, il ya souvent une incertitude scientifique substantielle sur la quantification de la recharge individuelle et sur les composantes de la décharge en raison de la complexité inhérente aux géo-systèmes naturels et d'une grande variabilité spatiale et temporelle des épisodes de précipitations et de ruissellement (y compris les cycles climatiques) ainsi que des prélèvements d'eau souterraine. Par conséquent les calculs du bilan des nappes d'eau souterraine dans de nombreuses régions devraient toujours être considérés avec prudence. Néanmoins, à des fins plus pratiques, il suffit de faire des estimations approximatives, et les affiner ensuite à travers le suivi du niveau des eaux souterraines et l'analyse de la réponse de l'aquifère aux prélèvements à moyen terme.

Il est toujours essentiel lorsque l'on tente d'évaluer les taux de recharge des eaux souterraines contemporaines d'apprécier l'importance des liens intimes entre l'occupation des sols et la recharge des nappes souterraines, qui est un élément essentiel de la gestion intégrée des ressources en eau. Le paradigme courant de «taux moyens constants de recharge actuelle de l'aquifère» est faux. En réalité, le taux actuel de recharge de l'aquifère varie considérablement avec :

- Les changements dans l'occupation des sols et du couvert végétal, notamment l'introduction de l'agriculture irriguée, mais aussi la déforestation et le compactage du sol;
- Le processus d'urbanisation, et en particulier le niveau de fuite des conduites d'eau et le degré d'imperméabilisation de la surface terrestre;
- La baisse généralisée de la nappe phréatique par les prélèvements et / ou le drainage des terres, ce qui conduit à l'augmentation des zones et / ou des taux d'infiltration dans certains systèmes aquifères;
- Les changements dans le régime des eaux de surface, notamment la déviation de cours d'eau.

D'ailleurs les données de prélèvements de la nappe ne sont presque jamais disponibles, puisque le suivi direct des prélèvements d'eau souterraine est une opération coûteuse parce que les compteurs doivent être installés à tous les points de pompage; ce qui exige la pleine coopération des usagers d'eau, ce qui n'est pas toujours facile à réaliser. L'utilisation intensive des eaux souterraines pour l'approvisionnement en eau domestique se rencontre aussi dans les villes à croissance rapide où la fourniture des services d'eau est défailante. C'est le cas dans de nombreuses villes d'Afrique, ce qui a conduit à l'exploitation privée massive et sans discernement des eaux souterraines. Le contrôle indirect de l'utilisation des eaux souterraines peut être fait en utilisant des données démographiques, en combinaison avec des images satellitaires et des cartes de planification urbaine qui montrent l'expansion urbaine et l'estimation de la consommation d'eau par ménage.



Sources de pollution et vulnérabilité

Les nappes d'eau souterraine sont vulnérables à de nombreuses sources de pollution différentes. La localisation, la nature et la quantité des sources de pollution doivent être connues pour évaluer la charge de pollution à la surface du sol et donc potentiellement vers la nappe. Les charges de pollution sont relativement faciles à identifier, en particulier la pollution ponctuelle, mais c'est la vulnérabilité du système aquifère en combinaison avec la charge de pollution qui conduit à l'évaluation du danger de pollution encouru par les eaux souterraines.

Des données hydrogéologiques comme l'épaisseur et les propriétés hydrauliques, telles que la perméabilité de la zone non saturée sont nécessaires pour évaluer la vulnérabilité des aquifères à des charges de pollution. Le danger, encouru par la nappe d'eau souterraine, peut être déterminé en superposant les cartes des charges de la pollution avec les cartes de vulnérabilité des aquifères.

Il ya un certain nombre de méthodes d'évaluation de la vulnérabilité de l'aquifère qui tiennent compte de divers facteurs qui contribuent à la vulnérabilité d'un aquifère. Deux des systèmes d'évaluation les plus célèbres sont connus par leurs acronymes : DRASTIC et GOD. Pour donner un aperçu général de la caractérisation de la vulnérabilité des aquifères, il est utile d'examiner les éléments pris en compte dans l'exemple sur la méthode DRASTIC. A chaque élément de l'évaluation de la vulnérabilité est attribué une note relative, et le score final est classé en utilisant un graphique de classement qui permet de caractériser l'aquifère comme suit : très grande vulnérabilité à très faible vulnérabilité.

