

LA CONTAMINATION DE L'EAU DE BOISSON DANS LE VILLAGE DE BENGOU (NIGER)



**Analyse des conditions hydrogéologiques et sanitaires
dans le contexte des problèmes de contamination fécale**

Mémoire de licence
présenté par Carole Hinden
sous la direction du Prof. Ronald Jaubert

Eté 2008

Remerciements

Je souhaite en premier lieu remercier le professeur Ronald Jaubert pour avoir accepté d'être mon directeur de mémoire, ainsi que pour ses suggestions et la patience apportée.

Le professeur Jörg Winistörfer pour avoir mis en place durant toutes ces années ce lien fort entre l'Institut de Géographie de l'Université de Lausanne en Suisse et l'Université Abdou Moumouni de Niamey au Niger et sans lequel je n'aurais probablement jamais pu vivre cette expérience.

A Nicola Cantoreggi d'avoir accepté d'être mon expert de mémoire et pour sa relecture et ses commentaires.

À la famille Dambo à Niamey, pour m'avoir donné un toit familial au Niger durant tout mon séjour et particulièrement à Lawali pour m'avoir accompagnée, initiée à la région d'étude et pour les discussions enrichissantes durant notre petite vie de colocation à Gaya.

À toute l'équipe du FSIL et des services techniques basé à Gaya, et particulièrement à Laouel Bouzou et à Marah Hamidou pour leur disponibilité et les précieuses informations qu'ils m'ont fournies.

À Halidou, conseiller environnemental de la commune de Bengou, pour son assistance dans l'établissement de l'échantillon statistique et de la distinction des quartiers.

Aux traducteurs Issoufou Mamadou Komé et Sani Rabo Chékaron pour leurs exercices linguistiques sous une chaleur suffocante, pour les nombreux changements de roue, les discussions enrichissantes, les pratiques de sport, etc.

Au peuple nigérien qui a créé grâce à sa mentalité, un cadre de travail agréable, dans une culture pleine d'hospitalité, de paix et de calme et qui m'a enchantée à chaque jour sur le terrain.

Un grand merci à Joëlle von Ballmoos pour la relecture et les corrections.

À Steve Nduwimfura pour les corrections de mon Français à l'accent suisse-alsacien.

À ma famille et mes amis, qui m'ont soutenue durant toutes les années d'études.

Table des matières

1.	Introduction	1
1.1	Contexte de l'étude	1
1.2	Objectif et plan du travail	2
2.	Qualité de l'eau et contamination fécale : mécanismes et voies de transmission	6
2.1	Aspects qualitatifs de l'eau de boisson	6
2.2	Une source de pollution principale de l'eau de boisson : les excréments	7
2.3	Le trajet des polluants et leur atténuation	10
2.3.1	La propagation des polluants fécaux dans le sol et la pollution de la nappe souterraine	10
2.3.1.1	Les propriétés du sol et la transmission de l'eau	10
2.3.1.2	Les processus agissant sur l'atténuation des polluants dans le sol	13
2.3.2	Le rôle de l'hygiène dans la transmission des pathogènes et la pollution de l'eau puisée	15
3.	Dispositif de l'étude	18
3.1	Questions et postulats de recherche	18
3.2	Méthodologie	19
3.2.1	La littérature scientifique	19
3.2.2	L'acquisition des données pour les différents domaines sur terrain	19
3.2.3	Les données sur la santé de la population	20
3.2.4	Le questionnaire et la grille d'analyse	21
3.2.5	Recours à des méthodes simples pour l'évaluation des paramètres physiques	23
3.2.6	La saisie et l'analyse des données récoltées sur terrain	28
3.2.7	La méthode ARGOSS pour l'évaluation du risque de contamination de l'eau	28
4.	Le terrain d'étude	26
4.1	Situation géographique, climatique et socio-économique de Bengou	26
4.2	Présentation géologique et pédologique de la région	28
4.2.1	La géologie de la région de Gaya	28
4.2.2	Les caractéristiques du sol de Bengou et le comportement de l'eau dans ce dernier	29
4.2.2.1	Compaction, couverture et topographie du sol	29
4.2.2.2	Type et structure du sol	30
4.2.2.3	Débit d'alimentation en eau et le taux de saturation des sols à Bengou	32
4.3	L'hydrologie de la région et l'usage de l'eau à Bengou	34
4.3.1	Les ressources en eau dans la région d'étude	34
4.3.2	Les différents types d'approvisionnement en eau de boisson à Bengou	35

5.	La contamination fécale de l'eau souterraine à Bengou	38
5.1	Les différentes sources de contamination fécale potentielles pour la nappe souterraine à Bengou	38
5.2	Le risque d'une contamination directe de la nappe souterraine à travers les puits traditionnels	39
5.2.1	Les polluants fécaux entrant à l'intérieur du puits : eau comme agent de transport (A)	41
5.2.1.1	La présence de la matière fécale dans les alentours des puits (A1)	41
5.2.1.2	La construction du puits peut-il éviter un écoulement de l'eau contaminée à l'intérieur (A2)?	43
5.2.1.3	Evaluation du risque de l'écoulement d'eau contaminée à l'intérieur du puits	44
5.2.2	Le risque provenant de la puisette	46
5.3	Le risque de pollution de la nappe à travers les latrines	48
5.3.1	La quantité d'eau mise en jeu des latrines traditionnelles et cimentées	50
5.3.2	L'écoulement de l'eau à l'intérieur des latrines	52
5.3.3	Le potentiel d'infiltration de l'eau des latrines dans le sol	55
5.3.4	Le potentiel d'atténuation du sol en dessous des latrines et évaluation du risque d'une pollution de la nappe souterraine	56
5.4	La pollution de la nappe par infiltration des polluants depuis la surface du sol	58
5.4.1	Les différents dépôts de matière fécale se trouvant à la surface du sol et le potentiel d'infiltration des polluants dans le sol	59
5.5	Charge globale pour la nappe souterraine et sa qualité des eaux	62
5.5.1	L'apport en matière fécale selon les sources de pollution et charge totale pour la nappe	62
5.5.2	Contamination étendue versus contamination locale de la nappe	65
5.5.3	Différences spatiales de concentration dans la nappe et variation dans le temps	67
6.	La (re-) contamination fécale de l'eau puisée à Bengou	70
6.1	Premières barrières dans la propagation des pathogènes : la qualité des installations sanitaires et le lavage des mains	71
6.1.1	Les dépôts fécaux hors de portée des insectes ?	71
6.1.2	Les mains comme véhicule de transport majeur et le rôle du savon	73
6.1.3	Quantité d'eau disponible et hygiène	74
6.2	Les différentes activités qui peuvent contaminer l'eau puisée	75
6.2.1	Contamination de l'eau lors du puisement	75
6.2.2	Contamination de l'eau lors du transport	76
6.2.3	Contamination de l'eau lors du stockage	77
6.3	Evaluation globale de la problématique de la contamination ultérieure de l'eau de boisson et niveau de connaissance de la population sur la problématique	79

7.	L'impact de l'eau de boisson sur la santé de la population _____	83
7.1	Les maladies majeures à Bengou et la part des maladies liées à l'eau	83
7.2	Les infections microbiologiques transmises par l'eau de boisson et par des mains contaminées par de la matière fécale	84
7.3	La dimension des maladies diarrhéiques au sein de la population de Bengou	85
8.	Conclusion _____	87
	Annexes _____	i
	Bibliographie _____	xix

Liste des figures, tableaux, photos

Figure 1.1	Lien entre eau, assainissement et santé
Figure 1.2	Modèle schématique de la contamination de l'eau de boisson
Tableau 2.1	Les maladies transmises par l'ingestion de l'eau contaminée par de la matière fécale
Tableau 2.2	Taux de perméabilités typiques pour certaines types de roche
Figure 2.3	Distinction entre la zone non saturée et la zone saturée
Figure 2.4	Les phénomènes d'autoépuration dans le sol
Figure 2.5	Les voies de transmission fécale-orale des maladies
Tableau 3.1	Postulats concernant la contamination de l'eau au niveau de sa source
Tableau 3.2	Postulats concernant la contamination de l'eau au niveau de l'eau puisée
Tableau 3.3	Postulats concernant la santé de la population
Figure 3.4	Population des quartiers à Bengou
Figure 3.5	Les catégories de risques
Figure 4.1	Localisation du terrain d'étude
Figure 4.2	Coupe schématique perpendiculaire au Dallol Maouri au nord de Bana
Photo 4.3	Végétation peu abondante à Bengou
Figure 4.3	Classification des sédiments selon la taille des particules
Photo 4.5	Analyse du profil du sol
Tableau 4.6	Tableau récapitulatif
Figure 4.7	Coupe schématique du système d'aquifère du Dallol Maouri
Figure 5.1	Les sources de contamination de la nappe souterraine et les trajets des polluants fécaux liés
Figure 5.2	Critères d'importance pour l'inspection sanitaire
Figure 5.3	Le risque de contamination fécale de la nappe souterraine à travers les puits traditionnels
Figure 5.4	Le risque de contamination fécale de la nappe souterraine à travers les puits traditionnels par écoulement de l'eau à l'intérieur
Photo 5.5	Présence des animaux et de matière fécale à proximité du puits
Figure 5.6	Inclinaison de la surface du puits
Figure 5.7	Le risque de contamination fécale de la nappe souterraine à travers les puits traditionnels par contact avec outils (puisette)
Photo 5.8	Dispositif et puisette
Figure 5.9	Endroit de stockage de la puisette
Figure 5.10	Les différents types d'installation sanitaire présents à Bengou
Figure 5.11	Le risque de pollution de la nappe souterraine à travers les latrines
Figure 5.12	Facteurs d'influence pour la quantité d'eau utilisée lors de l'usage des latrines
Figure 5.13	Aménagements simples des latrines traditionnelles qui peuvent diminuer le volume d'eau
Tableau 5.14	Variables caractérisant le potentiel d'écoulement à l'intérieur des latrines traditionnelles
Tableau 5.15	Variables caractérisant le potentiel d'écoulement de l'eau dans le sol
Figure 5.16	Evaluation du potentiel de contamination après atténuation dans la zone non-saturée
Figure 5.17	Risque de pollution de la nappe souterraine depuis des dépôts de matière fécale se trouvant à la surface du sol
Tableau 5.18	Risque de contamination de la nappe souterraine par infiltration des matières fécales depuis la surface de la terre
Figure 5.19	Transport et atténuation des polluants microbiologiques dans l'aquifère
Tableau 5.20	Taux de nitrates mesuré dans les puits traditionnels
Figure 5.21	Variation de la concentration en polluants dans l'eau souterraine
Figure 6.1	Mécanismes de la contamination fécale de l'eau puisée
Figure 6.2	Présence de couvercle sur les canaris
Figure 6.3	Indice d'hygiène et d'entretien des canaris
Figure 6.4	Connaissance de la population sur la cause de diarrhée
Figure 6.5	Connaissance de la population sur la transmission des maladies par l'eau
Figure 6.6	Perception de la population de la qualité de leur eau de boisson
Tableau 7.1	Maladies les plus fréquentes
Figure 7.2	Les maladies liées à l'eau à Bengou
Figure 7.3	Dimensions de la présence des cas de diarrhée au sein de la population de Bengou

Listes des annexes

Annexe 1	Questionnaire et grilles d'analyses
Annexe 2	Liste des variables
Annexe 3	Localisation des dallols Fogha et Maouri dans l'ouest nigérien
Annexe 4	Résultats d'analyse de la qualité de l'eau à Bengou en 2003 Analyses microbiologiques, physiques et chimiques faites par Khamis H.
Annexe 4.1	Résultats d'analyse E. Coli et Coliformes totaux dans l'eau à Bengou (2003)
Annexe 4.2	Résultats d'analyse pour les nitrates et le pH dans l'eau à Bengou (2003)
Annexe 5	Résultats d'analyse de la qualité de l'eau à Bengou en 2007 Analyses chimiques et physiques faites par Hinden C.
Annexe 5.1	Résumé des résultats physico-chimiques des puits traditionnels à Bengou (2007)
Annexe 5.2	Résultats d'analyse pour le pH dans les puits traditionnels à Bengou (2007)
Annexe 6	Les maladies liées à l'eau et les maladies présentes à Bengou
Annexe 6.1	Les maladies liées à l'eau
Annexe 6.2	Maladies prédominantes à Bengou et classement des maladies liées à l'eau
Annexe 7	Photos de puits, latrines, récipients de puisement, transport et de stockage de l'eau
Annexe 8	CD avec tableaux de données (Excel) <ul style="list-style-type: none">- Analyse de la qualité des eaux Khamis- Analyse de la qualité des eaux Hinden- Tableaux de données de toutes les variables analysées pour Bengou- Maladies à Bengou- Liste des variables

1. Introduction

1.1 Contexte de l'étude

L'eau est une ressource indispensable pour l'homme et il en a besoin en quantité et qualité suffisante pour son bien-être. Il existe malheureusement un grand nombre de personnes, privé de ce besoin fondamental et les conséquences pour la population concernée en sont souvent très lourdes. Au niveau de la santé, les effets induits par un manque d'eau ou par une eau de mauvaise qualité sont souvent néfastes et causent chaque année des millions de morts dans le monde entier. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 80% des maladies dans les pays en voie de développement sont liées à l'eau (in Drouart E. et Vouillamoz J.M. 1999). Nous entendons par le terme de maladie liée à l'eau, une maladie qui est d'une manière ou l'autre associée à l'eau ou à des impuretés dans l'eau (Cairncross 1991 : 78, cf. annexe 6.1). Parmi celles-ci, nous pouvons distinguer différents mécanismes de transmission de ces maladies : maladies hydriques (pathogène¹ dans l'eau), maladies dues à la pénurie d'eau (quantité en eau insuffisante, manque d'hygiène), les maladies d'origine aquatique (pathogène passant une partie de sa vie dans un hôte aquatique intermédiaire) et les maladies dues aux vecteurs liés à l'eau (insectes dépendant d'un milieu aquatique).

Les maladies liées à une mauvaise qualité de l'eau de boisson (les maladies hydriques) comme le choléra, la diarrhée, etc., ne constituent alors qu'une partie des maladies liées à l'eau. Leurs effets sur la santé de l'homme sont d'ailleurs néfastes. Dans le monde entier, 1,8 million de personnes meurent chaque année de maladies diarrhéiques, les enfants de moins de cinq ans sont les plus touchés. La diarrhée est la principale cause de décès chez ces derniers.

Les maladies hydriques sont aussi fortement présentes au Niger. Le pays a été frappé à plusieurs reprises par des cas de choléra et de shigellose (dysenterie) et la diarrhée se situe au troisième rang des maladies les plus fréquentes. La mortalité infantile très élevée dans ce pays est due pour une grande partie à ces maladies. Les maladies hydriques sont transmises par l'ingestion de pathogènes fécaux d'origine humaine ou animale se trouvant dans l'eau de boisson. La qualité de l'eau potable, donc l'absence de tout pathogène fécal dans cette dernière, serait alors d'une importance primordiale pour la suppression de ces maladies.

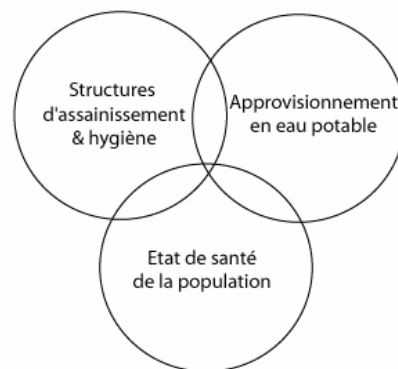
La qualité de l'eau potable au Niger est d'ailleurs douteuse. Il n'existe aucun contrôle ni suivi de la qualité de l'eau. Notamment les paramètres microbiologiques de l'eau ne sont en général pas du tout mesurés dans le pays entier et les sources d'eau ne sont pas protégées. Une des rares analyses de la qualité microbiologique de l'eau qui a été effectuée au Sud du Niger dans le cadre du programme du Réseau Universitaire Internationale de Genève (RUIG) a montré une contamination massive de l'eau de boisson par de la matière fécale (Khamis H. 2003). Les paramètres testés à ce sujet étaient les indicateurs fécaux principaux (E. coli et coliformes totaux) ainsi que le taux de nitrates. Toutes les valeurs mesurées présentaient des taux très alarmants et dépassaient largement les normes de l'eau potable.

¹ Pathogène : Micro-organismes (bactéries, virus, vers, protozoaires, mycose) qui engendrent des maladies, beaucoup d'entre-eux sont aquatiques. Source Brockhaus 2001.

Cette contamination fécale de l'eau et la présence importante de maladies hydriques au Niger s'inscrivent directement dans la problématique d'une gestion inadéquate de la matière fécale. En effet, des structures d'assainissement² manquantes ou inefficace favorisent la transmission des pathogènes fécaux dans l'environnement et se trouvent souvent à la base d'une contamination de l'eau potable et de l'apparition de maladies hydriques. Or la situation par rapport à l'assainissement est elle aussi très problématique au Niger. En zone rurale, les structures d'assainissement sont quasiment inexistantes et seul 4% de la population a accès à l'assainissement (WHO 2000 : 42). La situation est meilleure dans les villes nigériennes où le taux d'assainissement s'élève à 71%.

Il existe alors un lien fort entre la qualité des structures d'assainissement, la présence de pathogènes fécaux dans l'eau potable et l'état de santé de l'homme vivant dans le milieu correspondant (cf. figure 1.1).

Figure 1.1 : Lien entre eau, assainissement et santé



Hinden, 2007

La situation au Niger est donc fortement problématique dans les trois domaines : l'élimination de la matière fécale se fait de manière non-sécurisée, l'approvisionnement en eau de boisson est non contrôlée et les maladies hydriques se propagent.

1.2 Objectif et plan de travail

La problématique de l'eau de boisson constituant un enjeu d'importance majeur en terme de santé publique au Niger, le thème de ce mémoire s'est imposé tout naturellement. La contamination fécale massive et la présence importante de maladies qui y sont liées nous semblaient intéressantes à analyser plus en détail. L'espoir était qu'en étudiant les causes de la contamination fécale de l'eau de boisson qui, il serait possible de mieux identifier les mesures permettant d'améliorer la qualité de l'eau et par conséquent la santé de la population. Notre recherche se base sur les analyses de la qualité de l'eau qui étaient

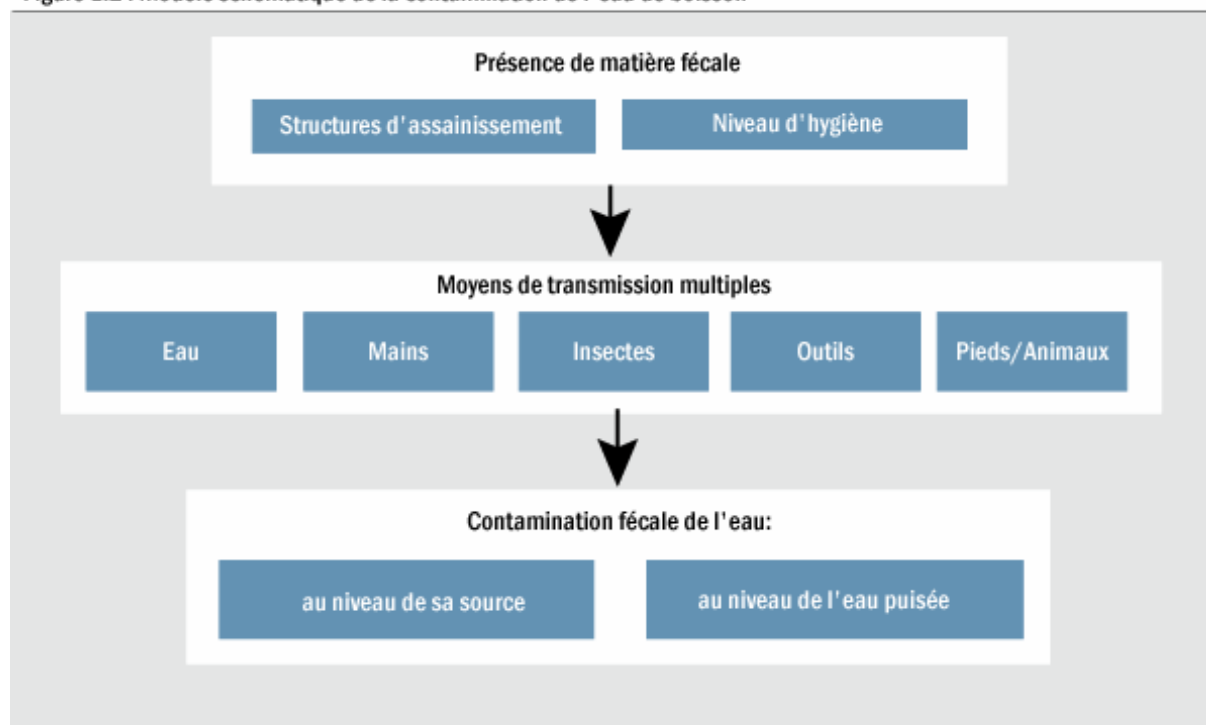
² Nous entendons sous le terme d'assainissement la collecte, le transport, le traitement et l'élimination ou la réutilisation des urines et des excréments humains, ainsi que des eaux usées ménagères et provenant de l'activité économique, via des systèmes collectifs ou des installations au service d'un seul foyer ou d'une seule entreprise. L'assainissement comprend aussi l'ensemble des campagnes sur l'hygiène de base (DDC 2008).

effectuées dans le cadre du programme de RUIG et constitue une prolongation d'un de ses programmes de recherche qui s'intéresse à la thématique « gestion de l'eau dans les régions à fortes contraintes »³.

Les pathogènes fécaux étant impliqués dans les trois domaines présentés plus haut, nous avons choisi de nous concentrer sur la contamination fécale de l'eau de boisson. Ceci d'autant plus que nous avons préféré la zone rurale comme terrain d'étude (la population au Niger est dans sa majorité rurale, entre 80 à 90 % selon les sources). Le terrain d'étude choisi se trouve dans une zone où toute activité industrielle est absente. Dans cette région, la contamination majeure de l'eau provient de l'activité humaine sur place, voire depuis l'agriculture (engrais naturels et chimiques) et depuis les déchets domestiques (presque exclusivement de la matière fécale). Les engrais ayant pourtant plutôt un effet à long-terme et moins grave sur la santé de l'homme, la matière fécale constitue alors clairement la source de contamination majeure pour notre étude de cas.

Cette étude a donc pour but de confirmer l'origine fécale de la contamination de l'eau de boisson et d'étudier de quelle manière elle se fait. Il s'agira d'analyser, pour une étude de cas au niveau d'un village, les sources de contamination fécale de l'eau de boisson sur tout son parcours, c'est-à-dire depuis la contamination de l'eau au niveau de la ressource naturelle jusqu'à la contamination ultérieure de l'eau ayant été puisée. La figure 1.2 présente d'une manière très générale les mécanismes de contamination de l'eau de boisson par de la matière fécale et donc les différents aspects à analyser dans notre travail.

Figure 1.2 : Modèle schématique de la contamination de l'eau de boisson



Hinden, 2007

A la base, des structures d'assainissement adéquates et une bonne hygiène peuvent constituer une première barrière dans la propagation des polluants fécaux. Dans le cas où ces dernières sont absentes ou

³ Pour des plus amples informations : www.ruig-gian.org

inefficace, les polluants peuvent être véhiculés dans l'eau à travers différents agents de transmission, comme par exemple par les mains, l'eau, les insectes, les outils ainsi que les pieds et les animaux. La contamination de l'eau de boisson par de la matière fécale peut ensuite avoir lieu à deux niveaux : d'une part au niveau de sa source naturelle et d'autre part à un stade ultérieur après avoir puisé l'eau. Dans notre cas, la source naturelle est constituée par les eaux souterraines. La consommation de cette eau contaminée se manifeste finalement au niveau de la santé de l'homme.

Etant donné que les polluants d'origine fécale sont assez rapidement inactivés au cours de leur trajet, on a généralement affaire à une pollution plutôt locale à l'échelle d'un bassin versant. Ceci nous a poussé à délimiter notre travail de terrain à l'échelle du village. Nous avons choisi le village de Bengou, qui se situe dans le département de Gaya, tout au Sud-ouest du Niger (cf. carte 4.1, p. 26). Ce village a été choisi car des données sur la qualité de l'eau étaient disponibles et car l'eau de boisson est affectée par une contamination fécale massive (Khamis H., 2003).

Notre schéma sur les mécanismes de la contamination fécale de l'eau potable nous conduira à toute une série de questions auxquelles nous tenterons de répondre au cours du travail. La structure générale du travail s'oriente selon les points suivants :

Le deuxième chapitre se propose de présenter les différents aspects théoriques qui sont à la base de ce travail. Nous allons présenter, dans un premier temps, les critères de qualité qui définissent une eau de boisson de manière générale, puis nous allons voir quels sont les polluants qui résultent d'une contamination par de la matière fécale. Il s'agit également d'étudier la façon dont les polluants fécaux se propagent dans l'environnement et par quelles voies de transmission ils peuvent rejoindre une source d'eau. A ce sujet, il s'agira aussi de chercher quels sont les processus d'atténuation qui pourraient empêcher une contamination de l'eau.

La discussion sur le comportement des pathogènes permet ensuite de mieux comprendre les postulats et la méthode présentés au chapitre 3. Ce chapitre comprendra une description de l'approche de l'étude, les questions et les postulats de recherche, ainsi qu'une présentation des différentes étapes du travail de terrain et des différentes méthodes utilisées.

Le chapitre 4 comporte d'abord une présentation globale du terrain d'étude et analyse par la suite la géologie et le type du sol plus en détail. Une description de la situation hydrologique et de l'approvisionnement en eau de boisson de la population du terrain d'étude suivront cette partie. La compréhension de ces différents aspects constitue la base pour pouvoir ensuite analyser les mécanismes de la contamination fécale de la nappe souterraine.

Puis le cinquième et le sixième chapitre étudieront concrètement la contamination fécale de l'eau de boisson dans le terrain d'étude. Le cinquième chapitre s'intéressera à la contamination au stade de la nappe souterraine alors que le chapitre 6 s'attachera à la contamination au niveau de l'eau puisée. Les différentes sources de contamination seront identifiées, analysées et évaluées par rapport à leur risque de contamination à l'aide d'une grille d'analyse et des questionnaires dont les critères principaux seront

définis préalablement. Une évaluation de la charge globale pour la nappe, respectivement pour l'eau puisée suivra ces analyses.

Finalement le chapitre 7 essaiera d'obtenir une vue d'ensemble de l'état de santé de la population. Les maladies prédominantes sur le terrain d'étude seront présentées et les maladies qui sont liées à l'eau, respectivement à des pathogènes fécaux, seront relevées. Il s'agira de voir dans quelle mesure les structures d'assainissement et d'approvisionnement en eau de boisson ont une influence dans le tableau clinique de la population.

2. Qualité de l'eau et contamination fécale : mécanismes et voies de transmission

2.1 Aspects qualitatifs de l'eau de boisson

Lorsque l'on parle de qualité de l'eau, il faut toujours faire référence au type d'usage de l'eau. Une eau qui est utilisée dans des laboratoires doit remplir d'autres critères de qualité qu'une eau utilisée pour arroser des plantes par exemple. Pour l'eau de boisson, les exigences de qualité doivent être élevées afin d'assurer la santé de l'homme. Pour certains agents pathogènes transmis par l'eau, un seul kyste ou un seul virus peut provoquer la maladie. L'organisation mondiale de la santé (OMS) définit une eau de boisson de bonne qualité de manière suivante: « *L'eau de boisson ne doit représenter aucun risque significatif à la santé lors de sa consommation tout au long de la vie, également en prenant en compte les différences de sensibilités qu'il y a entre les différentes étapes de la vie* » (traduit d'après WHO, 2006 : 1). Il faut prendre en considération le fait que le risque de tomber malade n'est pas le même pour chaque individu. Un individu sain peut ne présenter aucun signe d'infection⁴ alors qu'il a pourtant ingéré un agent pathogène. En revanche, un nouveau-né, chez qui le système immunitaire est encore peu développé, peut tomber gravement malade s'il ingère le même pathogène. Au niveau de l'individu, ce sont notamment des facteurs comme l'âge, le statut immunitaire⁵, le statut nutritionnel ou l'équilibre physique et psychologique de la personne qui jouent un rôle important dans la réaction immunitaire contre un pathogène.

L'organisation mondiale de la santé a, au sein des Nations Unies, la responsabilité de promouvoir des directives sur la qualité des eaux de boissons. Ces directives et normes proviennent de l'étude et de l'interprétation des impacts sur la santé de la mauvaise qualité des eaux de boissons. Elles sont nécessaires aux différents Etats afin d'établir des lois et des directives en tenant compte des conditions présentes dans le pays. Certaines limitations, comme celle de la présence des bactéries dans l'eau de boisson (l'OMS propose une absence totale de pathogènes), peuvent sembler très rigoureuses et impossibles à être respectées. Mais les directives tiennent compte des différents niveaux de santé comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent.

Nous n'allons pas mentionner toutes les directives, nous allons uniquement mentionner les éléments principaux des aspects physiques, chimiques et microbiologiques. Au niveau des aspects physiques, des paramètres comme le goût, l'odeur, la température et l'apparence (couleur, turbidité, pH, etc.) sont explicités dans les directives. Ces paramètres ont généralement une importance moindre sur l'effet de la santé, mais intervient plutôt sur l'acceptation ou non d'une source d'eau par l'homme, c'est-à-dire qu'un individu peut refuser par exemple une eau ayant un goût terreux et préférer une eau sans goût, bien que cette dernière puisse être de moins bonne qualité.

⁴ Une maladie infectieuse est une maladie provoquée par un pathogène.

⁵ Le corps peut atteindre une certaine immunité contre un pathogène après avoir été en contact à plusieurs reprises avec celui-ci. C'est ainsi qu'un changement du milieu, respectivement de la ressource en eau, peut s'avérer négatif sur la santé d'un individu si cette nouvelle ressource contient une microbiologie à laquelle le corps n'est pas du tout habitué.

Les directives concernant les aspects chimiques de l'eau sont très complexes du fait de l'interaction entre les substances. Le problème de la pollution chimique des eaux se trouve notamment dans les pays développés où les activités industrielles sont intenses et où les déchets chimiques qui en découlent peuvent avoir des effets néfastes sur l'environnement et l'eau. Par rapport à la santé, la plupart des éléments chimiques présents dans l'eau de boisson ont un effet sur celle-ci surtout après une consommation à long terme (WHO, 2006 : 145). Concernant l'aspect microbiologique des eaux, on s'intéresse à la présence de bactéries, de virus ou de parasites (protozoaires et vers). La grande majorité des problèmes de santé liés à l'eau, et surtout les plus graves, résultent d'une contamination microbiologique. Le risque microbiologique est majoritairement associé à l'ingestion d'eau contaminée avec des matières fécales humaines ou animales (OMS, 2006 : 3) et constitue le souci principal de la pollution des eaux dans les pays en voie de développement où de bonnes conditions sanitaires sont souvent absentes.

La qualité de l'eau peut varier dans le temps et dans l'espace. Après une période de pluie par exemple, l'eau peut changer fortement de composition du fait des processus de dilution ou, dans le cas inverse, du fait d'un apport de polluants par lessivage des sols. De même, une pollution peut être très diffuse ou concentrée. Ensuite, la résistance dans l'environnement et dans l'eau varie d'un polluant à l'autre et dépend des conditions du milieu dans lequel il est présent. De nombreux polluants, comme les pesticides par exemple, sont très stables et quasiment non dégradables dans l'environnement alors que d'autres polluants sont instables et peuvent devenir inactifs rien qu'avec un changement de température.

2.2 Une source de pollution principale de l'eau de boisson : les excréments

La composition de la matière fécale humaine et animale dépend de l'âge de l'individu, des habitudes nutritionnelles et de l'état de santé. De manière générale on peut dire qu'elles sont constituées d'eau, de germes, d'enzymes et de bactéries. Un individu sain peut avoir 10^9 bactéries par gramme de matière fécale (CAVE B. et KOLSKY P., 1999 : 2), la plupart d'entre eux étant non pathogènes. Cependant, les selles peuvent être porteuses de nombreux agents pathogènes que l'on peut diviser en quatre groupes. Ce sont les bactéries, les virus, les protozoaires et les vers. Le tableau ci-dessous présente les principaux agents pathogènes d'origine fécale et les maladies qui leur sont associées.

Tableau 2.1 : Les maladies transmises par l'ingestion de l'eau contaminée par de la matière fécale

Pathogène	Source	Maladie
Virus		
Hépatite A virus	Matière fécale humaine	Hépatite infectieuse
Poliovirus	Matière fécale humaine	Poliomyélite
Astrovirus, Calcivirus	Matière fécale humaine	Diarrhée
Rotavirus, Norwalkvirus	Matière fécale humaine	Diarrhée
Coxsackievirus et Echovirus	Matière fécale humaine	Diarrhée
Bactéries		
Campylobacter jejuni	Matière fécale humaine et animale	Diarrhée
Enterohaemorrhagic E. coli	Matière fécale humaine et animale	Colite hémorragique
Enteroinvasive E. coli	Matière fécale humaine	Diarrhée
Enteropathogenic E. coli	Matière fécale humaine	Diarrhée
Enterotoxigenic E. coli	Matière fécale humaine	Diarrhée
Salmonella typhi	Matière fécale humaine et animale	Fièvre typhoïde
Shigellae	Matière fécale humaine	Dysenterie
Vibro cholerae	Matière fécale humaine	Choléra
Protozoaires parasitaires		
Cryptosporidium	Matière fécale humaine et animale	Diarrhée
Giardia lamblia	Matière fécale humaine et animale	Diarrhée
Vers parasite		
Dracunculus (vers de Guinée)	Matière fécale humaine et animale	Dracunculose
Schistosoma	Matière fécale humaine et animale	Bilharziose

Source: d'après ARGOSS (2001 : 31) et Cairncross (1991 : 58)

Chaque groupe et souche de ces micro-organismes présente des caractéristiques spécifiques. L'aptitude du pathogène à survivre et à se reproduire dans l'environnement est un premier facteur permettant de les distinguer. Le temps de survie des pathogènes fécaux dans l'environnement peut varier fortement selon l'espèce et le milieu et peut aller de quelques heures à plusieurs mois. Les virus ont de manière générale une capacité de survie plus longue que les bactéries. Certains virus peuvent survivre plus que 150 jours dans l'eau souterraine alors que les bactéries E.Coli présentent généralement un temps de survie de 32 jours (Sugden, 2006 : 2). Du point de vue de la reproduction, les bactéries peuvent se multiplier dans un milieu qui leur convient, surtout si nutriments et chaleur sont présents. Les espèces de pathogènes comme les E. Coli, Shigella et Salmonella peuvent par exemple survivre facilement sur les bouts des doigts (Curtis et al, 2000 : 23). Les virus, par contre, ne peuvent pas se reproduire dans l'environnement. Les vers et les protozoaires, quant à eux, requièrent la présence d'hôtes très spécifiques pour compléter leur cycle de vie. Certains protozoaires sont capables de rester en vie pendant plusieurs mois dans l'environnement (Tropical Medicine an International Health, 1997).

Par ailleurs, les pathogènes se distinguent par leur manière dont ils réagissent sur les hôtes. Les pathogènes bactériologiques ont souvent tendance à avoir une dose infectieuse élevée, c'est-à-dire qu'un grand nombre de bactéries doit être injecté pour provoquer une infection. Pour les groupes de virus, les protozoaires et les vers c'est le contraire. Selon la souche, l'ingestion d'un seul pathogène peut suffire pour créer des symptômes graves.

Au niveau de la taille, le plus grand est celui des vers (visibles à l'œil nu), suivi par le groupe des protozoaires (1 à 150 µm), des bactéries (0,2 à 5 µm) et des virus (0,02 à 0,25 µm)⁶. La taille joue un rôle important dans le mécanisme de propagation du pathogène dans l'environnement (cf. chapitre 2.3.1.2).

L'OMS considère la pollution microbiologique de l'eau comme un souci majeur pour la santé humaine et donne des valeurs limites pour la présence des pathogènes microbiologiques dans l'eau de boisson. Il est impossible de faire des indications pour chaque type de pathogène. Les espèces sont trop nombreuses et les analyses sont limitées rien qu'au niveau technique. C'est ainsi qu'à la place de surveiller la présence de tous ces agents pathogènes dans l'eau, on fait recours à des organismes indicateurs. La détection de ces organismes ne donne pas de renseignements sur les pathogènes spécifiques, mais leur présence dans l'eau indique une contamination de l'eau par de la matière fécale, ce qui laisse envisager une mauvaise gestion de la ressource en eau et la présence d'agents pathogènes dans l'eau. Ces indicateurs fécaux doivent remplir certains critères afin de donner des résultats fiables. Les organismes doivent être présents en grande quantité dans les matières fécales humaines et animales et ne doivent pas exister de manière naturelle dans l'environnement ou avoir la capacité de se reproduire. Un indicateur très souvent appliqué et conforme aux normes ISO⁷ sont les *Escherichia Coli* thermo-tolérants et les Coliformes totaux. Les deux sont des bactéries intestinales généralement non pathogènes⁸ et très abondantes dans les matières fécales humaines. L'OMS propose une absence totale des germes pathogènes dans l'eau de boisson, à savoir aucune *Escherichia Coli* ni Coliformes par 100ml d'eau.

