

CHAPITRE II : METHODOLOGIE GENERALE

1. Objectifs

1.1. Objectifs généraux

Les objectifs généraux de cette recherche sont :

- Evaluer les conséquences de l'environnement à l'eau sous terraine
- Pour avoir un puits à norme

1.2. Objectif spécifiques

- Détermination de la qualité de l'eau de puits par rapport à son environnement
- Evaluation qualitative et quantitative de la pollution
- Amélioration de la qualité de l'eau

2. Unité d'observation : méthode et collecte des données

Tout a commence par le choix du thème de la recherche, et c'est a partir du thème qu'on a délimité le lieu de stage et la recherche).

Lorsqu'on a définit le thème, on commence déjà a lire des ouvrages sur celui-ci (ouvrages de synthèse, articles de synthèse).

3. Phase préliminaire

3.1. Contact avec l'équipe d'encadrement

Etape indispensable à toute étude, elle a permis de connaître l'ensemble de l'équipe d'encadrement, mais aussi de savoir ce sur quoi porte le thème et concomitamment les objectifs à atteindre.

3.2. Recherche documentaire

La recherche bibliographique se base sur ;

- Normes (eau potable, irrigation,...)
- Couches géologique Antsirabe
- Carte géologique et topographique Antsirabe
- Interprétations résultats (physico-chimique, bactériologique)
- Normes construction d'un puits

- Technique de prélèvement de l'eau
- Techniques d'analyse (physico-chimique, bactériologique)
- GIRE (Gestion Intégrée de la Ressources en Eau)
- Eau très dure (avantages, inconvénients, risques sanitaires,...)
- Les différentes sortes de nappes
- Données hydrogéologiques Antsirabe

4. Phase de stage

Sous la responsabilité de M.**Robert RAZAFY ANDRIANARIVO** notre stage s'est organisé en 2 phases:

- Une première phase de diagnostic (analyse) occupera une majeure partie du stage :
 - Discussion sur le thème
 - Recenser la bibliographie existante
 - Collecter et traiter les données existantes
 - Etablir des projections et hypothèses
- Une seconde phase de définition d'un plan d'action complètera le stage :
 - Elaboration du plan du rapport de stage identifiée lors de la phase de diagnostic.
 - Rédaction et correction du rapport
- Troisième phase: **Idées générales**
 - Facteurs environnants de pollution de l'eau
 - Taux pollution correspondant à la qualité de l'eau
 - Amélioration de la qualité de l'eau de puits
 - Utilisation possible de cette eau (consommation, irrigation, lavage...)
 - Etude de polluants (qualité, quantité) ; distance (ferme, WC...) par rapport au puits
 - Technique puits (norme)
- Quatrième phase: **Les différentes tâches**
 - Prélèvement des échantillons
 - Délimitation des lieux de prélèvement (carte géologique Antsirabe)

- Etude géologique du terrain (couches géologique Antsirabe)
- Traitement de l'eau (physico-chimique, bactériologique)
- Interprétation des résultats
- Confrontation à la norme
- Contribution à l'amélioration de la qualité de l'eau
- Mesure volume du puits

5. Phase recherche

La phase de recherche a été basée par le recueil d'information sur le thème étudié qui va permettre de trouver différentes manières d'élaborer le rapport.

D'abord, il y avait les lectures préparatoires qui servent à s'informer des recherches déjà menées sur le thème du travail et à situer la nouvelle contribution envisagée par rapport à elles. Grâce à ses lectures, on a pu mettre en évidence la perspective qui lui paraît la plus pertinente pour aborder l'objet de recherche.

Ensuite, il avait ces quelques étapes :

- Question sur le sujet
- Identification les mots clés
- Evaluation de l'information
- Faire une Bibliographie
- Prendre des notes avec un document de collecte
- Organiser les idées, construire un plan
- Comblent les manques
- Réalisation de la production finale

6. Phase résultats

Grâce à ce stage (échantillonnages, analyses, résultats, interprétations) et recherche, on a pu identifier les différents paramètres physico-chimiques et biologiques de l'eau des puits et on a pu avancer des suggestions.

Le stage nous a permis également d'appliquer les connaissances acquises ou en cours d'acquisition et nous permet d'entrée dans la vie active comme témoignage de notre première expérience professionnelle, approfondir les connaissances d'un métier, développer des compétences (rigueur, esprit d'équipe, créativité, gestion de projet).

CHAPITRE III : GENERALITESUR L'EAU

L'eau sur la Terre est une matière première exceptionnelle. Mobile, indestructible et renouvelable, elle se prête à de multiples utilisations, parfois antagonistes. Les ressources en eau douce sont réparties de manière très contrastée autour du globe. L'eau est un milieu de vie, mais peut aussi constituer une menace : inondations, contaminations.