- D = profondeur de la nappe phréatique (plus c'est profond, moins c'est vulnérable)
- R = recharge nette (plus le taux de recharge est grand, plus c'est vulnérable)
- A = médium aquifère (les aquifères de faible perméabilité sont moins vulnérables)
- S = médium du sol (perméabilité, capacité d'adsorption)
- I = l'impact de la zone vadose (combinaison de S et D)
- C = conductivité hydraulique (semblable à A)

En raison de la répétition de certains paramètres, les hydrogéologues ont tendance à modifier DRASTIC et viennent avec plusieurs méthodes rationalisées d'évaluation de la vulnérabilité.

Une fois la vulnérabilité de l'aquifère a été évaluée, le risque pour les eaux souterraines peut également être évalué. La définition du risque de pollution des eaux souterraines est l'interaction entre la vulnérabilité des aquifères à la pollution et la charge de contaminants présente dans l'environnement de l'aquifère, à la suite de l'activité humaine à la surface du sol. La charge de contaminants peut être contrôlée, mais la vulnérabilité des aquifères est déterminée par le contexte hydrogéologique naturel.

L'évaluation systématique des risques de pollution des eaux souterraines devrait être intégrée dans les mesures de protection de la qualité des nappes d'eau souterraine, et devrait devenir une composante essentielle de la meilleure pratique environnementale.



Gestion de la pollution des eaux souterraines.

Comme on l'a dit plus tôt, la prévention de la pollution est de loin préférable que d'essayer d'y remédier après coup. Les options clés de gestion pour prévenir la pollution des nappes d'eau souterraine sont :

- L'isolement : garder les déchets et les aquifères productifs éloignés. Cela doit avoir généralement lieu au cours de la phase de planification de tout développement, en particulier là où il ya un niveau élevé de déchets générés. Les études d'impact environnemental sont conçues spécifiquement pour s'assurer que cette séparation se produise en temps opportun.
- Le confinement : Lorsque des déchets sont générés à proximité de sources d'approvisionnement en eau souterraine ou en eau de surface, alors le confinement des déchets dans des bassins imperméables est une option de gestion. Les décharges de déchets solides doivent être conçues de telle sorte qu'il y ait une base imperméable, qui peut être une forme de polyéthylène à haute densité en doublure ou une couche d'argile compactée.
- La gestion des déchets : le tri des déchets en différentes composantes donne des résultats et permet la réutilisation / recyclage de certains déchets (plastique, métal, verre, papier et carton) et le compostage des déchets organiques. Cela réduit la charge globale de déchets et permet la séparation des déchets toxiques qui peuvent être traités ou confinés dans des installations, de haut niveau, pour déchets. Le tri et l'isolement des déchets est souvent commercialement viable.
- La décontamination : finalement, il ya la restauration des aquifères pollués. Comme on l'a dit plus haut, cela est techniquement complexe, de longue durée et coûteux. Des méthodes telles que pomper, traiter et réinjecter l'eau traitée; rinçage de l'aquifère à l'eau douce, etc ont été utilisées avec un succès limité. Les polluants insolubles, appelés LNAPL et DNAPL (liquides en phase non-aqueuse denses et légers) sont particulièrement difficiles à traiter.

8.5 Protection des eaux souterraines

Pour qu'un risque de pollution donné se traduise par une menace d'une source d'approvisionnement en eau souterraine, cela va dépendre principalement de son emplacement par rapport à la source d'eau / zone de captage et secondairement de la mobilité du/ des contaminant (s) concerné (s). Un certain nombre de zones de protection des eaux souterraines doit normalement être définie (Figure 8.7); on se base sur les données hydrogéologiques, et sur le régime d'écoulement des eaux souterraines locales. Différents modèles analytiques et numériques sont disponibles à cet effet. L'échelle et l'intensité à laquelle l'étude, la cartographie et l'analyse des différents composants nécessaires pour évaluer les risques de pollution des eaux souterraines sont réalisées, varient en fonction de l'importance et de la sensibilité de la ressource en eau souterraine : la protection de l'approvisionnement en eau ou la conservation d'une ressource aquifère.

Une attention particulière doit être portée sur la surveillance de la qualité des eaux souterraines gérée généralement par les réseaux publics d'approvisionnement en eau à partir de forages d'eau ou sources, au moyen de systèmes de distribution par canalisations. Deux éléments clés sont (i) un échantillonnage régulier de l'eau, et (ii) l'analyse chimique en laboratoire.