Une eau contaminée par de la matière fécale l'est principalement par une contamination microbiologique. La matière fécale peut d'ailleurs aussi contenir des éléments chimiques qui peuvent être nuisibles à la santé. Les principaux polluants chimiques qui peuvent provenir d'une contamination fécale sont les nitrates⁹ et les chlorures. Chaque individu sécrète à travers ses selles et urines autour de 4kg d'azote et 1,5kg de chlorure par an (ARGOSS, 2001 : 32). Sous condition aérobie¹⁰, on peut s'attendre à ce qu'une grande partie de l'azote puisse s'oxyder sous forme de nitrate. La charge de nitrates provenant des latrines peut effectivement être importante dans des régions à population dense (par exemple 1500kg d'azote originaire de latrines sont déposés chaque année par hectare dans un bidonville de Dhaka, ARGOSS : 32). La présence de nitrate dans l'eau de boisson peut être nuisible à la santé pour deux raisons : premièrement un taux élevé en nitrate est associé à la maladie « methaemoglobinaemia », une maladie qui survient chez des enfants de moins de trois mois et deuxièmement les nitrates ainsi que les nitrites sont soupçonnés d'être cancérigènes. La présence de nitrates peut être utilisée comme indicateur approximatif pour la pollution fécale quand des données microbiologiques ne sont pas disponibles. C'est plutôt pour ces raisons techniques que pour des raisons de santé que nous nous intéressons à ce polluant. L'OMS propose pour assurer la santé de l'homme des valeurs limites pour l'eau potable de 50mg/l pour les nitrates et 3mg/l pour les nitrites.

⁶ Source : http://www.mapaq.gouv.qc.ca/NR/rdonlyres/155A11EA-2F2C-4E32-AB2A-1F446B779344/0/guide_gestion1.pdf [consulté le 10.9.07]

⁷ International Organization for Standardization (ISO), standards for detection and enumeration of faecal indicator bacteria in water

⁸ Certaines souches d'*E. Coli* peuvent d'ailleurs être pathogènes.

⁹ Nitrate et nitrite sont de ions présents de manière naturelle qui font partie du cycle de l'azote. Le ion de nitrate (NO₃⁻) est la forme stable. Bien que chimiquement non réactif, il peut être réduit par action microbiologique. Le ion de nitrite (NO₂⁻) peut être réduit par des processus chimiques et biologiques dans différents éléments ou oxyder en nitrate (ICAIR Life Systems, Inc., 1987).

¹⁰ Milieu riche en oxygène

La présence des chlorures dans l'eau est moins importante au niveau de la santé mais joue un grand rôle au niveau de l'acceptation de l'eau en raison du fort goût des chlorures. La présence des chlorures dans l'eau a moins d'impact sur la santé que les oxydes d'azote. Toutefois, les chlorures peuvent donner un fort goût à l'eau si leur concentration dépasse 250mg/l (WHO, 2003 : 8). Bien qu'il n'y ait pas de valeur limite, une forte teneur en chlorure peut donc conduire la population à choisir une eau ayant un goût plus neutre mais présentant peut-être une pollution microbiologique.

Les deux substances chimiques, les chlorures et le nitrate, sont assez stables dans l'environnement, notamment sous condition aérobie et peuvent s'accumuler et persister à long terme. Une élimination de l'élément au niveau de la source n'amène donc pas forcément à leur élimination dans les eaux souterraines.

2.3 Le trajet des polluants et leur atténuation

Le chapitre précédent a montré que les polluants majeurs issus d'une contamination fécale sont, au niveau microbiologique, les virus, les bactéries, les protozoaires ainsi que les vers, et au niveau chimique ce sont les nitrates et les chlorures. Une fois arrivés dans l'environnement, les polluants ont un comportement différent les uns des autres et il est important de préciser de quel type de polluant on parle, ainsi que dans quel environnement il évolue lorsqu'on analyse son trajet. Du fait que les pathogènes fécaux ne peuvent pas se déplacer eux-mêmes, ils ont besoin d'un agent de transmission. Nous avons vu que les agents de transmission pouvant entrer en jeu sont l'eau, les mains, les pieds, les outils ainsi que les insectes. Nous allons analyser dans un premier temps le trajet des polluants à travers le sol et dans un deuxième temps celui lié à un transport par les mains ou les mouches. Nous allons voir quels sont les agents de transport et quels sont les types de barrières qui existent pour éliminer les polluants sur leurs trajets respectifs.

2.3.1 La propagation des polluants fécaux dans le sol et la pollution de la nappe souterraine

2.3.1.1 Les propriétés du sol et la propagation de l'eau

Pour les polluants fécaux éjectés dans l'environnement, l'eau constitue le meilleur moyen pour transporter les polluants à travers le sol. Les pathogènes ne se propagent par conséquent pas plus vite ou plus loin que l'eau dans laquelle ils sont suspendus. Le risque que l'eau, et par conséquent le polluant, s'infilte dans le sol dépend de nombreux facteurs.

Selon Musy (2005), l'infiltration de l'eau est conditionnée par les facteurs suivants : le type de sol¹¹, la compaction de la surface du sol¹², la couverture du sol¹³, la topographie et la morphologie¹⁴, le débit

¹¹ Toutes les définitions (10-16) sont tirées de Musy A. (2006), chapitre 5.2.2.

Le type de sol (structure, texture, porosité) - Les caractéristiques de la matrice du sol influencent les forces de capillarité et d'adsorption dont résultent les forces de succion, qui elles-mêmes, régissent en partie l'infiltration

¹² *La compaction de la surface du sol est due à l'impact des gouttes de pluie (battance) ou à d'autres effets (thermiques et anthropiques) - L'utilisation de lourdes machines agricoles dans les champs peut par exemple avoir pour conséquence la dégradation*

d'alimentation¹⁵ ainsi que la teneur en eau initiale dans les sols¹⁶. Pour le facteur « type de sol » nous allons ici entrer plus en détail. Il faut préciser d'abord, que par notion de sol nous entendons : *formation superficielle résultant de l'altération sur place des roches par l'eau, l'air et les êtres vivants, et de leur mélange à une proportion variable de matière organique* (Focault A. et Raoult J.-F., 2001 : 326). Plus en profondeur, dans le sous-sol, se trouvent les roches, par définition : *un matériau constitutif de l'écorce terrestre, formé en général d'un assemblage de minéraux et présentant une certaine homogénéité statistique ; le plus souvent dur et cohérent (pierre, caillou), parfois plastique (ex. argile), ou meuble (ex. sable) (..) (idem : 306)¹⁷. Ce sont les propriétés du sol et du sous-sol qui déterminent la capacité d'infiltration et d'écoulement souterrain de l'eau. En parlant par la suite de l'hydrologie dans le sol, nous nous référons toujours à ces deux entités.*

Le sol est constitué de minéraux de différentes sortes et de différentes tailles, ainsi que de matière organique. L'agencement de ces composants forme, avec des interstices, une structure spécifique qu'on appelle la matrice du sol. Les interstices contiennent de l'eau contenant des matières en suspension ainsi que de l'air. Le volume des pores dépend de la taille et de la forme des grains, du taux de matière organique dans le sol ainsi que de l'évolution du sol. Le volume d'eau qui peut être contenu dans les sols dépend de la proportion de ces interstices, qui est appelée porosité du sol. Des grandes interstices signifient une grande porosité et un plus grand potentiel pour stocker l'eau. On définit comme porosité : *le rapport du volume des interstices, dans un échantillon de matériau tel qu'un sol, au volume total de l'échantillon, vides compris¹⁸. Lorsque le volume d'eau est égal au volume des pores, le sol est dit saturé et tous les interstices sont remplis de l'eau. Les plus grandes porosités se trouvent dans les roches meubles avec un maximum pour les argiles (clay 0,45-0,55) et sont quasiment nulles pour les roches ignées ou magmatiques (avec un minimum de 0,0001 pour les granites et gneiss, Schmoll O. et al., 2006 : 29). Ensuite, les sédiments composés de grains bien arrondis sont en générale plus poreux que ceux composés de grains anguleux. On distingue les pores primaires, conditionnés par la taille de grains, des pores secondaires issus des crevasses créées par les racines, les vers, etc.*

Les roches à travers lesquelles l'eau peut circuler facilement sont dites roches perméables et celles où l'eau ne passe pas ou seulement rarement sont dites imperméables. La perméabilité caractérise la faculté d'un sol à laisser infiltrer et circuler l'eau, elle est plus grande dans des roches qui ont des larges pores bien connectés entre eux ou dans des roches qui présentent des larges fissures interconnectées. Les sables et les graviers, qui présentent des grands pores bien connectés entre les grains, sont donc des bons aquifères. Pourtant les argiles qui présentent une très grande porosité mais dont les pores sont peu connectés, ne transmettent l'eau que très difficilement. Les couches d'argile dans le sol constituent par

de la structure de la couche de surface du sol et la formation d'une croûte dense et imperméable à une certaine profondeur (sensible au labour).

¹³ La couverture du sol - La végétation influence positivement l'infiltration en ralentissant l'écoulement de l'eau à la surface, lui donnant ainsi plus de temps pour pénétrer dans le sol. D'autre part, le système racinaire améliore la perméabilité du sol. Enfin, le feuillage protège le sol de l'impact de la pluie et diminue par voie de conséquence le phénomène de battance.

¹⁴ La topographie et la morphologie - La pente par exemple agit à l'opposé de la végétation. En effet, une forte pente favorise les écoulements au dépend de l'infiltration.

¹⁵ Le débit d'alimentation (intensité de la précipitation, débit d'irrigation).

¹⁶ La teneur en eau initiale du sol (conditions antécédentes d'humidité) - L'humidité du sol est un facteur essentiel du régime d'infiltration, car les forces de succion sont aussi fonction du taux d'humidité du sol. Le régime d'infiltration au cours du temps évolue différemment selon que le sol est initialement sec ou humide. L'humidité d'un sol est généralement appréhendée en étudiant les précipitations tombées au cours d'une certaine période précédant un événement pluvieux.

¹⁷ Les deux termes sont expliqués dans l'optique géologique, en pédologie ces termes peuvent être expliqués différemment.

¹⁸ Source Glossaire International d'Hydrologie, <http://www.cig.ensm.fr/~hubert/glu/FR/GF0926FR.HTM> [consulté le 25.9.07]

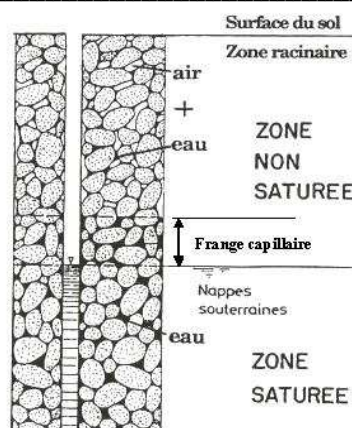
conséquent souvent des couches imperméables. L'exemple des argiles démontre donc que les paramètres de porosité et de perméabilité ne sont pas forcément liés. Pour qu'une roche poreuse soit perméable, il faut que ses pores soient connectés. Le tableau ci-dessous montre les perméabilités typiques (en mètres par jour) pour quelques roches courantes.

Lithologie	Taux de perméabilité (m/j)
Silt	0,01-0,1
Sable fin silteux	0,1-10
Roche mère altérée	0,01-10
Sable moyen	10-100
Gravier	100-1000
Roche fracturée	difficile à généraliser, dizaine à centaines de m par jour possible

Source: d'après ARGOSS (2001 : 24)

L'eau s'infiltré par gravité jusqu'à ce qu'elle retrouve une couche imperméable, appelée aquiclude, qui interdit leur progression vers le bas. L'eau va pouvoir s'accumuler à partir de cette couche et remplir les interstices situés en dessus. Les pores seront ainsi liés par l'eau, ce qui formera une nappe souterraine (cf. figure 2.3). Le niveau de la nappe souterraine est influencé par le régime d'eau qui percole à travers la zone non saturée, sa hauteur est par conséquent variable. Sa limite supérieure est appelée ligne de surface libre. Elle est encore un peu surélevée vers le haut par un phénomène de capillarité, mais détermine la limite entre la zone saturée et la zone non-saturée. La différence majeure entre la zone non-saturée et la zone saturée se trouve dans le comportement hydraulique de l'eau dû à la présence d'air dans la zone non-saturée respectivement à son absence dans la zone saturée. La vitesse d'écoulement dans la zone non-saturée est de manière générale très lente (ne dépassant en moyenne pas 0,2m/j, ARGOSS 2001 : 24) et de composante verticale du fait que l'infiltration de l'eau est notamment dirigée par des phénomènes de gravité. Quant à la zone saturée, où la direction des flux est principalement horizontale et la vitesse de ces derniers peut être considérable selon l'aquifère¹⁹. Normalement, la vitesse des flux augmente lors des périodes de pluie. Si la vitesse des flux augmente, les polluants pénètrent plus profondément dans la zone non saturée et sont transportés plus loin dans l'aquifère.

Figure 2.3 : Distinction entre la zone non-saturée et la zone saturée



Musy (2006 : 6)

¹⁹ Aquifère : Terrain perméable contenant une nappe d'eau souterraine.

2.3.1.2 Les différents processus agissant sur l'atténuation des polluants dans le sol

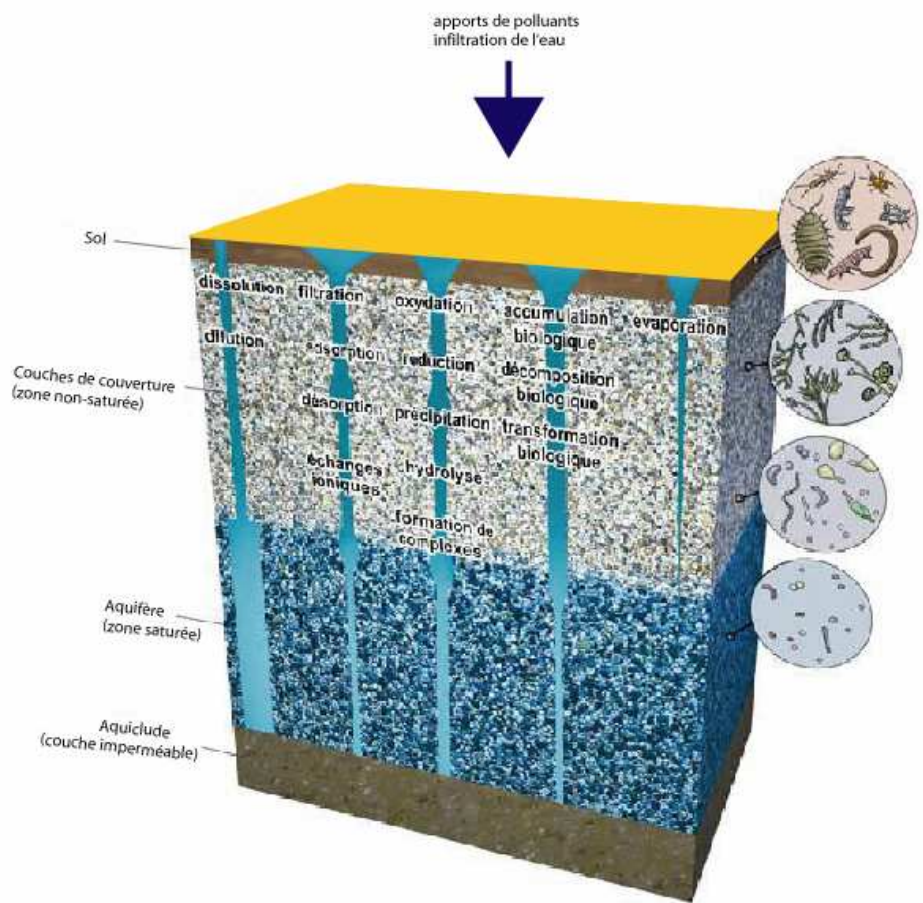
Le sous-chapitre précédent a détaillé la propagation de l'eau dans le sol. Il s'agit maintenant de voir qu'est-ce qui se passe avec les polluants contenus dans l'eau. Lors de son trajet dans le sol, des phénomènes d'autoépuration se produisent et une partie des pathogènes va mourir ou s'accumuler (adsorbée ou filtrée) dans la matrice du sol. Les auteurs distinguent de manière générale quatre processus principaux qui interviennent dans l'atténuation du polluant dans le sous-sol (ARGOSS, 2001 ; Cave et Kolsky, 1999 ; Schmoll, 2006). Un premier point est la durée de vie du pathogène. Nous avons vu que celle-ci peut varier fortement d'un organisme à l'autre, la capacité à survivre des microorganismes dépendant de nombreux facteurs. Elle est conditionnée notamment par l'humidité, la température, le pH, le taux d'ensoleillement, le taux d'évaporation, la composition du sol ainsi que par la matière organique présente (Cave, 1999 : 17). Les pathogènes peuvent aussi être consommés par d'autres organismes présents dans le sol. Ce processus a surtout lieu dans les premières couches du sol où les substances nutritives et le rayonnement ultraviolet, qui sont nécessaires à ces organismes, sont plus importants. La relation entre un pathogène et son milieu est d'ailleurs très complexe et il faut des connaissances approfondies des deux composantes pour pouvoir déterminer les conditions de survie d'un pathogène. Il se peut que des températures élevées puissent causer la mort soudaine de certains pathogènes alors que pour d'autres de telles conditions sont plus favorables. De même, un pathogène peut bien survivre dans une certaine couche du sol, mais dès qu'il est transporté dans un milieu un peu plus bas où le pH, le taux d'humidité, le taux d'ensoleillement ou autre facteur change, il va mourir.

La filtration mécanique du sol est un autre processus très important. Elle dépend de la taille du pathogène et de la structure du sol. Pour les vers et les protozoaires qui sont relativement larges ($>25\mu\text{m}$), le processus de filtrage du sol est généralement efficace et ces pathogènes sont retenus à sa surface. Pour les eaux souterraines, une pollution par des vers et protozoaires est donc peu probable, voir quasiment impossible. Il faut d'ailleurs préciser, que le filtrage ne fait que retenir les organismes, ils peuvent cependant facilement survivre dans leur milieu si les conditions sont bonnes. En revanche, les bactéries et les virus sont de taille plus petite et pour cette raison plus apte à se propager à travers le sous-sol. C'est ainsi que l'eau percolant dans le sol peut transporter les bactéries et les virus dans les nappes souterraines. Pour les virus qui sont de taille encore plus petite que les bactéries, l'effet de filtrage physique du sol est quasiment nul et une fois dans l'eau, ils sont transportés facilement. Pour les bactéries par contre, un sol fin argileux par exemple, peut constituer une barrière efficace contre la pollution des eaux.

Un autre phénomène qui a lieu durant le trajet est l'adsorption du polluant. Les micro-organismes peuvent s'attacher aux particules, ce qui les élimine de l'eau qui infiltre dans le sol. L'aptitude des micro-organismes à être adsorbés dépend du type de l'organisme, du pH de l'eau et du type de matériel de la zone non-saturée. Quelques micro-organismes présentent une charge électrique et peuvent ainsi facilement être adsorbés dans la zone non-saturée, ceci notamment si des minéraux réactifs sont présents. De manière générale, un pH bas favorise l'adsorption des virus. Le pH peut d'ailleurs changer rapidement et par conséquent la capacité d'adsorption.

Comme dernier point il faut mentionner que des phénomènes plutôt indirects de diffusion et de dilution font diminuer la concentration des polluants dans l'eau. Il faut aussi tenir compte que les micro-organismes ont quelques fois tendance à se regrouper, ce qui peut fausser le taux de concentration. Le taux d'inactivation des pathogènes dépend également du nombre de pathogènes initialement présents. Le schéma ci-dessus résume les différents processus d'atténuation qui ont lieu dans la zone non-saturée, respectivement dans la zone saturée. La variation de largeur des colonnes illustre l'efficacité relative des différents phénomènes d'autoépuration intervenant lors de l'infiltration des eaux météoriques et de leur progression vers la profondeur (OFEFP 2004 :20).

Figure 2.4 : Les phénomènes d'autoépuration dans le sol



d'après OFEFP (2004 : 20)

Tous les différents processus décrits ci-dessus ont lieu principalement dans la zone non-saturée et dans une moindre mesure aussi dans la zone saturée. La différence du comportement hydraulique selon les zones fait que les phénomènes d'autoépuration du sol sont moins importants dans la zone saturée où le gradient hydraulique est beaucoup plus fort. A des grandes vitesses d'écoulement, les processus de filtration et d'absorption ne peuvent plus avoir lieu et la capacité d'atténuation des polluants diminue brusquement une fois que les pathogènes ont rejoint la zone saturée. L'épaisseur de la zone non-saturée est donc primordiale dans l'atténuation d'un polluant du fait qu'elle fait augmenter le temps de résidence des pathogènes dans le sol avant de rejoindre les nappes souterraines.

En ce qui concerne l'apport en nitrate, ce dernier est absorbé notamment par les plantes. Le surplus de nitrate va dans l'eau souterraine. En condition aérobie, le nitrate percole en quantité importante dans l'aquifère, sous conditions anaérobies, le nitrate peut se décomposer en nitrites. La présence de nappes peu profondes, la quantité d'eau de pluie, la présence de matière organique et autres propriétés physicochimiques sont importantes pour le degré du nitrate dans le sol. Le facteur le plus important est cependant l'absorption des nitrates par les plantes.

Un dernier point important de ce sous-chapitre est que l'eau souterraine peut aussi apparaître à la surface libre, par exemple au niveau du puits ou au niveau des sources naturelles. A ces endroits, l'eau souterraine n'est donc pas protégée par la zone non-saturée contre la contamination. Les polluants peuvent alors retrouver et contaminer la nappe souterraine d'une manière très directe.

2.3.2 Le rôle de l'hygiène dans la transmission des pathogènes et la pollution de l'eau puisée

La figure 1.2 a montré que les pathogènes peuvent être véhiculés dans l'environnement non seulement à travers l'eau et le sol, mais aussi à travers les vecteurs comme les mains et les insectes. Ces voies de transmission sont d'une moindre importance lors de la pollution directe de la source d'eau, mais ont de l'importance plutôt dans la pollution de l'eau déjà puisée. La propagation des pathogènes s'effectue notamment lors des activités liées à la gestion de l'eau, à savoir lors du puisement, du transport et du stockage de l'eau. De nombreuses études ont démontré que l'eau se détériore après avoir été puisée. Il se peut donc que l'eau à la source soit d'une excellente qualité, mais qu'elle soit contaminée lors des différentes activités si les conditions d'hygiène et d'usage ne sont pas idéales. Wright J. et al. (2004) ont comparé systématiquement des études qui ont mesuré le taux des bactéries pour l'eau dans la source et pour l'eau stockée à la maison pour évaluer à quel point la contamination changeait entre les situations²⁰. Ils ont conclu que la contamination microbiologique de l'eau entre source et le moment d'usage est répandue. Des valeurs accrues en indicateurs fécaux dans les récipients de stockage ont été trouvées dans de nombreux cas.

Dans un environnement contaminé par de la matière fécale, les voies de transmission des pathogènes sont multiples et il est difficile d'évaluer par quelle voie exacte le pathogène a rejoint l'hôte et a provoqué une infection. Dans ce contexte, il faut noter que les pathogènes peuvent être injectés directement à travers les mains ou la nourriture contaminée. Certains auteurs (Curtis et al. 2000, Jensen P.K. 2002, Wright J. et al. 2004) supposent que cette façon d'infection pourrait même l'emporter sur la voie de transmission à travers l'eau. Nous partons du principe que des mauvaises conditions d'hygiène vont se manifester sur tous ces différents véhicules de transport et que la contamination d'un véhicule de transport implique souvent la contamination d'un autre.

²⁰ Les E. Coli ont été dénombrés dans l'eau à la source et dans l'eau du récipient de stockage. L'évaluation prend en considération uniquement les études de terrain dans les pays en voie de développement où l'eau est transportée depuis une source à l'extérieur de la maison et ensuite stockée à l'intérieur de la maison.

Une bonne hygiène est de manière générale directement liée à la quantité d'eau disponible. Selon l'OMS et la Banque Mondiale, 40 litres d'eau par personne et par jour sont nécessaires pour assurer une bonne hygiène corporelle et domestique (dans Billig et al., 1999 : 13). Cette quantité d'eau est utilisée pour le soin du corps, pour laver les différents outils domestiques, pour la maintenance d'un environnement propre ainsi que pour la lessive. Si dans une de ces activités, l'hygiène devient négligée, soit par manque d'eau, soit par négligence, le risque de diffusion de pathogène augmente. Des études ont montré que des interventions sanitaires visant à une amélioration de disponibilité en eau ont pu réduire à 25% les cas de diarrhées liées à l'eau (WHO 2003a :4). Il faut préciser que ces études englobent aussi les maladies fécale-orales qui sont transmises directement par les mains ou d'autres outils, sans passer par l'eau. Il est difficile de dire quelles parts de pathogènes véhiculés dans l'environnement domestique finissent dans l'eau de boisson et quelles parts d'entre eux infectent l'hôte directement.

Dans un ménage présentant des polluants fécaux, toutes les activités liées à la gestion de l'eau risquent de polluer la source d'eau de boisson. Un pathogène peut être véhiculé partout dans l'environnement soit directement, à travers les mains ou les animaux, soit indirectement à travers les outils domestiques et peut contaminer l'eau de boisson. De nombreuses barrières entre le dépôt fécal et le moment où les pathogènes retrouvent une ressource d'eau.

Le fait de se laver les mains après avoir déféqué, après avoir nettoyé les fesses d'un bébé ou encore après avoir changé les couches de ces derniers, constitue la première, et certainement la plus importante barrière contre la propagation des pathogènes. Se laver les mains avec de l'eau, en frottant et en utilisant du savon ou des cendres constitue la façon la plus efficace d'éliminer tout pathogène des mains. L'OMS (WHO, 2003a) a démontré que le simple fait de se laver les mains avec du savon peut réduire les cas de diarrhée à un tiers. Le lavage des mains doit se faire à plusieurs reprises durant la journée et doit se faire notamment après chaque contact possible avec de la matière fécale et avant chaque travail domestique qui requiert une grande demande d'hygiène (préparation à manger, le service de l'eau de boisson, etc.)²¹.

Cette hygiène corporelle ne peut être efficace que dans un environnement propre. Les excréments éventuels d'animaux ou de bébés doivent être évacués et aucun outil domestique ne doit entrer en contact avec ces derniers. Concernant l'hygiène domestique liée à la gestion de l'eau de boisson, il s'agit surtout de maintenir les outils utilisés en état propre. Les outils doivent régulièrement être lavés avec de l'eau et frottés avec une éponge. L'endroit de stockage des outils peut aussi être un critère important dans la propagation des polluants. Des outils qui traînent par terre ou qui sont accessibles aux enfants peuvent facilement être sujets à une contamination.

Les mouches sont généralement considérées comme une source potentielle de maladies diarrhéiques. Il est démontré que les mouches portent des pathogènes sur leurs pattes, dans leurs matières fécales et dans leur jus digestifs qu'elles relâchent partout. La propagation des pathogènes à travers les mouches peut être arrêtée en les éliminant par des insecticides ou par des tape-mouches ou en évitant le contact entre les mouches et les dépôts fécaux. Ce dernier point fait de nouveau référence au dépôt sécurisé des

²¹ Un lavage fréquent des mains demande d'ailleurs aussi une plus grande quantité d'eau et de savon, ce qui ne peut pas toujours être assuré.

selles, ce qui est dans ce contexte un double avantage. Il supprime la source des pathogènes dispersé par les mouches et il réduit la possibilité pour les mouches de pondre dans les selles. Pour finir on peut également considérer la cuisson de l'eau (jusqu'à ébullition) et la chloration comme des manières d'éliminer les pathogènes une fois qu'ils se trouvent dans l'eau de boisson.

3. Dispositif de l'étude

3.1 Questions et postulats de recherche

Le chapitre précédent fait émerger une série de postulats et de questions sur lesquelles nous nous baserons pour aborder l'évaluation de la contamination fécale de l'eau de boisson dans notre terrain d'étude. Trois questions se trouvent à la base :

1. Quel est le risque que l'eau soit contaminée au niveau de sa source, donc dans notre cas, quel est le risque que l'eau souterraine puisse être contaminée par de la matière fécale ?
2. Quel est le risque que l'eau soit contaminée dans un stade ultérieur, une fois l'eau puisée ?
3. Quel est l'impact de la qualité des infrastructures liées à l'eau sur la santé de la population ?

En ce qui concerne la contamination de l'eau au niveau de la source, on peut relever trois facteurs principaux qui ont une influence sur le risque de contamination :

Tableau 3.1 : Postulats concernant la contamination de l'eau au niveau de sa source

P1	La présence et la qualité des structures d'assainissement déterminent si de la matière fécale peut être transmise dans l'environnement et constituer un risque pour la nappe souterraine.
P2	La profondeur de la nappe et la texture du sol déterminent le risque de contamination de la nappe par infiltration des polluants à travers le sol.
P3	La qualité de construction du point d'eau et l'hygiène appliquée lors de l'usage déterminent le potentiel de contamination directe de l'eau.

Les structures d'assainissement étant déterminantes dans la propagation des pathogènes, il s'agit, dans premier temps, d'analyser ces dernières et d'évaluer dans quelle mesure celles-ci peuvent empêcher la transmission des pathogènes fécaux dans l'environnement. Les postulats P1 et P2 sont fortement liés. Dans le cas où l'analyse du premier postulat (P1) montre une infiltration des polluants dans l'environnement, le deuxième (P2) joue un rôle d'autant plus important dans la contamination de la nappe. Dans le sens inverse, l'importance de P1 diminue si les conditions posées dans P2 favorisent une atténuation des polluants dans le sol. Ce deuxième postulat rend une analyse des conditions naturelles du terrain d'étude indispensable afin de connaître la prédisposition à la contamination fécale. Finalement, au niveau d'une contamination directe de l'eau, le troisième postulat exige l'inspection des points d'eau. Il s'agit d'analyser si le type de construction peut protéger l'eau contre les polluants fécaux. Les méthodes d'usage constituant de leur part un risque, ces dernières doivent aussi être étudiées.

Deux postulats principaux sont ensuite à la base de la contamination de l'eau puisée :

Tableau 3.2 : Postulats concernant la contamination de l'eau au niveau de l'eau puisée

P4	Le stockage adéquat de la matière fécale et le lavage des mains peuvent fortement réduire la présence de polluants fécaux dans l'environnement.
P5	Les types d'activités ainsi que les types de récipients utilisés lors de l'usage de l'eau de boisson déterminent si des polluants fécaux peuvent contaminer l'eau puisée.

Il s'agit alors d'évaluer la présence des polluants fécaux dans l'environnement dans lequel les différentes activités liées à l'usage de l'eau ont lieu. Cette évaluation se fait dans un premier temps par l'analyse des

installations d'assainissement et leur potentiel de transmission des polluants par les différents modes de transmission. Dans un deuxième temps, c'est l'étude du lavage des mains qui permet de mesurer les dimensions d'une contamination fécale de l'environnement. Ensuite, le postulat P5 requiert l'analyse des différents récipients utilisés ainsi que de la manière dont ils sont utilisés et entretenus.

Finalement, en ce qui concerne la santé de la population, nous pouvons postuler :

Tableau 3.3 : Postulats concernant la santé de la population

P6	La situation de l'approvisionnement d'eau potable présente sur le terrain d'étude, se manifeste sur la santé de la population.
P7	Si l'eau potable dans le terrain d'étude est contaminée par de la matière fécale, la population souffre de maladies hydriques.
P8	La consommation d'eau potable contaminée se manifeste par des taux de diarrhée élevé dans la population et la diarrhée est le signe principal de maladies hydriques.

Ces postulats concernant la santé impliquent une étude détaillée des maladies présentes dans la population. Il s'agit de voir si des maladies hydriques peuvent être mises en évidence et si les cas de diarrhée sont nombreux dans la population.

Nous avons fait recours à différentes méthodes pour étudier et appliquer les postulats P1 à P8 sur notre terrain d'étude, qui sont présentées dans le chapitre suivant. La structure de présentation suit la chronologie des étapes de travail sur terrain et de retour à la maison. Dans la structure du travail nous avons d'abord utilisé les méthodes visant à évaluer les conditions sur place, c'est-à-dire que nous avons dû récolter toutes les informations concernant les postulats P1 à P8. Cette phase d'acquisition des données et d'analyse sur terrain est suivie par le traitement et l'évaluation de ces dernières.

3.2 Méthodologie

3.2.1 La littérature scientifique

Sachant que l'acquisition des données serait difficile sur place, nous avons préparé un maximum d'informations avant le départ. L'étude de la littérature scientifique, notamment au sujet des méthodes concrètes existantes sur le terrain, des questions techniques concernant les installations hydrauliques et sanitaires en milieu rural, le comportement des polluants dans l'environnement, ainsi qu'au sujet des rapports aux liens entre eau, santé et hygiène, a été d'une aide précieuse sur le terrain et a permis de concevoir rapidement la problématique sur place pour appliquer les approches qui y sont relatives. L'ensemble de la partie théorique du présent travail (chapitre 2) a été élaboré sur la base de cette littérature scientifique.

3.2.2 L'acquisition des données pour les différents domaines sur le terrain

Dans les premières semaines sur le terrain, il s'agissait surtout d'acquérir une vue d'ensemble de la situation. De nombreuses discussions plus ou moins structurées avec différentes personnes du village nous ont fourni les premiers éléments importants par rapport aux différents sujets de notre travail. Nous

avons aussi fait des observations passives lors des parcours dans la communauté du village, lors des visites des concessions, des points d'eau, des latrines, des établissements scolaires, etc. Cette première phase de terrain nous a permis de se faire une idée sur les types d'installations sanitaires et hydrauliques présents, sur la vie domestique dans les concessions et elle nous a également permis de relever quelques aspects hydrologiques et géologiques de la région.

Dans une étape ultérieure, nous avons effectué des entretiens avec les acteurs des différentes institutions, notamment avec les responsables du bureau hydraulique à Gaya, avec les personnes qualifiées des centres de santé à Gaya et à Bengou, ainsi qu'avec les différents responsables techniques du Fonds de soutien aux investissements locaux (FSIL). Les entretiens étaient structurés par une liste de questions relatives aux différentes informations recherchées. Pour mieux appréhender la situation hydrogéologique nous avons dressé avec un hydrogéologue²² des coupes et nous avons pu consulter quelques ouvrages dans leurs bureaux. Ces entretiens nous ont aussi permis d'avoir une vue d'ensemble sur les différentes installations hydrauliques présentes dans la région et les problématiques qui y sont liées. Concernant les informations sur les installations sanitaires, nous avons consulté les plans de construction de l'architecte et avons discuté avec lui de leur fonctionnement et de leur usage. Les données sur les morbidités majeures obtenues auprès des centres sanitaires (CSI)²³ étaient saisies sous forme électronique et classifiées par la suite pour mieux les interpréter.

3.2.3 Les données sur la santé de la population provenant des rapports de santé et des questionnaires

Le CSI produit trimestriellement des rapports de santé. La structure de base du rapport est établie par le Ministère de la santé et de la lutte contre les endémies du Niger²⁴. Il comporte une liste avec les maladies les plus fréquentes (au total : 65 maladies) et des colonnes avec différents groupes d'âges. Il était prévu de faire l'analyse des rapports médicaux sur une période de deux ans afin de pouvoir mieux comparer les données et de relever des variations saisonnières. Malheureusement, les rapports étaient uniquement complets pour l'année 2005. Pour augmenter la fiabilité, nous avons donc travaillé uniquement avec les données de l'année 2005.

Le fait de disposer des rapports médicaux pour obtenir une image de la santé de la population facilite le travail, mais comprend également quelques soucis méthodologiques. Nous ne voulons pas entrer trop dans des détails méthodologiques et mentionnons à ce point seulement les facteurs suivants : en utilisant le rapport du CSI de Bengou, nous comptons uniquement les individus qui se présentent dans ce dernier et excluons les individus qui vont voir un autre médecin ou guérisseur, ainsi que ceux qui traitent les maladies par automédication ou encore ceux qui n'ont pas les moyens de faire des analyses médicales. Aussi, nous comptons également toutes les personnes qui viennent depuis l'extérieur. Ensuite, l'approche de mesurer les maladies pour avoir une image de la santé de la population exclut tous les individus qui seraient

²² Bureau hydraulique de Gaya, Monsieur Marah Hamidou.

²³ Centres sanitaires intégrés du type 1 (CSI1), Formations sanitaires publiques disposant de 12 lits d'observations.

²⁴ Ce ministère a créé un système national d'information sanitaire (SNIS) qui permet de centraliser les données sanitaires au niveau national. Tous les CSI du Niger doivent envoyer régulièrement leurs rapports au SNIS. Il semble d'ailleurs exister des problèmes importants dans la collecte et gestion systématique des données. Nous avons cherché les rapports au niveau du CSI Bengou et au niveau de l'hôpital de Gaya (qui assemble les rapports du district entier) mais les données restaient lacunaires.

malades mais qui ne présentent pas de symptômes ou pas de symptômes graves pour le moment. L'interpolation des résultats sur la population de Bengou est de mise avec la prudence.

D'autres données sanitaires ont été récoltées au sein de la population à travers des questionnaires (cf. section 3.2.4). Ceux-ci comportent notamment une évaluation plus précise de l'importance des cas de diarrhée dans la population.

3.2.4 Le questionnaire et la grille d'analyse

Une autre phase du travail consistait en l'élaboration d'un questionnaire et d'une grille d'analyse sur la base des informations obtenues lors des premières semaines (cf. annexe 1). La conception de ce dernier est indispensable pour connaître l'usage de l'eau et l'état de la santé de la population ainsi que pour l'analyse des différentes installations. Afin de pouvoir traiter l'objet d'étude dans le cadre conceptuel défini, le développement d'un nouveau questionnaire et d'une grille d'analyse était incontournable. Nous n'avons effectivement pas pu trouver d'études antérieures couvrant toutes les dimensions de notre travail. Les différentes études qui ont été faites dans ce domaine n'analysent qu'un aspect particulier et nous n'avons pas pu trouver un travail qui analyse la contamination de l'eau de boisson depuis la source jusqu'à la fin comme c'est le cas du nôtre. Certaines parties du questionnaire et de la grille d'analyse que nous avons développés s'inspirent pourtant de séries de critères qui ont été utilisées et testées dans le cadre d'études antérieures.