1. Répartition de l'eau dans la planète terre

L'eau est apparue il y a 3 à 4 milliards d'années sur notre planète. C'est cette même eau que nous utilisons aujourd'hui. Son volume est resté globalement stable et elle circule en permanence dans le cycle de l'eau. L'eau recouvre environ 70 % de la surface du globe. Le volume d'eau sur la Terre est d'environ 1 400 millions de kilomètres cubes. Ils se répartissent de la manière suivante :

- 97,20 % : eaux salées.
- 2,15 % : glaces polaires.
- 0,63 % : eaux souterraines.
- 0,019 % : eaux de surface (lacs, fleuves, et rivières).
- 0,001 % : eau dans l'atmosphère

[4]

Au niveau mondial, les ressources en eau font l'objet de pressions croissantes tant au niveau qualitatif que quantitatif. Ceci est d'autant plus préoccupant que les ressources en eau potable sont limitées, inégalement réparties et que la population mondiale ne cesse de croître. Pour une part importante de la population mondiale, l'accès à l'eau est loin d'être garanti.

Le choix de l'eau à traiter avant distribution dépend de la quantité d'eau disponible, de sa qualité tenant compte des variations possibles, des coûts d'investissement et de fonctionnement des procédés à mettre en œuvre pour assurer sa potabilisation. Dans certaines régions du monde, la rareté de l'eau douce rend indispensable la mise en œuvre de traitements permettant de minimiser sa consommation.

De la conception de filières de traitement conventionnelles à des filières de traitement plus sophistiquées, intégrant des installations membranaires, nous proposons aux collectivités locales, du village de quelques centaines d'habitants aux agglomérations les plus étendues, des solutions techniques qui répondent aux exigences de qualité sanitaire.

2. Cycle de l'eau

La quantité d'eau sur Terre est inchangée depuis plus de 3,5 milliards d'années. Elle ne se perd pas, ne se crée pas, elle se transforme juste. Le moteur est l'énergie solaire : c'est elle qui entraîne les changements d'état de l'eau (condensation, évaporation, ...). On va parler de cycle de l'eau; il se déroule à la fois sur Terre et dans l'atmosphère.

L'eau s'évapore sous l'effet du soleil et rejoint l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. L'action du froid en altitude, provoque la condensation de la vapeur d'eau et la formation de nuages. Dans certaines conditions climatiques, ils se dispersent sous forme de pluie et de neige. Une partie de ces précipitations s'évapore à nouveau, le reste ruisselle vers les cours d'eau ou s'infiltre dans les sols et alimente les nappes souterraines.

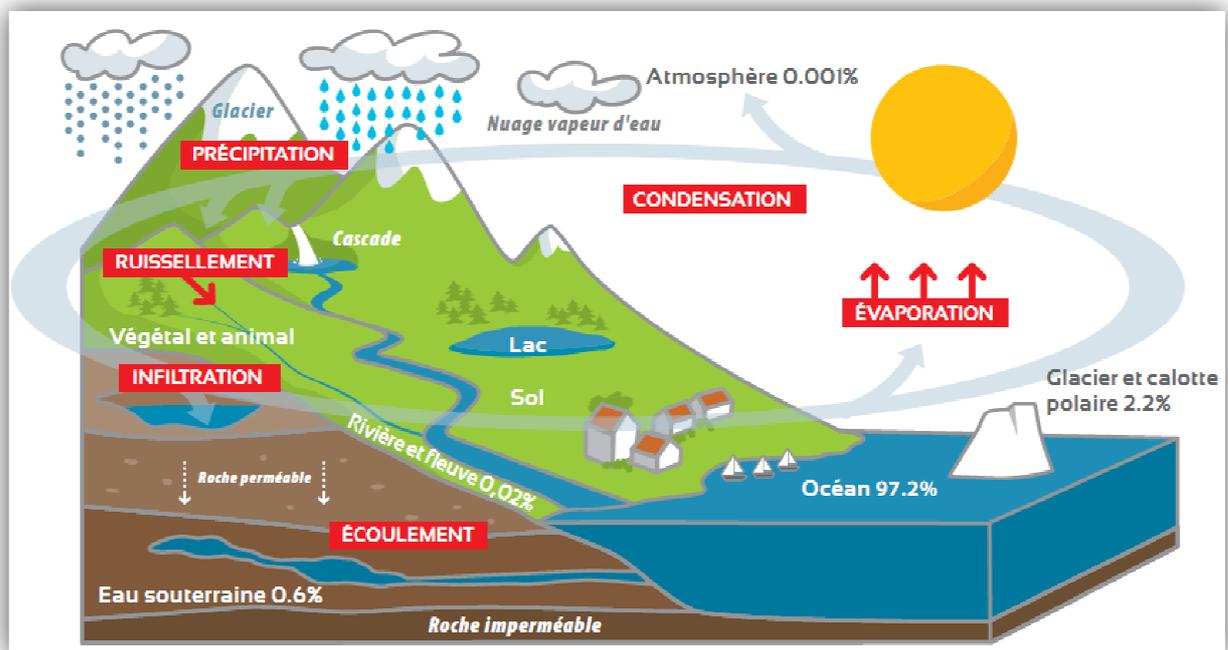


Figure 4 : Cycle de l'eau

Source : Poitou-Charentes, 2014

3. Cycle domestique de l'eau

L'eau que nous consommons provient d'un milieu naturel (nappe souterraine ou rivière). Elle est prélevée dans ce milieu par pompage, elle est traitée dans une usine pour devenir « eau potable ». Elle part dans des lieux de stockage comme les châteaux d'eau et ensuite elle est acheminée par des canalisations souterraines dans nos habitations. Elle est en permanence surveillée et sa qualité est contrôlée.