Les évaluations des risques de pollution des eaux souterraines devraient inciter les autorités municipales ou les organismes de réglementation de l'environnement à prendre les deux mesures préventives (pour éviter la pollution future) et des mesures correctives (pour contrôler les menaces existantes). Pour protéger les aquifères contre la pollution, il est essentiel de restreindre l'occupation des sols, et les pratiques d'élimination des déchets et de rejet des effluents.

Des zones simples et solides doivent être mises en place, sur la base de la vulnérabilité des aquifères à la pollution, et des périmètres de protection des points d'eau. Pour chaque zone certaines activités doivent être définies pour un risque acceptable pour les eaux souterraines. Le zonage de protection des eaux souterraines a également un rôle clé dans la définition des priorités pour la surveillance de la qualité des eaux souterraines, l'audit environnemental de locaux industriels, et le contrôle de la pollution par le système de conseil agricole.

Un juste équilibre doit être trouvé entre la protection des ressources en eau souterraine (l'aquifère dans son ensemble) et des sources spécifiques (forages, puits et sources). Bien que les deux approches de la lutte contre la pollution des eaux souterraines soient complémentaires, l'accent mis sur l'une ou l'autre (dans une zone donnée) dépendra de la situation de l'exploitation des ressources et sur les conditions hydrogéologiques qui prévalent.

Pour faire face aux menaces des eaux souterraines, les communautés et les parties prenantes ont besoin d'informations sur la ressource. La protection des eaux souterraines peut être mieux assurée par le contrôle des sources de contaminants potentiels et en gérant l'occupation des sols dans les principales zones de recharge. En utilisant les connaissances de la géologie locale et les sens d'écoulement des eaux souterraines, des estimations peuvent être faites sur les zones qui contribuent à recharger un aquifère particulier. Des contrôles peuvent alors être mis en place pour assurer l'occupation appropriée des sols, et des pratiques chimiques dans les zones de recharge. Dans de nombreux cas, les zones de recharge ne peuvent pas être laissées dans leur état naturel.

Dans certains bassins, les activités domestiques, industrielles, agricoles et commerciales rejettent différentes formes de contaminants potentiels, qui peuvent polluer les eaux souterraines avec la matière bactérienne, les pesticides, les déversements de produits chimiques, les déchets toxiques, etc. À cet égard, les efforts de protection des eaux souterraines doivent plutôt se concentrer sur la gestion de ces sources potentielles de contaminants divers. Certaines techniques de gestion possibles comprennent l'éducation du public, l'inventaire et la surveillance des sources potentielles de contamination, et le zonage des activités locales d'occupation des sols (Figure 8.7) afin de protéger l'approvisionnement en eau souterraine de la communauté.

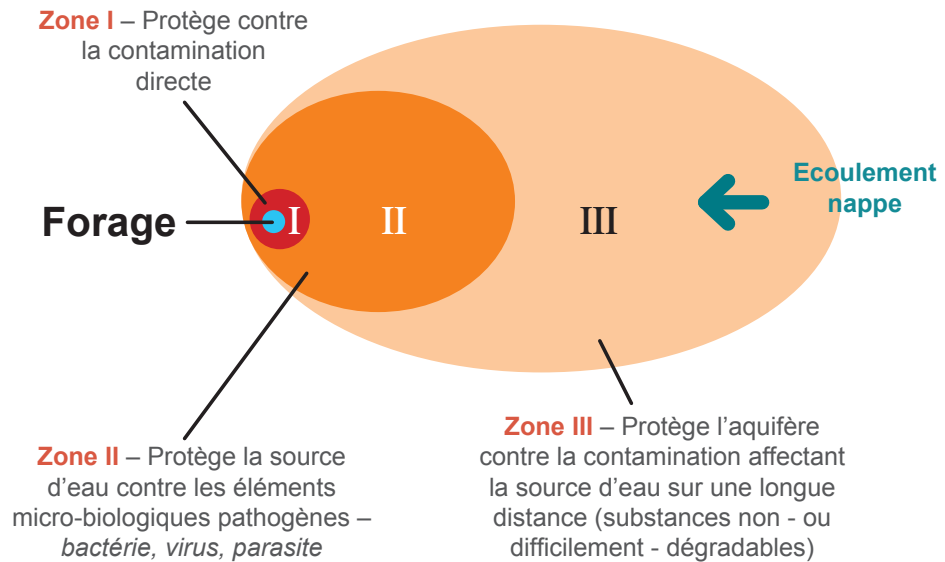


Figure 8.7: Zones schématiques idéalisées pour la protection d'un forage dans un aquifère libre.
Source: GW-Mate, 2006, modifié

Pour que les zones de protection des eaux souterraines soient efficaces, elles doivent :

- être intégrées dans le cadre réglementaire et appliquées;
- les parties prenantes doivent les connaître et les respecter;
- être régulièrement surveillées;
- disposer de restrictions à l'occupation des sols pour équilibrer les intérêts concurrents des utilisateurs.