La partie questionnaire avait alors pour but d'acquérir des informations sur les points d'approvisionnement en eau de boisson de la population, sur les pratiques appliquées lors de l'usage de l'eau ainsi que de connaître le comportement hygiénique et le taux de cas de diarrhée présente chez la population.

La grille d'analyse était conçue pour inspecter et évaluer les différentes installations présentes sur le terrain. C'est notamment le cas des variables caractérisant les dépôts de matière fécale, les puits, les latrines, ou la façon de stocker et transporter l'eau. En effet, il a été démontré que certaines infrastructures favorisent la contamination et que d'autres l'empêchent. Le but est de relever à l'aide de critères, si, d'une part, les polluants peuvent être transmis dans l'environnement depuis les différents dépôts de matière fécale et si, d'autre part, la source d'eau est assez protégée contre ces derniers. Si un seul des critères de notre grille d'analyse n'est pas respecté par rapport au dépôt fécal ou par rapport à la source d'eau, il y a un risque que les pathogènes soient transportés dans l'environnement et qu'ils puissent, par la suite, contaminer la source d'eau. Les critères ont été déterminés d'un côté à l'aide des informations de la littérature scientifique, notamment grâce aux manuels de construction de puits et de latrines, aux fiches d'évaluation des installations existantes et grâce aux publications concernant la gestion de l'eau de boisson au niveau de sa source et au niveau domestique. De l'autre côté, nous avons pris ces critères et les avons assemblés et ajustés à la réalité du terrain.

Pour effectuer notre étude, nous avons choisi de travailler avec un échantillon de 50 individus. Les 50 familles qui ont répondu au questionnaire et auprès desquelles nous avons effectué nos inspections avec la grille d'analyse ont été choisies au hasard parmi la liste des habitants des six quartiers de Bengou. Le

panel étudié n'est donc pas représentatif de l'ensemble de la population du village. En effet, il n'était pas possible, vu les données à disposition²⁵, de choisir les familles selon des critères précis. Nous avons interrogé les femmes, car ce sont elles qui s'occupent en général de l'approvisionnement et du stockage de l'eau. Seule la famille du chef a été interrogée dans tous les quartiers, pour des raisons culturelles. Le nombre de familles interrogées est proportionnel à la population totale du quartier, ainsi on se retrouve avec :

Tableau 3.4 : Population des quartiers de Bengou

Quartier	Nbre habitants	Nbre de familles	Nbre de familles interrogées
Goye	1577	235	12
Nafoga	1200	238	12
Bako	1259	202	10
Manzon	349	141	7
Sala	757	114	6
Illela	1430	67	3
Total	6572	997	50

Source : Recensement de la population du 27.05.2006

Le questionnaire et la grille d'analyse ensuite établis ont été testés auprès de quelques familles choisies au hasard, ne faisant pas parties de l'échantillon. La grille d'analyse a pu être utilisée telle quelle dans son ensemble, quant au questionnaire, il a nécessité quelques adaptations. Comme il s'agit d'un sujet un peu délicat qui touche des parties très personnelles et intimes des personnes (visite de leurs latrines, questions sur diarrhée, comportement hygiénique, état de connaissances, etc.), une certaine gêne s'est parfois fait ressentir. Nous avons par conséquent abandonné certaines questions et avons abordé les sujets d'une autre manière (par observation ou discussion avec des personnes familières). Après la phase test, l'enquête a été effectuée durant deux semaines sur place auprès des familles. Un délégué du chef du village nous a dirigé dans les différents quartiers pour retrouver les familles retenues dans l'échantillon et pour nous présenter auprès de ces dernières. Ensuite, nous avons travaillé avec un traducteur pour réaliser les interviews. Nous avons à chaque fois commencé par les questionnaires et avons ensuite appliqué la grille d'analyse sur les différentes installations.

Il faut être conscient des problèmes de communication et d'interprétation des questions et des réponses. Les habitants de la région étudiée parlant presque uniquement le haoussa et le zarma, un interprète était présent lors de chaque entretien. Toutefois, les possibilités de mauvaise compréhension de la question et d'imprécision dans les traductions existent, d'autant plus que toutes les interviews n'ont pas été réalisées avec le même interprète et que le français n'est pas notre langue maternelle non plus. Pour éviter ces problèmes au maximum, l'interprète avait été informé de la démarche et du but de ces questionnaires. D'autre part, comme c'est le cas dans toutes les enquêtes, les réponses ne peuvent pas être vérifiées et on ne peut exclure des réponses inventées. Les questions étaient d'ailleurs posées de sorte à obtenir un maximum de fiabilité dans les réponses (la plupart du type fermé et bimodal). Les observations sur la base de la grille d'analyse ont par contre toutes été effectuées par la même personne et sont donc plus fiables que les données obtenues en questionnant les personnes.

²⁵ Le recensement de la population de Bengou ne fournit que le nombre de personnes par famille ainsi que leur nom et leur âge.

Le fait d'avoir travaillé avec des traducteurs masculins a parfois suscité un problème car il n'avait pas le droit de pénétrer dans certaines concessions pour des raisons religieuses. Dans ces cas, les questionnaires étaient faits à l'entrée de la concession et avec la présence du serviteur du chef du village. L'inspection des installations et des outils domestiques était alors faite sans eux. Des questions relatives à des pratiques domestiques observées étaient notées et discutées après les inspections. Avec ces différentes difficultés rencontrées, on peut donc légitimement penser que la fiabilité des réponses n'est pas toujours optimale, mais il était difficile de faire mieux dans ces conditions.

3.2.5 Recours à des méthodes simples pour l'évaluation du niveau statique de la nappe, du type du sol et certains aspects qualitatifs de l'eau

Le manque de données sur les paramètres physiques du terrain d'étude ainsi que l'absence d'appareils techniques nous ont poussé à avoir recours à d'autres méthodes. D'abord, l'observation de la géomorphologie, des spécificités du sol, des affleurements de l'eau, etc. nous a donné une compréhension globale de ces aspects physiques. Ensuite, nous avons fait appel à une méthode très rudimentaire pour déterminer le type du sol (échelle de mesure pour taille des grains proposée par MacDonald, cf. chapitre 4.2). En ce qui concerne la détermination de la profondeur de la nappe, nous disposons d'indications générales pour la région, provenant de rapports divers. La profondeur précise sur place a été déterminée en mesurant le niveau statique dans les puits (évaluation dans 53 puits avec une corde munie de nœuds avec 1 mètre d'intervalle à chaque fois).

Quelques aspects principaux par rapport à la qualité l'eau (taux de nitrate, phosphate, etc.) ont été mesurés à l'aide de kits de contrôle (Merckoquant) pour l'eau douce (cf. chapitre 5). En effet, ces kits, pratiques, sont relativement fiables et donnent une bonne indication quant aux paramètres chimiques de l'échantillon. Avoir à disposition un laboratoire transportable pour déterminer notamment la qualité microbiologique de l'eau aurait été un outil précieux. Ce dernier aurait pu confirmer de manière plus importante certains aspects qui restent parfois un peu approximatif dans notre travail, dont notamment la distinction entre contamination de l'eau au niveau de sa source et au niveau ultérieur.

3.2.6 La saisie et l'analyse des données récoltées sur le terrain

Les informations récoltées durant les différentes étapes décrites ci-dessus ont par la suite été saisies sous forme électronique (Excel). La base de données résultante (cf. CD en annexe 8) comportait les familles recensées (50 individus) et les différentes variables analysées avec le questionnaire et la grille d'analyse (au total 73 variables). Il faut préciser que les données sur lesquelles nous avons travaillé pour ce travail n'avaient, à l'origine, pas été récoltées dans le but de faire une analyse statistique détaillée. Nous ne pensions donc pas obtenir de résultats parlants en effectuant les analyses. Nous avons toutefois analysé les données avec le logiciel statistique XLSTAT. Nous pensions principalement effectuer des analyses dans le but de voir si on pouvait établir des classifications selon les quartiers ou selon les puits, si on pourrait relever des liens entre type de puits et qualité de l'eau (taux de nitrates) ou cas de diarrhée, si la localisation des individus dans les quartiers de la ville avait un impact sur leur comportement par rapport à

l'eau ou sur les infrastructures, etc. Or nous n'avons rien pu relever de ce côté-là et rien ne laisse supposer une différenciation marquée selon les individus ou les variables. La base de donnée a pourtant permis de traiter et de résumer le grand nombre d'informations à disposition. Les calculs mathématiques basiques des moyennes, proportions etc. ont pour leur part contribués à la compréhension d'une modalité ou du poids d'une variable.

3.2.7 La méthode ARGOSS²⁶ pour l'évaluation du risque de contamination de l'eau de boisson

Finalement, après le travail de terrain nous avons effectué une évaluation du risque concernant la contamination de l'eau de boisson. L'évaluation du risque nous a semblé être l'approche la plus pertinente vu l'absence de critères nationaux par rapport à la protection des ressources en eau. Les méthodes existantes par rapport à l'évaluation du risque de contamination de l'eau sont pourtant très rares et simplistes du fait que les études scientifiques sur le comportement des polluants microbiologiques dans l'environnement en sont encore à leurs débuts. La plupart des méthodes ne prennent pas en compte des facteurs importants comme la texture des sols ou le niveau statique de la nappe souterraine dans leur évaluation. Nous avons décidé de travailler avec une méthode un peu plus sophistiquée proposée par ARGOSS (2006). Dans leur manuel *Guideline for Assessing the Risk to Groundwater from On-Site Sanitation*, ARGOSS propose un outil simple pour évaluer le risque de contamination de la nappe en prenant en considération le type de sol et l'épaisseur de la zone non-saturée. Ils ont incorporé un facteur de sécurité pour les incertitudes dans la classification du type de roche ainsi que pour l'estimation de la profondeur de la nappe depuis la source de pollution. La profondeur jusqu'à la nappe phréatique est mesurée depuis l'endroit où le liquide, contenant les polluants, entre dans le sol. Dans le cas où ce dernier s'infiltré depuis la surface, la distance correspond donc à l'épaisseur de la zone non-saturée.

Le risque d'une contamination microbiologique correspond au potentiel d'un pathogène à rejoindre la source d'eau souterraine. Le risque peut être défini par le temps de trajet de l'eau contaminée depuis la source de pollution jusqu'à la source d'eau souterraine (d'après ARGOSS 2001 : 35). La méthode consiste à compter le nombre de mètres parcourus du pathogène durant un nombre de jours précis. De manière générale, la distance minimale acceptée est celle qui équivaut à 50 jours de durée de trajet (WHO 2006 : 150²⁷). Celle-ci est basée sur des expériences sur le temps de survie des virus en laboratoire et sur le terrain. ARGOSS distingue trois groupes de risques qui sont résumés dans la figure ci-dessous.

²⁶ ARGOSS : Guidelines for Assessing the Risk to Groundwater from On-Site Sanitation

²⁷ Dans le langage scientifique, le terme « minimum safe distance (MSD) » est généralement utilisé pour déterminer la distance entre des potentielles activités polluantes et point d'eau.

Figure 3.5 : Les catégories de risque

Risque significatif: moins de 25 jours de durée de trajet

Quasiment impossible que la qualité des eaux remplisse les directives de l'OMS parce que la durée du trajet de l'eau depuis une source contaminée à la source d'eau souterraine se situe en dessous de 25 jours.

Faible risque : entre 25 et 50 jours de durée de trajet

Possibilité, mais pas de garantie, que la durée du trajet soit assez longue pour diminuer le taux de micro-organismes à un niveau sans risque sur la santé et pas de garantie que l'eau remplisse les directives de l'OMS

Très faible risque : plus de 50 jours de durée de trajet

Plus grande possibilité que l'eau remplisse les directives et que les pathogènes plus persistants soient enlevés car le temps de trajet est plus grand que 50 jours.

d'après ARGOSS, 2006

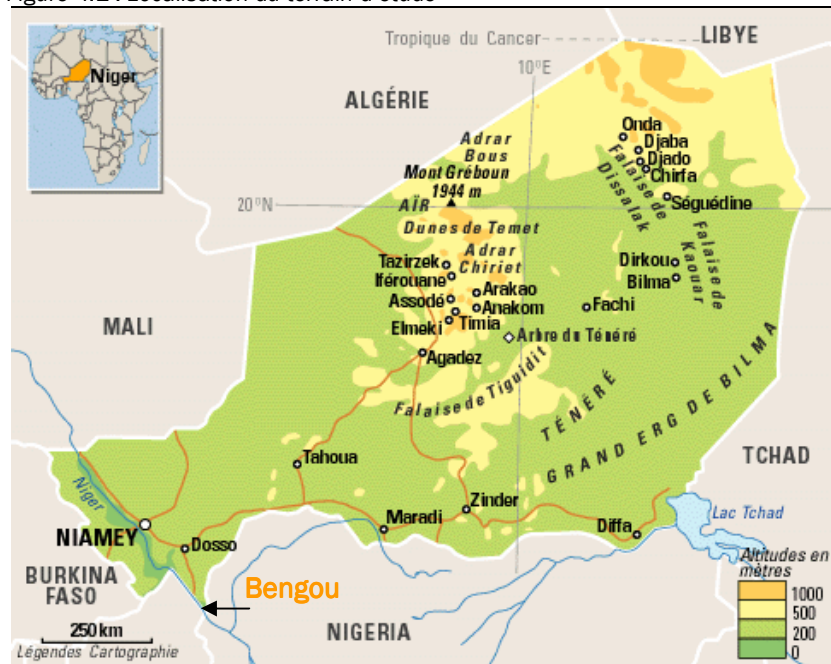
Le risque pour chaque source de pollution potentielle de l'eau de boisson rencontrée sur le terrain sera évalué sur la base de cette classification.

4. Le terrain d'étude

4.1 Situation géographique, climatique et socio-économique de Bengou

Le village de Bengou se trouve à l'extrême sud-ouest du pays, dans le département de Gaya. La région de Gaya est une zone frontalière, limitrophe avec le Bénin et le Nigeria (cf. carte ci-dessous). La région est caractérisée par un relief peu accentué, constitué de grès et de sables. Bengou se trouve à une altitude de 150 mètres au-dessus du niveau de la mer, dans le dallo²⁸ Maouri. Le dallo est une vallée fossile creusée dans des formations ultérieures, formant une plaine d'une largeur de 5 à 15 kilomètres, d'orientation Nord-sud de 300 km de longueur. La vallée du Maouri prend naissance sur le plateau gréseux de l'Ader Douthi (altitude 400-700 m) et est rejoint par son affluent principal le Dallo Fogha en peu plus au Sud (cf. carte dans annexe 3). Les deux rejoignent le fleuve Niger en rive gauche un peu plus à l'aval de Gaya, dans le village de Dolé.

Figure 4.1 : Localisation du terrain d'étude



Source : globalvillage.free/leniger/niger.php

Se situant en bordure méridionale de la zone sahélienne, la circulation atmosphérique de la région est caractérisée par l'alternance de l'Harmattan, vent chaud et sec du Nord-est et la mousson, vent humide du Sud-ouest. Ces deux vents sont régis par le courant du front intertropical (FIT) et caractérisent les deux saisons de la région : de mars à octobre souffle la mousson, d'origine maritime qui amène la pluie, et de novembre à avril, en saison sèche, souffle l'harmattan.

La région appartient à la zone climatique soudano-sahélienne avec 788 mm de précipitations par année en moyenne²⁹ et est la région la plus humide du pays. Ce climat est caractérisé par une seule saison de pluie

²⁸ Dallo: Grande vallée fossile avec écoulements intermittents liés à la saison des pluies

²⁹ Moyenne annuelle des précipitations de la station de Gaya pour la période de 1931-2004 (dans DAMBO L. 2007 : 64)

allant de mai à septembre-octobre, appelée hivernage par la population locale. Les pluies dans la région tombent généralement avec une forte intensité, avec des précipitations particulièrement fortes en août. Les pluies sont en plus caractérisées par une faible extension spatiale et décroissent vers le Nord. Les températures sont élevées durant toute l'année, avec la période la plus fraîche en décembre et janvier (minima 18,7, maxima 33,3) et les mois les plus chauds et secs de mars à mai (minima 27,3 maxima 40,4)³⁰. Les fortes températures ont pour conséquence une évaporation élevée. Les précipitations sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle³¹ seulement pendant les trois mois de juillet à septembre.

La potentialité des ressources naturelles de la région comparée au reste du pays fait que cette région a toujours été attirante pour l'implantation humaine. La dynamique de la population de la région est caractérisée par la croissance rapide de la population (département de Gaya 3,4% comparé à 3,3% au niveau national), par la jeunesse de sa structure (53,5% de la population du département de Gaya ont moins de 15 ans), par la distribution spatiale inégale (la majorité de la population vit au Sud du département et on note une plus grande concentration dans les dallols que sur les plateaux), par le taux élevé de la population rurale (90,3% de la population sont rurales)³² et par une densité de la population très élevée comparée au reste du pays. Cette dernière se trouve en évolution constante, la densité moyenne du département était de 17 hab./km² en 1968 et a évolué à 75 hab./km². Cette densification est encore plus importante dans les dallols (de 33 à 200 hab./km² dans la même période). La rapide croissance démographique de la région s'explique par le fort taux de natalité (52,8‰), l'amélioration des conditions sanitaires, l'indice de fécondité très élevé (plus de 8 enfants par femme) ainsi que par le taux migratoire important de la région. Cette rapide croissance démographique a de forts impacts sur les ressources naturelles de la région.

Le village de Bengou et les hameaux alentours comptent environ 11'000 habitants. De nombreuses ethnies se sont installées au cours du temps dans ce village, dont les Haussa (58,2%) et les Zarma (20,9%) constituent la majorité (MOTCHO : 4). L'activité principale de la population de Bengou est l'agriculture, une grande partie se consacre également à l'élevage. Les six quartiers qui font partie de notre échantillon comptent 6'600 habitants d'après le recensement de 2006. Lors de nos enquêtes, nous n'avons pas pu déceler de diversités ethniques et culturelles marquantes au niveau des quartiers. La population semble assez homogène au niveau social et économique. Les constructions des maisons sont plus ou moins semblables, avec des clôtures en banco³³ dans la plupart des cas, une présence d'un puits et d'une latrine à l'intérieur de la concession. Au niveau propreté et hygiène, il y a eu certaines différences selon les concessions, mais cela ne semblait pas avoir un rapport avec les quartiers.

³⁰ Les moyennes mensuelles minimales et maximales ont été enregistrées à la station de Gaya de 1970 à 2004 (dans DAMBO L. 2007 : 60)

³¹ L'évapotranspiration potentielle est la quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée sous un climat donné par un couvert végétal continu bien alimenté en eau. Elle comprend donc l'évaporation du sol et la transpiration de la végétation d'une région donnée pendant le temps considéré. Elle s'exprime en hauteur d'eau. Source glossaire international d'hydrologie <http://www.cig.ensmp.fr/~hubert/glu/FR/GF0926FR.HTM> [consulté le 25.9.07]

³² Sources de tous les chiffres DAMBO L. 2007, se basant sur l'ensemble du département de Gaya.

³³ Briques en argile

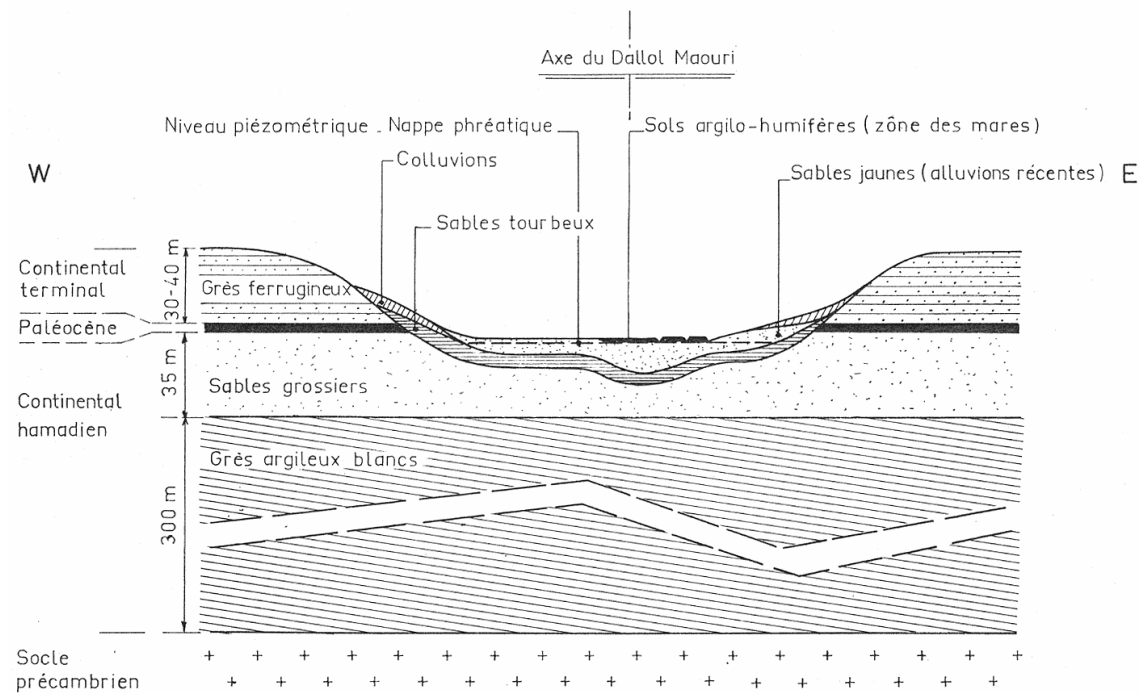
4.2 Présentation géologique et pédologique de la région

4.2.1 La géologie de la région de Gaya

La géologie de la région est essentiellement marquée par des dépôts sédimentaires. Les sédiments se sont formés dans le bassin des Illumedden durant l'âge secondaire et tertiaire. L'Illumedden est un grand bassin couvrant une superficie d'environ 500'000 km² et s'étendant entre le massif du Hoggar en Algérie et le massif de l'Air au Niger jusqu'au Mali et Bénin. Par rapport à l'histoire de formation de ces couches sédimentaires, les géologues distinguent trois phases majeures qui ont marquées le processus de remplissage du bassin. Les grès et les sables paléozoïques de la première phase reposent au plus bas (dépôts du Continental Intercalcaire CI) sur le socle Précambrien (granite), suivi par les sables, les argiles et les marnes du secondaire (dépôts du CI et du Continental Hamadien CH) et par les sables, les grès et les oolithes tertiaires (dépôts marins du Crétacé supérieur et du Continental Terminal CT). Au sommet reposent les dépôts du Quaternaire (sables éoliens, alluvions anciennes et récentes dans les vallées des dallols).

Notre terrain d'étude se situe dans la partie occidentale de ce vaste bassin d'Illumedden. Les roches qui affleurent dans notre zone d'étude sont de la base au sommet celles du CH, du CT et du Quaternaire, comme le montre, de manière schématique, la coupe géologique ci-dessous. Bengou étant situé dans le dallol Maouri, nous nous retrouvons donc entièrement dans une zone de dépôts quaternaires (alluvions anciennes et récentes des dallols).

Figure 4.2 : Coupe schématique perpendiculaire au Dallol Maouri au nord de Bana³⁴ (zone amont)



³⁴ Le village de Bana se trouve à quelques kilomètres au Nord de Bengou et se situe comme Bengou dans le dallol Maouri. Les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques sont quasiment identiques.

Il est important de bien connaître la géologie régionale afin de comprendre de quelle manière l'eau est présente dans le sol. La présence de roches sédimentaires peu consolidées dans la région permet une transmission aisée et un stockage de l'eau dans le sol. La géologie de la région offre donc de bonnes conditions pour la mise en place et l'alimentation des nappes souterraines (cf. chapitre 4.3.1). C'est principalement le cas des roches meubles comme les sables qui présentent des pores larges et bien connectées. A ce sujet, ce sont certainement les dépôts alluviaux dans les dallols qui présentent les plus grandes perméabilités. Par contre, la porosité et la perméabilité sont plus réduites, mais toujours bonnes (comparée à des roches métamorphiques par exemples) aux endroits où les roches ont été altérées (p.ex grès et argiles).

4.2.2 Les caractéristiques du sol de Bengou et le comportement de l'eau dans ce dernier

Du fait que la zone non-saturée joue un rôle primordial pour la qualité des eaux souterraines, nous allons ici analyser plus en détail les caractéristiques du sol de Bengou. S'agissant dans notre cas de polluants microbiologiques qui peuvent être atténués, cette couche de sol est d'autant plus importante au niveau de la protection de la nappe. Comme les polluants se propagent dans le sol par l'intermédiaire de l'eau, nous allons analyser le comportement de ce dernier dans le sol. Nous nous intéressons notamment à la capacité d'infiltration afin de savoir à quel point le sol de Bengou permet la propagation de l'eau et des pathogènes. La partie théorique a montré que les six paramètres suivants ont une influence sur la capacité d'infiltration : la compaction de la surface du sol, la couverture du sol, la topographie, le débit d'alimentation, la teneur en eau initiale du sol et finalement le type de sol.

4.2.2.1 Compaction, couverture et topographie du sol

Les facteurs qui influencent l'infiltration dans le sol se réfèrent dans un premier temps au caractère superficiel du sol. En ce qui concerne la compaction du sol de Bengou, nous pouvons dire que la surface du sol à l'intérieur du village de Bengou est avant tout dans son état sauvage. Le sol n'est nulle part aménagé et les activités agricoles qui demandent un usage intensif de la terre et ayant par conséquent un grand impact sur l'infiltration de l'eau dans le sol, se trouvent toutes à l'extérieur du village³⁵. C'est peut-être le caractère sableux du sol à l'intérieur du village qui le rend moins sujet aux processus de compaction que d'autres sols. A l'intérieur des concessions par contre, la couche superficielle du sol présente souvent un aspect fin et lisse. Nous imaginons que ce sont les activités domestiques qui altèrent et tassent le sol à ces endroits (p.ex. présence d'eau, aux travaux de balayage, circulation des personnes et du bétail, etc.).

En matière de terrain construit qui présenterait des superficies imperméables, Bengou est très peu aménagé. Il n'y a ni routes goudronnées, ni places publiques cimentées qui pourraient diminuer localement la capacité d'infiltration de l'eau. Les seuls endroits qui présentent une superficie imperméable sont les toits des maisons ainsi que quelques minces rebords cimentés aux bâtiments de l'école et de la commune.

³⁵ Notons que le sol aux alentours de Bengou est fortement aménagé à des fins agricoles. L'absence quasiment totale de machines lourdes, fait que le sol n'est d'ailleurs pas aussi tassé que dans d'autres régions agricoles.

En outre, au niveau géologique, la localisation profonde de la roche mère fait qu'aucune roche imperméable qui pourrait empêcher l'eau de s'infiltrer n'affleure. Par contre, la présence d'argile à certains endroits, pourrait diminuer localement la capacité d'infiltration. C'est par exemple le cas à l'entrée de Bengou où le sol est plus argileux.

Ensuite, le couvert végétal de Bengou est très léger et se restreint à la présence de quelques arbres. Le sol en tant que tel ne présente aucune végétation à part quelques buissons isolés. Le sol est donc partout à nu et l'eau de pluie arrive directement sur la surface du sol sans être ralentie par la végétation. Pendant les pluies intenses, le sol n'est donc pas protégé de l'impact de la pluie et le battement des gouttes peut détruire les couches superficielles et réduire la capacité d'infiltration. La faible végétation se traduit aussi par un système radiaire quasiment absent, le long duquel l'eau pourrait trouver un trajet direct vers la profondeur. Un aspect très important qui résulte de cette absence de couverture végétale dans le village est que le sol de Bengou ne présente pas une véritable couche d'humus. Cette absence de matière organique fait que l'activité microbiologique dans le sol est très faible, ce qui a un impact fort sur les phénomènes d'autoépuration qui se produisent surtout dans ces couches, les réactions biochimiques sont donc réduites dans notre cas.

Photo 4.3 : Végétation peu abondante à Bengou



Hinden, 2007

La topographie de la région, avec son relief peu accentué, est très favorable à l'infiltration de l'eau. A l'échelle de Bengou, la superficie est très plate et uniforme. Avec cette absence de pente, l'eau ne s'écoule donc pas par ruissellement et s'infiltrer davantage dans le sol.

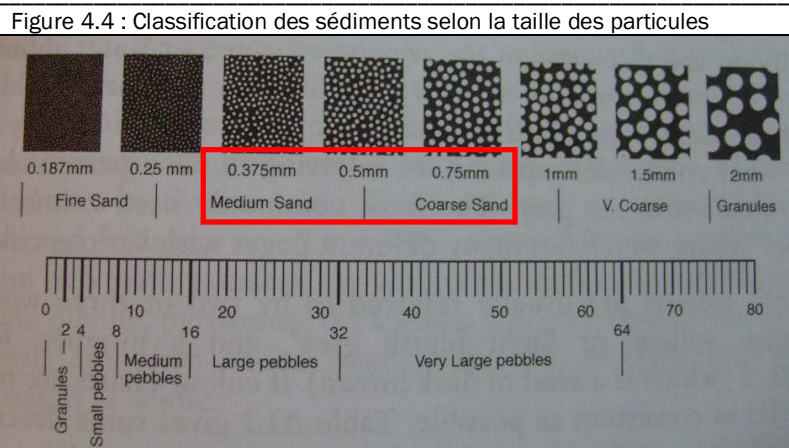
4.2.2.2 Type et structure du sol

Pour déterminer le type du sol, nous disposons d'abord de quelques indications provenant de la littérature, dont notamment la thèse de Guero (2003) et de Dambo (2007), ainsi que des forages faits par la Food and Agricultural Organization FAO (dans Beck et Girardet 2003). D'après eux, il s'agit de dépôts alluviaux récents non consolidés, constitués de sables de taille variable ou de structure grossière. Guero décrit les

sols dans les dallois comme étant du sol hydromorphe à gley profonde³⁶. Ces indications se réfèrent d'ailleurs uniquement à l'échelle de la région. Du fait que la structure du sol varie d'un endroit à l'autre et que nous ne disposons pas d'études à l'échelle de Bengou, les paragraphes suivants sont consacrés à l'analyse du sol à Bengou.

Toute classification du sol se fait d'abord par un travail d'observation et de description. Nous avons analysé le sol en partant des couches superficielles vers les couches profondes. Des aspects comme la couleur, le degré de consolidation, la taille et la forme des grains ont ainsi été décrits. L'aspect physique de la superficie du sol est assez homogène. Ce sont des sables meubles, de structure plutôt grossière et de couleur beige-jaunâtre en général. Au niveau de la couleur, on peut cependant noter des différences, notamment à l'intérieur des concessions. A ces endroits, le sol présente plutôt un aspect grisâtre. Ceci s'explique probablement par un taux d'humidité plus important dans le sol résultant de l'activité domestique. Le volume d'eau engendré par ces dernières a une influence sur les processus d'altération et par conséquent sur la couleur. Ensuite, des accumulations de sables très meubles et d'aspect légèrement plus clair se trouvent à plusieurs endroits à Bengou. Ces dernières résultent de dépôts éoliens récents.

Pour déterminer la taille des grains du sol à la surface, nous avons classifié le sol sur place à l'aide d'une méthode proposée par MacDonald et al. (cf. figure 4.3). L'échelle et la classification concordent avec celles utilisées au long du travail. Nous avons pris des échantillons de sable à différents endroits et les avons mesurés à l'aide du schéma ci-dessous. En général, on retrouve un mélange de différentes tailles de grains, mais il y a une dominance nette des grains entre 0,375 mm et 0,75 mm. Les sables des couches superficielles peuvent ainsi être classés comme des sables moyens à grossier.



Ensuite, la texture en profondeur du sol a été étudiée sur le terrain en analysant le profil dans deux fosses récemment creusées pour la construction de puits, respectivement de latrines. Ce profil atteint cinq mètres pour la première et six mètres pour la deuxième fosse. Le sol ainsi analysé présente une structure homogène du point de vue texture et couleur sur tout le profil. Le changement de couleur, plus grisâtre que

³⁶ Les sols hydromorphes sont caractérisés par leur présence continue d'eau. En pédologie, l'hydromorphie désigne un ensemble de processus résultant de l'action de l'eau envisagée comme facteur principal d'évolution des sols. Les sols dont la genèse est dominée par un excès d'eau saturant la totalité des pores, de façon permanente ou temporaire sur la totalité ou la plus grande partie du profil. Source : univiersalis.fr

les sables de la surface, peut à nouveau s'expliquer par un taux d'humidité plus important. La taille des grains se trouve entre 0,5 et 1 mm et se situe donc de nouveau entre les classes du sable moyen à grossier. L'existence d'une poche grisâtre et de matériel plus fin pourrait indiquer la présence de minéraux argileux. Le taux de ces derniers étant assez important dans la région, il est donc bien possible que les sols de Bengou soient également caractérisés par la présence de couches d'argiles. Ce qui laisse supposer qu'on pourrait retrouver des poches d'argiles imperméables, pourtant très minces et de faible étendue.

Photo 4.5 : Analyse du profil du sol



Hinden, 2007

Finalement, nous pouvons interpoler les valeurs de porosité et de perméabilité pour le sol de Bengou à partir des schémas simplistes. Si nous prenons une liste d'ARGOSS nous obtenons pour des sables moyens et des sables grossiers une porosité typique de 0,2-0,3 (2001 : 54). Ces valeurs peuvent être confirmées avec les mesures qui ont été faites par Guero, qui a obtenu une porosité moyenne de 0,2 pour les alluvions dans la région (2003 :52). ARGOSS propose par ailleurs une perméabilité de 10-100 m/j pour les sables moyens, respectivement de 100-1000 m/j pour les sables grossiers (cf. tableau 2.2, p. 18). De manière générale, les dépôts alluviaux sont en principe caractérisés par des grains bien altérés et arrondis, ce qui engendre une bonne porosité et perméabilité.

4.2.2.3 Débit d'alimentation en eau et le taux de saturation des sols à Bengou

En ce qui concerne le débit d'alimentation en eau du sol, ce dernier est influencé par deux composantes majeures : 'une d'origine climatique naturelle et l'autre liée à l'activité de l'homme. Le climat soudanien avec ses deux saisons implique une variation importante dans le débit et par conséquent dans le degré de saturation du sol. Pendant la saison sèche, les sols ne reçoivent aucune précipitation et sont complètement asséchés, en tout cas en ce qui concerne les couches supérieures. Pendant la saison de pluie, les terres dans la région de Bengou reçoivent par contre des quantités en eau importantes et nous pouvons admettre que le niveau de saturation des sols augmente considérablement pendant cette période. Durant cette période, l'eau s'infiltré jusqu'aux profondeurs du sol et participe au renouvellement annuelle de la nappe souterraine. Le caractère souvent orageux des pluies (phénomène de colmatage à la superficie du sol) et le taux d'évaporation élevé de la région peuvent d'ailleurs temporairement avoir comme conséquence une diminution de l'infiltration et du taux de saturation des sols.

A part l'eau provenant de la pluie, il faut aussi prendre en compte la quantité d'eau utilisée pour l'agriculture et pour le travail domestique. La densité élevée de la population ainsi que la grande disponibilité en eau de Bengou font qu'il y a des volumes d'eau importants qui sont éjectés dans le sol et qui contribuent à l'humidification de ce dernier, au moins localement. A part les canaux d'évacuation le long de la route principale, il n'existe aucun système de drainage ou de collecte des eaux. Dans les concessions, il y a parfois des petites rigoles de drainage évacuant les eaux domestiques vers les ruelles. Le liquide s'infiltré donc sans traitement dans le sol, de manière diffuse à l'échelle du village, de manière un peu concentrée au niveau de la concession (devant les entrées, au niveau des rigoles d'évacuation des douches, latrines) ce qui humidifie la zone non saturée et qui contribue à l'augmentation de la vitesse des flux dans le sol. Le taux d'irrigation³⁷ dans l'agriculture est très important dans la région, mais n'a pas lieu à l'intérieur du village de Bengou.

La partie théorique a montré que le degré d'humidification d'un sol est d'une grande importance sur la vitesse de propagation de l'eau contenant des pathogènes et qu'un sol saturé est plus perméable qu'un sol non-saturé. Le risque de contamination de la nappe souterraine est donc d'autant plus grand que le sol est saturé en eau. Le degré de saturation des sols à Bengou varie alors d'une part fortement selon les saisons et d'autre part selon les endroits. Il peut être considéré comme étant assez important partout en saison de pluie et de manière continue aux endroits d'évacuation des eaux domestiques.

En résumant ce sous-chapitre sur les caractéristiques du sol de notre terrain d'étude, nous pouvons dire que le sol de Bengou est de composition homogène, constitué de sables de taille moyenne sur tout le profil analysé.