Après utilisation dans la maison, on l'appelle « eau usée ». Elle est acheminée par d'autres conduites soit vers le réseau de collecte des eaux usées puis la station d'épuration, soit vers le système d'assainissement individuel de l'habitation. Ces assainissements dépolluent les eaux sales afin qu'elles rejoignent le milieu naturel sans dommage pour celui-ci.

4. Principales ressources en eaux

L'eau totalement pure n'existe pas ou bien elle est très rare et coûteuse. Cette eau-ci est pas pour autant plus saine étant donné que son élaboration incite l'introduction d'éléments indésirables et de plus elle est dépourvue de sous différentes formes dont l'eau du robinet, l'eau de source, l'eau minérale et les boissons à base d'eau. Ainsi les principales ressources en eaux sont au nombre de trois (03) :

- **L'eau de pluie**, qui est une eau douce de pH = 6 et de température ambiante. Ce qui est idéal pour les plantes. Elle n'est pas exempte de pollution, en traversant l'atmosphère, l'eau se charge d'éléments indésirables. Ce qui participe également à la pollution des sols au moment de l'arrosage.

- **Les eaux de surface**, qui sont les eaux de rivière, des ruisseaux, des lacs, et des mares. Elle se trouve à la bonne température. Leur pollution varie énormément.

- **Les eaux souterraines**, qui sont les eaux de sources, c'est-à-dire une sortie de nappe phréatique ou une résurgence de rivière souterraine ou alors un puits. Sa nature est très variable (elle peut être claire ou très douce). Les sources sont plus ou moins polluées selon les régions ou l'agriculture.

5. Qualité de l'eau

Chaque usage de l'eau : industriel, agricole ou domestique impose une qualité particulière, définie par des paramètres physiques, chimiques et bactériologiques, c'est-à-dire la teneur en sels minéraux, gaz dissous et micro-organismes.

La turbidité d'une eau caractérise sa teneur en matières en suspension, le degré hydrotimétrique, sa dureté. Une eau est dure lorsqu'elle est trop riche en sels de calcium et de magnésium. Une eau saumâtre contient de 1 à 10 g de sulfates et de chlorures par litre (pour l'eau de mer en contient en moyenne 35 g/l). Parmi les gaz dissous dans l'eau, le gaz carbonique lui confère, suivant sa concentration, un caractère agressif ou acide. Trop agressive, l'eau peut devenir corrosive et attaquer les canalisations métalliques.

La présence d'hydrogène sulfuré qui est normale dans certaines sources thermales peut être responsable de la corrosion des ouvrages en béton.

6. Importance de l'eau

L'eau est le premier constituant de l'organisme. Le corps d'un adulte en contient 66 %, soit pour un homme de 75 kg, le poids de 50 kg d'eau. La proportion varie même de 75 % pour un nouveau-né à 60 % pour un vieillard. Certains tissus en contiennent jusqu'à 85 % (matière grise du cerveau) et d'autres seulement 25 % (tissus adipeux). L'eau a un rôle fondamental pour préserver la santé. C'est elle, en effet, qui permet de réaliser toutes les fonctions de l'organisme : digestion des aliments, circulation du sang, élimination des déchets, régulation de la température...etc..... Mais chaque jour, notre corps perd environ 2,5 L d'eau dont :

- 0,3 L par la respiration ;
- 0,2 L par les matières ;
- 0,5 L par la transpiration
- Et de 1,5 L par l'urine.

Les pertes dépendent aussi de l'activité musculaire et de la température ambiante. Elles peuvent atteindre de 4 à 5 L lorsque la sudation est très intense par suite de gros effort musculaire ou de température extérieure très élevée. Pour éviter la déshydratation, il est nécessaire de boire en moyenne 1,5 à 2 L par jour, mais beaucoup s'imaginent répondre aux

besoins de leur corps en buvant n'importe quelles boissons. A notre avis, du point de vue de la santé, c'est une erreur.