8.6 Résumé

En discutant des risques liés aux eaux souterraines, il peut être utile de les considérer dans le contexte général de gestion des risques génériques. Puisque nous sommes préoccupés par la gestion des risques liés à l'eau souterraine, la question à se poser est de savoir : «Comment un gestionnaire de bassin versant peut protéger les ressources en eaux souterraines et les aquifères dans son bassin contre les risques?»

La mesure de la recharge, des flux d'eaux souterraines et même la cartographie des aquifères et des prélèvements potentiels sont coûteux et complexes. Face à un si grand manque d'information, comment le gestionnaire doit faire pour commencer à prendre des décisions? L'Encadré 8.1 présente les termes qui sont utilisés dans les études de catastrophes et de leurs interactions. Un tel cadre peut être utile pour un gestionnaire de bassin chargé de la protection des ressources en eau souterraine.

Le gestionnaire doit d'abord identifier les sources d'eaux souterraines importantes utilisées dans son bassin versant, puis évaluer les dangers qui pèsent sur chacun, regarder la vulnérabilité de chaque danger pour déterminer le risque. Les risques de pollution (points chauds) sont relativement faciles à identifier, mais c'est la vulnérabilité de l'aquifère qui traduit le danger potentiel.

Une fois que les gestionnaires de bassins versants ont une évaluation des risques, ils ont alors une base pour l'action (atténuation) qui peut inclure le contrôle des agents



ou des pratiques polluantes spécifiques, le réajustement des prélèvements ou d'autres interventions. Si les gestionnaires utilisent une approche structurée de gestion des catastrophes (Encadré 8.1), cela peut fournir un cadre pour l'identification des risques et, partant, le ciblage de la réponse efficace / décontamination. Les gestionnaires, en dépit de la complexité et des inconnues dans les eaux souterraines, ont encore un cadre pour des mesures de gestion qu'ils peuvent prendre pour protéger la ressource en eau souterraine de la pollution.

BOX 8.1: CERTAINES TERMINOLOGIES UTILISÉES DANS LES ÉTUDES DE CATASTROPHE

- i) Danger - événement physique potentiellement dangereux, l'activité humaine ou un phénomène qui a le potentiel de causer la perte en vie ou des blessures, des dommages matériels, des perturbations socio-économiques de la vie et la dégradation de l'environnement, entre autres.
- ii) Vulnérabilité - Un ensemble de conditions résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques et environnementaux qui accentuent la sensibilité d'une communauté à l'impact des catastrophes, ou les caractéristiques d'une personne ou d'un groupe à disposer de capacité à anticiper, faire face à, résister et récupérer de l'impact d'un aléa naturel.
Catastrophe = danger + vulnérabilité
- iii) Risque - La probabilité de conséquences néfastes ou perte résultant de l'interaction entre les dangers naturels et des conditions de vulnérabilité des personnes et des biens.
Risque = (Danger X Vulnérabilité) / Capacité
- iv) Atténuation - Mesures à court et à long terme, programmes ou politiques préventives d'une catastrophe naturelle ou à ses débuts, afin de réduire le degré de risque pour les personnes, les biens et la capacité de production.
- v) Impacts - Effets spécifiques, les conséquences ou résultats de dangers ou de catastrophes.
- vi) Préparation - Les activités de pré-catastrophe visant à accroître le niveau de préparation ou améliorer les capacités opérationnelles pour répondre à une urgence.
- vii) Réponse - Les mesures prises immédiatement avant, pendant ou directement après une catastrophe pour réduire les impacts et améliorer la récupération.
- viii) Résilience / Capacité - La capacité de la communauté à faire face aux catastrophes.

Source: Rapport sur l'état de la prévention des catastrophes en Afrique subsaharienne, 2008.



8.7 References

Burke, J.J. and Moench, M.H. (2000):

Groundwater and Society: Resources, Tensions and Opportunities.

United Nations. Publications, Sales No. E.99.II.A.1, ISBN 92-1-104485-5.

FAO (2003):

Groundwater Management – The Search for Practical Approaches.

Water Reports 25. FAO (Food and Agricultural Organization), ISBN 92-5-104908-4.

FAO (2009):

Irrigation in the middle east region in figures. Aquastat survey 2008.