Tableau 4.6 : Récapitulation

Caractéristiques du sol de Bengou (premiers 12m) :	
Type	dépôts alluviaux meubles constitués de sables
Matrice	grains homogènes, taille moyenne à grossier (0,375mm-1mm)
Couleur	jaunâtre-beigâtre dans l'ensemble, grisâtre selon endroits
Porosité	0,2-0,3
Perméabilité	très bonne, 10-1000 m/j
Capacité d'infiltration de l'eau (et des polluants)	très bonne dans l'ensemble; réduit pendant des orages et aux endroits de taux élevé en argile
Capacité d'atténuation des polluants	plutôt faible; polluants dissouts dans l'eau peuvent facilement se propager dans sol. Activité microbiologique très faible.
Taux de saturation	Variation saisonnales (pluie) et spatiales (présence eau domestique / conditions locales du sol)

Hinden, 2007

Les propriétés de ce sol montrent une bonne capacité d'infiltration de l'eau et une perméabilité élevée du sol. Des éventuel polluants fécaux suspendus dans l'eau peuvent alors facilement être transmis dans le sol et atteindre la nappe souterraine. La capacité d'atténuation des polluants dans ce type de sol est de ce fait plutôt faible.

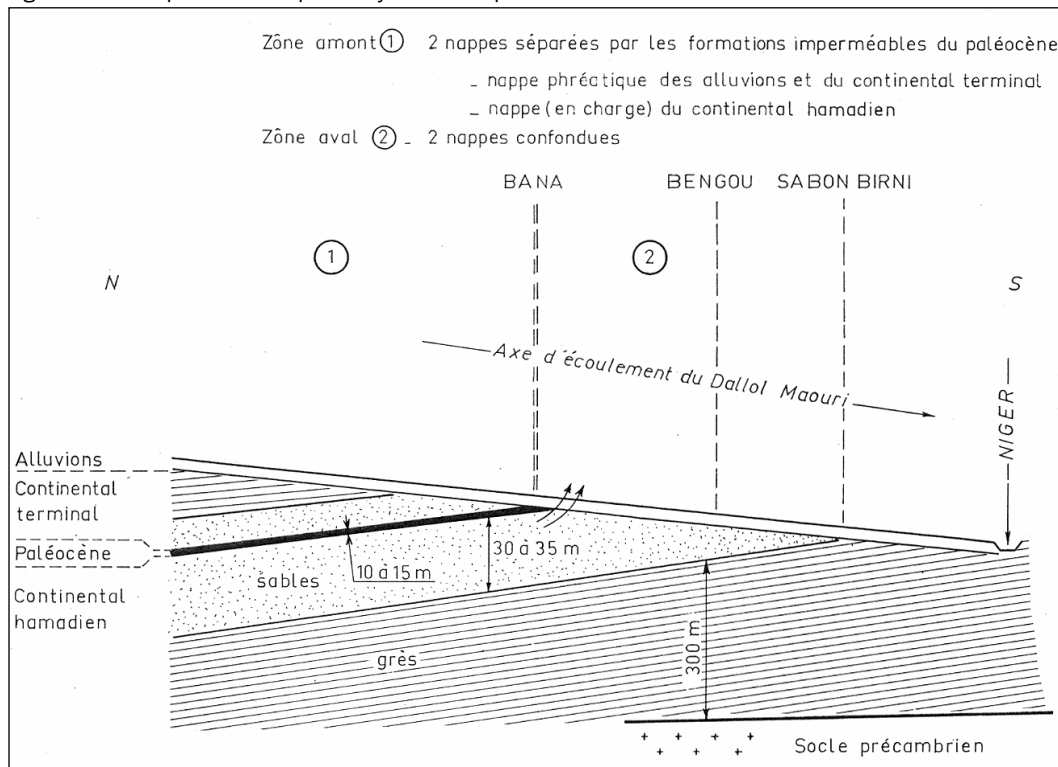
³⁷ L'eau pour irriguer provient des nappes souterraines. Elle est prélevée soit à travers des motopompes, soit à travers des puits traditionnels. Une anecdote effarante à ce sujet est que les motopompes vont souvent plus profond que les nappes alluviales et pompent ainsi une eau de bonne qualité. Cette eau n'est pas destinée pour l'eau de boisson mais irrigue les cultures.

4.3 L'hydrologie de la région et l'usage d'eau à Bengou

4.3.1 Les ressources en eau dans la région d'étude

En ce qui concerne en les ressources en eaux souterraines, nous avons vu dans la partie géologique de ce travail que les conditions pour la mise en place de nappes souterraines sont favorables dans la région. C'est ainsi que nous pouvons distinguer plusieurs systèmes d'aquifères dans la zone d'étude. A la base se trouve l'aquifère du Continental Hamadien (CH) et sur ce dernier sont superposées les différentes nappes du Continental Terminal (CT1-CT3) ainsi que les nappes alluviales (cf. figure 4.7). Les aquifères du Continental Hamadien et du Continental Terminal couvrent toute la zone des Illuemedden et rejoignent la surface dans l'extrême Sud du pays, donc dans notre région d'étude. La région est alors très riche en eaux souterraines et ces dernières sont en plus facilement accessibles pour la population du fait de leur faible profondeur.

Figure 4.7 : Coupe schématique du système d'aquifère du Dallol Maouri



in Beck et Girardet (2003 :3)

Sur la coupe ci-dessus on peut constater qu'au niveau de Bengou, il n'y a déjà plus de CT. Ce dernier est revenu à la surface plus au Nord. La nappe du CH revient à la surface justement à la hauteur de Bengou. Dans notre zone d'étude, la nappe du CH se confond avec la nappe alluviale du Dallol Maouri et communique avec elle. La nappe alluviale des dallols se trouve à moins de 10 mètres de profondeur en moyenne dans la vallée (Guéro, 2003). Au niveau de Bengou, la profondeur moyenne de la nappe se situe à seulement 6,9 mètres (niveau statique mesuré dans les puits). La nappe alluviale est tellement peu profonde que l'on peut constater un affleurement de la nappe à certains endroits. Une partie des mares situées à l'entrée de Bengou est par exemple liée à ce dernier.

En ce qui concerne les eaux de surface présentes dans la région, elles se limitent aux écoulements épisodiques des dallols, aux mares, ainsi qu'au fleuve Niger. La présence de ce dernier est d'une grande importance pour la région, mais Bengou est trop éloigné pour que la population puisse profiter de l'approvisionnement en eau. En ce qui concerne le Dallol Maouri, nous pouvons dire que son réseau hydrographique date des périodes plus humides du Quaternaire. A l'heure actuelle, ce dernier est beaucoup plus restreint et une grande partie des anciens chenaux sont ensablés. C'est seulement en périodes de crues qu'une partie des dallols est parcourue par un cours d'eau. Finalement, il existe plusieurs mares permanentes et semi-permanentes dans la région d'étude. Leur présence est due à la faible profondeur de la nappe et à la présence d'argiles qui constituent des couches imperméables. Dans les proches alentours de Bengou il existe sept mares permanentes qui sont d'une grande importance, notamment pour l'agriculture. Comparé au reste du pays, on peut dire que cette région proche du fleuve, et notamment les villages se situant dans les dallols, sont très riches en eaux.

Au niveau de la qualité des eaux, les eaux de surface dans la région sont fortement sujettes à toute sorte de pollution. L'absence totale de protection de la ressource et les activités nombreuses autour de cette dernière rendent les eaux de la région très vulnérables. Les eaux souterraines sont en général les eaux avec la meilleure qualité. Ceci parce qu'elles sont bien protégées des activités polluantes à la surface par la zone non-saturée. La capacité de purification y est très importante selon le taux de résidence dans le sol et selon le type de roche. C'est ainsi que les nappes souterraines profondes (nappe CH ainsi que les nappes CT1 à CT2) peuvent être considérées comme étant de bonne qualité.

Les eaux souterraines peu profondes par contre peuvent d'ailleurs être sujettes à une pollution massive. Pour la nappe du CT3 et pour la nappe alluviale se trouvant très proche de la surface, le risque de contamination est par conséquent très important. La nappe alluviale à Bengou est alors très mal protégée contre la contamination puisque l'épaisseur de la zone non-saturée est très faible (5 à 10 mètres à l'intérieur du village, 0 à 10 mètres dans le bas fonds) et puisque sa composition se traduit par une faible capacité d'atténuation des polluants.

4.3.2 Les différents types d'approvisionnement en eau de boisson à Bengou

Bengou dispose d'environ mille puits traditionnels, cinq puits cimentés ainsi qu'un forage moderne. Le forage a été construit sur l'initiative privée d'un ancien doyen. Il se situe à l'extérieur du village, un peu isolé dans le quartier et à l'intérieur de la concession du propriétaire. Le forage fonctionne à travers une pompe manuelle et puise l'eau dans une nappe à 30 m de profondeur³⁸, où il s'agit probablement de la nappe du CT3. C'est un forage de construction simple, avec un socle cimenté et un robinet qui assurent une bonne gestion de l'eau. Apparemment il n'y a pas de problème de tarissement et l'eau peut être puisée en continuité. Les personnes du village ont un droit d'accès à l'eau de ce puits mais peu de personnes l'utilisent. Le déplacement est long et la route très ensablée. D'après le propriétaire, les personnes viennent s'approvisionner avec leur eau parce qu'ils la considèrent comme de meilleure qualité.

³⁸ Entretien avec le fils du propriétaire. Le puit n'a malheureusement pas de numéro IRH (Inventaire Ressource Hydraulique) et nous n'avons pas pu vérifier la profondeur de la nappe avec l'inventaire de l'office hydraulique de Dosso.

Nous admettons que la qualité de l'eau est bonne pour les raisons suivantes : les nappes souterraines profondes peuvent être considérées de manière générale comme de bonne qualité, il n'y a pas d'activité polluante autour du puits et même si c'était le cas, le trajet d'infiltration serait trop long pour la survie des pathogènes, la construction du forage semble être en bon état et sa surface ne présente pas de fissures à travers lesquelles l'eau pourrait s'infiltrer et rejoindre la nappe en longeant le forage.

Les cinq puits cimentés touchent la nappe alluviale peu profonde. Ils sont tous du même modèle de construction et présentent un anneau cimenté qui commence en dessous du niveau de la nappe et qui finit au sommet du puits à un mètre du sol (cf. annexe 7, photo 4). Cette construction évite un écoulement direct de l'eau et ainsi un lessivage des polluants à l'intérieur du puits. La superficie autour du puits est non aménagée et perméable. L'eau est prélevée avec des puisettes traditionnelles que les personnes amènent eux-mêmes. L'accès est libre pour tout le monde, mais du fait de la grande densité des puits traditionnels dans le village, les puits cimentés ne sont généralement utilisés que par les personnes habitant juste à proximité³⁹.

Par la suite, depuis l'électrification de Bengou en 2005 et l'apparition de réfrigérateurs, la population de Bengou peut s'approvisionner aussi d'eau en sachets pour un prix de 50 CFA (0,076€). Ces sachets sont vendus à plusieurs endroits à Bengou et leur qualité est certainement meilleure⁴⁰. Comme dernière ressource, nous pouvons mentionner l'eau des mares qui est parfois utilisée par les personnes travaillant sur les champs, mais dont nous pouvons dire presque avec certitude qu'elles sont d'une très mauvaise qualité vu leur caractère superficiel et vu les activités polluantes autour des mares (différents usages de l'eau de mares pour agriculture, lessive, lavage, etc. et libre circulation des animaux, endroits possible de défécation). Finalement, l'eau de pluie pourrait constituer une ressource d'eau de boisson au moins durant les trois mois de saison de pluie, mais apparemment elle est rarement recueillie et n'est normalement pas utilisée comme eau de boisson⁴¹.

Les 1000 puits traditionnels ont été creusés par les puisatiers du village et touchent la nappe alluviale se trouvant entre 5 et 10m de profondeur. La bonne accessibilité de la nappe due à sa faible profondeur est un grand avantage pour les usagers. C'est le système de puits le plus simple, un trou est creusé dans le sol jusqu'à ce qu'on atteigne la nappe. Selon le caractère du sol, les murs sont renforcés avec du bois ou des pierres. A Bengou, le sol est assez compact et les murs du puits tiennent de manière générale sans fixation. Notons à ce point, qu'il existe encore de nombreux puits abandonnés⁴² qui se trouvent notamment hors des concessions. Ces puits sont toujours ouverts sans aucune protection.

Il s'agissait ensuite de déterminer la principale source d'approvisionnement en eau de boisson utilisée par la population de Bengou, ce qui a été fait à l'aide des questionnaires. Nous avons demandé aux personnes interrogées où est-ce qu'ils s'approvisionnaient principalement en eau de boisson pour la famille et s'ils

³⁹ Source : Discussion avec les personnes autour des puits.

⁴⁰ La production de ces eaux en sachets se fait à la maison. Différents fournisseurs dans la région équipent les maisons avec des installations simples de filtrage et d'emballage. Le système du processus d'épuration semble être efficace à la base, mais nous avons observé un comportement hygiénique douteux pendant l'emballage.

⁴¹ Source : Sujet abordé spontanément lors de discussions avec une dizaine de personnes différentes à Bengou.

⁴² Les puits étaient abandonnés notamment parce que les personnes préféraient avoir leur propre puits dans la concession pour éviter des grandes distances. Une autre raison peut être le problème de tarissement en saison sèche.

pouvaient nous montrer ce point d'eau (variable SE_type). Nous avons aussi voulu savoir si celle-ci constituait la source d'eau pour toute la famille ou s'il y avait des membres de la famille qui buvaient l'eau d'une autre source (variable SE_ttefam). Nous avons également demandé si la source d'eau (A) était utilisée durant toute l'année (variable SE_seule). Cette question avait pour but de nous renseigner d'une part sur la fidélité de l'usage de l'eau provenant de cette source et d'autre part, au niveau hydrogéologique, de nous donner des informations sur la disponibilité continue de la ressource d'eau (problème de tarissement).

Les analyses statistiques ont clairement montré que les puits traditionnels constituent la source principale dans l'approvisionnement en eau de boisson. 100% des interrogés prennent l'eau du puits traditionnel comme eau de boisson. Dans la plupart de cas, ce dernier constitue la seule source en eau de boisson et seulement 10% de la population ont indiqué l'utiliser en plus d'autres sources d'eau (alternatives : eaux des mares, puits du voisin, puits sur les champs). Quand on leur demandait pourquoi ils utilisaient d'autres sources d'eau, plusieurs raisons ont été évoquées, comme par exemple : changement de goût en saison de pluie ou présence d'insectes dans l'eau, absence de puisette chez les voisins, récolte de l'eau de pluie, travail sur les champs. Lorsqu'ils vont travailler sur les champs ils boivent l'eau des puits ou des forages se trouvant à proximité des champs. Quelques individus ont dit amener l'eau de leur puits dans le cas où ils se déplacent.

Lors des conversations avec les gens nous avons pu noter que les personnes sont généralement au courant de l'existence d'autres sources d'eau, comme les puits cimentés, le forage ou encore l'eau commercialisée en sachets. Cependant, ces alternatives posent problème aux personnes à cause de la distance et du prix⁴³ qu'elles occasionnent. Faire cet effort montrerait pourtant que la population a conscience qu'une eau de mauvaise qualité peut entraîner des maladies.

Pour conclure, nous pouvons dire que l'eau de boisson de la population de Bengou provient presque uniquement de l'eau des puits traditionnels. Il s'agit donc de l'eau souterraine provenant de la nappe alluviale, se situant entre 5 et 10m de profondeur et fortement sujette à la pollution. Les autres ressources en eau seront laissées à part dans la suite de notre travail, tout en gardant en mémoire que les personnes peuvent toujours s'infecter à travers d'autres ressources en eau ou même à travers d'autres voies de transmission.

⁴³ L'eau du forage chez la famille Issoufou peut être acquise gratuitement, mais se situe à l'extérieur du village. Nous avons en plus retrouvé le portail fermé à plusieurs reprises. Pour amener l'eau par les moto-taxis (gabou-gabou) cela vaut 50 CFA (0,076€).

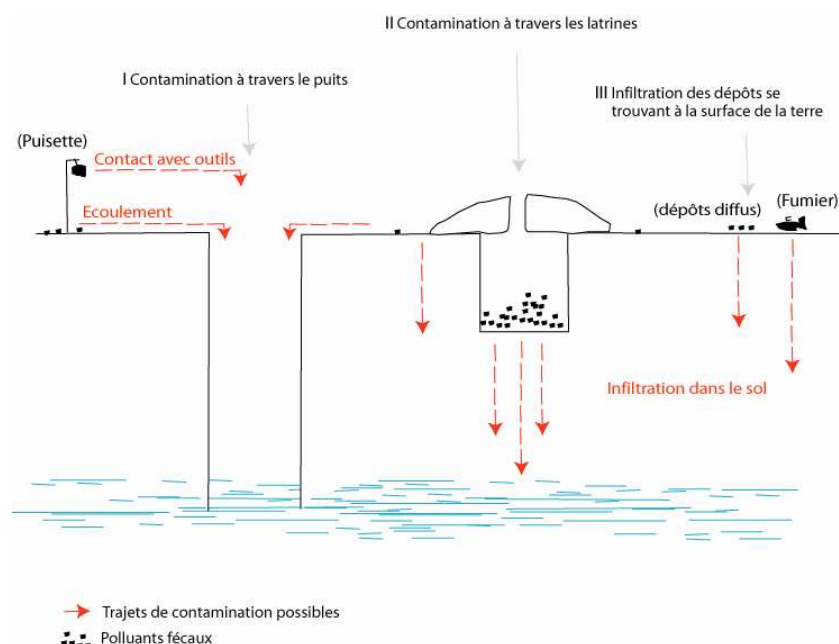
5. La contamination fécale de l'eau souterraine à Bengou

5.1 Les différentes sources de contamination fécale potentielles pour la nappe souterraine à Bengou

Afin de déterminer les différentes sources de contamination fécale potentielles pour la nappe souterraine à Bengou, il s'agissait de voir dans un premier temps quels étaient les différents endroits où de la matière fécale était déposée dans le village, et s'il y avait des structures d'assainissement dans ces endroits. Ces informations ont été obtenues de manière plutôt spontanée en évoquant le sujet lors de nombreuses discussions avec les différents acteurs. Comme il s'agit d'un sujet un peu délicat, l'occasion d'en discuter ne se présentait pas à tout moment mais nous avons contourné cette difficulté en demandant occasionnellement à quelques personnes s'il était possible d'utiliser leur toilette pour avoir une première idée de l'endroit de défécation ou en demandant un peu d'eau pour voir la source d'approvisionnement de l'eau de boisson.

Ces sondages ont finalement fait ressortir trois sources de contamination fécale potentielles à Bengou qui peuvent polluer la nappe souterraine et qui nécessitent donc une analyse (cf. figure 5.1). Le taux faible d'assainissement au Niger en milieu rural, ainsi que le fait que la population dans la région utilise généralement les champs pour faire leurs besoins, nous a amené à analyser en premier lieu les dépôts de matière fécale se trouvant à la surface du sol. En deuxième lieu, nous avons réalisé que la population de Bengou utilise aussi des latrines, toutefois leur construction est souvent problématique par rapport à une élimination adéquate de la matière fécale. En troisième lieu, nous avons constaté que les puits traditionnels étaient sujets à une pollution du point de vue de leur construction et de leur disposition. Pour les trois sources de contamination potentielles de la nappe souterraine, nous imaginons les trajets de contamination suivants. La figure 5.1 présente les trajets de contamination que nous avons imaginé pour les trois sources de contamination potentielles de la nappe souterraine.

Figure 5.1 : Les différentes sources de contamination de la nappe souterraine à Bengou



Hinden, 2007

Pour rappel, nous examinons la contamination de l'eau à l'échelle du village de Bengou et la détection des sources de pollution s'est limitée pour cette raison à cet espace. Bien que le temps de survie des pathogènes soit assez court, nous ne pouvons pas affirmer avec certitude que certains polluants provenant des autres sources de pollution dans les alentours de Bengou aient été totalement éliminés lors de leur trajet. Nous pensons à ce sujet notamment aux mares et aux champs avoisinants de Bengou. Il est aussi possible que nous ayons oublié de prendre en considération d'autres sources de pollution ou activités à l'intérieur du village et il est également possible que la liste des sources de pollution ne soit pas exhaustive.

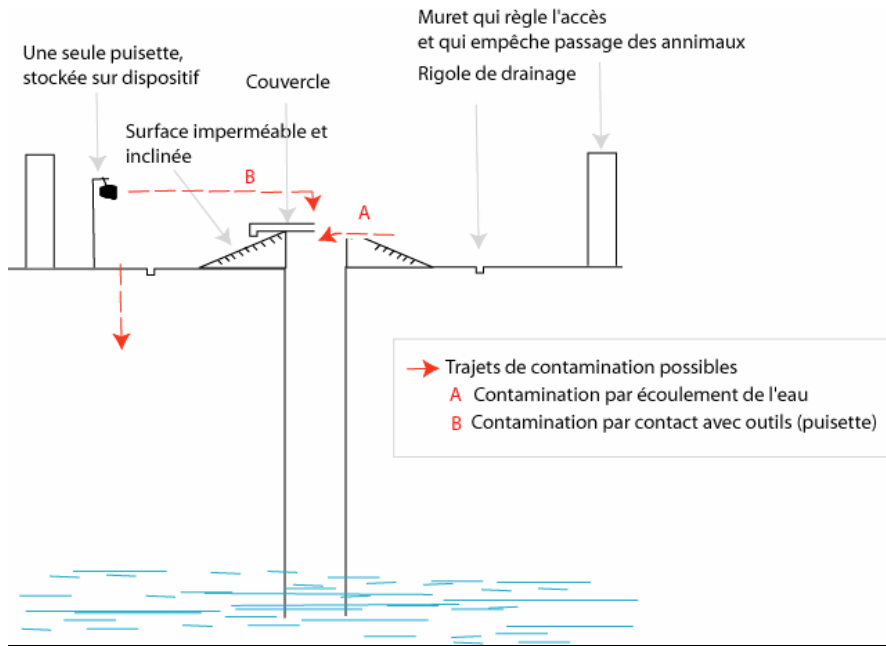
Il s'agissait par la suite de dresser une grille d'analyse pour chacune de ces sources de pollution et d'évaluer si des polluants fécaux pouvaient entrer dans l'environnement depuis ces dernières. Cette analyse est suivie par l'évaluation du risque de contamination provenant de chacune des sources, en appliquant la méthode proposée de ARGOSS. La première source de contamination analysée est celle qui peut provenir de puits traditionnels. Elle est suivie par l'analyse des installations sanitaires et comme dernier endroit de pollution potentielle, les dépôts de matière fécale se trouvant à la surface de la terre.

5.2 Le risque d'une contamination directe de la nappe souterraine à travers les puits traditionnels (I)

Au niveau des puits, l'eau souterraine est mise à l'air libre et présente de ce fait un risque très élevé de pollution. Dans de nombreux pays, les zones de captage des eaux comme les puits requièrent en général des mesures de protection très strictes. Au Niger par contre, aucune législation n'existe quant à la protection des eaux souterraines. Nous pouvons toutefois contrôler si les puits présentent un risque de pollution de la nappe ou non à l'aide des critères dressés dans la grille d'analyse.

A ce sujet, il faut relever d'abord quelques aspects généraux par rapport à l'approvisionnement en eau depuis un puits. Ces derniers sont résumés dans la figure 5.2. En premier temps, la zone de captage des eaux doit être bien délimitée et toute activité polluante doit être absente à l'intérieur de cette dernière. L'accès au puits doit être restreint aux personnes qui viennent y puiser l'eau, ceci doit être la seule activité dans le périmètre et elle doit être faite sous des conditions hygiéniques. Au niveau de l'installation, il est important que tout ruissellement de l'eau à l'intérieur du puits soit impossible. De plus, de l'eau versée à la surface doit pouvoir être facilement évacuée et toute infiltration dans les alentours proches du puits doit être impossible.

Figure 5.2 : Critères d'importance pour l'inspection des puits

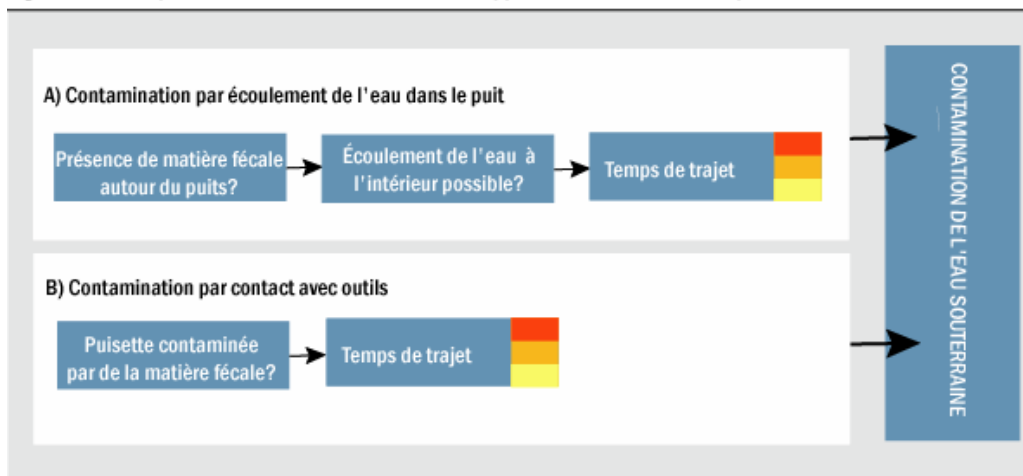


Hinden, 2007

Le schéma ci-dessus montre qu'il peut y avoir deux facteurs de risque majeur pour l'eau souterraine. Premièrement, les polluants fécaux peuvent être amenés par écoulement direct de l'eau contaminée à l'intérieur du puits. Ce risque dépend notamment des critères de construction du puits (A). Deuxièmement, l'eau souterraine peut aussi être contaminée à travers des outils qui entrent en contact avec l'eau dans le puits (B). Cet aspect est plutôt en rapport avec le comportement des usagers. Nous nous basons donc sur ces deux critères ou risques principaux pour l'analyse des puits de Bengou.

Puisque les facteurs de risque ne sont pas les mêmes pour les deux voies de transmission, nous analyserons d'abord le risque provenant d'un écoulement de l'eau contaminée à l'intérieur du puits et nous évaluerons ensuite le risque qui provient d'un contact avec des outils contaminés.

Figure 5.3 : Le risque d'une contamination fécale de la nappe souterraine à travers les puits traditionnels

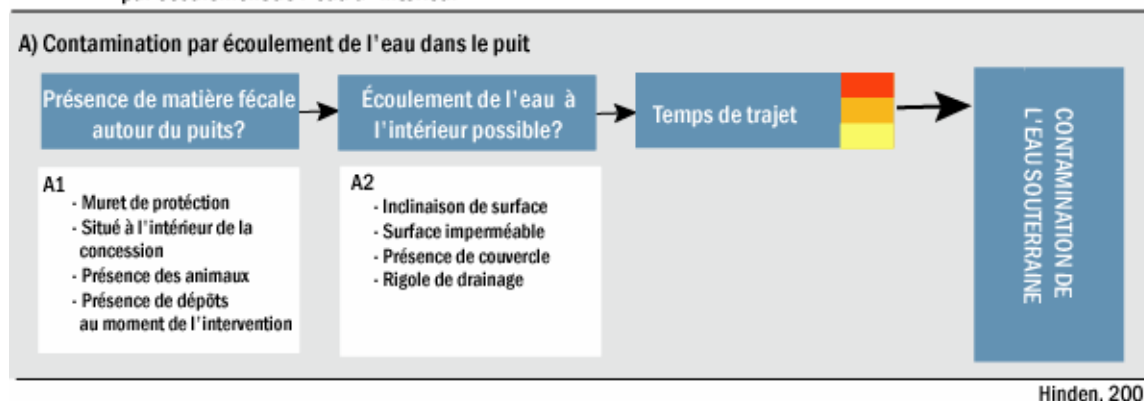


Hinden, 2007

5.2.1 Les polluants fécaux entrent à l'intérieur du puits : eau comme agent de transport (A)

Il s'agit de vérifier si le type de construction et la manière d'usage des puits empêchent les polluants d'entrer à l'intérieur du puits et de contaminer la nappe. Pour que l'eau puisse amener des polluants fécaux à l'intérieur d'un puits, plusieurs conditions doivent être réunies. D'abord, il faut que de la matière fécale soit présente aux alentours du puits. Ensuite, il faut qu'il y ait de l'eau qui puisse les lessiver et les amener au fond du puits. Plusieurs critères, dressés dans la grille d'analyse pour les puits traditionnels, analysent si ces conditions sont réunies ou non. Nous avons alors regroupé les différents critères ou variables analysés, afin de répondre aux conditions citées en haut. Le premier groupe (A1, cf. figure 5.4) s'intéresse au fait de savoir si on trouve de la matière fécale dans les alentours du puits. Ce groupe est composé de quatre variables. Les variables du deuxième groupe (A2, cf. figure 5.4) décrivent les aménagements de surface du puits, et décrivent à quel point le type d'aménagement est un facteur direct de risque de l'écoulement d'eau dans le puits. La figure 5.4 résume les deux conditions de base, ainsi que les différents critères associés qui interviennent lors d'une contamination de la nappe par écoulement de l'eau contaminée.

Figure 5.4 : Le risque d'une contamination fécale de la nappe souterraine à travers les puits traditionnels par écoulement de l'eau à l'intérieur



5.2.1.1 La présence de la matière fécale dans les alentours des puits (A1)

Les variables A1 ont pour objectif de montrer dans quelle mesure il y a un risque que des dépôts fécaux d'origine animale ou humaine soient présents à proximité du puits. Dans le cas où l'analyse des variables montre une absence totale de matière fécale autour du puits, nous pouvons exclure une contamination fécale de l'eau à travers le puits par écoulement.

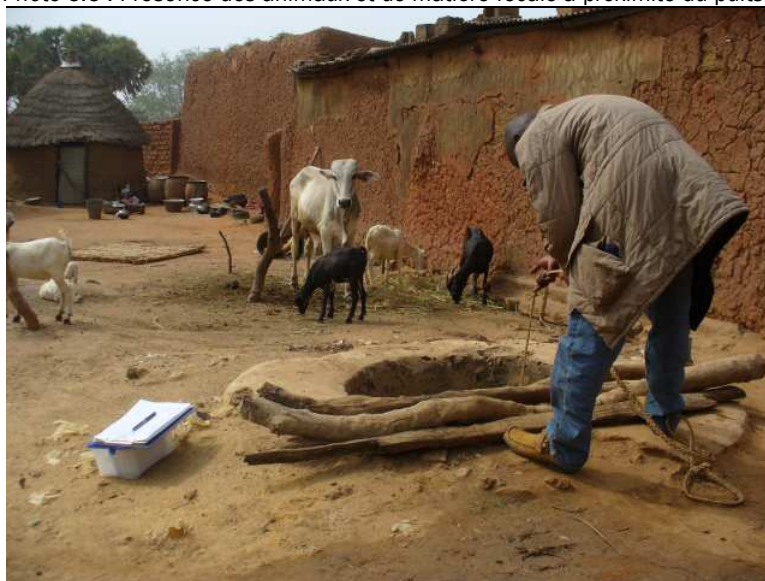
Un simple mur autour du puits peut être un moyen efficace d'éviter l'accès au bétail ou aux enfants et par conséquent d'éviter des dépôts aléatoires de la matière fécale. La présence d'un mur peut également protéger la source puisqu'elle délimite la zone autour du puits comme une zone où la seule activité autorisée est le puisement de l'eau. Nous avons reporté pour chacun des puits la présence ou l'absence d'un mur ou d'un aménagement semblable et efficace dans la variable PUIITS_mur. L'accès au puits n'était réglé dans aucun des cas observés et aucun muret de protection n'était présent. Un seul puits présentait

une sorte de démarcation par des arbrisseaux, mais du fait de la plantation récente, cet aménagement ne pouvait pas empêcher les animaux ou les enfants d'accéder au puits.

Le fait qu'un puits se trouve à l'intérieur de la concession (variable PUIITS_concess) pourrait avoir un effet positif sur la protection du puits. Pour ces puits, l'accès est mieux réglé et les usagers sont normalement les membres de la concession. Par contre, les activités domestiques ont toutes lieu à l'intérieur de la concession et donc à proximité du puits. À Bengou, 87% des concessions ont leur propre puits et seulement une petite partie s'approvisionne à un puits se situant à l'extérieur ou auprès des voisins.

La variable PUIITS_animaux témoigne ensuite de la présence des animaux dans la concession et plus précisément aux alentours du puits lors de l'intervention⁴⁴. Dans notre cas, la présence seule d'animaux à l'intérieur de la concession peut être considérée en fait comme étant un risque que de la matière fécale soit présente. Ceci premièrement parce que, la superficie de la concession est dans la plupart des cas trop restreinte pour qu'une distance assez grande entre puits et l'endroit de séjour pour les animaux puisse être assuré (les auteurs proposent des distances minimales entre 20 et 100m) et deuxièmement parce que les animaux circulent souvent librement dans la concession. Cette liberté de mouvement fait que des dépôts peuvent être laissés juste à côté du puits ou finir dans le puits, car ils peuvent être véhiculés facilement partout. Nos enquêtes ont relevé que les animaux étaient présents dans quasiment toutes les concessions au moment de l'intervention (92 %). Les animaux (principalement la volaille) circulent dans la plupart des cas librement dans la concession. Quant au bétail, il est fréquemment attaché par les pattes et se trouve souvent dans un coin déterminé. Le fumier est généralement stocké à un endroit dans la concession, sans protection contre la pluie. Les personnes disent le stocker et l'utiliser ensuite comme engrais pour les champs. Dans certaines concessions, le stock de fumier se trouve à moins de 10m du puits. La présence nombreuse d'animaux à proximité des puits fait que le risque de la présence de matière fécale peut être considéré comme très importante.

Photo 5.5 : Présence des animaux et de matière fécale à proximité du puits



⁴⁴ Lors de la phase de test de nos questionnaires, nous avons inclus des questions sur le nombre d'animaux, sur leur lieu de séjour ainsi que sur la gestion des dépôts fécaux, respectivement sur la gestion des fumiers. Pour raccourcir le temps du questionnaire et pour ne pas déranger en plus les personnes, nous avons décidé de renoncer à ces questions et de relever les informations nécessaires uniquement à travers nos observations.

La variable PUIITS_dépôt, représente la présence de dépôts fécaux par terre à l'intérieur de la concession lors de notre visite. Elle a pour but de confirmer les informations de la variable PUIITS_animaux analysée ci-dessus ainsi que d'avoir une idée générale de l'hygiène dans la concession. Dans 20% des concessions, des débris fécaux d'origine animale ont pu être détectés, parfois à moins de 5m de distance du puits. Notons que nous avons pu répertorier uniquement les dépôts qui sont visibles à l'œil nu et que ce constat ne représente qu'un seul instant donné. Répétons également que la présence d'une seule particule peut suffire pour contaminer l'eau et créer une maladie. Même si de la matière fécale est balayé, il y a de fortes chances que quelques pathogènes restent collés au sol, notamment si ce dernier est humide, ou qu'ils sont véhiculés ailleurs dans la concession.

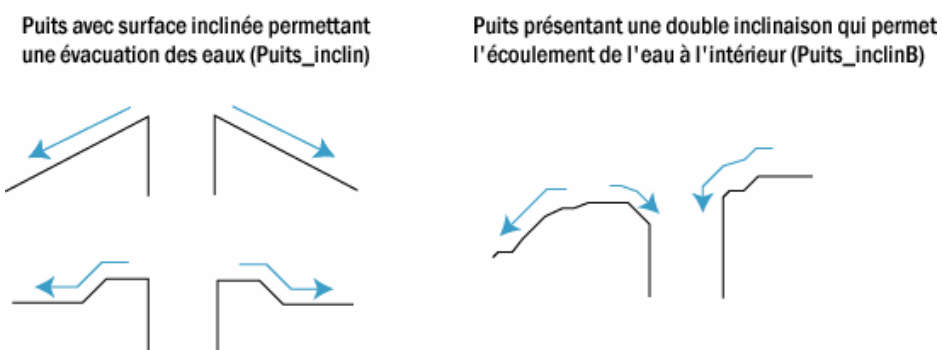
En résumé, nous pouvons dire que les puits ne présentent aucune structure de protection et que la présence de dépôts fécaux à proximité du puits est fréquente partout à Bengou. La prochaine étape consiste à savoir si ces dépôts de matière fécale peuvent être véhiculés à l'intérieur du puits afin de contaminer la nappe.

5.2.1.2 La construction du puits peut-il éviter un écoulement de l'eau contaminée à l'intérieur (A2)?

Le deuxième groupe de variables est destiné à évaluer si les polluants peuvent entrer à l'intérieur du puits et contaminer la nappe. Pour la pollution qui arrive par écoulement direct, c'est le type de construction du puits qui est déterminant. Les aménagements à la surface doivent être tels que l'eau ne puisse pas percoler à l'intérieur du puits. Sinon des polluants fécaux se trouvant à la surface de la terre peuvent être lessivés à l'intérieur du puits avec l'eau de pluie ou l'eau domestique.

La meilleure méthode pour éviter le ruissellement de l'eau est d'agir sur l'inclinaison de la surface. La variable PUIITS_inclin mesure si une inclinaison autour de la fosse du puits est présente de sorte qu'elle permette à l'eau de pluie ou à l'eau domestique versée à proximité du puits, de s'écouler plutôt loin ou plutôt à l'intérieur du puits (cf. figure 5.6).

Figure 5.6 : Inclinaison de la surface du puits



Hinden, 2007

Près de trois quarts des puits observés étaient légèrement inclinés. Certains puits présentaient toutefois une double inclinaison qui permettait à l'eau de couler malgré tout dans le puits et donc de contaminer l'eau. Cette inclinaison intérieure était présente chez un peu plus de la moitié des puits observés (PUITS_inclinB). Ces résultats relativisent ceux obtenus pour la variable précédente. Par conséquent, la combinaison des deux variables montre que seulement 11 puits semblent posséder une inclinaison qui évite un écoulement de l'eau à l'intérieur. Ces inclinaisons sont d'ailleurs souvent très faibles et irrégulières et ne peuvent probablement pas assurer une évacuation correcte des eaux en saison de pluie si d'autres aménagements comme des rigoles de drainage sont absents. Les photos dans l'annexe (annexe 7, photos 1-2) montrent les puits qui présentaient le meilleur aménagement par rapport à la protection contre un écoulement de l'eau à l'intérieur du puits. Nous supposons que pour ces deux puits, la nappe souterraine ne peut pas être contaminée par la route de l'écoulement de l'eau.