7. Eau potable

Par définition, l'eau potable doit être dépourvue de tout élément minéral ou organique nuisible à la santé ; elle doit répondre à certaines normes fixées par des textes législatifs et à certains critères qualitatifs : être incolore, fraîche, sans odeur ni goût (ou avoir éventuellement une légère saveur due à des sels minéraux). L'eau potable ne doit contenir ni micro-organismes pathogènes ni substances toxiques (cuivre, plomb, fluorures, cyanure, arsenic, composés phénoliques, etc.). Sa concentration en certaines substances chimiques (sels minéraux, ammoniac, nitrites, nitrates, chlorures, matières organiques) doit être limitée.

Par ruissellement ou percolation, l'eau se charge de matériaux dissous ou en suspension qui diffèrent eux-mêmes selon les sols traversés. Plus les eaux souterraines sont profondes, plus elles sont pures ; elles sont généralement exemptes de germes, mais leur concentration en éléments minéraux peut être élevée et imposer un traitement. Les eaux de surface sont, en revanche, presque toujours contaminées ; elles contiennent des bactéries, des germes pathogènes ou des virus ; elles peuvent être polluées par des composés toxiques provenant de rejets industriels ou domestiques.

Une eau potable est définie au regard de toute une série de paramètres :

- des paramètres microbiologiques : bactéries, qui témoignent d'une contamination fécale (coliformes et streptocoques fécaux...) ;
- des paramètres chimiques : plomb, mercure, chlore, nitrates, pesticides... ;
- des indicateurs de radioactivité ;
- des paramètres organoleptiques : odeur, couleur, saveur.

Pour chacun des paramètres, des seuils sont imposés. Par exemple, la concentration du plomb ne doit pas dépasser 10 microgrammes par litre.

8. Enjeux de l'eau et de l'assainissement à Madagascar

En 2008, le taux national d'accès à l'eau potable atteint 41 %⁹ et le taux de desserte en assainissement de base 51 %. Ces faibles taux d'accès s'ajoutent à une croissance démographique importante (environ 3 % par an), laquelle augmente encore les besoins en desserte. Conformément aux Objectifs du Millénaire pour le Développement, il faudrait desservir d'ici 2015 près de 5 millions de personnes supplémentaires en eau potable et 5 millions de personnes supplémentaires en assainissement. Sans changement majeur, Madagascar ne sera pas en mesure d'atteindre ces objectifs.

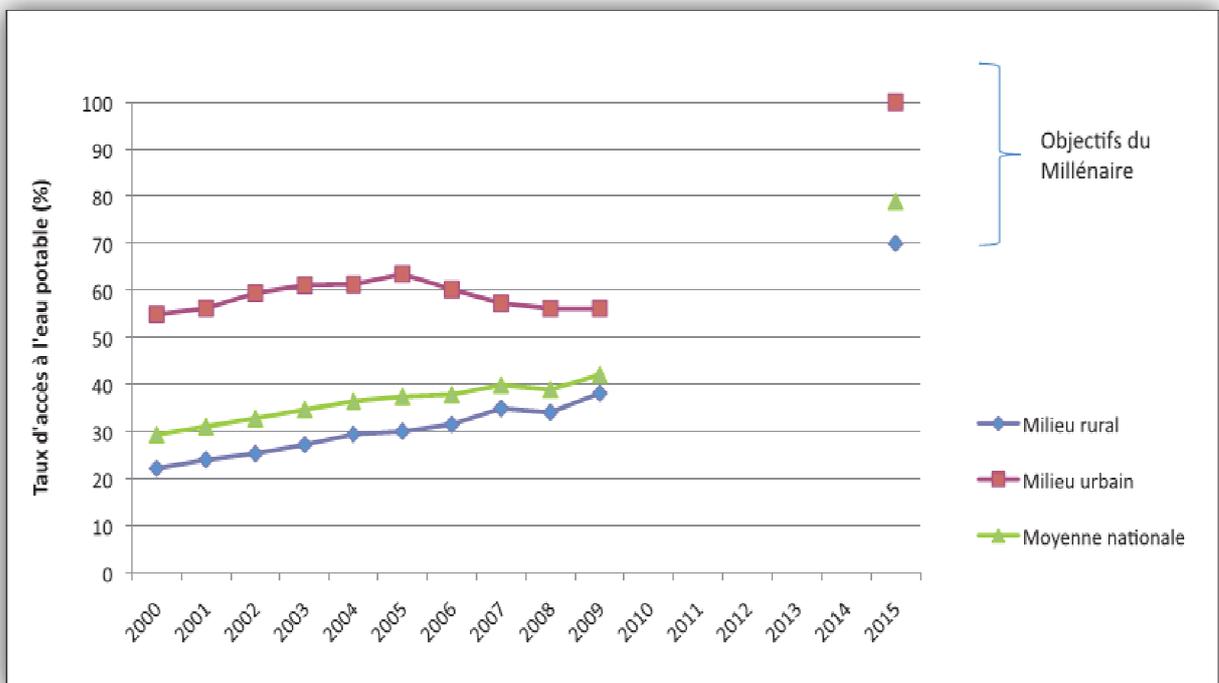


Figure 5 : Evolution des taux d'accès à l'eau potable à Madagascar
Source : Ministère de l'Eau, 2013

PARTIE II :
CADRE THÉORIQUE ET
RÉGLEMENTAIRE

CHAPITRE I : LES PUITES

Un ouvrage de captage d'eau souterraine est une installation qui permet de puiser l'eau à partir des nappes d'eau souterraine qui se situent sous la surface du sol.