FAO Water Report 34, Country

Report Saudi Arabia, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

UNEP (2003):

Groundwater and its Susceptibility to Degradation.

UNEP/DEWA, Nairobi.

Ponce V. M., Lohani A. K. & Huston P. T. (1997):

Surface albedo and water resources: Hydroclimatological impact of human activities.

Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, Vol. 2, No. 4, October, 197-203.

Web Readings

<http://www.eea.europa.eu/publications/92-9167-056-1/page007.html>

<http://www.greenfacts.org/en/water-resources/l-3/4-effect-human-actions.htm>

<http://www.lenntech.com/images/gw-sewage-intrusion2.gif>

<http://psep.cce.cornell.edu/facts-slides-self/facts/gr-wh-hw-grw85.aspx>

<http://ponce.sdsu.edu/albedo197.html>

<http://www.sjra.net>



8.8 Exercices

EXERCICE 1

Titre : Gestion de la qualité de l'eau

Problème:

**l'impact de l'exploitation minière sur la qualité de l'eau dans le West Rand :
Calcul et interprétation**

La zone West Rand de Johannesburg est l'une des plus grandes régions productrices d'or en Afrique du Sud. La région repose sur des quartzites et des dolomies. Certaines mines ont été fermées en 1980 et depuis 2002 l'eau acide de la mine décante dans l'environnement. Les agriculteurs locaux dépendent de l'aquifère dolomitique pour l'approvisionnement en eau. Le rejet d'effluents riches en substances toxiques provenant des mines d'or et de la proximité de barrages de limons, des décharges de résidus et roche, peuvent également causer des dommages chimiques et biologiques sur les écosystèmes aquatiques par les inondations, l'engorgement, la modification des écoulements et des zones humides, mais aussi des dépôts de métaux radioactifs et toxiques dans le drainage du système karstique. Le ruissellement, provenant des barrages de limons, entre dans le réseau de drainage qui alimente les eaux de surface, le système karstique et les eaux souterraines.

Pendant le processus d'extraction, des roches qui sont situées bien en dessous de la surface sont ramenées à la surface, où elles sont broyées et traitées. L'or est extrait par un traitement chimique et la matière stérile est stockée dans les décharges de solides. Le traitement chimique et le concassage expose et mobilise la pyrite (FeS_2), un composant naturel riche en soufre de la roche qui est ensuite exposé à l'atmosphère et à l'eau. Les sulfates oxydés en combinaison avec l'eau et la dégradation bactérienne produisent de l'acide sulfurique qui réagit à son tour avec les roches et les sols pour libérer et mobiliser les métaux. Les acides et les métaux qui sont libérés se trouvent dans les rivières et les eaux souterraines qui sont contaminées par les eaux de ruissellement provenant des décharges, des résidus, des rejets de roches et des effluents miniers. Ceci est connu comme le drainage minier acide (DMA).

EXERCICE



Les risques liés
à l'eau souterraine

Question:

Le substrat acide de la mine s'écoule en aval en terrain dolomitique dans le West Rand. Les mesures de rejets ont été réalisées dans six stations pendant deux mois (février et août). Février est un mois pluvieux, tandis que le mois d'août est sec. La station P1 contient exclusivement du substrat minier acide et les valeurs mesurées varient vers l'aval. Calculez le taux d'infiltration / quantité d'eau minier acide dans l'aquifère dolomitique. Donner les raisons possibles des pertes, de l'impact et de l'augmentation dans certaines stations. Recommandez des mesures d'atténuation.

Débit		Février	Août		Infiltration en féb	Infiltration en août	
Q (m³/s)	P1	2.214	1.075				
Q (m³/s)	P2	1.2177	0.7				
Q (m³/s)	P3	1.014	0.588				
Q (m³/s)	P4	0.3	0.28				
Q (m³/s)	P5	0.9	0.3				
				Total			m³/s
				Total			m³/an

EXERCICE 2

Objectif : partager l'expérience de problèmes de quantité d'eau souterraine.

Activité : se diviser en groupes de 4 ou 5.

Chaque groupe (en 1 heure) :

- Identifier un problème courant de quantité des eaux souterraines dans votre pays.
- Discuter de la nature et de l'ampleur du problème - est-il d'origine anthropique ou naturelle?
- Comment le problème est géré, et qui est responsable de la gestion?
- Quels ont été les objectifs de la gestion et comment a-t-il réussi?
- Quels sont les changements que vous proposez pour améliorer la gestion du problème?