Nous avons ensuite répertorié deux autres critères qui ont une influence sur l'écoulement de l'eau à l'intérieur du puits. La présence d'une rigole de drainage (variable PUITs_drain) pourrait aider à canaliser et à évacuer l'eau dans le cas où l'inclinaison est légère. Seuls deux puits présentaient des rigoles. L'absence des rigoles chez les 11 puits qui étaient potentiellement capables d'évacuer l'eau, fait que pour finir il ne reste que les deux puits qui présentent une inclinaison ou un rebord assez important pour assurer une bonne évacuation des eaux.

La variable PUITs_couvercle indique si un couvercle est présent sur la fosse lors de l'intervention. Un couvercle protège contre toute sorte de pollution. Mais sans couvercle, de la poussière et d'autres pièces éventuellement contaminées par de la matière fécale peuvent rentrer dans le puits⁴⁵. Trois puits présentaient un couvercle, dont deux étaient en tôle et un en bois. Leur état défectueux ne peut d'ailleurs pas assurer une protection efficace.

En résumé, ces variables nous montrent que les aménagements ne sont malheureusement pas du tout faits pour éviter un écoulement à l'intérieur du puits. Du point de vue de leur construction, seuls deux puits répondent aux critères, chez tous les autres puits, un écoulement de l'eau de pluie ou de l'eau domestique à l'intérieur est possible.

5.2.1.3 Evaluation du risque de l'écoulement de l'eau contaminée à l'intérieur du puits

Pour qu'il y ait pollution de la nappe, il faut donc que les deux conditions soient réunies : il faut que de la matière fécale soit présente autour du puits et que cette dernière soit amenée avec de l'eau dans le puits. Avec nos analyses nous avons pu montrer que de la matière fécale est présente et que le type de construction permet un écoulement facile de l'eau à l'intérieur du puits, en tout cas pour 94% des puits, mais nous ne pouvons pas prouver que ces deux faits ont lieu en même temps. Nous pouvons cependant évaluer la situation en termes de probabilité. La probabilité que le polluant soit amené dans le puits avec l'eau augmente si :

⁴⁵ Nous avons pu observer des débris de bois et des plastiques au fond de la plupart des puits.

- le temps entre le dépôt de la matière fécale et le moment où il est amené dans le puits à travers l'eau est minimal, donc la probabilité augmente si la durée du pathogène sur le sol et le temps de trajet sont minimaux
- le temps de survie du pathogène est maximal (dépend du type du pathogène et des conditions sur place (ensoleillement, humidité, quantité, température, etc.)
- les quantités en eau sont importantes, donc notamment en saison de pluie et avec activités domestiques importantes autour du puits
- les quantités en matière fécale sont importantes et proche du puits
- la durée de séjour des pathogènes sur le sol est minimale
- la construction du puits permet un écoulement rapide de l'eau

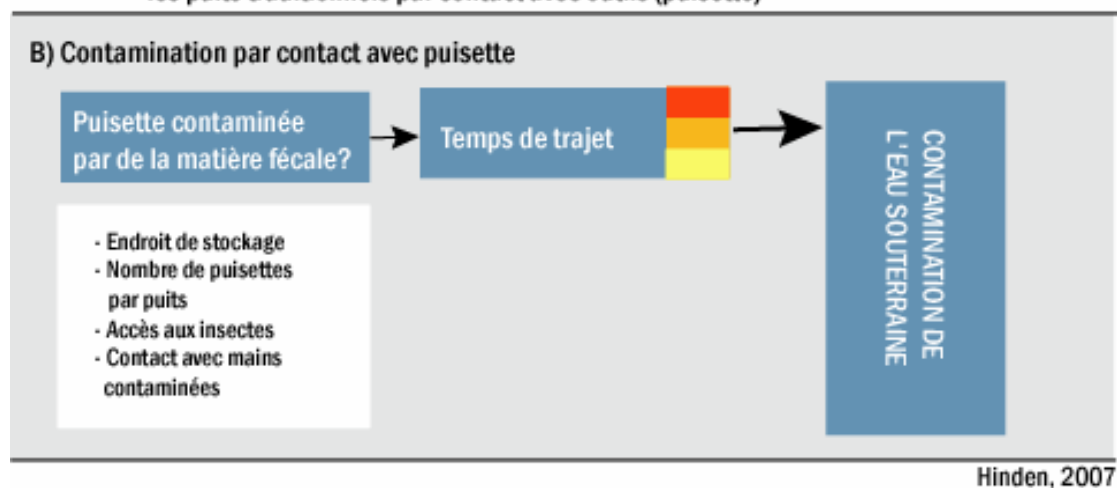
La probabilité que les deux conditions soient réunies existe clairement, mais nous ne pouvons l'évaluer en termes de valeur statistique. Pour évaluer le risque de pollution de la nappe, nous nous basons dans notre travail en général sur le principe du temps de trajet des polluants. Ceci car les processus d'atténuation ont normalement lieu pendant le trajet. Or, dans le cas d'une contamination de la nappe à travers le puits, il s'agit d'une contamination directe où le temps de trajet peut être très court et durant lequel des processus d'atténuation sont inexistantes. Les processus d'atténuation ont lieu avant le transport du pathogène, lors du séjour de ce dernier sur le sol. Pendant ce séjour, les pathogènes peuvent mourir rapidement lorsque le milieu ne leur convient pas, mais ils peuvent également durer et survivre jusqu'à ce qu'ils soient amenés avec de l'eau si les conditions leurs sont favorables. Nous avons vu que tout dépend du type du pathogène et de leurs conditions de survie dans le milieu présent, mais qu'il est impossible de donner des indications exactes à ce sujet.

Pour évaluer le risque de pollution de la nappe à travers un écoulement dans le puits, nous pouvons dire la chose suivante : dans le cas où la matière fécale est lessivée directement après son dépôt, le temps de trajet du polluant est quasiment nul et le risque de contamination de la nappe est significatif (temps de trajet < 25 jours). On peut s'imaginer que cette situation a lieu notamment en saison de pluie lorsqu'il y a écoulement constant à l'intérieur du puits. Dans le cas où les pathogènes peuvent survivre dans le milieu pour une certaine période, ces derniers peuvent être lessivés avec le moindre volume d'eau versée lors du puisement ou lors d'autres activités domestiques. Comme de manière générale, le temps de survie des pathogènes, notamment celui des bactéries, est plus long en milieu humide et chaud, nous estimons que ce risque est également significatif pour les puits qui présentent un alentour humidifié même en saison sèche. Le risque peut être considéré comme très faible dans le cas où les conditions de survie sont très limitées, par exemple pour un pathogène qui se trouve pendant une longue durée sur un sol sec et sous le soleil. Les puits qui empêchent un écoulement à l'intérieur de celui-ci, voir les puits cimentés, peuvent être classifiés comme étant à très faible risque pour la pollution de la nappe en ce qui concerne la voie de contamination par écoulement de l'eau.

5.2.2 Le risque provenant de la puisette (B)

L'eau dans le puits peut être contaminée non seulement par écoulement de l'eau polluée à l'intérieur du puits, mais aussi par la mise en contact avec des outils contaminés. Dans le cas des puits de Bengou, l'outil principal qui entre en contact avec l'eau est la puisette et la corde de cette dernière. La puisette est, comme son nom l'indique, l'objet avec lequel on puise l'eau. Cette méthode de puisement traditionnel comporte plusieurs risques par rapport à une contamination fécale.

Figure 5.7 : Le risque d'une contamination fécale de la nappe souterraine à travers les puits traditionnels par contact avec outils (puisette)



En effet, une puisette qui traîne par terre peut facilement devenir contaminée par des dépôts fécaux se trouvant à proximité, ceci surtout parce que la puisette est de manière générale mouillée. Lors du prochain puisement, les polluants peuvent ainsi facilement être transportés au fond du puits. Même risque pour la corde de la puisette.

Afin de savoir si la puisette avec la corde se trouvaient constamment en milieu propre, nous avons demandé aux personnes où ils mettent la puisette après avoir puisé l'eau. Pour augmenter la fiabilité statistique, nous avons cependant noté l'endroit du stockage de la puisette au moment de l'intervention (variable PST_endroit)⁴⁶. Cette variable présente trois modalités, à savoir : « à terre », « sur un dispositif spécial » ou « à la maison ». Les deux dernières sont considérées comme étant des dépôts adéquats. L'hygiène des endroits de stockage est difficilement contrôlable, mais ils prouvent que la sensibilité des usagers à l'hygiène est présente, ce qui est un critère décisif. Le fait de stocker la puisette sur un dispositif spécial ou à la maison peut interrompre certaines voies de transmission, mais ne protège pas contre l'accès des moustique et contre les mains sales. Une puisette déposée par terre par contre est considérée comme étant à priori sale. Le chapitre

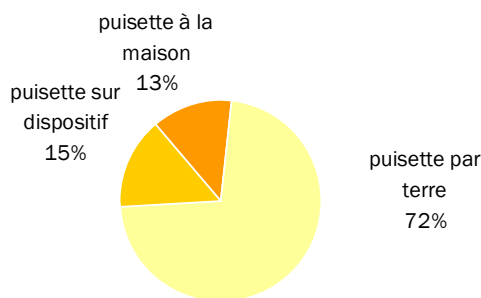
Photo 5.8 : Dispositif et puisette



⁴⁶ Cette manière de poser la question nous donne une indication sur la fiabilité des réponses. Dans la plupart des cas, la réponse des individus correspondait à la situation rencontrée sur place.

précédent a montré qu'il faut admettre que les alentours des puits présentent des polluants fécaux. Chez 13 % seulement des familles, la puisette était conservée dans la maison, chez 15 % sur un dispositif spécial et chez 72 %, la puisette était déposée par terre au moment de l'intervention. Pour la corde, seule une partie des puisettes stockées à la maison ou sur un dispositif présentaient une corde bien enroulée. Toutes les autres cordes traînaient par terre.

Figure 5.9 : Endroit de stockage de la puisette



Hinden, 2007

Ensuite, la puisette peut aussi être contaminée par des polluants fécaux à travers des mains sales (cf. chapitre 6 sur la propreté des mains). De manière générale, les personnes tiennent la puisette par le bas pour pouvoir bien verser l'eau dans le seau, il en résulte un contact direct entre main et puisette⁴⁷. Nous avons aussi pu observer que lorsque la puisette contenait un trou, celui-ci était bouché avec les doigts pendant le versement. Les insectes qui se posent sur la puisette pour s'approvisionner en eau peuvent également constituer une source de contamination en amenant des pathogènes fécaux à travers leurs pattes ou leur salive. Ensuite, nous avons pu observer à plusieurs reprises que les enfants tenaient les puisettes dans les mains et dans la bouche, et que dans deux cas des animaux piétinaient les puisettes qui traînaient par terre. Finalement, nous admettons que le risque de contamination augmente avec le nombre de puisettes disponibles par puits. 27% des personnes ont indiqué qu'il existe plusieurs puisettes pour le puits dans lequel ils s'approvisionnent (variable PST_nbre). Le nombre de puisettes en jeu est donc considérable ce qui contribue à l'augmentation du risque d'une contamination de la nappe.

À part les données récoltées à travers le questionnaire et la grille d'analyse, nous pouvons encore mentionner quelques autres aspects liés à la puisette. Certaines femmes ont répondu qu'elles stockaient la puisette à l'intérieur de la maison seulement pendant la saison pluvieuse. D'autres ont mentionné être conscientes du fait que les puisettes devaient être stockées sur un dispositif, mais que ceci est souvent négligé, notamment par les enfants. Finalement, notons à ce point que la puisette joue également un rôle important dans la contamination ultérieure de l'eau, cet aspect sera discuté dans le chapitre 6.

À part les puisettes stockées à la maison ou sur le dispositif, les critères d'hygiène dans l'usage de la puisette ne sont, dans la plupart des cas, pas remplies et les puisettes doivent être considérées comme contaminées dans beaucoup des cas. Le puisement de l'eau constituant une activité quotidienne et les voies de transmission des pathogènes étant multiples, il y a chaque jour un risque que les puisettes

⁴⁷ Le processus du puisement a été observé lorsque nous avons fait les analyses de la qualité des eaux des 50 puits. Pour ces analyses, les personnes ont puisé un peu d'eau pour nous.

entrent en contact avec les polluants lors du puisement et lors du stockage. De nouveau, des processus d'atténuation du polluant comme le rayonnement solaire ou le manque d'humidité peuvent causer la mort du polluant avant que celui-ci n'entre en contact avec la puisette, mais son usage fréquent fait que ces processus ne peuvent avoir lieu que pendant une courte durée durant laquelle le polluant est supposé survivre. De plus, le matériel de la corde, nattée avec des feuilles, présente vraisemblablement des interstices humides constituant des espaces vitaux pour les bactéries et les virus. Une fois que la corde entre en contact avec les polluants, il est donc quasiment certain que l'eau dans le puits devient polluée. Le trajet du polluant est par conséquent très court (< 25 jours) et le risque que l'eau dans le puits soit polluée à travers la puisette est significatif.

En résumé, nous jugeons le risque d'une contamination directe de la nappe à travers le puits, soit par écoulement, soit par des outils contaminés, comme étant significatif. Le grand nombre des puits fait que le risque provenant de cette source de pollution est significatif pour la nappe entière à l'échelle de Bengou. L'analyse des puits a été faite sur un échantillon de 50. Nous devons donc admettre qu'une pollution de la nappe à travers les puits est un scénario possible pour les 400 puits traditionnels de Bengou et que pour quasi la totalité des puits, il est possible qu'un pathogène rejoigne la nappe en moins de 25 jours. Une fois que les polluants ont rejoint la nappe, ils se propagent facilement dans l'eau. C'est ainsi qu'un pathogène peut être introduit dans un puits et être puisé chez le puits du voisin. La charge totale des polluants fécaux provenant de tous ces puits doit être considérée comme très importante.

5.3 Le risque de pollution de la nappe à travers les latrines (II)

Les installations sanitaires constituent la première barrière pour préserver la transmission fécale-orale des pathogènes. Il est alors primordial de disposer d'installations sanitaires bien construites et entretenues qui préviennent toute transmission de pathogènes dans l'environnement. Le but de chaque installation devrait être d'isoler l'utilisateur de ses propres matières fécales, d'empêcher les insectes d'entrer en contact avec des selles et donc de transmettre des maladies, ainsi que de servir comme lieu de stockage des selles et d'inactivation des pathogènes. Il existe de nombreuses options techniques pour la gestion des dépôts fécaux. Le choix du système sanitaire dépend de facteurs culturels, financiers et environnementaux. Les installations les plus répandues en milieu rural sont de manière générale les latrines traditionnelles ou les champs de défécation⁴⁸.

Afin de pouvoir évaluer les installations sanitaires à Bengou et de dresser une grille d'analyse adaptée à ces dernières, il fallait d'abord savoir de quel type étaient les installations sur place. Nos enquêtes ont révélé que nous avons affaire à trois systèmes d'installation sanitaire. Le premier système est de type off-site, c'est-à-dire que les selles sont recueillies dans un premier temps, mais qu'elles sont, après remplissage du volume à disposition, déposées ailleurs. Les deux autres types constituent des systèmes on-site où tous les dépôts sont stockés au point de dépôt où ils passent par un certain degré de

⁴⁸ Dans les petits villages ruraux, les personnes ne possèdent pas de latrines et vont faire leurs besoins dans les champs entourant le village. A part le dépôt non sécurisé des selles et les problèmes que cela peut engendrer, cette pratique comporte encore d'autres risques comme les piqûres de serpents, de scorpions, etc.

décomposition. Ces derniers requièrent la construction de nouvelles installations une fois qu'elles sont remplies. Les aspects principaux des différents types sont résumés ci-dessous :

Figure : 5.10 Les différents types d'installations sanitaires présents à Bengou

TYPE A : Latrine cimentée	TYPE B : Latrine traditionnelle	TYPE C : Champs de défécation
Système off-site	Système on-site	Système on-site
Murs cimentés	Matériel de construction : terre et bois	Pas d'aménagements



Hinden, 2007⁴⁹

Les questionnaires ont mis en évidence que 94 % de la population de Bengou possèdent une latrine traditionnelle (de type B) dans leur concession. Si nous admettons qu'il y a une latrine par concession, le nombre total de latrines traditionnelles devrait se situer autour de 750 latrines rien que dans le noyau du village⁵⁰. Il est intéressant de noter que dans les villages de Kizamou ou de Sormo par exemple, seulement 1,9%, respectivement 0% de la population possèdent une latrine (Motcho et Sallah, 2003 :8). Dans ces villages, la population est moins dense, donc les habitants sont moins poussés à chercher des alternatives pour la gestion de la matière fécale. Ceci reflète la situation de la plupart des petits villages de campagne au Niger.

Pour le type de sanitaire C, seule deux individus ont mentionné utiliser les champs, s'y ajoutent ceux dont les latrines se sont effondrées. La construction de type A ne se retrouve que deux fois à Bengou. Une se trouve au complexe du CSI et l'autre au complexe du lycée, elles sont réservées aux clients du CSI, respectivement aux élèves du lycée. Nous analysons ici les types A et B, le type C, les dépôts de matière fécale se trouvant à la surface du sol, sera analysé dans le chapitre 5.4.3.

⁴⁹ Coupe de latrine cimentée d'après Burtogec (2002).

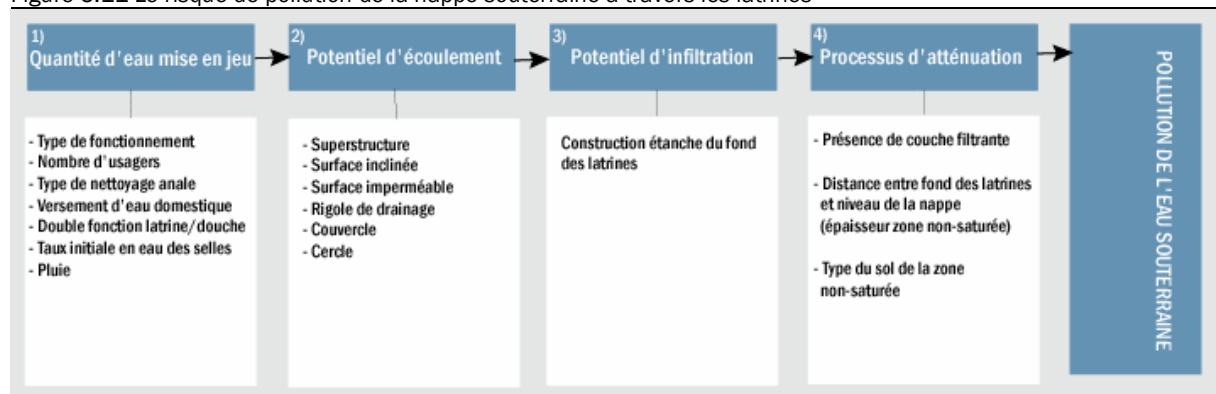
⁵⁰ En calculant avec les 6'000 habitants du noyau du Bengou et en admettant 8 personnes en moyenne par concession. L'inventaire des ressources hydraulique (République du Niger 2006) compte d'ailleurs 500 latrines privées pour le village de Bengou, en se basant sur une population de 9300 habitants.

Il s'agit de savoir si les latrines de Bengou constituent un endroit de dépôt sûr pour la matière fécale ou s'il est possible que des polluants puissent se propager dans l'environnement et peut-être atteindre les nappes souterraines. Dans cette optique deux questions principales se posent :

- Quel est le volume d'eau mis en jeu dans l'usage des latrines et qui pourrait véhiculer les polluants dans l'environnement ?
- Est-ce que le type de construction des latrines permet un écoulement de cette eau et si oui, quel est le potentiel d'atténuation des polluants avant de rejoindre la nappe souterraine ?

Pour répondre à ces questions, il s'agit en premier temps d'évaluer la quantité d'eau mobilisée autour de l'usage des latrines. Ces informations sont de nature météorologique, sociale et culturelle et proviennent soit de l'office hydraulique, soit d'entretiens informels avec différentes personnes. Dans un deuxième temps, il s'agit d'analyser le mode de construction des latrines afin de savoir si ces dernières sont imperméables ou s'il existe des dispositifs qui peuvent atténuer les polluants. Ces informations sont recueillies à travers la grille d'analyse. La combinaison de tous ces facteurs permet ensuite de déterminer le risque de contamination de la nappe souterraine qui provient des latrines (cf. figure ci-dessous).

Figure 5.11 Le risque de pollution de la nappe souterraine à travers les latrines



Hinden, 2007

5.3.1 La quantité d'eau utilisée lors de l'usage des latrines traditionnelles et cimentées (1)

Il est difficile de donner des indications précises sur les quantités d'eau mise en jeu autour des latrines. Nous pouvons cependant avoir une idée approximative de l'eau utilisée en analysant les aspects principaux qui ont une influence dans la production de l'eau. L'idéal serait qu'aucune des activités liées à l'usage des latrines ne suscite de volume d'eau supplémentaire. Sept facteurs nous semblaient mérités d'être analysés.

Un premier facteur est le mode de fonctionnement des toilettes. Une toilette fonctionnant avec une chasse d'eau engendre des quantités d'eau beaucoup plus importantes qu'une toilette sèche. En ce qui concerne les trois types de latrines existantes à Bengou, les excréments parviennent directement dans la fosse sans chasse d'eau. Des dépôts éventuellement présents sur les bords sont lessivés avec l'eau des cruches, ce qui peut parfois engendrer un volume d'eau important. L'écoulement de cette eau de nettoyage à l'intérieur de la fosse ou son évacuation le long de la superficie du toit de la latrine dépend des

aménagements superficiels, qui sera discuté dans la partie qui analyse le mode de construction des latrines. Un autre facteur lié au mode de fonctionnement des latrines est celui du système de traitement des selles et des urines. Certains systèmes sanitaires prévoient une séparation des selles et des urines pour diminuer le volume liquide dans les fosses et pour réutiliser les urines. Les latrines à Bengou ne prévoient pas de séparation de ces derniers et le tout doit être absorbé par les latrines.

La méthode d'hygiène anale des personnes constitue un deuxième élément important dans la génération du volume d'eau. Celle-ci dépend des cultures, de la quantité d'eau disponible ainsi que des matériaux utilisables et présents dans la région pour le nettoyage. À Bengou, une toilette à l'eau est privilégiée après défécation, ceci pour des raisons religieuses (presque toute la population est musulmane et considère l'eau comme le seul élément qui puisse apporter de la pureté) et à cause de la grande disponibilité en eau dans la région. L'inspection de plus de cinquante latrines à Bengou a pu confirmer ceci. Dans aucune fosse nous n'avons pu constater des feuilles ou du papier.

Le nombre de personnes qui utilisent les latrines constitue un troisième facteur dans la quantité d'eau produite. Selon Drouart E. et Vouillamoz J.-M. (1999 : 325) un individu produit 0,04 m³ de matière fécale par an. En admettant, pour les latrines traditionnelles, un nombre de 8 personnes en moyenne par concession (une latrine par concession), la charge par latrine et par an revient à 0,32 m³. Afin d'avoir une approximation du volume de dépôt dans les latrines, nous avons interrogé des personnes d'une part sur la profondeur de la fosse et d'autre part sur la durée de vie des latrines. Avec une profondeur moyenne de 2,5 m et un diamètre moyen observé de 1 m, le volume des latrines se situe autour de 2,5 m³ (variable LAT_prof). La durée de vie moyenne se trouve à 5,5 ans pour les latrines traditionnelles. Le nombre important d'usagers par latrines génère un volume liquide important.

Comparé aux latrines traditionnelles, le nombre d'usagers et la fréquence d'usage des toilettes est beaucoup plus important pour les latrines du CSI (trois latrines pour tout le CSI, usagers du CSI étant souvent personnes avec maladies diarrhéiques) et moins important pour les latrines du lycée (trois latrines pour les enseignants et six latrines pour les élèves). Les fosses des latrines cimentées ont un volume de 2,2m³ (calcul d'après coupe et mesures Burgotec 2003). Les latrines du CSI doivent être vidées une fois par an, ce qui confirme sa forte utilisation. Comme les latrines du collège n'étaient en service que depuis un an, les personnes ne pouvaient pas nous donner des indications sur la durée de vie de ces latrines. Nous l'estimons par contre comme longue, vu la très faible quantité de matière fécale présente au fond des latrines après un an.

Un autre aspect très important pouvant générer une grande quantité d'eau pour les latrines est que ces dernières sont utilisées dans beaucoup de cas comme douche et pour vidanger l'eau domestique. Nous avons pris conscience trop tard de ces deux aspects et n'avons pas pu vérifier à quel point cette pratique est courante à Bengou. Les différentes discussions à ce sujet nous font toutefois supposer que les latrines de Bengou sont utilisées pour de multiples fonctions et que l'apport en eau augmente avec ces activités.

Le taux de liquide initialement présent dans les selles influence la composition de la masse stockée à l'intérieur des latrines. Le taux dépend principalement du mode d'alimentation et de l'état de santé des individus. Nous n'avons pas analysé le comportement alimentaire des personnes, mais la cuisine dans la

région est en général riche en fibres alimentaires et est supposée donner des selles plutôt molles. Vu le taux élevé des maladies diarrhéiques de la population de Bengou (cf. chapitre 7) nous pouvons conclure que la masse fécale présente un taux de liquide élevé. Ce constat concerne particulièrement les latrines cimentées du CSI puisqu'elles sont généralement utilisées par des malades.

Finalement, l'eau de pluie peut également fortement contribuer à l'augmentation de la quantité d'eau dans les latrines. Comme la saison des pluies ne dure que trois mois, l'apport en eau de pluie dans les latrines ne concerne que cette période et ceci uniquement dans le cas où les constructions permettent un ruissellement de l'eau de pluie à l'intérieur des latrines (cf. sous-chapitre suivant). La pluie constitue d'ailleurs certainement le facteur qui génère le plus grand volume en eau.

Tableau 5.12 : Facteurs d'influence pour la quantité d'eau utilisée lors de l'usage des latrines à Bengou

Mode de fonctionnement	Sans chasse d'eau
Séparation urines / selles	Urines et selles entrent dans la fosse
Méthode d'hygiène anale	Eau utilisée pour hygiène anale (religion musulmane)
Nombre d'usagers	1 latrine par concession > grandes familles > usagers nombreux
Usage multiple	Latrines utilisée aussi pour douche et vidange de l'eau domestique
Liquide dans selles	Taux initiale assez important (nourriture et cas de diarrhée)
Eau de pluie	Durant 3 mois

Hinden, 2007

Trois constats faits sur le terrain ont pu confirmer le taux élevé en liquide des latrines. D'abord, les dépôts fécaux dans la fosse avaient un aspect très liquide dans toutes les latrines observées. Il s'agissait plutôt d'une boue que de la matière fécale solide comme on aurait pu le supposer. Les alentours des latrines étaient également très humide ou boueuse dans de nombreuses concessions. Précisons que les observations ont été effectuées durant la saison sèche, il est donc fort probable que ces facteurs soient plus prononcés durant la saison de pluies. Relevons enfin que plusieurs personnes ont indiqué un effondrement des latrines notamment en saison de pluie, ce qui laisse supposer que les murs des latrines étaient devenus instables à cause de la grande teneur en eau dans le sol.

La quantité d'eau mobilisée autour de l'usage des latrines à Bengou est donc importante. Il s'agit maintenant de voir si toute cette eau percole à l'intérieur de la fosse ou s'il y a une partie qui est retenue grâce aux aménagements adéquats des installations de surface.

5.3.2 L'écoulement de l'eau à l'intérieur des latrines (2)

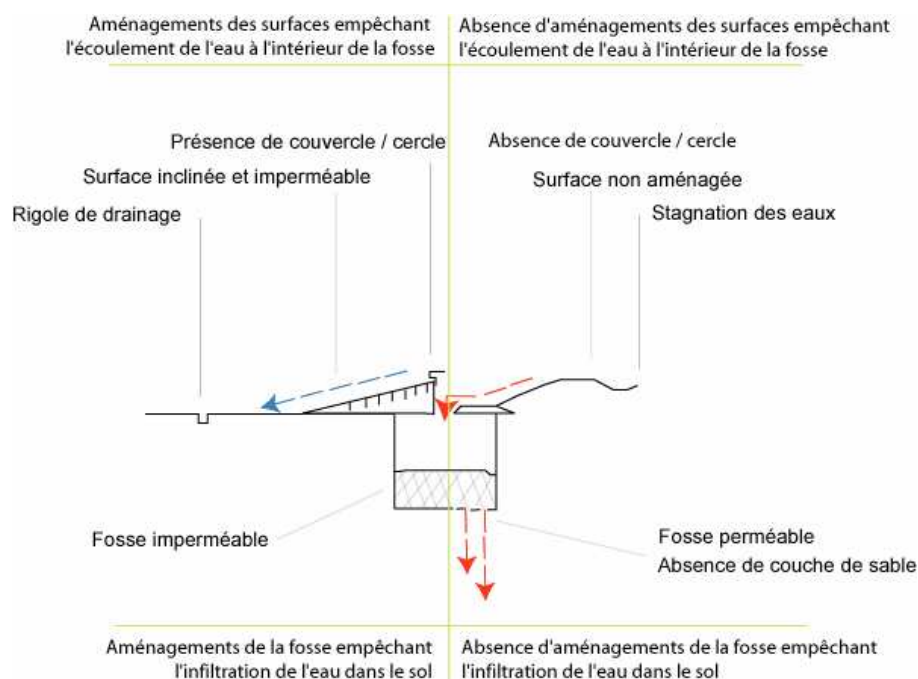
L'eau générée lors du dépôt de selles et des urines ainsi que pendant le nettoyage anal, entre directement dans la fosse. L'eau de pluie et l'eau domestique, par contre, ne doivent pas forcément finir à l'intérieur des latrines. Des aménagements simples empêchant un écoulement de l'eau à l'intérieur de la fosse existent ils et contribuent ainsi fortement à une diminution du taux de liquide. Pour les deux types de latrines présents à Bengou, nous avons dressé des critères principaux adaptés au type de latrine (cf. grille

d'analyse) afin d'évaluer les aménagements autour des latrines. Chacun de ces critères mesure le potentiel d'écoulement de l'eau à l'intérieur de la fosse.

Dans un premier temps, les latrines doivent présenter une superstructure qui protège contre la pluie (variable lat_toit). Cette superstructure doit couvrir la latrine entière et doit être faite de manière à ce que l'eau ne puisse pas s'écouler latéralement en dessous (toit et murs imperméables et hermétiquement fermés). Pour les latrines qui remplissent ces critères, l'eau de pluie ne constitue donc pas un risque et seule la quantité d'eau provenant des autres activités peut contribuer à l'augmentation du volume liquide. L'analyse sur le terrain a montré que de toutes les latrines examinées, aucune des latrines ne présentaient une superstructure entière. Chez les latrines traditionnelles présentes dans les concessions à Bengou, murs et toit étaient absents. Les latrines cimentées du CSI et du lycée présentaient des murs cimentés latéraux, mais pas de toit. Aucune des latrines, ni traditionnelles, ni cimentées, ne présentent une superstructure complète et l'eau de pluie risque donc de s'écouler à l'intérieur.

Cependant, même si les superstructures étaient absentes ou inefficaces, une latrine peut être assez bien protégée contre l'eau de pluie et l'eau domestique pour autant que sa construction réponde à quelques critères supplémentaires. Des aménagements spécifiques à la surface des latrines traditionnelles peuvent éviter un écoulement de l'eau à l'intérieur de la fosse (cf. figure ci-dessous).

Figure 5.13 : Aménagements simples des latrines traditionnelles qui peuvent diminuer le volume d'eau



Les six variables de la grille d'analyse pour les latrines traditionnelles (variables LAT_inclin, LAT_inclin2, LAT_couvercl, LAT_surfperm, LAT_stagn) évaluent ces aménagements de surface. Le critère ayant la plus grande influence sur l'écoulement de l'eau à l'intérieur de la fosse est certainement l'inclinaison de la surface de la latrine. Une inclinaison régulière dans le bon sens avec une pente suffisante peut évacuer une grande partie de l'eau de pluie. À Bengou, 33 % des latrines examinées n'ont d'ailleurs pas de surface inclinée et l'eau de pluie peut s'écouler directement à travers le trou (variable LAT_inclin). Chez les 67%

des latrines qui présentent une inclinaison, la pente est souvent tellement faible que pendant la saison de pluie, l'eau stockée dans les alentours peut s'écouler à un moment donné dans la fosse. En plus, la surface inclinée est souvent irrégulière et permet à un endroit l'écoulement en direction de l'ouverture (variable LAT_inclin2). Quelques rares latrines présentent un cercle d'une hauteur de quelques centimètres autour de l'ouverture qui empêche l'eau de s'écouler (variable LAT_cercle ; cf. photo 7 dans annexe 5). Ce cercle ne remplit cependant pas toujours sa fonction, soit parce qu'il est fortement rouillé, soit parce qu'il ne se ferme pas hermétiquement avec le matériel de la surface de la latrine.

Un autre facteur qu'il fallait analyser était de voir si le matériel de construction de la surface des latrines était imperméable (variable LAT_perméable). La quasi-totalité des superficies de latrines à Bengou sont faites avec un support en bois et avec une couverture de terre perméable. La construction est aussi mince que possible afin de diminuer le poids. Ceci implique donc que l'eau peut s'infiltrer facilement à travers cette couche mince et que même les latrines présentant des surfaces inclinées risquent de recevoir une quantité d'eau de pluie par infiltration. Chez quelques latrines, le matériel est un mélange de terre et de ciment et seulement deux latrines présentent une surface complètement imperméable. La présence d'une rigole de drainage (variable LAT_rigole) pourrait aider à l'évacuation de l'eau. A Bengou, aucune des latrines présentaient un tel aménagement. Un autre critère dans l'analyse des latrines est celui de la stagnation de l'eau à la surface. La stagnation de l'eau comporte un risque d'une part à cause de l'infiltration potentielle, mais aussi parce qu'elle constitue une source de prolifération des moustiques. L'irrégularité des surfaces, ainsi que de l'absence des rigoles de drainage des latrines à Bengou, rendent la stagnation de l'eau sur le toit des latrines possible pour une grande partie des latrines. Dans 64% des cas, les terres étaient humides ou même boueuses lors de l'examen des latrines en saison sèche (variable LAT_hum). Enfin, la présence d'un couvercle sur l'ouverture pourrait diminuer la quantité d'eau dans les latrines. Lors de l'intervention, un couvercle fonctionnel était présent seulement sur deux latrines⁵¹, chez toutes les autres latrines, l'eau de pluie pouvait y entrer directement. Plusieurs latrines présentaient en outre de vastes ouvertures dans leur toit, soit par défaut de construction, soit à cause d'un effondrement d'une partie du toit, qui permet un écoulement de l'eau à l'intérieur.

Les latrines cimentées du lycée ainsi que les autres latrines du CSI présentent une superstructure qui ne protège pas contre la pluie tombante mais qui protège contre l'écoulement de l'eau en dessous grâce aux murs latéraux, donc seule la pluie entrant dans le périmètre peut s'écouler à l'intérieur. Les aménagements de surface à l'intérieur de ces latrines sont constitués d'une surface cimentée et plate, sans rigole de drainage. Donc l'eau de pluie et l'eau de nettoyage entreront dans la fosse.

Pour résumer le potentiel d'écoulement de l'eau liée au type de construction des latrines, nous pouvons dire que la présence d'une superstructure ou d'une surface inclinée sont les facteurs les plus importants. Pour tous les types de latrines présents, la quantité en eau provenant de la pluie, de la toilette anale, des selles, des urines ainsi que du nettoyage de la superficie des latrines peut s'écouler à l'intérieur des latrines. Le potentiel d'écoulement diffère d'une latrine à l'autre, mais est de manière général très élevé.

⁵¹ Sur la grille d'analyse, nous avons juste saisi absence ou présence du couvercle sans tenir compte si celui se trouve sur l'ouverture ou à côté. Nous n'avons pas non plus demandé si les personnes utilisaient peut-être un couvercle seulement en saison de pluie, période où son usage aurait le plus grand effet.

Tableau 5.14 : Variables caractérisant le potentiel d'écoulement de l'eau à l'intérieur des latrines traditionnelles

Variable	Modalités					
Superstructure présente	Oui	0%	Non	100%		
Surface inclinée	Oui	67%	Non	33%		
Surface imperméable	Oui	4%	Non	96%		
Rigole de drainage présente	Oui	0%	Non	100%		
Cercle présent	Oui	53%	Non	47%		
Couvercle présent	Oui	4%	Non	96%		
alentours des latrines humides	Sec	36%	Peu humide	41%	Très humide	23%

Hinden, 2007

5.3.3 Le potentiel d'infiltration de l'eau des latrines dans le sol (3)

L'usage de l'eau et le type de construction font que l'apport en eau des latrines de Bengou est considérable. Il s'agit maintenant de savoir si cette eau, chargée en polluants fécaux, peut s'infiltrer dans le sol et atteindre la nappe souterraine ou si les latrines constituent un endroit sécurisé pour le stockage des selles. Il s'agit donc d'analyser si les constructions des fosses des latrines sont imperméables.