On trouve généralement des puits dans les villages africains lorsque le sous-sol permet d'obtenir de l'eau à faible profondeur. Leur aménagement est plus ou moins abouti (margelle, fermeture, ...)

1. Différents types de puits

Le puits est un ouvrage de captage. La qualité de l'eau récupérée dépend du soin apporté à sa réalisation mais également de la protection de la ressource située à faible profondeur. Il est ainsi important de prendre en compte des aménagements de l'aire de puisage (muret, abreuvoir, trappe...) pour protéger l'ouvrage des pollutions extérieures ou des animaux. Son débit dépend de la pluviométrie annuelle (assèchement possible en période sèche).

On distingue trois principaux types de puits : le puits ordinaire, le puits foncé et le puits foré.

1.1. Puits ordinaire

C'est un puits creusé manuellement à l'aide d'une pioche, d'une pelle et de tout autre matériel d'excavation. Il peut être de forme carrée ou circulaire. Pour les puits creusés, il faut faire une excavation dans un aquifère peu profond, en général entre 4,5 et 8 mètres de profondeur. Le trou est alors consolidé à l'aide de buses en béton pour empêcher les parois de s'effondrer.

1.2. Puits foncé

Il existe plusieurs méthodes de fonçage de puits : fonçage par battage de tube perforé, fonçage par injection d'eau et fonçage par havage.

- **Fonçage par battage** : c'est une méthode qui consiste à chasser dans le sol, à l'aide d'un mouton, un tube à l'extrémité inférieure duquel est fixé un embout conique. Le fonçage s'arrête à quelques mètres au-dessous de la surface libre de la nappe. Les puits foncés par battage ont en général un diamètre de 2,5 à 100mm et ne peuvent être utilisés que dans les formations dépourvues de pierres, de roches ou d'argile compacte et là où la profondeur de la nappe est faible.
- **Fonçage par injection d'eau** : cette méthode permet d'atteindre très rapidement des profondeurs considérables. Elle consiste à creuser à l'emplacement prévu pour

le trou de 1,5 à 2m de profondeur, sur lequel on monte un trépied portant un tourillon creux ; à ceci se fixe un tubage dont l'extrémité inférieure munie d'un couteau pénètre dans le trou. Cette méthode convient dans des sables et des alluvions et pour les puits de diamètre allant de 38 à 380 mm et de profondeurs de 50 à 100 m.

- **Fonçage par havage** : ce procédé permet de construire dans des sols meubles, des puits de grand diamètre mais de faible profondeur (15 à 20 m). De ce fait, on dispose sur le sol une couronne métallique triangulaire formant une trousse circulaire coupante. [5]

1.3. Puits foré

En général, les puits forés puisent leur eau dans des aquifères profonds, la plupart du temps à 60 mètres sous terre. Pour ce type de puits, un trou est foré dans l'aquifère, et la partie supérieure est cuvelée pour empêcher l'effondrement des parois du trou de forage. Ce type de puits a un diamètre relativement réduit, il est foré à la main ou à l'aide de divers accessoires grâce auxquels on peut atteindre de grandes profondeurs et extraire de plus grandes quantités d'eau que le puits creusé à la main. Il peut donner lieu à un puits artésien. Les puits ordinaires sont les plus utilisés à Madagascar

Les eaux souterraines sont plus ou moins minéralisées en fonction :

- De la nature des roches traversées et des minéraux rencontrés au cours de l'infiltration ;
- Du temps de contact de l'eau avec les minéraux, donc la vitesse de percolation de l'eau dans le sous-sol ;
- Du temps de renouvellement de l'eau de la nappe par l'eau d'infiltration. (Cf. annexe 1)

2. Aménagement d'un puits

Il est possible de creuser un puits, si la nappe d'eau souterraine se situe à moins de 25 m de profondeur. Si par contre il faut descendre plus profondément pour trouver l'eau, c'est la technique de forage qui est recommandée. Notons que le creusement d'un puits est limité par la profondeur de la nappe. Dès qu'elle est atteinte, il devient difficile de poursuivre la fouille du sol, mais par contre, le forage peut se poursuivre même en-dessous de la nappe.

Un puits aménagé comprend deux parties :

- Le puits proprement dit qui se situe dans le sol,
- Le captage qui s'enfonce dans le sol sous le niveau de la nappe phréatique et à travers lequel l'eau suinte pour remplir le fond.

Le puits est donc une construction fixe et définitive, installée dans le sol et dont le captage, qui est la base mobile, glisse dans l'orifice du puits et s'enfonce dans le sol au fur et à mesure que l'on creuse le fond du puits.

La hauteur du puits et du captage dépend de la position de la nappe. Le puits sera donc profond, si la nappe est située en profondeur. La hauteur du captage dépend aussi de la configuration du terrain et de l'épaisseur de la nappe à exploiter pour avoir un débit suffisant. Cette hauteur peut varier avec le temps puisqu'il est possible, en cas de nécessité, de surcreuser le puits et d'ajouter un ou plusieurs buses perforées au sommet du captage, qui le fera descendre au fur et à mesure du surcreusement sous l'effet de son propre poids. [6]

La qualité naturelle des eaux souterraines peut être altérée par les activités humaines. La détérioration de la qualité de l'eau est appréciée par les mesures des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Dans le cas d'une détérioration jugée importante, l'eau ne sera plus considérée comme potable pour la consommation humaine. Elle pourra être telle quelle utilisée à d'autres fins (irrigation...) ou devra subir un traitement appropriée pour retrouver sa potabilité. L'eau des nappes n'est donc pas à l'abri de la pollution et l'autoépuration naturelle n'est pas complète dans toutes les nappes et vis-à-vis de certaines substances.

3. Types de nappe

La vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère. Les nappes libre sont les plus vulnérables: les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique; d'autre part, la fluctuation verticale saisonnière du niveau piézométrique aboutit à 'rincer' les particules de la zones non saturée et entraîner les substances qui y sont adsorbées. Les nappes captives en revanche sont mieux protégées par les couches imperméables qui les surmontent. Leur alimentation en eau superficielle est plus circonscrite, donc plus aisée à protéger. Leur pollution apparaît lorsque le niveau protecteur imperméable est percé par un ouvrage (ancien forage, fouille profonde...). Enfin, la percolation de l'eau dans un milieu poreux peut produire une fixation des substances sur les particules et donc une épuration de l'eau. Ce phénomène n'existe pas dans les milieux fissurés où la circulation est bien plus rapide.

Pour atteindre une nappe libre en milieux poreux, les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles:

- **Le sol**

L'activité chimique et microbiologique est intense (oxydation, réduction...) De nombreux corps sont modifiés chimiquement, les polluants organiques peuvent être métabolisés et minéralisés. Néanmoins, cette biodégradation peut aboutir à des métabolites au moins aussi toxiques que les polluants d'origine. Les complexes argilo-humiques peuvent fixer de nombreux corps minéraux et organiques par adsorption.

- **La zone non saturée**

Comme le sol, elle joue un rôle dans la filtration et la rétention de certaines substances. Cette action est d'autant plus efficace que la granulométrie est plus faible.

- **La zone saturée**

La filtration se poursuit dans le milieu poreux de la nappe; le polluant est dilué dans la masse d'eau.

On voit que la protection de la nappe sera d'autant meilleure que le sol et la zone non saturée sont épais, que leur granulométrie est fine, que la vitesse de percolation de l'eau dans la nappe est faible. En revanche, ce type de nappe une fois contaminée par un polluant le reste longtemps.

Dans les nappes libres en milieu fissuré, la vulnérabilité à la pollution dépend de leur recouvrement. Les aquifères en terrains anciens (granites, schistes...) sont généralement recouverts par des formations meubles d'altération qui jouent le rôle de filtre. Ces matériaux meubles peuvent d'ailleurs remplir les fissures des roches et prolonger ainsi leur action de protection. Il n'en est pas de même dans les aquifères calcaires: les polluants s'infiltrant dans les fissures, y circulent rapidement et réapparaissent en l'état dans les sources et les forages. La pollution apparaît sous forme de pics de courte durée; elle disparaît rapidement si l'apport de polluant cesse.

Les nappes alluviales sont en connexion hydraulique avec le cours d'eau; la qualité de leur eau dépend de celle de la rivière. Comme pour le sol, les matériaux couvrant le fond de la rivière jouent le rôle de filtre. Ces nappes sont particulièrement vulnérables: elles sont de faible étendue, dans des lieux d'urbanisation et d'industrialisation où les sources de pollution sont nombreuses (villes, routes, exploitation des granulats...) [7]

Dans tous les cas, la pollution des eaux souterraines est favorisée par certains aménagements et pratiques:

- interventions qui favorisent l'infiltration dans la nappe: forages de puits sans précaution, ouverture de gravières, puits perdus pour infiltrer les eaux usées...
- mauvaise gestion des eaux de ruissellement, suite à l'imperméabilisation des surfaces (ville, routes), au drainage agricole, et des eaux usées.
- modification des pratiques agricoles: remplacement de la prairie par des cultures intensives (remembrement, suppression des haies, du bocage, sols à nu pendant l'hiver). En 25 ans, la surface de la prairie bretonne a été réduite de moitié au profit du maïs fourrage gourmand en herbicides mais exportant peu d'azote et laissant le sol nu pendant l'hiver.
- élevages intensifs 'hors sol', nourris de farines de soja ou animales et de maïs fourrage, produisant une accumulation locale d'excréments difficiles à gérer.