Pour qu'une latrine renferme bien le liquide, il faut qu'elle soit entièrement couverte par un matériel imperméable à l'intérieur de la fosse. Pour l'analyse des latrines traditionnelles, nous avons d'une part interrogée les personnes sur le matériel utilisé pour la construction et d'autre part nous avons fait des observations des latrines en regardant à l'intérieur de la fosse (LAT_soubass). Pour les latrines cimentées du CSI et du lycée nous avons consulté les plans de construction (BURTOGEC) et nous avons discuté avec l'architecte⁵².

Les analyses ont montré que seules les latrines du lycée présentent des murs latéraux et un soubassement des fosses fait du ciment. Les installations ne montrent en plus aucun signe de dégradation et l'on présume que la fosse est entièrement hermétique. De ces latrines, il n'y a aucun risque que de l'eau contaminée puisse s'écouler depuis la latrine pour polluer les nappes souterraines.

Les latrines du CSI sont d'un autre type de construction. Leur fosse est composée de murs latéraux cimentés, mais il n'y a pas de soubassement (cf. coupe figure 5.10). L'architecte des latrines du CSI dit qu'ils posent uniquement des graviers au fond des latrines. Les discussions avec lui ont montré qu'il n'était pas conscient du risque que cela présentait, notamment aux endroits où la nappe est peu profonde. C'est lui qui détermine l'endroit de l'emplacement de la latrine. Il dit de ne pas faire attention à la hauteur de la nappe, ni à la direction de l'écoulement de la nappe et ni à la position des puits. Il est pourtant intéressé par ce sujet et demande quelle distance minimale il faudrait entre le fond de latrines et la superficie de la nappe. Ce type de construction des latrines ne permet pas au liquide contenu dans les fosses de s'infiltrer latéralement, mais par contre il peut s'infiltrer facilement dans le sol depuis le fond des latrines.

⁵² Entretien avec Monsieur Ibrahim Oussouman dans les bureaux du FSIL (Fonds de soutien aux investissements locaux) à Gaya.

Les latrines traditionnelles sont construites de sorte qu'un trou de quelques mètres de profondeur est creusé dans le sol et que ce dernier est ensuite couvert par le toit des latrines. Dans 98% des latrines observées, aucun aménagement n'était fait à l'intérieur de la fosse, les murs et les soubassements sont composés de la terre dans laquelle la latrine a été creusée. La fosse des latrines traditionnelles n'est donc en aucun cas hermétiquement fermée. Le risque qu'une grande quantité d'eau s'infilte latéralement et à travers le fond et qu'elle amène des polluants fécaux dans le sol est très élevé. Une seule personne a mentionné mettre une couche de gravier au fond de la latrine (variable LAT_filtre)⁵³.

Pour résumer le risque de l'infiltration des polluants dans le sol depuis les latrines, nous pouvons dire que ce dernier est nul pour les latrines cimentées du lycée et très élevé pour les latrines traditionnelles ainsi que pour les latrines cimentées du CSI (cf. ci-dessous).

Tableau 5.15: Variables caractérisant le potentiel d'infiltration de l'eau dans le sol

Variable	Type de latrine		
	Latrines cimentées CSI	Latrines cimentées lycée	Latrines traditionnelles
Murs latéraux présents	oui	oui	non
Fosse fermée hermétiquement	non	oui	non
Couche de sable fin présente	non	-	non
>> Infiltration dans le sol possible	OUI	NON	OUI

Hinden, 2007

L'infiltration seule des polluants dans le sol depuis la base d'une latrine n'implique toutefois pas forcément une pollution des nappes souterraines. Nous avons vu que le temps de trajet pour les polluants depuis la source de pollution à la nappe peut être trop long selon les conditions et que différents phénomènes dans le sol peuvent agir comme barrières et empêcher la migration des polluants jusqu'à la nappe. Il s'agit maintenant de voir si les conditions en dessous des différentes latrines peuvent atténuer les polluants.

5.3.4 Le potentiel d'atténuation dans le sol en dessous des latrines et évaluation du risque d'une pollution de la nappe souterraine (4)

Afin de pouvoir évaluer le potentiel d'atténuation des polluants dans le sol, il s'agit maintenant de combiner tous les facteurs que nous avons analysés lors de ce travail et qui ont la plus grande influence sur le potentiel d'atténuation des pathogènes : la quantité d'eau et de polluants mises en jeu qui peuvent s'infiltrer dans le sol, l'épaisseur de la couche du sol entre le fond de la latrine et le niveau supérieur de la nappe souterraine ainsi que les caractéristiques de cette couche de sol. Les conditions peuvent changer sensiblement selon les latrines, c'est pourquoi l'évaluation du risque se fait séparément pour les différents types de latrines.

⁵³ La question était de savoir si les personnes mettent une couche de sable en dessous de la latrine. Nous avons vu qu'une couche de 2 mètres de sable très fine pourrait filtrer une grande partie des pathogènes, dont notamment les bactéries. Une couche de gravier est considérée comme ne pas pouvant atténuer les polluants. Mais cet exemple prouve que il a une certaine prise de conscience du risque de pollution provenant des latrines

Latrines traditionnelles

Nous avons vu que la quantité d'eau engendrée par les latrines traditionnelles est importante et que le type de construction permet dans quasiment tous les cas un lessivage des polluants dans le sol, avec une certaine différence du volume d'eau selon les aménagements et selon la saison. Les latrines sont en moyenne creusées à des profondeurs de 2,5m. Comme le niveau de la nappe se trouve en moyenne à 6,9m, l'épaisseur de la couche de sol entre le fond de la latrine et la nappe souterraine est donc seulement autour de 4,4m à ces endroits. Cette couche est composée de sable moyen à grossier. Il s'agit maintenant d'évaluer le temps de trajet des polluants sous ces conditions. Avec la méthode de ARGOSS, les différents facteurs peuvent être combinés et nous pouvons déduire le temps de trajet, respectivement le risque pour la nappe à l'aide de la figure ci-dessous :

Figure 5.16 : Evaluation du potentiel de contamination après atténuation dans la zone non-saturée

Type de roche dans la zone non-saturée	Profondeur à la nappe (profondeur minimale, mètres en dessous de source de contamination)		
	< 5m	5-10 m	> 10m
Sable fin silteux			
Roche mère altérée			
Sable moyen	Latrines tradit.	Latrines CSI	Latrines lycée
Gravier			
Roche fracturée			

■ Risque significatif pour des pathogènes microbiologiques de rejoindre la nappe souterraine à des taux inacceptables (temps de trajet < 25 jours)

■ Faible à très faible risque pour des pathogènes microbiologiques de rejoindre la nappe souterraine à des taux inacceptables (temps de trajet > 25 jours)

d'après ARGOSS (2001 : 49)

Une épaisseur de sable moyen à grossier de 4,4 m en moyenne n'est pas suffisante pour atténuer les polluants. Le temps de trajet est de moins de 25 jours et le risque qu'ils rejoignent et contaminent la nappe est significatif. Le risque d'une pollution de la nappe souterraine par les latrines traditionnelles est donc considérable.

Latrines du CSI

La quantité d'eau s'infiltrant dans le sol est très importante pour toutes les latrines du CSI. Les latrines sont creusées à une profondeur de 1,70m. L'épaisseur de la couche de sable moyen à grossier se situant entre le bas des latrines et le niveau supérieur de la nappe est donc 5,2 m. Pour ces latrines aussi, le temps de trajet des polluants se situe donc en dessous de 25 jours, et le risque d'une contamination de la nappe est significatif. S'y ajoute le fait que les utilisateurs de ces latrines sont généralement malades, ce qui fait d'une part augmenter le volume liquide du fait du grand nombre de cas de diarrhée et d'autre part le taux de pathogènes dangereux est plus important. Par contre, dans les alentours des latrines du CSI, les activités humaines produisant beaucoup d'eau (lessive, ménage, etc.) sont quasiment absentes, et le

volume d'eau s'infiltrant dans le sol devrait être moins important à cet endroit. Les sols devraient donc être moins saturés dans les alentours.

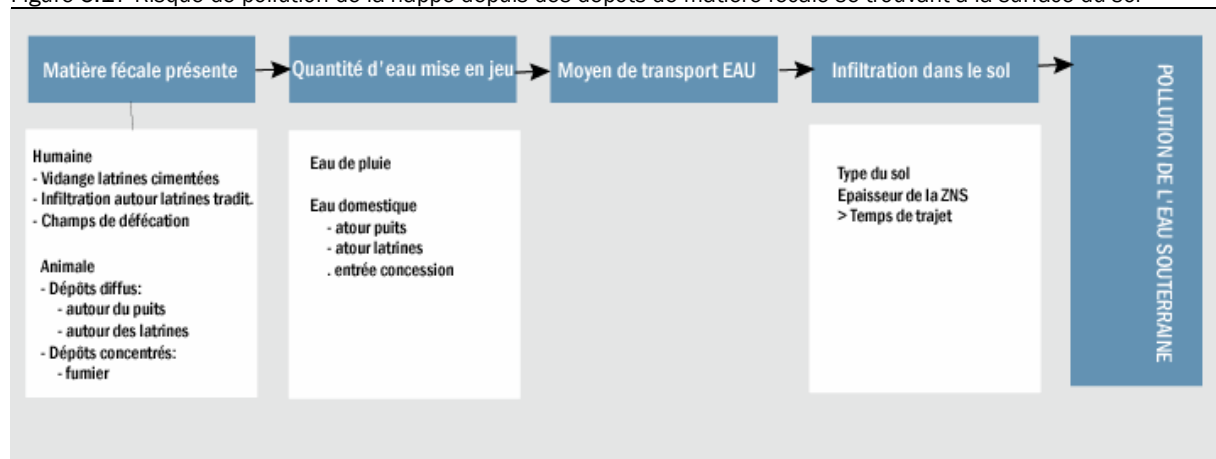
Latrines du lycée

Finalement, en ce qui concerne les latrines cimentées du lycée, nos analyses ont montrés que la construction étanche des fosses fait qu'il n'y a pas d'eau qui s'infiltrer depuis le fond des latrines et qui pourrait amener des polluants. Tant que la construction des fosses ne se dégrade pas et qu'elle reste imperméable, il n'y a aucun risque provenant de ces latrines. Dans le cas où les installations devaient présenter des fuites et que de l'eau contaminée pouvait s'infiltrer dans le sol, le temps de trajet serait tout de même assez long du fait de la grande profondeur de la nappe à cet endroit. La hauteur de la nappe se situe autour de 15 mètres dans ce quartier, comme nous l'avons mesuré dans un puits abandonné se situant à dix mètres du lycée. Ce puits connaît en plus des problèmes de tarissement en saison sèche. La couche de sable, de nouveau de taille moyenne à grossière, est d'une épaisseur d'environ 13 m entre le fond des latrines est la superficie de la nappe. Dans les alentours du lycée, la zone non-saturée semble donc assez épaisse pour atténuer les polluants et il y a peu de risque que des pathogènes puissent contaminer la nappe (temps de trajet > 25 jours). S'y ajoute le fait que la faible utilisation de ces toilettes génère un volume très faible d'eau et de matières fécales.

5.4 La pollution de la nappe souterraine par infiltration des polluants depuis la surface du sol (III)

À Bengou, nous avons détecté plusieurs endroits présentant des dépôts fécaux à la surface de la terre. Une gestion adéquate des déchets animaux et humains devrait prévenir la présence d'un dépôt aléatoire de ces dernières à la surface de la terre. Dès que des dépôts fécaux y sont présents, il y a risque que ces derniers soient propagés dans l'environnement à travers les multiples voies de transmission. Ce chapitre est consacré à l'évaluation du potentiel d'infiltration des pathogènes dans le sol et du potentiel d'une contamination de la nappe. Pour cette voie de transmission des polluants, c'est donc de nouveau l'eau qui constitue le moyen de transport. Le risque d'infiltration des polluants dépend donc de la quantité d'eau mise en jeu à l'endroit du dépôt. Dans le cas où l'eau est absente, il n'y a pas de risque de pollution de la nappe provenant de ces dépôts de matière fécale. Il y a donc un risque pour tous les dépôts en saison de pluie, ainsi qu'un risque pour les dépôts se trouvant aux endroits où des quantités importantes d'eau domestique sont versées.

Figure 5.17 Risque de pollution de la nappe depuis des dépôts de matière fécale se trouvant à la surface du sol



Hinden, 2007

Nous allons relever d'abord les différents dépôts de matière fécale et analyserons ensuite si ces derniers présentent un risque pour la pollution de la nappe. Nous commencerons par l'analyse des dépôts de la matière fécale animale qui sera suivie par celles des dépôts d'origine humaine.

5.4.1 Les différents dépôts de matière fécale se trouvant à la surface du sol et le potentiel d'infiltration des polluants dans le sol

Afin d'avoir une indication approximative de la quantité de selles animales présentes à Bengou, il faut connaître le nombre du cheptel présent à Bengou. Comme l'élevage constitue la seconde activité à Bengou, ce dernier est élevé. Dans le rapport de Géoconseil (2002 : 5) le nombre de bovins est estimé à 15'000, celui des ovins à 10'000, des caprins à 6'000, des camélidés 20, des asines 300, des équidés à 5 et celui des volailles à 200'000. Sans pouvoir donner des indications précises, on peut s'imaginer que la quantité d'excréments produits par les animaux chaque jour est très importante. Nous voulons savoir de quelle manière ces dépôts sont distribués sur la surface du sol et s'il s'agit d'un endroit où l'eau peut lessiver les pathogènes dans le sol ou non. Nous avons affaire à des dépôts diffus partout dans le village de Bengou et à des dépôts concentrés à l'endroit du stockage du fumier à l'intérieur des concessions⁵⁴. En ce qui concerne les dépôts diffus, c'est notamment la libre circulation des animaux à Bengou qui fait que l'on peut retrouver des dépôts fécaux un peu partout dans le village. Bien qu'il s'agisse de petites quantités, ils peuvent pénétrer dans le sol s'ils entrent en contact avec de l'eau.

En saison de pluie, tous les dépôts de matière fécale présents quelque part à Bengou, risquent donc de s'infiltrer dans le sol. Au moment où l'eau de pluie s'infiltrerait à un endroit où de la matière fécale est présente, des particules dissoutes dans l'eau peuvent être emportées jusqu'à la nappe. En saison sèche, les dépôts diffus présentent certainement un moins grand risque par rapport à une infiltration dans le sol et à une contamination de la nappe puisque l'agent de transport, l'eau, est absent.

⁵⁴ Comme autre endroit de concentration de dépôt on pourrait mentionner encore le cas du marché au bétail. Ce dernier pourrait constituer un risque de pollution en saison de pluie. Ce cas n'a cependant pas été analysé en détail.

Toutefois, il y a aussi en saison sèche certains endroits où il y a régulièrement de l'eau qui s'infiltré dans le sol et qui pourrait amener des polluants. Il y a deux endroits que nous considérons comme des endroits à risque par rapport à une infiltration des pathogènes dans le sol. Premièrement nous pouvons citer les dépôts qui se trouvent dans les alentours humides des puits. La quantité d'eau versée à ces endroits peut être importante et des polluants risquent de s'infiltrer avec l'eau. On observe le même phénomène pour des dépôts se trouvant à l'intérieur de la concession aux endroits où l'activité domestique génère souvent une quantité d'eau importante et ponctuelle. Du fait que tout système de canalisation est absent, les déchets liquides domestiques sont souvent versés devant la porte d'entrée de la concession.

Deuxièmement, par rapport aux dépôts concentrés de matière fécale, il faut dire que la matière fécale est souvent ramassée et stockée dans un coin de la concession pour servir ensuite de fumier pour les champs. Nos analyses ultérieures ont montré que ces dépôts de fumier ne sont pas stockés de manière sécurisée (pas de protection contre la pluie et situés sur sol nu perméable) et constituent déjà un risque en ce qui concerne l'écoulement à l'intérieur du puits. Du fait de leur grande concentration, elles peuvent s'infiltrer dans le sol lors d'un apport en eau important en saison de pluie.

En ce qui concerne maintenant les dépôts de matière fécale humaine, il y a trois endroits principaux à Bengou qui présentent un risque d'infiltration dans le sol. C'est certainement la vidange des latrines du CSI qui présente le plus grand risque. Une fois par année, lorsque les fosses des latrines du CSI sont remplies, tout le contenu est vidé par des employés de la commune⁵⁵. La matière fécale évacuée est versée juste derrière les latrines. L'analyse plus détaillée de cet endroit a montré qu'il s'agissait d'un des points les plus bas de Bengou où la nappe se trouve à quelques mètres seulement (niveau d'eau dans le puits à côté 3 mètres). Le sol n'est pas du tout aménagé et le matériel est déposé directement sur la surface du sol. Les employées ajoutent un produit nommé « grésil » qu'ils mettent pour diminuer un peu l'odeur⁵⁶. Le fait que la matière déposée soit elle-même très liquide et le fait que la couche non saturée à cet endroit soit aussi mince fait que le risque d'une contamination est significatif durant toute l'année.

Un deuxième endroit où des dépôts fécaux humains risquent de s'infiltrer dans le sol se trouve autour des latrines traditionnelles. Le chapitre précédent a montré que la surface autour de ces dernières était dans quasiment tous les cas perméable, permettant ainsi une infiltration soit directement à travers la surface de la latrine, soit à travers le sol autour des latrines. En saison de pluie, la matière fécale peut s'infiltrer à n'importe quel endroit. En saison sèche, la matière peut s'infiltrer avec l'eau utilisée pour la toilette et pour le lessivage de la surface de la latrine. Les constats faits sur le terrain en saison sèche ont montré des traces d'eau importantes qui s'écoulent depuis les latrines pour s'infiltrer dans le sol. De nouveau, il est difficile à dire si la quantité d'eau est suffisante pour s'écouler jusqu'à la nappe.

Les 6% de la population qui ne possèdent pas de latrines font leur besoin sur les champs, ce qui constitue un troisième endroit où il y a risque d'infiltration des polluants. Ces dépôts se trouvent d'ailleurs en général

⁵⁵ Source des informations concernant le vidange des latrines du CSI : entretien avec l'infirmier Issaka, entretien avec Halidou, conseiller environnemental à Bengou, ainsi que par un employée de la commune. Apparemment il s'agit d'un sujet délicat qui rendait la discussion à ce sujet difficile et qui ne permettait pas d'approfondir plus.

⁵⁶ Les personnes interrogées n'ont mentionné que l'odeur. L'aspect d'une masse contenant de pathogènes et la problématique de la pollution de l'eau et de la santé ne semble pas très important

hors des activités domestiques qui pourraient engendrer un volume d'eau. En saison sèche, ces dépôts sont censés sécher rapidement sous le rayonnement solaire et ne devraient pas constituer un risque au niveau de l'infiltration dans le sol. En saison pluie par contre, ces dépôts peuvent être lessivés directement dans le sol. Il est difficile de relever tous les endroits à Bengou où ces dépôts ont lieu. Une famille qui ne possède pas de latrine nous a montré l'endroit où ils font leurs besoins. Il s'agit d'une dépression avec une profondeur d'environ cinq mètres et avec une dizaine de mètres de diamètre se situant au sein du village⁵⁷. En saison de pluie, cet endroit constitue un véritable bassin de réception pour l'eau de pluie et il y a un fort risque que les polluants s'infiltrent avec l'eau dans le sol. La couche de sol entre le fond de la dépression et la nappe phréatique est très mince et on peut même s'imaginer qu'avec la remontée de la nappe en saison de pluie les polluants sont directement lessivés. Finalement, nous avons pu constater à plusieurs endroits de la matière fécale à côté des chemins, sur des terrains en jachère, lors de nos parcours à Bengou. Ces endroits ne présentent aucun risque en saison sèche vu que l'eau est complètement absente à ces endroits. En saison de pluie par contre, des pathogènes peuvent être lessivés dans le sol.

La figure ci-dessous résume le risque qui provient des dépôts de matière fécale présent à la surface de la terre selon l'endroit et selon la disponibilité en eau. Le risque est calculé en admettant une distance moyenne de 10m entre surface du sol et un sol de sable de taille moyenne à grossière (évaluation du risque sur la même base comme pour fig. 5.16).

Figure 5.18 : Risque de contamination de la nappe souterraine par infiltration des matières fécales depuis la surface de la terre

Dépôt de matière fécale	Saison de pluie	Saison sèche	
		Eau domestique	Absence d'eau
ORIGINE ANIMALE			
Dépôts diffus autour puits, latrines			
Dépôts concentrés (fumier)			
ORIGINE HUMAINE			
Vidange latrines CSI		absente	
Vidange latrines lycée		absente	
Dépôts autour latrines tradit.			
Champs de défécation		absente	

Hinden, 2007

Le potentiel d'infiltration des polluants depuis la surface du sol dépend presque uniquement de la présence de pluie pour certaines sources de dépôts (dépôts dispersés, dépôts fumier, champs de défécation, vidange latrines CSI), et dépend de la pluie et de la présence d'eau domestique pour d'autres sources de dépôts (dépôts autour des latrines et des puits). Le risque pour le premier groupe est quasiment nulle en saison sèche et considérable en saison de pluie, comme c'est le cas pour la vidange des latrines. Pour le deuxième groupe, le risque peut être élevée durant toute l'année aux endroits où la présence d'eau est importante.

⁵⁷ Nous avons rencontré ce genre de dépressions à plusieurs endroits dans le village. Elles proviennent probablement d'une ancienne carrière pour les briques.

En résumant les chapitres sur les différentes sources de pollution fécale des eaux souterraines à Bengou, nous pouvons dire que nous avons affaire à trois sources de pollution principales. Une première source de pollution se trouve au niveau des puits. Dans ce cas, les polluants peuvent contaminer directement l'eau de la nappe par lessivage et écoulement à l'intérieur du puits ainsi que par la mise en contact avec des outils contaminés. Les latrines constituent ensuite une autre source de matière fécale qui risque de polluer les eaux souterraines. Nous avons vu que l'apport en eau de ces dernières est considérable et que le type de construction des latrines permet un écoulement de l'eau contaminée dans l'environnement. La troisième source de dépôts fécaux, les matières fécales animales et humaines se trouvant à la surface du sol, ne constituent pas non plus un dépôt sécurisé. L'apport en eau pour ces dépôts fécaux est d'ailleurs moins important et les polluants risquent de s'infiltrer dans le sol presque uniquement en saison de pluie.

5.5 Charge globale pour la nappe souterraine et leur qualité des eaux

La nappe souterraine du CH reçoit à l'échelle du village une charge immense de polluants fécaux. Ce qui s'explique d'une part par les caractéristiques hydrogéologiques de la région et d'autre part par le type de construction des installations sanitaires et hydrauliques. Le facteur principal du point de vue hydrologique est que le niveau de la nappe alluviale se trouve à des très faibles profondeurs. La zone non-saturée est composée de sable de taille moyenne à grossière, se traduisant par une bonne capacité d'infiltration de l'eau et une bonne perméabilité. Le potentiel d'atténuation du sol est faible à cause de sa structure grossière et à cause du faible taux de matière organique. Ensuite, les structures d'assainissement sont totalement insuffisantes et surtout inadaptées à la situation hydrogéologique de la région, permettant ainsi la transmission des pathogènes dans l'environnement. Enfin, il y a une absence totale de mesures de protection des points d'eau, ce qui rend la nappe souterraine très vulnérable.

5.5.1 L'apport en matière fécale selon les sources de pollution et charge totale pour la nappe

Les trois types de sources de pollution analysés ont été classifiés comme présentant un risque significatif par rapport à une contamination fécale de la nappe. Ce risque a été évalué indépendamment de la quantité du polluant émis, partant du constat que l'ingestion d'un seul pathogène peut suffire à provoquer une maladie chez un individu et que les normes de l'OMS préconise l'absence totale de colonies dans l'eau. En outre, comme les processus d'atténuation des polluants diminuent fortement dans l'aquifère, chaque polluant rejoignant la nappe présente un danger pour la santé humaine.

Cependant, pour le degré de qualité général de la nappe souterraine, la quantité totale de polluant émis est d'une grande importance. Il s'agit de voir quelle est la charge totale en polluants fécaux pour la nappe et à quel point est-ce que cette dernière peut répondre à cette charge, respectivement à quel point est-ce qu'elle peut atténuer les polluants. Nous allons d'abord évaluer rapidement les trois sources de pollution de la nappe du point de vue de leur apport quantitatif en polluants.

Comme on l'a vu, ce sont nettement les latrines qui constituent la source de pollution majeure de la nappe. C'est la source qui génère le plus grand volume de matière fécale puisque la masse stockée à ces endroits est immense. Leur type de construction et l'importante quantité d'eau mise en jeu font qu'il y a quotidiennement un grand transfert de polluants fécaux vers la nappe depuis chacune des latrines. En saison de pluie, plus de polluants sont lessivés et la charge de la nappe augmente pendant cette période. La zone non-saturée entre le fond des latrines et le niveau de la nappe est en plus très mince et ne peut en aucun cas atténuer les polluants. Le fait que, de manière générale, il y ait une latrine pour chaque concession, a pour conséquence que la quantité de polluants entrée est très élevée (700 latrines rien que dans le noyau du village). La répartition de ce nombre important de latrines sur un espace restreint a pour conséquence une forte concentration dans les apports en polluants pour la nappe. La charge globale provenant depuis toutes les latrines est immense.

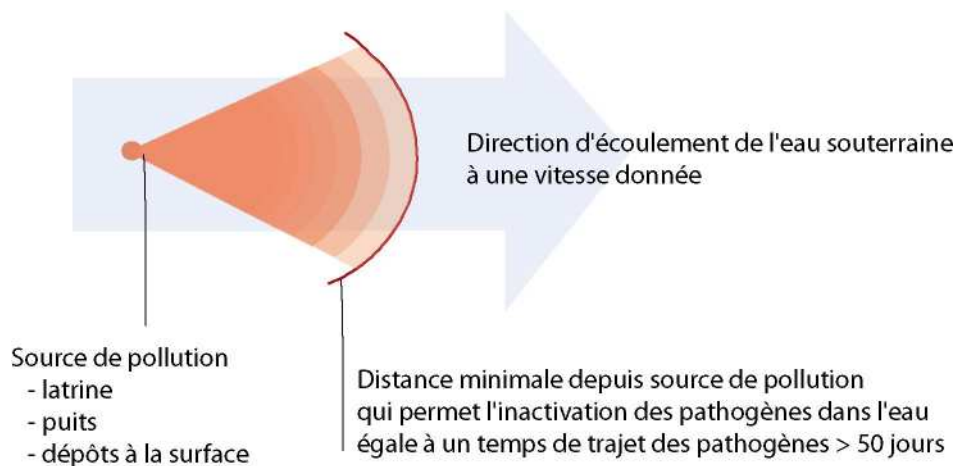
Au niveau quantitatif, la charge provenant des puits est certainement moins importante comparée à celle générée par les latrines. Le risque de contamination est cependant tout autant significatif, notamment parce qu'il s'agit d'une contamination directe. L'apport en polluants provenant des puisettes se fait de manière continue durant toute l'année, alors que la pollution par écoulement dépend fortement de la saison et de la quantité d'eau versée autour du puits. De nouveau, le grand nombre de puits à Bengou sur un espace restreint fait qu'il y ait une forte densité de points d'entrée de polluants.

La charge provenant des dépôts de matière fécale se trouvant à la surface de la terre est quasiment nulle en saison sèche bien qu'il puisse y avoir quelques entrées locales là où l'usage d'eau domestique est important. Ces entrées sont d'ailleurs isolées et de faible quantité. En saison de pluie, par contre, les entrées sont multiples et distribuées de manière assez dense à l'échelle du village. Mais ces entrées ne sont pas non plus très importantes au niveau de la quantité, puisque la masse de matière fécale est faible et puisque la zone non-saturée en dessous de ces dépôts est de manière générale plus épaisse et peut donc atténuer une partie des polluants. Enfin, les dépôts de fumier et la vidange des latrines cimentées constituent des types de dépôts qui engendrent une charge importante de matière fécale pour la nappe souterraine. Ces derniers constituent des entrées importantes, mais isolées à l'échelle du village.

La forte concentration de sources de pollution à Bengou et la quantité de polluants émise font que la charge totale qui en résulte pour la nappe est immense. Nous avons vu qu'une fois dans la zone saturée, les polluants sont transportés relativement vite sur des grandes distances avec les eaux souterraines, en relation avec la vitesse d'écoulement. Les processus d'atténuation y sont beaucoup plus faibles et la réduction des concentrations en polluants se fait alors essentiellement par dilution. Répétons ici que le processus d'atténuation est beaucoup plus efficace pour les polluants microbiologiques. Les polluants chimiques sont souvent difficilement, voire non dégradables et le taux d'accumulation des substances dans les eaux souterraines va de pair avec la quantité émise. Pour les polluants microbiologiques par contre, nous admettons qu'après une certaine distance horizontale de transport dans les eaux souterraines, il y a mort de tous les pathogènes suite aux processus d'atténuation. Bien que certains pathogènes puissent survivre dans les eaux souterraines plus que 150 jours, nous admettons de nouveau un temps de trajet de 50 jours comme étant suffisant pour réduire la concentration des pathogènes à un degré qui rejoint les normes. Si on admet la présence d'une seule source de pollution, on peut alors supposer que

l'eau se trouvant en amont de source de pollution n'est pas touchée par la contamination. Plus en s'éloigne de la source de pollution en direction de l'aval plus l'atténuation aura eu le temps de faire effet et meilleure sera l'eau (cf. figure ci-dessous).

Figure 5.19 Transport et atténuation des polluants microbiologiques dans l'aquifère



Hinden, 2007

L'emplacement d'un point d'eau par rapport aux différentes sources de pollution est donc d'une importance primordiale. Un point d'eau doit être suffisamment loin de toute source de pollution par de la matière fécale pour que l'atténuation des polluants puisse être garantie. La distance horizontale minimale nécessaire à l'élimination des pathogènes dépend des conditions géologiques et hydrogéologiques, de la quantité de matière fécale mise en jeu et du nombre de sources de pollution. Comme l'interaction de ces critères est complexe et comme une grande partie des données est souvent inconnue, il est très difficile d'appliquer une distance horizontale minimale entre la source de pollution et la source d'eau de boisson.

Pour calculer d'une manière très générale la distance minimale entre un point d'eau et une source de pollution, il faudrait connaître notamment la vitesse d'écoulement de l'eau souterraine. Nous ne disposons pas de ces données pour la nappe alluviale de Bengou, mais nous pouvons toutefois faire une estimation approximative en calculant à l'aide des valeurs de conductivités hydrauliques⁵⁸ générales correspondant au type de roche. MacDonald et al. (2005 : 252) tablent, pour des sables moyens, sur une conductivité hydraulique de 10-100 m/j. Ils proposent une distance horizontale nécessaire d'une dizaine à des centaines de mètres pour atténuer les polluants entre source de pollution et point d'eau. L'OMS (WHO 2007 :151) propose des vitesses d'écoulement de l'eau souterraine de quelques mètres par jour pour les argiles, de 1 à 10 m/j dans les sables, de 50 m/j et plus dans des graviers très perméables et des vitesses plus grandes dans des roches fissurées comme les calcaires. L'OMS propose alors une distance minimale entre l'activité polluante et le point d'eau de quelques mètres pour les argiles, pour les sables celle-ci peut monter à 100 mètres et pour les roches fissurées à plusieurs kilomètres⁵⁹. Avec les deux approches ci-dessus, nous obtenons donc pour le sol sableux (de taille moyenne) de Bengou une distance minimale d'une dizaine à une centaine de mètres. La nappe alluviale coulant du Nord au Sud, les points d'eau

⁵⁸ La conductivité hydraulique d'une roche (mesurée en m²/j) décrit à quelle vitesse l'eau souterraine s'écoulerait à travers une roche s'il y avait un gradient de pression de 1m par mètre.

⁵⁹ La distance minimale se réfère aussi au temps de trajet nécessaire d'un polluant depuis la source de pollution et la source d'eau.

exploitant la nappe libre devraient se situer alors, selon l'approche proposée par les auteurs, à une distance d'une dizaine à une centaine de mètres au Nord de l'emplacement d'une latrine ou d'autres sources de pollution fécale. Or, même si on admettait qu'une distance de 10 mètres était suffisante pour l'atténuation des polluants, la réalité du terrain fait que cette distance n'est pas applicable à la région de Bengou. La distance entre les différentes installations sanitaires et hydrauliques sont dans la plupart des cas en dessous de 10 mètres à Bengou et la composante nord-sud disparaît complètement. Nous avons vu que quasiment toutes les concessions possédaient leur propre puits du fait de la bonne accessibilité de la nappe et que les latrines se trouvaient à seulement quelques mètres de là⁶⁰. De plus, une concession est quasiment collée à l'autre, et par conséquent une source de pollution suit l'autre. L'espace à Bengou est trop restreint et les activités polluantes sont trop nombreuses pour que les distances minimales puissent être maintenues.

Les indications de ces deux auteurs sont d'ailleurs très simplistes et ne tiennent pas compte de la multiplicité des sources de pollution et de la quantité de matière fécale mise en jeu. La bonne perméabilité de l'aquifère de Bengou, la quantité importante en matière fécale émise par source de pollution (dont notamment les latrines), la concentration forte en activités polluantes sur un espace restreint nous laisse donc supposer que la distance minimale se situe plutôt autour de centaines voire même de milliers de mètres. A cela s'ajoute le fait que nous nous situons dans une zone d'exutoire de la nappe où les vitesses d'écoulement sont censées être plus grandes. En effet, on peut admettre que dans une zone à population dense comme Bengou, l'atténuation des polluants microbiologiques dans les eaux souterraines n'est pas possible. Ceci est dû au fait que la séparation horizontale nécessaire entre source de pollution et source d'eau est incompatible avec la place disponible et également au fait que la charge résultante en polluants est trop importante. Toutes les conditions sont donc réunies pour que la nappe à Bengou soit considérée comme polluée. Ce constat est extrêmement alarmant, vu que la population entière s'approvisionne de cette eau.

5.5.2 Contamination étendue versus contamination locale de la nappe

Plusieurs constats confirment que la nappe est contaminée. D'abord, il n'y a pas de corrélation entre le type ou la qualité de l'installation et la qualité des eaux. On aurait pu penser que l'eau des puits cimentés, moins sujets à une contamination fécale, soit d'une meilleure qualité que les eaux des puits traditionnels. Les analyses de Khamis (2003) ont montré que l'eau des puits cimentés présentaient une concentration très élevée des indicateurs fécaux (taux d'E.Coli atteignant 50 colonies / 1ml, normes OMS 0 colonie par 100 ml) et des coliformes (plus de 300 coliformes par 100 ml, normes OMS max. 3 coliformes par 100ml) et qu'elle n'est pas de meilleure qualité que l'eau des puits traditionnels (cf. annexe 4.1).

⁶⁰ Nous avons mesuré au début de notre questionnaire la distance entre les latrines et les puits, mais n'avons pas continué après avoir réalisé que la séparation latérale entre sources de pollution et point d'eau était impossible à respecter avec la superficie de Bengou.

Comme la construction des puits cimentés empêche un écoulement de l'eau à l'intérieur, la contamination des puits cimentés se fait notamment par les puisettes. Or, des taux aussi importants en polluants fécaux laisse supposer qu'on a affaire à une contamination supplémentaire amenée par l'eau de la nappe. Les résultats que nous avons obtenus pour l'analyse des nitrates n'ont également pas donné de corrélation entre le type d'installation et la qualité de l'eau. Des facteurs comme la profondeur du puits, la distance entre puits et latrine, la superficie inclinée, etc. n'avaient aucune influence sur le taux de nitrate pour tous les points d'eau échantillonnés. Toutefois la présence de nitrates n'implique pas obligatoirement la présence de matière fécale. La quantité importante de matière fécale rejetée dans l'aquifère à Bengou a par contre comme conséquence logique un taux élevé en nitrates et nous devons supposer que la plus grande partie des nitrates est d'origine fécale animale ou humaine. Ceci notamment parce que le récupérateur majeur des nitrates, les plantes, est absent dans le village de Bengou. Une petite partie des nitrates pourrait provenir quand même des engrais utilisés aux alentours de Bengou. Étonnement, les mares autour de Bengou présentaient seulement de faibles traces de nitrates, ce qui pourrait prouver que l'utilisation des engrais est encore faible ou trop récente pour avoir une répercussion sur la qualité des eaux. De plus, d'autres substances chimiques qui sont habituellement présentes lors de l'utilisation des engrais, n'ont pas pu être détectées dans les eaux souterraines à Bengou, ce qui prouve également que les engrais sont peu utilisés⁶¹ et que la charge importante en nitrates est vraiment due à la pollution fécale.

Un autre facteur qui confirme qu'il s'agit d'une pollution étendue et non seulement d'une pollution localisée est que la contamination en matière fécale est massive sur tous les points d'eau échantillonnés à Bengou. Au niveau microbiologique, aucun point d'eau échantillonné par Khamis n'a rempli les normes de l'OMS après avoir effectué des mesures à trois reprises. Les taux d'*Escheria coli* et des coliformes totaux étaient très alarmants avec des valeurs dépassant 100'000 colonies par millilitre d'eau pour certains points d'eau. Au niveau des nitrates, 58% de nos échantillons étaient en dessus de la norme de l'OMS (50 mg/l), parmi ceux-ci 20% présentaient des valeurs extrêmes avec plus de 250 mg/l (cf. tableau ci-dessous).