4. Avantages et inconvénients de puits creusé

4.1. Avantages

- Moins cher en général qu'un puits foré.
- Puise l'eau à partir de dépôts de sable et de gravier qui sont moins susceptibles de posséder les contaminants associés aux aquifères du substrat rocheux.
- Il peut être plus facile de trouver une entreprise spécialisée dans les puits creusés que dans les puits forés, puisqu'en général elles sont plus nombreuses.
- Volumes d'eau importants dans les réservoirs (ce qui permet de compenser les limites des colonnes d'eau).

4.1. Inconvénients

- Généralement situé dans des aquifères non isolés, ce qui rend les risques de contamination plus importants à partir de la surface, par exemple des fosses septiques (surtout en raison des bactéries).
- Dépend des fluctuations saisonnières de la nappe phréatique.
- Possible seulement si la nappe phréatique n'est pas trop profonde.
- Risque d'assèchement en raison d'une surconsommation.
- Profondeur maximale limitée par la méthode de construction.
- Pénétration de l'eau seulement à la base et par les joints du puits.
- Rendement optimal souvent faible en Nouvelle-Écosse en raison de la présence importante de till argileux.

- Construction souvent insuffisante pour empêcher la pénétration de la vermine, ce qui peut entraîner une contamination bactérienne.

5. Principaux types et origine des pollutions

5.1. Pollution temporaire et pollution chronique

L'émission exceptionnelle de matière polluante à la suite d'un incident (mauvaise manœuvre en usine, accident de la circulation...) peut entraîner un transfert à la nappe et sa pollution dont la durée dépend de son pouvoir d'autoépuration et de sa vitesse de percolation. Les pollutions chroniques sont plus insidieuses et dommageables; moins spectaculaires, elles peuvent passer inaperçues (pollution agricole par les nitrates; contaminations par hydrocarbures à partir de sols pollués).

5.2. Pollution ponctuelle et pollution diffuse

Le polluant émis sur une faible surface n'affectera qu'un secteur limité de la nappe, qui pourra s'étendre par diffusion. Seuls les captages à proximité de la zone polluée et en aval seront affectés. Selon la densité et la solubilité du polluant, la zone polluée sera circonscrite ou diffuse, à la surface ou à l'intérieur de la nappe.

L'épandage de produits polluants sur une grande surface en revanche affecte l'ensemble de la nappe; elles sont de plus souvent chroniques et décline l'ensemble de la nappe pour la production d'eau potable, à moins de traitements adaptés (cas ces pollutions agricoles par pesticides).

5.3.Origines de la pollution

5.3.1.Origine domestique

Dans le cas d'un assainissement, collectif ou individuel, défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux vannes et les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergents, solvants, antibiotiques, micro-organismes...) Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçue ou mal dimensionnée, les stations d'épuration urbaines surchargées... Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme (centre d'enfouissement technique) libèrent également des lixiviats riches en polluants. [8]

5.3.2 .Origine industrielle

Les polluants d'origine industrielle sont très variés selon le type d'activité: substances organiques banales, produits organiques de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds...Les pollutions sont exceptionnelles (incident dans un procès) mais encore trop souvent chroniques (fuite de réservoirs, de canalisations...) Un cas particulier est celui des exploitations minières. L'extraction des granulats en plaine alluviale met en contact l'eau de la nappe avec les polluants éventuels.

5.3.3. Origine agricole

La pollution est étendue dans l'espace et dans le temps; elle est chronique et concerne de grandes surfaces. En effet, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et rend impropres à la consommation humaine, et parfois animale, les eaux superficielles et souterraines alors que les professionnels agricoles ont longtemps nié l'impact de leur activité sur la qualité de l'eau et refusé la moindre contrainte. Le transfert des engrais et pesticides à la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans des puits perdus, des gouffres et bétoires. La pratique de l'irrigation accélère le transfert. Une pollution ponctuelle commune est fournie par les eaux de rinçages des récipients et appareils d'épandage. L'épandage des boues de stations d'épuration pose problème par leur charge possible en métaux lourds et germes, en plus de leur richesse en azote résiduelle après culture.

Les élevages intensifs de porcs, bovins et volailles produisent une grande quantité de déjections azotées qui doit être stockées en réservoirs étanches avant d'être utilisée comme engrais (ou comme aliments...). Les lisiers, les fumiers et les fientes sont responsables de la charge en nitrates des nappes. [9]

5.3.5.La pollution minérale

- Composés azotés

L'eau d'une nappe ne contient naturellement pas de composés azotés: ceux-ci, provenant de la décomposition de la matière vivante par les micro-organismes; sont minéralisés en azote gazeux ou restent en faible quantité dans le sol. C'est l'augmentation artificielle de la quantité d'azote combiné disponible dans le sol qui crée un déséquilibre entre l'apport et la consommation et produit un excès d'azote qui

est finalement entraîné vers la nappe. Cet azote se trouve sous forme de nitrates et d'ammonium.