Tableau : 5.20 Taux de nitrates mesurés dans les puits traditionnels à Bengou en 2007

Echant.	Taux de nitrate	Echant.	Taux de nitrate	Echant.	Taux de nitrate	Echant.	Taux de nitrate	Echant.	Taux de nitrate
N01	250 mg/l	N11	25 mg/l	I21	50 mg/l	B31	0 mg/l	G41	10 mg/l
N02	100 mg/l	N12	10 mg/l	M22	50 mg/l	B32	250 mg/l	G42	10 mg/l
N03	100 mg/l	S13	100 mg/l	M23	10 mg/l	B33	250 mg/l	G43	100 mg/l
N04	50 mg/l	S14	250 mg/l	M24	0 mg/l	B34	50 mg/l	G44	100 mg/l
N05	100 mg/l	S15	250 mg/l	M25	10 mg/l	B35	75 mg/l	G45	10 mg/l
N06	100 mg/l	S16	125 mg/l	M26	25 mg/l	B36	0 mg/l	G46	250 mg/l
N07	100 mg/l	S17	20 mg/l	M27	25 mg/l	B37	250 mg/l	G47	25 mg/l
N08	100 mg/l	S18	10 mg/l	M28	100 mg/l	B38	250 mg/l	G48	10 mg/l
N09	10 mg/l	I19	250 mg/l	B29	-	G39	100 mg/l	G49	10 mg/l
N10	10 mg/l	I20	50 mg/l	B30	300 mg/l	G40	10 mg/l	G50	100 mg/l

50mg/l Valeurs en dessus des normes (valeurs de 50mg/l incluses car imprécision des résultats avec méthode de mesure avec kits

Echantillon pris dans quartier:
N Nafoga I Illela B Bako
S Sala M Manzon G Goye

Hinden, 2007

⁶¹ Dans le cas de l'utilisation des engrais, on aurait pu s'attendre à des valeurs élevées en ammonium, en nitrites et en phosphates. Les analyses avec les kits de contrôle (Merckoquant) ont d'ailleurs donné des résultats satisfaisants avec des valeurs se situant dans les normes (cf. annexe 5.1). Les résultats d'analyses des indicateurs généraux de la qualité des eaux (physico-chimiques) que nous avons faites en 2007 à Bengou se trouve également en annexe 5.

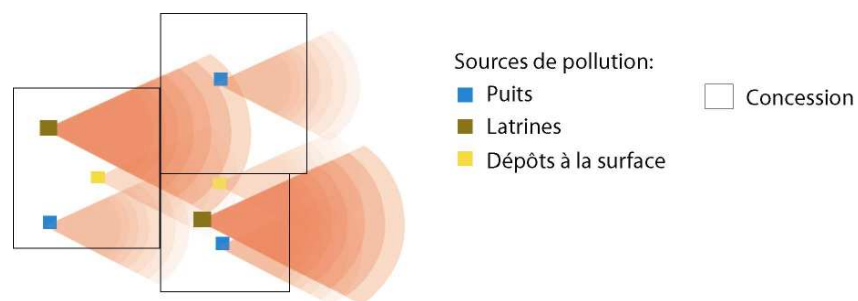
Le nombre important d'activités polluantes à Bengou est un autre facteur qui confirme une contamination étendue de la nappe souterraine. Cette entrée massive de polluants fécaux se diffusant largement ne peut rester sans impact sur la qualité de l'eau souterraine.

Les vitesses avec lesquelles les polluants sont transportés dans la nappe semblent être considérables, ce qui prouve que la contamination peut se faire à grande vitesse et à grande échelle. Les analyses faites par Khamis (2003) ont montré une augmentation nette du taux de bactéries (E.coli et coliformes) pour tous les points d'eau suite à la pluie. Les taux de bactéries suivent une dynamique d'augmentation directe après la pluie et ont tendance à diminuer en l'absence de pluie. Les fluctuations importantes et rapides liées à des événements pluvieux constatées pour toutes les valeurs font supposer que les polluants rejoignent l'eau d'une manière assez rapide et directe.

5.5.3 Différences spatiales de concentration dans la nappe et variation dans le temps

Le degré de concentration en polluants n'est jamais uniforme dans un aquifère, notamment pour les polluants microbiologiques sensibles aux différents processus d'atténuation. Les distances entre la source de pollution et le point d'eau ainsi que la quantité de polluants émise par source de pollution ne sont pas les mêmes partout et le degré d'atténuation va de pair selon les endroits (cf. figure 5.21 ci-dessous). Plus la distance entre la source de pollution et le point d'eau est proche, plus le degré d'atténuation est faible. Les processus de dilution et de dispersion peuvent varier selon les conditions dans le sol et selon le comportement de l'eau. La nappe est caractérisée par un écoulement principalement horizontal de direction Nord-sud, mais il y a toutefois des écoulements latéraux dus aux différences dans la composition de l'aquifère (présence de poches imperméables, différences de pression, etc.). Ceci joue également un rôle sur la vitesse d'écoulement qui n'est pas uniforme partout. Ensuite, les bactéries ont souvent tendance à se regrouper et faire des grumeaux dans l'eau, ce qui peut fausser le taux de concentration.

Figure 5.21 : Variation de la concentration en polluants dans l'eau souterraine



Hinden, 2007

C'est ainsi que même si toute la nappe est contaminée, les valeurs varient d'un point d'eau à un autre. Ces différences de concentration de polluants, tant pour les valeurs microbiologiques que chimiques ont aussi

pu être démontré par les analyses de Khamis. Le faible nombre des points échantillonnés (au total 11 points d'eau analysés à trois reprises) nous semble d'ailleurs insuffisant pour faire une interprétation correcte de la situation géographique, il faudrait des analyses plus denses. En ce qui concerne les substances chimiques, qui présentent des processus de dégradation plus lents, on aurait pourtant pu s'attendre à des valeurs augmentant du Nord au Sud vu l'écoulement de la nappe. Les analyses des nitrates ont d'ailleurs montré des différences importantes selon les points d'eau passant de 0mg/l à 300mg/l (cf. tableau 5.20). L'apparition de valeurs extrêmes paraît aléatoire et on ne peut pas relever de particularités selon les points d'eau ou selon les quartiers. La nappe alluviale en dessous de Bengou présente donc des différences de concentration selon les endroits, qui peuvent s'expliquer par une certaine irrégularité dans l'écoulement de la nappe ainsi que par l'apport irrégulier du point de vue spatial et quantitatif en polluants.

Dans les cas où l'alimentation d'une nappe souterraine est déterminée par les conditions météorologiques, comme c'est le cas pour Bengou, la concentration des substances dans un aquifère change également en étroite corrélation avec les épisodes pluvieux. En saison de pluie, il y a plus de substances, respectivement de polluants qui sont lessivés dans les eaux souterraines. Pour Bengou, la charge totale pour la nappe est par conséquent supposée être maximale en saison de pluie. Les analyses faites par KHAMIS H. (2003) confirment ce fait en montrant une augmentation nette du taux de bactéries (E.coli et coliformes) pour tous les points d'eau suite à la pluie. En absence de pluie, la charge bactérienne tend à diminuer. L'augmentation de la charge en saison de pluie est due dans un premier temps à un apport plus important de polluants par le phénomène de lessivage, et dans un deuxième temps au fait que la vitesse de transport des polluants augmente avec la quantité d'eau mise en jeu.

Dans une échelle temporelle plus large, il faut admettre que l'eau souterraine était de meilleure qualité il y a des dizaines d'années. Les sources de pollution d'origine naturelle et industrielle (par exemple fabrication de textile) étant absentes dans la région, la pollution des aquifères est de manière générale directement liée à l'implantation humaine. Or cette dernière a connu des changements très importants ces dernières années. Il y a eu un accroissement très rapide de la population nigérienne en général, et particulièrement dans la région de Gaya, où la population a été multipliée par neuf entre 1946 et 2005 (Dambo 2007 : 111). Les conséquences sur les ressources naturelles sont énormes. La nappe étant déjà très vulnérable à la pollution dans la région du fait de sa faible profondeur et du type du sol, les sources de pollution ont augmenté de manière vertigineuse. L'impact sur la nappe souterraine était beaucoup moins fort à cause du nombre beaucoup plus petit de puits et l'inexistence des latrines à l'époque. Au fur et à mesure, avec chaque concession nouvellement installée, un puits et une latrine ont été creusés, amenant une charge de plus en plus importante pour la nappe. Une remarque faite par une femme à Bengou : « Ce n'est pas possible que notre eau soit de mauvaise qualité, car nos ancêtres la consommaient déjà » relève d'un côté la problématique du changement de qualité des eaux dans le temps et de l'autre côté la prise de conscience de la population par rapport à l'eau de boisson. Les pressions sur les ressources dans la région augmenteront dans l'avenir, avec l'accroissement de la population et l'intensification des activités agricoles notamment, entraînant une détérioration de la qualité de l'eau. L'intensification prévue de l'utilisation des engrais chimiques dans la région de Gaya va amplifier la problématique au niveau des taux

de nitrates, alors que la qualité microbiologique va se dégrader suite à la densification des installations sanitaires et hydrauliques.

Nos recherches sur la qualité de l'eau souterraine à Bengou ont mis en évidence quelques aspects très importants. Premièrement, la nappe est d'un point de vue microbiologique et chimique contaminée à l'échelle entière de Bengou. Au niveau de la contamination microbiologique c'est un constat extrêmement alarmant, vu que la prévalence d'un seul pathogène est considérée comme étant un danger pour la santé humaine. Par conséquent, la nappe alluviale en dessous de Bengou ne pourra jamais constituer une source d'approvisionnement en eau de boisson répondant aux normes de l'OMS, indépendamment du type d'installation hydraulique. Un puits cimenté pourra contribuer à diminuer la charge de polluants, mais un puits creusé dans la nappe polluée ne pourra jamais fournir une eau remplissant les critères de l'OMS et constitue un danger pour la santé humaine.

La gravité de la pollution est frappante. Les taux microbiologiques et chimiques dépassent largement les normes. A l'échelle de Bengou, la contamination microbiologique a des conséquences énormes sur la santé de la population. A une plus grande échelle, la contamination microbiologique perd de son ampleur grâce à la dégradation des polluants avec le temps et la distance. En dépit de la capacité d'autoépuration des polluants microbiologiques, la nappe risque toujours d'être contaminée une nouvelle fois plus en aval par la présence des mêmes sources de pollution rencontrées à Bengou. Par rapport à la contamination chimique par contre, le problème se manifeste à une échelle plus large. Les polluants chimiques sont transportés sur des distances beaucoup plus longues. A l'échelle du bassin versant des dallols et par conséquence du fleuve Niger, la contamination par les nitrates a des impacts à peine imaginables (dégradation des sols, prolifération des algues dans l'eau, manque d'oxygène, mort des poissons, pertes économiques, etc.) qui vont s'amplifier dans l'avenir.

6. La (re-) contamination fécale de l'eau puisée à Bengou

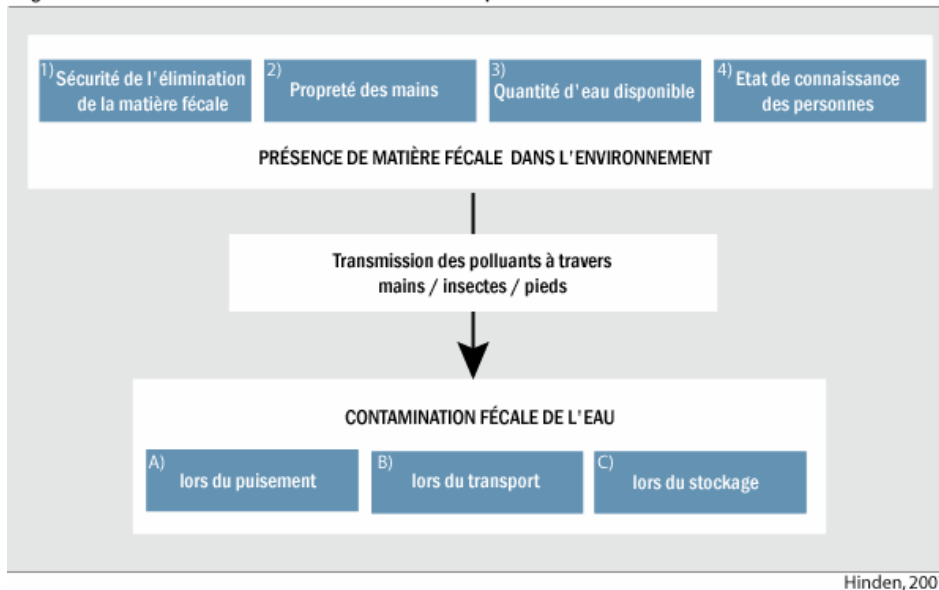
L'eau de boisson de Bengou provient donc de la nappe souterraine, qui est polluée déjà à sa base. Nous avons vu les différentes sources de pollution de la nappe : la pollution par le biais des puits, des latrines ainsi que la pollution à travers le sol. On pourrait se demander pourquoi chercher d'autres sources de pollution, si l'on sait que la population de Bengou utilise une eau déjà polluée au niveau de la source. Cependant, nous avons vu dans la partie théorique, que la dose infectieuse varie selon les pathogènes et que le taux total de pathogènes ingérés peut avoir une influence importante sur l'apparition ou non de maladies. De plus, les pathogènes impliqués lors de la pollution de l'eau souterraine ne sont vraisemblablement pas les mêmes que ceux impliqués lors d'une contamination ultérieure de l'eau. La cause est que les deux types de pollution se distinguent par leurs voies de transmission des pathogènes, chacune présentant d'autres conditions de survie des pathogènes. Si l'eau de Bengou est polluée à sa source et également après le puisement, le risque pour la santé de la population est encore plus grand à cause des taux plus élevés et de la plus grande variété des pathogènes présents dans l'eau. En plus, nous avons vu qu'il est possible pour certains quartiers, que l'eau souterraine soit de meilleure qualité à sa base, la contamination ultérieure a donc plus d'impact pour ces points d'eau. Finalement, en vue d'une éventuelle installation d'un nouveau type d'approvisionnement qui donne une eau de bonne qualité dans l'avenir, l'aspect de la recontamination de l'eau garde son importance. L'analyse des sources de pollution relatives à l'eau puisée est donc nécessaire.

La contamination fécale de l'eau puisée est déterminée notamment par le degré d'hygiène domestique et personnelle présent lors de l'usage de l'eau. La méthode la plus simple pour évaluer le degré de contamination d'un environnement consisterait à mesurer la présence de pathogènes fécaux sur différentes surfaces dans la concession ou sur les mains⁶². Nous évaluerons le degré de contamination de l'environnement en analysant si les différents facteurs ou barrières qui interviennent lors de la propagation des polluants sont présents à Bengou.

La propagation des polluants dans l'environnement dépend essentiellement d'une élimination sécurisée de la matière fécale et de la propreté des mains, les deux barrières étant en relation avec la disponibilité en eau et avec l'état de connaissance de la population (cf. figure 6.1 ci-dessous). Nous allons partir du principe que, si les installations sanitaires ne répondent pas aux critères et si les mains ne sont pas lavées soigneusement, les pathogènes sont propagés dans l'environnement. Il s'agit alors dans un premier temps d'analyser à quel point ces barrières existent à Bengou et à quel point la matière fécale risque d'être présente dans les environnements domestiques à Bengou (1-4 sur figure 6.1).

⁶² Pour mesurer la présence de polluants fécaux on peut faire des prélèvements depuis les différentes surfaces, outils ou depuis les bouts des doigts et faire des analyses bactériologiques. Cette méthode comporte cependant aussi la mise en place des cultures dans des incubateurs, une méthode difficilement applicable sur le terrain.

Figure 6.1 : Mécanismes de la contamination fécale de l'eau puisée



Avec une hygiène environnementale et personnelle insuffisante, l'eau risque d'être contaminée à travers les différents véhicules de transmission. Dans un deuxième temps, nous allons examiner à quels moments l'eau devient contaminée. L'approvisionnement en eau depuis des puits traditionnels implique en fait plusieurs activités qui risquent de polluer l'eau. Les personnes prélèvent l'eau du puits avec la puisette, puis versent l'eau dans des seaux qui sont transportés à la maison. Arrivée à la maison, l'eau est versée depuis les seaux dans des canaris, où elle est stockée. Pour la consommation, l'eau est prélevée directement avec un gobelet depuis le canari. Nous nous intéressons donc à l'influence que le type d'activité et le type de récipient peut avoir sur la qualité de l'eau. Nous partons du principe que pendant tous ces processus, il y a un risque de contamination de l'eau à chaque fois que les critères d'hygiène ne sont pas strictement respectés (A-C sur figure 6.1).

6.1 Les premières barrières dans la propagation des pathogènes : la qualité des installations sanitaires et le lavage des mains (1-4)

6.1.1 Sécurité de l'élimination de la matière fécale (1)

Nous avons vu que l'absence ou l'insuffisance d'installations sanitaires de base a un effet important sur l'introduction des bactéries fécales dans l'environnement. Nous avons déjà analysé la sécurité des dépôts de matière fécale dans le contexte d'une contamination de l'eau souterraine. Pour la recontamination de l'eau puisée, les critères de sécurité concernant le dépôt de matière fécale ne sont pas les mêmes. L'agent de transport majeur lors de la contamination des eaux souterraines est l'eau, pour la contamination de l'eau puisée, les agents principaux sont les mains, les insectes ainsi que les outils contaminés. Les pathogènes ne font donc pas le même trajet, et il s'agit de voir à quel point les installations sanitaires permettent la transmission des pathogènes via ces agents de transport.

La matière fécale doit être déposée de telle sorte qu'elle soit hors de portée des insectes et des êtres humains. La présence de matière fécale à l'air libre contribue fortement à la propagation des pathogènes. Comparé à d'autres villages, où les dépôts se font sur les champs et se trouvent ainsi à l'air libre, le risque est moins grand à Bengou où les habitants possèdent dans 98% des cas des latrines traditionnelles où la masse est stockée à un endroit précis et de manière souterraine.

Le fait que la matière fécale soit stockée dans une fosse a comme conséquence que les deux voies de transmission des pathogènes, que sont les mains et les pieds, n'interviennent pas. Les insectes par contre peuvent facilement entrer par des trous sur le toit de la latrine si celui n'est pas fermé avec un couvercle et transporter des pathogènes avec leurs pattes. A Bengou, dans 94% des latrines, les insectes peuvent accéder aux dépôts qui se trouvent au fond de la latrine puisque la fosse n'est pas fermée (variable LAT_couvercle). Nous avons en plus relevé si des insectes étaient présents (LAT_insectes) au moment de l'intervention, ce qui a été le cas dans 51% des latrines. De plus, un milieu humide favorise la prolifération des insectes. La surface autour des latrines était humide dans 56,8% des cas, voire très humide dans 16% des cas. Le lien entre humidité de l'endroit et prévalence de moustiques semble se confirmer statistiquement, dans 2/3 des cas où il y a avait des insectes, le milieu était humide. Rappelons, que les insectes trouvent en général un environnement très propice partout à Bengou. La présence importante de mares dans les alentours et à l'intérieur du village, la présence importante de flaques d'eau notamment autour des puits et des latrines constituent des gîtes importants et contribuent à la problématique de la propagation des maladies à travers les moustiques.

Un entretien régulier des installations sanitaires peut relativement diminuer la propagation des pathogènes. Les latrines à Bengou étaient souvent très mal entretenues et présentaient un aspect très sale, des déchets d'origines diverses étaient présents. Il ne faut pas s'y tromper, malgré le fait que les latrines avaient un aspect propre et bien rangé, la composition de la surface de la latrine, fait de matériel sableux, n'est pas idéal pour assurer un degré élevé d'hygiène.

La matière fécale d'origine animale se trouvant stockée sur le fumier ou aléatoirement à la surface du sol, ainsi que les dépôts résultants de la défécation des personnes dans les champs, se trouvent complètement à l'air libre et constituent ainsi un risque de prolifération des pathogènes par l'intermédiaire des insectes. Ces dépôts peuvent aussi être véhiculés par les pieds des hommes ou des animaux ainsi que par les mains des enfants jouant par terre.

Mentionnons ici un autre facteur que nous n'avons pas analysé en détail, mais qui est évoqué dans la littérature. Du fait qu'en milieu rural, on n'utilise pas de couches-culottes pour bébés, les excréments sont souvent lâchés à l'endroit même. Nous n'avons cependant pas pu confirmer si c'était aussi le cas pour Bengou. Curtis et al. (1997 : 124)⁶³ ont suggéré qu'un tiers des femmes ne se sont pas lavé les mains après avoir nettoyé le derrière des bébés et que seulement 5% d'entre elles ont utilisé du savon. Dans un ménage sur trois, les excréments des bébés ont fini par terre. De plus, les enfants ont souvent déféqué

⁶³ Ces auteurs ont mené une étude sur l'hygiène et la diarrhée au Burkina Faso.

dans les champs, sur des tas d'ordures ou dans des canaux de drainage. Ceci a également pu être constaté à Bengou.

La première barrière, l'élimination sécurisée de la matière fécale n'est donc pas assurée à Bengou et les polluants peuvent facilement être propagés dans l'environnement à travers les différents véhicules de transmission.

6.1.2 Les mains comme véhicule de transport majeur et le rôle du savon (2)

Les mains entrent facilement en contact avec de la matière fécale, soit lors du nettoyage anal ou lors du contact avec des surfaces ou outils contaminés. Comme les mains sont impliquées dans quasiment toutes les activités, elles constituent un agent de transport très important. Une hygiène adéquate des mains est donc primordiale pour éviter une propagation des pathogènes. A Bengou, le fait de se laver les mains après défécation est d'autant plus important que la toilette anale se fait avec de l'eau. Pour la toilette anale, les personnes n'utilisent aucun autre moyen que les mains et l'eau. Les mains entrent par conséquent en contact direct avec de la matière fécale à chaque défécation.

Lors de l'analyse des installations sanitaires, nous avons vérifié si les mesures principales, soit un dispositif pour se laver les mains et la présence d'un savon, étaient présentes (cf. grille d'analyse pour les latrines). Le dispositif pour se laver les mains présent à Bengou consiste en un petit bidon transportable qui contient un volume d'environ un litre et qui est utilisé pour les différents événements de lavage (ablutions, après les toilettes, avant manger, etc.). Ce dernier est de manière générale stocké à la maison et les personnes le prennent avec eux pour aller aux toilettes. Bien que les personnes fassent leur toilette anale uniquement avec la main gauche, le bidon risque de devenir contaminé par de la matière fécale. L'usage fréquent du bidon et sa grande mobilité dans la concession contribuent fortement à la propagation des pathogènes.

Afin de savoir si les gens utilisent du savon pour se laver les mains, notre questionnaire prévoyait au début une question à ce sujet⁶⁴. Cependant, les personnes étaient très gênées et nous avons décidé d'évaluer cette problématique par observation et en discutant avec des personnes qui nous étaient familières. De plus, dès le début il nous a été dit que la population rurale n'utilise jamais de savon, faute de moyens financiers. Nous avons donc observé si un savon était présent à proximité lors de l'inspection des latrines (variable LAT_savon). Nous avons détecté la présence d'un savon sur la cloison chez une seule latrine. De l'autre côté nous avons testé s'il y avait un savon avec le bidon qu'ils nous donnaient pour faire nos besoins. Nous avons également demandé à cinq familles ne faisant pas partie de l'échantillon du questionnaire si on pouvait utiliser leurs latrines. Dans aucun cas, ils nous ont donné du savon avec le bidon. Au niveau des latrines publiques du CSI, les utilisateurs prenaient seulement le bidon avec eux et nous avons pu observer dans aucun cas qu'ils échangeaient aussi du savon avec l'utilisateur suivant. Pour sortir rapidement de l'échelle de Bengou, nous pouvons dire que pour toutes les latrines publiques que nous avons utilisées dans la région de Gaya, le savon était toujours absent. Lors des discussions avec différentes personnes, l'impression que le savon n'est pas utilisé a plutôt été renforcée. Les personnes

⁶⁴ La question posée était: "est-ce que vous utilisez du savon pour le lessivage des mains après avoir été aux toilettes?"

avec qui nous avons discuté estimaient que la population rurale au Niger n'avait en général pas les moyens d'acheter du savon et que le lavage des mains se fait avec de l'eau seulement. Une autre méthode assez efficace qui pourrait éliminer les polluants serait l'usage de cendres, mais cette méthode ne semble pas être pratiquée au Niger⁶⁵.

Au vu de ce qui précède, nous partons pour la suite de notre travail du constat que les personnes n'utilisent pas de savon pour se laver les mains. Nous supposons donc que les mains présentent dans la plupart des cas des polluants fécaux et que ces derniers seront véhiculés dans l'environnement.

6.1.3 Quantité d'eau disponible à Bengou et hygiène (3)

Ce qui favorise par contre plutôt une bonne hygiène est la quantité suffisante en eau dans la région. Nous avons vu que l'homme a au minimum besoin de 40 litres par personne et par jour pour avoir un niveau correct d'hygiène de confort (Billig P. et al, 1999 :13). A Bengou, les personnes ne marchent en moyenne jamais plus que 15 mètres pour puiser l'eau et l'approvisionnement est régulier (pas de problème de tarissement à quelques exceptions près). Cependant, il y a eu quelques femmes qui se sont plaintes de la trop longue distance pour aller chercher de l'eau. En effet, le puisement et le transport de l'eau constituent un travail physique non négligeable, même si à Bengou les puits ne se trouvent jamais à plus de 15 m de distance. Il est difficile de juger à quel point cet effort physique a une influence sur la quantité d'eau utilisée⁶⁶. Mais comparé à d'autres villages un peu plus au Nord de Bengou ou sur le plateau⁶⁷, la situation hydraulique est plutôt favorable et les habitants auraient assez d'eau à disposition pour adopter un bon comportement hygiénique. La quantité d'eau disponible à Bengou ne devrait donc pas constituer une raison pour qu'un lavage fréquent des mains ainsi qu'un entretien régulier des outils domestiques et des installations sanitaires et hydrauliques ne se fassent pas.

La religion a aussi une influence sur la quantité d'eau utilisée et par conséquent sur l'hygiène personnelle. Du fait que l'islam considère l'eau comme élément purifiant et que les pratiquants font les ablutions avec de l'eau cinq fois par jours, nous pouvons supposer que la religion musulmane favorise plutôt une bonne hygiène corporelle. Par contre, si le principe religieux de toilette anale avec de l'eau favorise une bonne hygiène au niveau de l'anus, cette pratique peut être très dangereuse pour la santé sans lavage adéquat des mains avec du savon

Les concessions et les mains peuvent donc être fortement contaminées par des pathogènes fécaux. L'élimination insuffisante de la matière fécale et le lavage des mains sans savon font que les pathogènes

⁶⁵ Nous avons demandé à de nombreuses personnes si elles connaissaient cette méthode et tout le monde nous a répondu qu'ils n'étaient pas au courant.

⁶⁶ On pourrait effectuer des sondages sur la quantité d'eau utilisée par personne et par jour pour avoir une meilleure image de l'usage de l'eau et par conséquent pour savoir combien d'eau est utilisée pour l'hygiène domestique et personnelle.

⁶⁷ A ces endroits, la nappe souterraine est nettement plus profonde. Le nombre de puits est par conséquent faible et les habitants doivent transporter l'eau souvent sur des longues distances. La nappe souterraine est du fait de sa profondeur (capacité de filtrage d'une couche épaisse) moins sujet à la pollution et l'eau est supposée d'être de meilleure qualité. Contrairement à des villages comme Bengou, il y a donc plutôt un problème de quantité que de qualité. Ce manque d'eau peut d'ailleurs avoir une influence sur le comportement hygiénique et par conséquent sur la santé de l'homme.

peuvent être véhiculés partout via les différentes voies de transmission. Evaluons maintenant à quels moments l'eau risque d'être recontaminée.

6.2 Les différentes activités qui peuvent contaminer l'eau puisée (A-C)

Afin d'évaluer la contamination de l'eau puisée, nous avons étudié comment et la détérioration de la qualité de l'eau a lieu. Nous avons fait des observations pour juger si des pratiques particulières lors du puisement, du transport ou du stockage pouvaient influencer la qualité. Nous avons aussi examiné si les récipients en tant que tels étaient vulnérables à la recontamination et à quel point ces derniers étaient bien entretenus.

Au niveau méthodologique, nous avons été obligés de changer notre questionnaire de base. Ce dernier comportait des questions sur l'entretien des différents outils qui entrent en contact avec l'eau⁶⁸. Mais avec les réticences rencontrées, nous avons de nouveau décidé d'évaluer cet aspect par la méthode d'observation.

Lors de l'observation des pratiques liées à l'usage de l'eau, notre attention s'est portée sur les mesures mises en place pour éviter un contact entre l'eau et les excréments, soit par l'intermédiaire des mains contaminées, soit par l'intermédiaire de tout élément ayant été en contact avec des polluants fécaux (sol, insectes, gobelets, animaux). Les voies de transmission des pathogènes dans le cas d'une contamination ultérieure étant multiples et fortement corrélées entre elles, il n'y aurait pas de sens à effectuer des analyses très détaillées. Nous nous sommes limités par conséquent à relever uniquement les aspects les plus pertinents. De même, un bon ou un mauvais comportement hygiénique se manifeste de manière générale à tous les niveaux et il suffit d'analyser quelques aspects pour pouvoir se faire une image générale du degré d'hygiène. C'est ainsi que pour l'analyse de la propreté des différents outils, seuls les canaris étaient inspectés plus en détail.

Les polluants peuvent retrouver l'eau de manière très directe pendant ces différentes activités. Le temps de trajet étant dans ces cas très court, le risque doit être classé comme significatif pour ces sources de pollution, bien que les polluants puissent être atténués par des processus comme le rayonnement solaire, le manque d'humidité, etc.

6.2.1 Contamination de l'eau lors du puisement (A)

La grande partie des informations concernant l'usage des puisettes a déjà été décrite dans le chapitre 5.3.2 sur la contamination de l'eau souterraine à travers les puits. Nous avons vu que les voies de transmission qui interviennent lors de ce type de pollution sont multiples (insectes, mains, pieds, contact

⁶⁸ L'entretien des outils qui sont en contact avec l'eau constitue un facteur important. Des polluants éventuellement présents peuvent être enlevés et des parois propres sont moins attractives pour la colonisation des polluants. Les questions étaient : 1. Avec quelle fréquence temporelle est-ce que vous nettoyez la puisette, le seau, le canaris ? 2. Quels outils utilisez-vous pour le nettoyage ? Les personnes interrogées étaient de nouveau très gênées par ces questions. On les a donc enlevées dans le deuxième questionnaire.

avec dépôts sur sol). Les moyens les plus efficaces pour interrompre la propagation des pathogènes sont un dépôt et une gestion adéquate de la puisette. Or, la quasi totalité des puisettes de Bengou traînaient par terre et étaient exposées à une contamination par de la matière fécale. De plus, nous avons vu que les processus d'atténuation des polluants à ce niveau sont faibles vu l'humidité importante liée à l'usage des puisettes, par conséquent nous devons admettre que les puisettes de Bengou sont, de manière générale, contaminées par de la matière fécale.

Une puisette contaminée par de la matière fécale risque de polluer l'eau à plusieurs niveaux. Dans un premier temps, comme nous l'avons vu, elle risque de contaminer l'eau souterraine dans le puits. Dans un deuxième temps elle peut contaminer l'eau lors du puisement ou/et lors du versement de l'eau dans le seau. A part la puisette, ce sont notamment les mains qui entrent en jeu comme véhicule de pathogènes lors du puisement. Nous avons pu observer à plusieurs reprises, que les mains étaient posées de telle manière que l'eau se versait par dessus celles-ci lors du versement dans le seau. Cette pratique fait que des pathogènes présents sur la peau sont carrément lessivés avec l'eau dans le seau. Le puisement de l'eau est donc pratiqué de telle manière que l'eau peut facilement être contaminée et cette activité constitue un risque significatif.

6.2.2 Contamination de l'eau lors du transport (B)

L'outil de transport utilisé à Bengou est dans tous les cas un seau en plastique ou en métal (variable TRSP). Le risque de contamination augmente à chaque intervention où l'eau est mise en jeu. Ça serait donc plus sûr si l'eau était versée directement dans le récipient de stockage (canaris) depuis la puisette. Les canaris sont d'ailleurs trop lourds pour être transportés jusqu'aux puits et dans le sens inverse les déplacements avec la puisette vers les canaris seraient trop nombreux. L'usage d'un seau est donc inévitable. Le risque d'une contamination de l'eau peut être évité si le récipient est fourni avec des poignées afin que la personne transportant l'eau ne tienne pas les bords du seau et donc ne touche pas l'eau. Or, aucun des seaux utilisés à Bengou ne possédaient de poignées. Le contact des mains avec l'eau arrive donc quasiment à chaque transport.

Ensuite, la présence d'un couvercle peut empêcher l'entrée des polluants notamment pendant les périodes de mousson, mais dans le contexte d'une contamination fécale, cet aspect semble être négligeable. Un aspect qui pourrait contribuer à la contamination de l'eau lors du transport est que le seau est utilisé aussi pour d'autres usages que le transport. Cet aspect n'a d'ailleurs pas été analysé plus en détail.

Des mains sales entrent de nouveau en jeu quand l'eau est versée depuis le seau dans le canari. Du fait comme les seaux ne possèdent pas de dispositif pour pouvoir verser l'eau de manière canalisée, les personnes créent souvent un entonnoir avec leurs mains afin de bien pouvoir verser l'eau.

Lors du transport, la source de contamination principale provient donc des mains. Des bactéries comme les E. coli par exemple pouvant très bien survivre sur les bouts de doigts, le trajet des pathogènes devrait se

situer dans la plupart des cas en dessous de 25 jours et le risque d'une contamination de l'eau durant le transport doit être considéré comme étant significatif.

6.2.3 Contamination de l'eau lors du stockage (C)

Le canari est donc le récipient le plus utilisé pour le stockage de l'eau. La fonction principale du canari est le stockage de l'eau de boisson, mais sa construction en argile sert aussi à refroidir l'eau par le principe d'évaporation. A Bengou, 100% des concessions utilisaient des canaris traditionnels pour stocker leur eau de boisson.

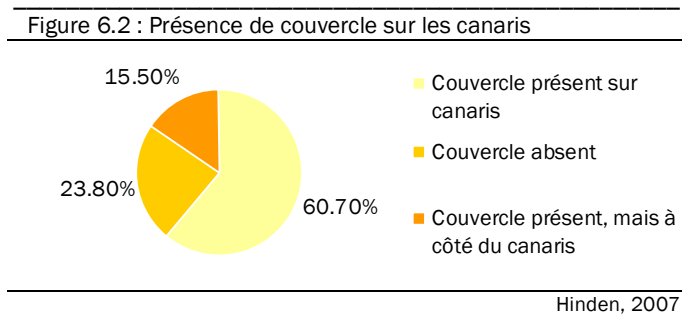
Il existe des canaris qui garantissent une bonne protection de l'eau s'ils sont utilisés et entretenus correctement. Un robinet posé à la base du canari assure un prélèvement sûr de l'eau. L'absence de robinet implique un prélèvement de l'eau à l'ouverture, ce qui comporte un risque élevé de contamination par les mains et par le biais de gobelets sales. Ensuite, la présence d'un couvercle empêche l'accès aux insectes et évite un contact avec les mains. Pour souligner l'importance de la présence d'un couvercle et d'un robinet, mentionnons à ce point qu'une étude au Zimbabwe a montré que le seul fait de couvrir le container d'eau réduisait les coliformes fécaux et totaux dans l'eau stockée au sein du ménage de 50% (in Tropical Medicine and International Health, Mazengia et al, 2002). Les auteurs de cette étude considèrent également les mains et les gobelets comme sources de contamination probables. Nous supposons par contre, qu'un couvercle pourrait également avoir un effet négatif sur la qualité des eaux puisqu'il pourrait filtrer le rayonnement solaire UV capable de tuer une grande partie des pathogènes⁶⁹. Ensuite, l'entretien des récipients, d'une part par un brossage des parois avec de l'eau et du savon (ou du sable), d'autre part par la désinfection à l'aide d'eau chlorée de temps en temps, constitue un élément indispensable pour assurer une bonne qualité de l'eau durant le stockage. D'autres facteurs (que nous n'analyserons pas) tels que la durée du stockage, la température de l'eau, la présence de nutriments etc. influencent également la survie et la multiplication des pathogènes et donc le degré de contamination de l'eau.

Les différents critères liés au type de récipient étaient répertoriés à l'aide de la grille d'analyse. Aucun des canaris n'était muni d'un robinet à la base (variable canaris_robinet). Le puisement de l'eau depuis le canari se fait donc à travers la grande ouverture. Pour ceci, un gobelet se trouvait souvent à l'intérieur du récipient au moment de l'intervention (cf. annexe 7, photo 12). Des gobelets présents sur le côté par terre étaient aussi observés. Pour la consommation, les personnes puisent l'eau directement avec ces gobelets. Nous avons observé que le puisement se fait à n'importe quel moment et que les enfants se servent eux mêmes. Cette pratique du puisement comporte donc un risque significatif de pollution : des mains sales touchent directement le gobelet ou même l'eau, le gobelet est utilisé par plusieurs personnes et il est remis dans le canari. Nous n'avons pas analysé systématiquement l'endroit de stockage et le nombre de gobelets,

⁶⁹ Le projet SODIS (Solar Water Disinfection) par exemple est une méthode très simple pour améliorer la qualité microbiologique de l'eau polluée. Une bouteille PET remplie avec de l'eau et laissée pendant six heures au soleil permettant aux micro-organismes pathogènes générateurs de maladies d'origine hydrique d'être détruits par les radiations UV-A et par une température élevée de l'eau.