- **Métaux**

La pollution par composés métalliques est généralement d'origine industrielle mais elle peut également provenir de la lixiviation des déchets solides ménagers. Des métaux ne produisent que des inconvénients d'aspect ou de goût (Fer, zinc, manganèse...); l'eau doit être traitée pour être potable, ou utilisée en l'état pour d'autres usages. Les métaux lourds, comme le Mercure, le Cadmium, le Plomb, le Chrome, sont toxiques et rendent l'eau inutilisable pour l'usage domestique et l'agriculture.

- **Autres corps**

De nombreux corps minéraux, toxiques ou non, produits par l'industrie et utilisés par l'agriculture peuvent être des polluants ponctuels des nappes: chlorures, sulfates, cyanures, sels d'arsenic.....

5.3.6. La pollution organique

- **Produits de dégradation de la matière vivante**

La décomposition de la matière organique par les micro-organismes libère des nitrites, nitrates, ammonium, méthane et hydrogène sulfuré; la matière organique résiduelle persistant dans l'eau constitue un milieu favorable au développement des germes qui peuvent être pathogènes.

5.3.7. La pollution microbiologique

Les micro-organismes sont peu nombreux dans les eaux de nappe du fait des conditions généralement anaérobies et des faibles quantités de nutriments disponibles. Le transfert de matière organique dans la nappe favorise leur prolifération. Les milieux fissurés, surtout karstiques, présentent des conditions favorables à la survie et la multiplication des germes: pénétration facile de matière organique, conditions aérobies, pas de filtration. Les germes pathogènes sont généralement associés aux coliformes et streptocoques fécaux: la présence de ces derniers indique une pollution par les eaux vannes, les eaux de station d'épuration, les rejets d'élevages industriels... et la possibilité d'occurrence de germes pathogènes.

6. Défenses naturelles contre les pollutions

6.1 Rôle protecteur des sols

Le sol constitue un puissant moyen d'épuration et de recyclage des eaux. Les argiles, les hydroxydes et la matière organique adsorbent les cations (Ca, Mg, K, Na, métaux lourds) et certaines molécules organiques. Les molécules à moins de 6 carbones sont entraînées vers la nappe mais les cycles benzéniques sont retenus. Les phosphates et les atrazines sont bien fixés par les particules du sol; ils peuvent être néanmoins entraînés avec ces particules (érosion des sols à nu).

Le contenu microbiologique du sol peut épurer le sol de ses substances indésirables: minéralisation des composés azotés, dénitrification, dégradation des micropolluants organiques (pesticides). Les germes pathogènes introduits dans le sol sont éliminés quand les conditions de survie sont défavorables: UV, compétition avec la microflore indigène du sol.

6.2 Rôle épurateur du couvert végétal et des organismes

Les plantes accumulent des éléments minéraux et servent donc de zone de stockage, en particulier pour les nitrates. La déforestation, le retournement des prairies libèrent une quantité importante d'azote. Les cultures d'hiver permettent de stocker l'excès d'azote, donc à éviter son transfert à la nappe. La végétation des zones humides et des bords de rivières ont un effet épurateur remarquable (dénitrification dans les zones hydromorphes anaérobies). L'accumulation des polluants se poursuit le long de la chaîne alimentaire (bioaccumulation) chez les animaux. Il peut se produire une biotransformation qui peut être bénéfique (destruction des hydrocarbures) ou non (transformation du mercure en méthyle-mercure très toxique).

6.3 Auto-épuration biologique des eaux souterraines

Les organismes vivants et non toxiques (bactéries, petits invertébrés) sont présents dans les eaux souterraines même à grande profondeur. Ils peuvent métaboliser les polluants introduits dans la nappe. Les polluants organiques toxiques comme les polychlorobiphénols (PCB) sont lentement transformés. Les nitrates sont détruits en milieu anaérobie (cas des nappes captives).

L'étude de l'eau a pour objet de déterminer ses possibilités d'utilisation ; elle comporte une analyse physico-chimique et un examen bactériologique.

L'analyse physico-chimique fait connaître les emplois auxquels convient une eau donnée : besoins ménagers (eau de cuisson ou de lavage...), besoins industriels (eau de réfrigération ou de fabrication...) ; elle décèle les eaux qui risquent d'exercer une action chimique sur les canalisations, elle facilite la mise au point des traitements qui supprimeront les inconvénients révélés.

L'examen bactériologique sert à déterminer la qualité de l'eau, notamment en vue de son emploi comme eau potable et s'il y a lieu, permet d'établir les caractéristiques du traitement à lui faire subir. Il peut également être utile pour la recherche de ferro-bactériacée ou de germe sulfato-réducteur