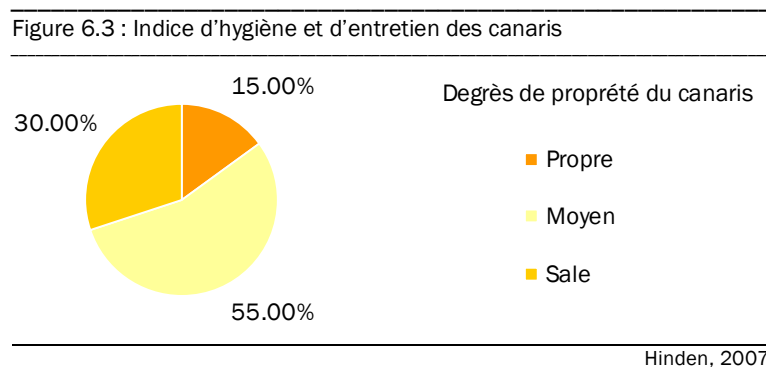
mais cet outil peut être considéré comme un facteur principal de contamination de l'eau du canari s'il se trouve, même temporairement, à des endroits où de la matière fécale est présente.

La variable `canaris_couvercle` indique si le couvercle était présent au moment de l'intervention. Elle comporte les trois modalités « couvercle présent sur le canaris », « couvercle présent, mais à côté du canaris », ainsi que « absence du couvercle ». La plupart des canaris étaient couverts au moment de l'intervention, comme le montre le tableau ci-dessous.



Cependant, les couvercles étaient souvent tellement rouillés et troués que la protection de l'eau n'était plus assurée. De même, les canaris en tant que tels étaient souvent fissurés et ne pouvaient donc pas être fermés hermétiquement à l'aide d'un couvercle. La présence d'un couvercle pour le type de canaris utilisé à Bengou a une influence principalement sur la contamination provenant des insectes. Chez tous les canaris répertoriés, les insectes pouvaient accéder à l'intérieur du canari et contaminer l'eau stockée.

En ce qui concerne l'entretien et le degré de propreté du canari, nous avons contourné les problèmes méthodologiques mentionnés avant, en inspectant l'intérieur des canaris et en classant les observations en trois catégories : propre, moyen, sale. Seulement 15 % des canaris présentaient des parois propres, 55% étaient moyennement propres et 30% étaient vraiment sales. Les parois de ces derniers présentaient souvent une couche épaisse d'algues, ce qui prouve que le brossage n'a pas été fait depuis longtemps. Ce film d'algues ou d'autres dépôts sur les parois constitue en outre un milieu favorable à la multiplication des pathogènes. Notons également, que nous avons constaté à plusieurs reprises la présence de petits escargots et d'autres larves ou insectes à l'intérieur des canaris. À part l'effet néfaste que cela peut avoir sur la santé, ceci est un net indice de manque d'hygiène.



Le type de récipient en tant que tel est donc très vulnérable à la pollution, notamment à cause du système de puisement qui implique le contact avec le gobelet et la main ainsi que par l'absence de fermeture

hermétique permettant l'accès aux moustiques. La propagation des pathogènes à l'intérieur des canaris peut se faire de manière très directe et rapide, ce qui veut dire que le risque d'une contamination fécale de l'eau pendant le stockage est significatif pour tous les canaris à Bengou. Le manque d'entretien constaté chez la plupart des récipients de stockage renforce le problème.

6.3 Evaluation globale de la problématique la contamination ultérieure de l'eau de boisson et niveau de connaissance de la population sur la problématique (4)

On a vu que différents processus pouvaient contaminer l'eau de boisson à Bengou. A la base du problème se trouve une hygiène domestique et personnelle insuffisante qui se traduit par une présence de matière fécale à tous les niveaux. Ceci s'explique notamment par une absence/insuffisance des installations sanitaires et des méthodes de lavage des mains (manque de savon) insuffisantes. Les différentes activités liées à l'usage de l'eau s'effectuant dans un environnement contaminé, les pathogènes trouvent donc facilement leur chemin dans l'eau à travers les différentes voies de transmission, le risque de contamination est favorisé par l'utilisation de types de récipients inadéquats, ainsi que par un manque d'hygiène de ces derniers lors de l'usage et du stockage.

La contamination ultérieure de l'eau à Bengou présente une composante matérielle et l'usage de savon et de récipients plus appropriés pourrait fortement diminuer le degré de pollution. La première chose pour que les personnes acquièrent ces outils serait d'avoir des moyens financiers suffisants. Toutefois, même si les moyens matériels étaient présents, il faudrait que la population soit consciente des problèmes liés à l'eau pour les utiliser de façon adéquate. Or, le niveau de connaissance de la population par rapport à la qualité de l'eau et aux maladies liées à celle-ci semble être très faible.

Un bon comportement hygiénique va de pair avec le niveau de connaissance des personnes à ce sujet. Une fois les différents mécanismes de transmission des pathogènes et des maladies compris, il est plus probable qu'un comportement adéquat soit appliqué lors des différentes activités. Le mauvais comportement hygiénique observé à Bengou concernant l'hygiène personnelle et concernant l'usage de l'eau laisse imaginer que les habitants ne sont pas assez sensibilisés à ce sujet. Des programmes de sensibilisation de la population concernant le comportement hygiénique sont pourtant effectués annuellement selon le service d'eau et d'assainissement de l'hôpital de Gaya⁷⁰. Un des devoirs de ce service est la prévention des maladies diarrhéiques et du choléra dans la région de Gaya. Ils sont censés intervenir dans tous les villages de la région de Gaya après chaque saison de pluie pour traiter les puits avec de l'hypochlorure de calcium, pour sensibiliser la population au sujet des différentes pratiques liées à l'usage de l'eau (manière de puiser, transporter et entretenir les récipients de stockage) et pour les informer sur les risques de maladies liées à l'eau. A part le service d'eau et d'assainissement, il y a d'autres organisations qui interviennent à ce sujet, mais il semble que ce soit plutôt des actions ponctuelles au moment de l'installation des ouvrages hydrauliques. En ce qui concerne la sensibilisation à l'hygiène à Bengou, les personnes étaient en courant des différentes pratiques (ils savaient par exemple

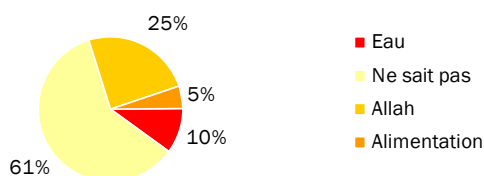
⁷⁰ Entretien avec le responsable du service de l'eau et de l'assainissement de l'hôpital de Gaya, Monsieur Ali Amadou, au CSI Gaya au sein des bureaux de la personne interrogée du 5.12.06.

qu'il faut stocker la puisette sur un dispositif), ce qui prouve qu'ils ont assisté à un programme de sensibilisation. Mais le manque de mise en oeuvre prouve que ce message n'a pas été assimilé par la population. Nous ne voulons pas aborder en détail les raisons pour lesquelles les différents programmes de sensibilisation n'arrivent pas à atteindre leur but, il s'agit ici seulement de relever qu'un travail important à ce sujet doit encore être fait avec la population.

En ce qui concerne l'état de connaissance de la population sur le lien entre qualité de l'eau de boisson et santé de l'homme, il était frappant de réaliser quelle était la conception des personnes par rapport à cette problématique. Nous avons essayé à travers notre questionnaire si la population était conscient des enjeux liés à l'eau. C'est ainsi sur les 21 personnes ayant répondu avoir eu la diarrhée, il leur a en plus été demandé quelle en était la cause selon eux. La plupart des individus ont répondu de ne pas le savoir. Seulement 10% des personnes pensaient que l'eau était la cause de la diarrhée (dont une personne a précisé l'eau des mares), d'autres pensaient que c'est Allah ou les aliments (cf. figure 6.4) qui sont à la cause. Le fait que seulement 10% des personnes pensaient que la cause de la diarrhée était liée à l'eau est d'autant plus grave que les 2/3 de ces dernières ont mentionné consulter un infirmier au CSI (variable SANT_méd) et que le personnel du CSI informe les clients de la cause de leurs maladies, mais il y a apparemment un problème de sensibilisation des personnes à ce niveau.

Figure 6.4 : Connaissance de la population sur la cause de diarrhée

Pour quelle raison pensez vous que la personne a eu la diarrhée?

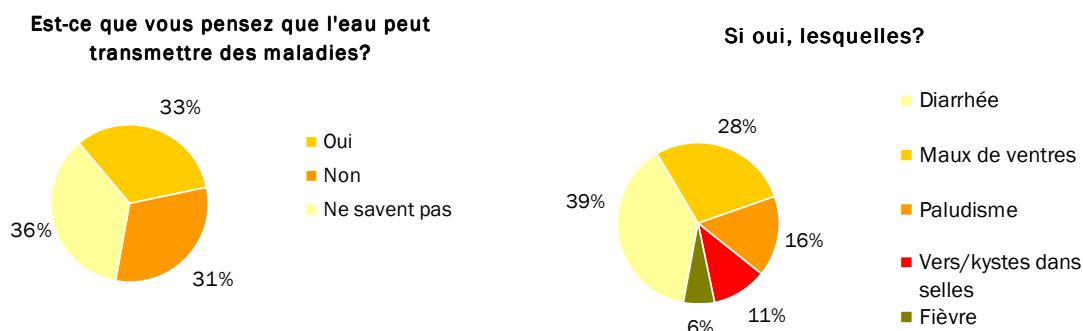


Hinden, 2007

Une autre question posée à ce sujet était « est-ce que vous pensez que l'eau peut transmettre des maladies ? Si oui lesquelles ? » (cf. figure 6.5)⁷¹. 33% des personnes pensent que l'eau peut transmettre des maladies, 31 % ne le croient pas et 36% disent de ne pas le savoir. La maladie la plus souvent mentionnée comme étant transmise par l'eau était la diarrhée, suivie des maux de ventres, du paludisme, de la présence de vers/kystes dans les selles et de la fièvre. Cette dernière question permettait de tester d'une certaine manière les réponses précédentes. Par exemple, un individu a répondu de ne pas savoir pourquoi est-ce que son enfant a eu la diarrhée, mais a affirmé par la suite qu'il était au courant que l'eau pouvait transmettre des maladies, notamment la diarrhée. Ce genre de contradictions dans les réponses est difficile à interpréter, cela peut être un indice que la connaissance des personnes sur le lien eau-santé est très floue ou alors cela peut être un indice sur la non-fiabilité des réponses au niveau méthodologique.

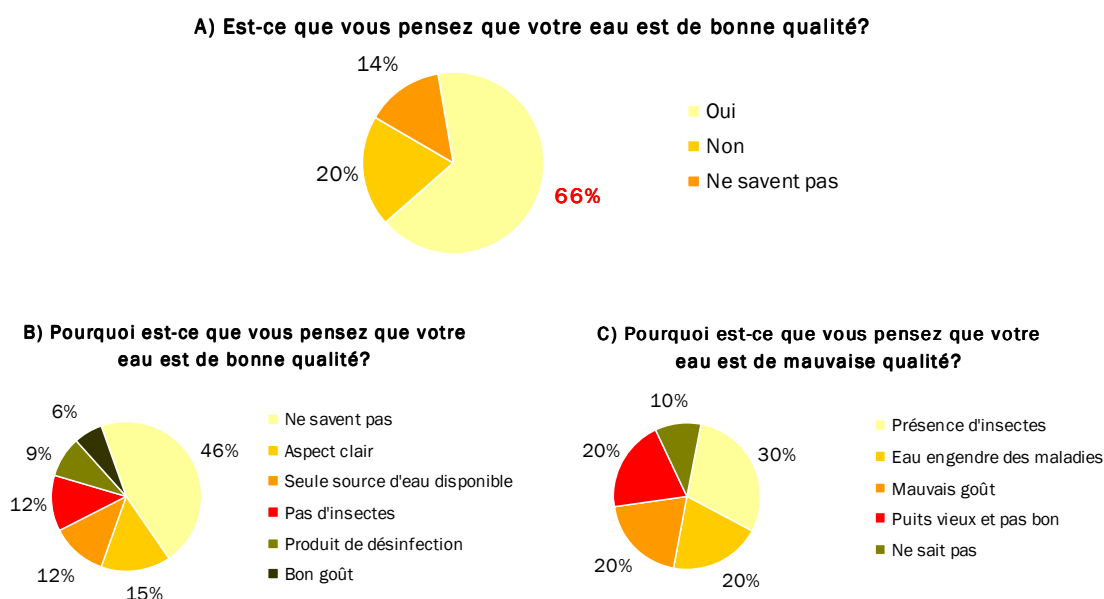
⁷¹ Comparé à la question précédente (pourquoi est-ce que vous pensez qu'elle a eu la diarrhée), celle-ci a été posée à l'échantillon entier, donc à 50 personnes.

Figure 6.5 : Connaissance de la population sur la transmission des maladies par l'eau



Ensuite, nous voulions savoir si les personnes considéraient leur eau comme étant de bonne qualité. Les résultats sont très alarmants avec 66% des personnes qui pensent que leur eau de boisson est de bonne qualité (cf. figure 6.6A) et seulement 20% qui la considèrent comme de mauvaise qualité. Les réponses données pour la question « pourquoi est-ce que vous pensez que l'eau est de bonne/mauvaise qualité ? » prouvent pour leur part la compréhension particulière de la population. Des 68% des personnes qui pensent que leur eau est de bonne qualité, 15% des individus pensent que c'est parce qu'elle est d'un aspect clair, 12% parce que c'est la seule source d'eau à disposition, 12% parce qu'il n'y a pas d'insectes, 9% parce qu'ils mettent un produit et 6% parce que le goût est bon. 46% des personnes disent que l'eau est bonne mais ne peuvent dire pour quelle raison (cf. figure 6.6B). Les 20% qui trouvent que leur eau est de mauvaise qualité l'expliquent par la présence de larves et d'insectes (30%), la création de maladies (20%), par le mauvais goût (20%) et parce que le puits n'est pas de bonne qualité (20%) (cf. figure 6.6.C). Les personnes déterminent donc la qualité de l'eau par rapport à des critères comme le goût, la clarté ou l'absence d'insectes, des critères qui ont moins d'impact sur la santé de l'homme, mais qui peuvent déterminer si un individu accepte la source d'eau ou non.

Figure 6.6: Perception de la population de la qualité de leur eau de boisson



Ces différents constats montrent que la conception de la population de Bengou sur le lien eau-maladies d'une part et sur les pratiques nécessaires à appliquer lors de l'usage de l'eau d'autre part constitue un danger non négligeable sur la qualité de l'eau et sur la santé de l'homme. Une meilleure compréhension de la situation pourrait avoir une influence positive sur l'élimination plus sûre des selles (présence de couvercle sur latrines ; entretien des installations sanitaires ; ramassage et stockage sûr des dépôts aléatoires), sur le degré de propreté des mains (présence d'eau et de savons ; nettoyage fréquent), ainsi que sur le type d'outils utilisés et l'entretien de ceux-ci (stockage sur dispositif de la puisette, seau avec poignée, canaris munis d'un robinet, etc.) et pourraient par conséquent fortement diminuer le degré de contamination fécale de l'eau puisée.

Nous avons maintenant analysé la contamination fécale de l'eau de boisson à tous les niveaux dans le village de Bengou. Les sources de pollution sont très nombreuses, l'eau de boisson devient contaminée au niveau de sa source et ultérieurement au niveau domestique. On peut s'attendre à ce que l'ingestion d'une eau autant contaminée ait des conséquences néfastes sur la santé de la population. Le prochain chapitre s'intéressera à voir jusqu'à quelle mesure le lien entre la consommation d'eau de mauvaise qualité et la santé se manifeste ou se reflète chez la population de Bengou.

7. L'IMPACT DE L'EAU DE BOISSON SUR LA SANTE DE LA POPULATION

La population de Bengou s'approvisionne avec une eau dont la concentration en polluants dépasse fortement les normes. Elle s'expose alors à un risque accru de problèmes de santé. Nous voulons savoir dans quelle mesure la consommation de l'eau de boisson de Bengou, contaminée par de la matière fécale, se répercute sur l'état de santé de la population.

7.1 Les maladies majeures à Bengou et la part des maladies liées à l'eau

Nous pouvons obtenir une première indication sur la santé de la population en relevant les morbidités majeures à Bengou. Les informations proviennent d'une part des entretiens effectués auprès des employés du Centre Sanitaire (CSI) de Bengou et d'autre part des rapports de santé, publiés chaque trimestre par ce dernier. Les différents employés citent tous le paludisme comme morbidité majeure, suivi par les cas de diarrhée et par les infections respiratoires⁷². L'analyse des rapports de santé révèle la même image. Le paludisme constitue 42,54% des morbidités recensées à Bengou, la diarrhée représente 16,93%, la toux et le rhume représentent 4,66% de toutes les maladies recensées (cf. tableau 7.1 et calculs en bas de l'annexe 6). Les deux morbidités majeures à Bengou sont alors d'une manière ou d'une autre liées à l'eau, ce qui étonne peu vu la richesse en eau de la région. Il est intéressant de comparer le profil de morbidité de Bengou avec celui du pays entier. À l'échelle du pays, c'est également le paludisme qui est la maladie la plus fréquente (24,4%), mais elle est suivie par la toux et le rhume (8,3%), les cas de diarrhée étant à la troisième place (8,3%)⁷³. La moyenne des cas de diarrhée est deux fois plus élevée à Bengou que dans le reste du pays.

Tableau 7.1: Maladies les plus fréquentes

à Bengou		dans l'ensemble du pays	
1. Paludisme	42.54%	1. Paludisme	24,40%
2. Diarrhée	16.93%	2. Toux et rhume	8,30%
3. Toux et rhume	4.66%	3. Diarrhée	8,30%

Hinden, 2007

Afin de savoir quelle importance ont les maladies liées à l'eau à Bengou, nous avons regroupé les maladies listées dans le rapport SNIS à l'aide d'une classification proposée par Cairncross et al (1991 : p. 81). Les maladies peuvent alors être regroupées dans un premier temps selon leurs causes (cf. annexe 6, groupe A-E). C'est ainsi que 18 maladies de la liste du SNIS ont pu être classifiées et déterminées comme étant clairement des maladies liées à l'eau⁷⁴ (cf. annexe 6, groupe A-D). La définition des maladies liées à l'eau est à considérer au sens large comme nous l'avons vu dans le premier chapitre de ce travail. C'est ainsi que dans la période analysée, sur toutes les maladies diagnostiquées à Bengou, au moins 70% des maladies étaient liées à l'eau (groupe A-D). Une comparaison avec d'autres régions du pays montre à

⁷² Entretiens dans les bureaux du CSI à Bengou du 27.11.06, 30.11.06, 12.12.06 avec l'infirmier Monsieur Haiboune Mohamed Issaka, en place depuis 2 ½ ans et avec les infirmiers en apprentissage.

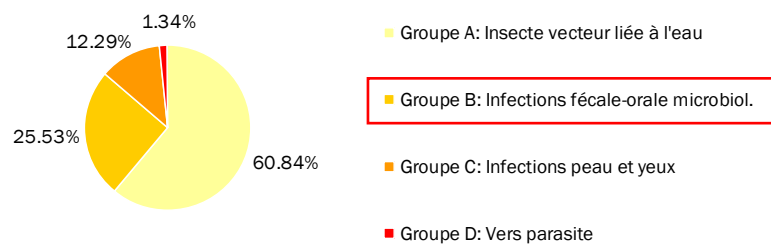
⁷³ Source : Annuaire des statistiques sanitaires du Niger année 2005 :42, Morbidités 2005 au Niger. Même reclassement pour les maladies que pour le rapport du CSI de Bengou.

⁷⁴ Cette liste a été montrée au médecin et directeur du SNIS à Niamey, afin de contrôler la fidélité de la classification. Il trouvait l'idée de regrouper les maladies liées à l'eau très intéressante et a proposé l'idée de donner cette liste à l'infirmier de Bengou pour qu'il puisse noter pendant une certaine période les maladies en gardant à l'arrière plan l'idée des différentes origines des maladies liées à l'eau. Un aspect qui serait intéressant à analyser lors d'une prochaine étude sur la santé et l'eau.

nouveau que la population de Bengou est beaucoup plus touchée par les maladies liées à l'eau. A Agadez par exemple, une région tout au Nord du Niger qui est caractérisée par un manque d'eau, les maladies liées à l'eau sont clairement moins fréquentes avec 38,12%⁷⁵.

La classification des maladies liées à l'eau a fait ressortir que le plus grand groupe est celui des « maladies dues aux vecteurs liés à l'eau » dont fait partie le paludisme (groupe D, 61%). Le deuxième plus grand groupe est celui des « infections microbiologiques fécale-oral » (groupe A, 26%). Ce groupe comporte différents cas de diarrhée issus d'une ingestion des pathogènes fécaux. « Les infections de la peau et des yeux », qui sont la conséquence d'un mauvais comportement hygiénique, déterminent 12% des maladies liées à l'eau, « les vers parasites » finalement, représentent 1,34 % des maladies liées à l'eau à Bengou.

Figure 7.2 : Les maladies liées à l'eau à Bengou



Hinden, 2007

7.2 Les infections microbiologiques transmises par l'eau de boisson et par des mains contaminées par de la matière fécale

Les maladies qui sont en relation avec une contamination fécale sont donc fortement présentes à Bengou (groupe A). Ces maladies sont transmises quand le pathogène fécal est injecté directement à travers l'eau de boisson (voie de transmission I) ou à travers des mains ou de la nourriture contaminée (voie de transmission II). Pour les infections microbiologiques fécale-oral, il est pratiquement impossible de dire si un pathogène a rejoint l'hôte par l'ingestion d'une eau contaminée ou par le biais de mains sales.

Ce qui pourrait faire plutôt penser à une infection à travers de l'eau de boisson contaminée est le fait que les employés du CSI constatent une nette augmentation des cas de diarrhée en saison de pluie. La dégradation de la qualité microbiologique de l'eau de boisson durant la saison de pluie a alors des conséquences directes sur la santé. On s'attendait à retrouver cette variation saisonnière de l'occurrence des maladies dans les rapports de santé de Bengou, mais cet aspect est difficilement analysable dans ces rapports car le recensement des maladies se fait uniquement de manière trimestriel, perdant ainsi la composante temporelle des données. On peut toutefois noter que les infections microbiologiques fécale-oral augmentent à 22,73% après la saison de pluie (17,9% dans le premier trimestre, respectivement 16,10% et 16,27% dans le deuxième et troisième trimestre). L'augmentation des cas de diarrhée pendant la saison de pluie se verra confirmée dans le chapitre suivant.

⁷⁵ La classification en maladies liées à l'eau a de nouveau été faite sur la base du rapport SNIS 2005 et avec la même approche proposée par Cairncross.

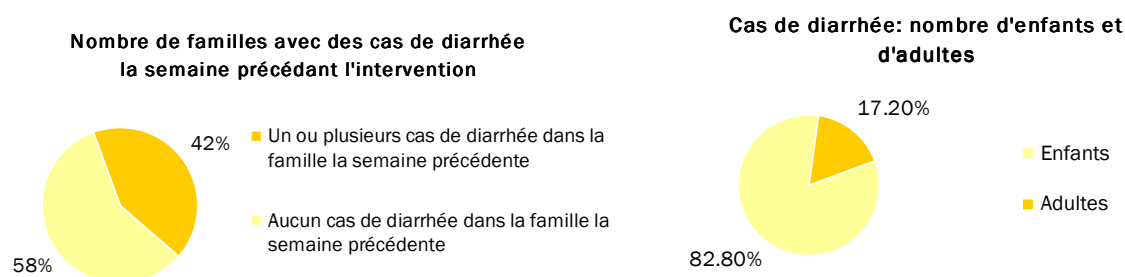
D'un autre côté, une partie des infections microbiologiques fécal-oral est certainement transmise directement par le biais de mains contaminées par de la matière fécale. La présence de maladies dermatologiques et d'infections des yeux à Bengou prouve qu'il y a un manque d'hygiène général dans la population.

7.3 La dimension des maladies diarrhéiques au sein de la population de Bengou

Bien que nous ayons les données du CSI, nous avons quand même interrogé directement les habitants au sujet du nombre de cas de diarrhées dans la famille. En effet, une partie de la population ne passe pas au CSI pour se soigner et nous voulions nous faire une idée plus complète de la proportion de la population souffrant de diarrhée à un moment donné durant la saison sèche.

L'indicateur choisi pour notre questionnaire était le nombre de membres de la famille ayant eu la diarrhée dans la semaine passée et quelle était la proportion d'enfants et d'adultes. La diarrhée a été choisie comme indicateur car c'est une des maladies liées à l'eau les plus répandues au niveau mondial et on peut fortement affirmer que la contamination se fait à travers une eau polluée, soit à travers des voies liées à un mauvais comportement hygiénique. De plus, c'est une maladie ayant des symptômes clairs et facilement reconnaissables par les personnes⁷⁶. Il était prévu d'identifier l'individu malade selon le même classement d'âge que le rapport SNIS, mais l'acquisition de cette information s'est avérée trop compliquée, et nous avons décidé de faire une classification selon le nombre de cas de diarrhée chez les enfants et chez les adultes⁷⁷. La question finalement formulée était donc : « Dans votre famille, y a-t-il eu des cas de diarrhée la semaine dernière ? » Dans l'affirmative, nous avons demandé « combien de ces personnes étaient des enfants, et combien étaient des adultes ? ». En tout 42% des familles ont indiqué avoir eu des cas de diarrhée au sein de leur famille la semaine précédente. Sur l'échantillon du questionnaire comportant 354 personnes, 58 individus, soit 16,4% des personnes ont eu la diarrhée. Comme prévu, les enfants, n'ayant pas encore acquis un statut immunitaire suffisant, sont les plus touchés, ils représentent 82,8% des cas de diarrhée dénombrés.

Figure 7.3 : Dimensions de la présence des cas de diarrhée au sein de la population de Bengou



⁷⁶ Par contre, pour une étude plus solide, on devrait définir avant qu'est-ce que l'on entend par diarrhée. On pourrait par exemple dire que la diarrhée est définie à partir de trois selles liquides en 24h.

⁷⁷ Le classement enfants - adultes a été fait sans donner des précisions. Ce sont les personnes interrogées qui ont de sorte déterminée qui est enfant et qui est adulte, ce qui n'est certainement pas correct au niveau méthodologique.

Ces chiffres sont très alarmants, notamment parce que les sondages ont été faits en saison sèche. On peut s'attendre à ce que les maladies diarrhéiques prennent encore une envergure plus importante en saison de pluie. Cet aspect de saisonnalité des cas de diarrhée est souligné par l'annonce de quatre personnes qui n'avaient pas de cas de diarrhée la semaine précédant la saison de pluie. Ils ont indiqué, sans y avoir été invités, avoir la diarrhée uniquement pendant l'hivernage, donc durant la saison des pluies. Ces constats confirment en plus, pour une partie, que l'origine de la maladie est la consommation de l'eau de boisson contaminée par de la matière fécale.

Sous un angle spatial, les cas de diarrhée dénombrés à Bengou n'ont pas de spécificités selon les quartiers. Chaque quartier a eu plusieurs cas de diarrhée. L'occurrence des maladies n'a pas de lien avec les différentes installations sanitaires et hydrauliques et n'a pas de lien non plus avec le taux de nitrate mesuré dans les puits. Cet aspect a aussi été discuté lors d'entretiens avec les employés du CSI de Bengou. Nous voulions savoir si un quartier ou un groupe social était plus représenté qu'un autre parmi les personnes touchées par des maladies diarrhéiques. D'après eux, il n'y a pas de différences spatiales ou sociales.

8. Conclusion

Les différents postulats posés dans ce travail par rapport à la contamination de l'eau de boisson et à leurs effets sur la santé ont été analysés et ont pu mettre en évidence et expliquer la situation particulière de notre terrain d'étude. En général, les liens entre les conditions hydrogéologiques, les installations d'assainissement et d'approvisionnement en eau et la santé ont pu être démontrés. En conclusion, la population de Bengou s'approvisionne en eau qui provient de la nappe souterraine et qui est fortement contaminée par des polluants fécaux.

La nature fécale de la contamination de l'eau de boisson met en évidence dans un premier temps la problématique de l'élimination de la matière fécale. L'absence de structures d'assainissement adéquates se traduit par une transmission de pathogènes dans l'environnement, ce qui est renforcé par une hygiène personnelle et domestique insuffisante. La croissance démographique importante dans la région engendre une pression sur les ressources naturelles et nécessite la mise en place d'un système de gestion de la matière fécale. Or, la mise en place de structures d'assainissement fiables coûte cher et requiert des connaissances spécialisées. La situation concernant la gestion de la matière fécale est dramatique à Bengou et se trouve à la base de la mauvaise qualité de l'eau de boisson.

Cette dernière est contaminée d'une part, au niveau de sa source et d'autre part à une phase ultérieure une fois l'eau puisée. En ce qui concerne la nappe souterraine, les analyses hydrogéologiques ont révélé que l'eau souterraine de la nappe alluviale présentait une prédisposition à la contamination à cause de la faible épaisseur de la zone non-saturée et de sa texture grossière. Ce constat est très inquiétant vu que le dallol entier est caractérisé par les mêmes conditions hydrogéologiques. Dans ce contexte, la protection de l'eau souterraine et notamment celle de la nappe alluviale des dallols, doit recevoir d'autant plus d'importance. Bien que la République du Niger ait fixé dans ses lois des mesures de protection des eaux souterraines, les responsabilités politiques n'ont pourtant pas encore mis en place de texte qui protègent les ressources en eau.

La protection de l'eau est absente et les sources de pollution sont nombreuses. Au niveau de Bengou, trois sources de pollution principales ont été détectées pour la nappe souterraine. Le plus grand apport en polluants fécaux provient certainement des latrines. Les conditions présentes à Bengou et le risque de pollution souterraine lié demandent une très grande prudence dans la construction des latrines. Lorsqu'il existe des risques de pollution souterraine, la construction de fosses étanches pour les latrines devrait être obligatoire. Par contre, le type de construction et l'usage des latrines présents à Bengou génèrent tous un volume d'eau important qui s'infiltre dans le sol et qui contamine la nappe. La population va pourtant, par manque de moyens financiers et de connaissance, continuer à construire des latrines traditionnelles. La présence de latrines cimentées construites par les différents acteurs et bailleurs de fonds prouve que ces derniers reconnaissent l'importance de l'assainissement et qu'ils sont prêts à investir dans ce domaine. Toutefois le fait qu'ils construisent des types de latrines complètement inadéquats à la situation du terrain montre qu'ils n'ont pas perçus les aspects fondamentaux. On peut donc souhaiter que 2008, proclamée année de l'assainissement par l'ONU, voie la situation évoluer positivement. On peut également espérer

que la problématique autour de la matière fécale, ayant tant d'influence sur la santé dans le monde, prenne plus d'importance au niveau des investissements, malgré son côté peu attractif.

L'eau souterraine est aussi contaminée à partir des puits traditionnels et dans une moindre mesure des puits cimentés. La faible profondeur de la nappe a pour conséquent que cette dernière est facilement accessible par la population. D'un point de vue quantitatif, l'approvisionnement en eau à Bengou est très favorable pour la population. Les puits traditionnels sont très nombreux et par conséquent les sources de pollution sont elles aussi très nombreuses. Les points d'eau ne sont pas du tout protégés et l'ensemble des activités domestiques et d'élevage s'effectuent à proximité des puits. Dans ce milieu, les polluants fécaux sont omniprésents. Le type de construction des puits traditionnels et la gestion de ces derniers permettent la transmission des polluants à l'intérieur. La contamination pourrait fortement être diminuée par des mesures assez simples qui empêcheraient d'une part l'écoulement de l'eau (présence de superstructure et de surface inclinée) et d'autre part par un usage adéquat de la puisette. Les puits cimentés seraient moins sujet à la contamination de part leur style de construction. D'ailleurs, la charge globale en contaminants fécaux est immense et l'eau souterraine est fortement contaminée à sa base. Dans ce contexte il est aberrant d'investir dans la construction de puits cimentés si ces derniers produisent de toute façon une eau d'une qualité absolument inacceptable. La présence de puits cimentés s'avère vain si des puits traditionnels se trouvent plus proche et s'il n'y a pas de différence de qualité de l'eau entre les deux types d'approvisionnement en eau.

L'alternative pour Bengou, serait d'investir dans des points d'eau qui tirent leurs sources des nappes plus profondes de bonne qualité ou de continuer à s'approvisionner en eau provenant de la nappe alluviale mais de la traiter. A cause des coûts élevés de ces techniques, ces derniers ne permettraient que la création d'un nombre limité de points d'eau. Les habitants devraient par conséquent être prêts à parcourir de plus longues distances pour s'approvisionner en eau de boisson. Cela nécessite d'une part, que la qualité de ce nouveau point d'eau de boisson soit vraiment meilleure et d'autre part que les personnes soient conscientes de l'effet positif sur la santé. S'y ajoute le fait que les usagers devraient probablement payer pour cette eau de boisson, au moins pour les coûts résultants de la gestion et de l'entretien du point d'eau, ce qui exclura certainement un grand nombre des habitants. En vue de la construction probable d'un château d'eau à Bengou, financé par la DDC et l'Arabie Saoudite, nous avons demandé aux personnes interrogées, si elles étaient prêtes à aller chercher de l'eau plus loin si cette dernière était de bonne qualité et si elles étaient aussi prêtes à payer. La plupart des personnes ont réagi de manière presque enthousiaste et disaient être décidées à franchir une certaine distance et à payer pour une eau de bonne qualité, mais la question reste ouverte à savoir jusqu'à quel point ce qui avait été dit se produirait dans la réalité. Les soucis d'une partie de la population, par rapport à la distance, au difficile travail du puisement, au manque de moyens financiers ainsi que par rapport au goût différent qu'impliquerait un nouveau point d'eau, ont été clairement ressentis. Ces facteurs pourraient amener la population à refuser un point d'eau moderne, et à continuer à utiliser des puits traditionnels, plus proches, d'un goût habituel et utilisés depuis des générations. Dans ces conditions, un traitement de l'eau au niveau domestique serait peut-être une autre solution envisageable (p.ex. avec pastilles de chlore, filtre à eau, bouteilles PET, etc.).

Les dangers que peut engendrer la matière fécale ne semblent pas du tout être perçus par la population de Bengou. Des dépôts fécaux sont souvent laissés à la surface de la terre, avec comme conséquence leur infiltration par l'eau et donc la contamination de la nappe ou alors la transmission dans l'environnement à travers d'autres modes de transmission. L'exemple le plus grave à ce sujet constitue certainement le vidange des fosses des latrines cimentées qui se fait d'une manière complètement incontrôlée. La mise en place d'installations sanitaires de type off-site devrait être dans tous les cas accompagnée d'un comité de gestion et la décharge devrait être gérée par un service spécialisé.

L'utilité de toute intervention dans le domaine de l'assainissement et de l'approvisionnement en eau pourra d'ailleurs être remise en cause si les pratiques hygiéniques sont inadéquates. La forte sensibilisation de la population par rapport au danger de transmission des polluants fécaux constitue la base fondamentale de ce sujet. Des programmes de sensibilisation ont été réalisés à plusieurs reprises à Bengou mais n'ont clairement pas atteint leur but. L'étude sur les différentes pratiques liées à l'usage de l'eau a montré que des pathogènes fécaux sont amenés à plusieurs niveaux dans l'eau puisée. Le lavage des mains avec du savon, qui est de loin la meilleure manière de diminuer le taux de polluants n'est pas appliqué comme souhaité. La promotion du savon serait une des interventions les plus simples, les moins chères et qui aurait probablement le plus grand impact sur la qualité de l'eau et sur la santé de la population. Par contre, les produits existants à l'heure actuelle sur le marché nigérien sont non-biodégradables et constituent ainsi un danger de contamination chimique pour l'environnement à long terme. En cas de promotion du savon, il serait important d'utiliser des savons biodégradables. L'usage de récipients inadéquats et le manque d'entretien aggravent la de contamination, alors qu'un usage d'autres récipients propres et adaptés aurait un effet positif.

La population de Bengou souffre fortement de ces conditions problématiques en rapport avec l'assainissement et l'approvisionnement d'eau de boisson. Les impacts sur la santé sont très graves et se manifestent notamment chez les enfants de moins de cinq ans. La présence de maladies diarrhéiques, indice par excellence d'ingestion de pathogènes fécaux, se situe à un taux très alarmant. Chaque maladie diarrhéique affaiblit le corps et le rend plus vulnérable, ce qui peut avoir des conséquences néfastes dans le cas où la personne souffre en même temps de malnutrition ou d'autres maladies (principalement le paludisme à Bengou). Dans le cas où des bactéries plus agressives comme par exemple le *vibro cholerae* sont introduits dans l'environnement, le scénario peut devenir dramatique. La transmission des pathogènes peut se faire d'une manière très rapide et une fois qu'ils ont rejoint la nappe alluviale, la population entière de Bengou et des villages en proximité qui s'en approvisionne peut être atteinte. Il y a donc un un risque latent d'épidémie dans la région des dallols. Les centres de santé sont conscients de la problématique par rapport au choléra et ont créé des cellules d'intervention au niveau national. Mais la situation particulière au niveau des dallols nécessiterait également des mesures d'intervention particulières, qui ne sont pourtant pas mises en place à l'heure actuelle.

Les conséquences des maladies sont non seulement néfastes sur la santé, mais ont aussi des répercussions sur la situation financière au niveau privé et étatique (coûts du traitement, absentéisme au travail, etc.). Ces pertes humaines et matérielles pourraient d'autant plus être évitées, qu'il s'agit de maladies infectieuses qui pourraient être traitées à leur base.

Pour conclure ces réflexions, rappelons que l'objectif principal de ce travail était d'analyser la contamination fécale de l'eau de boisson à Bengou. Le fait d'avoir analysé la contamination à tous les niveaux, depuis la source d'eau jusqu'à sa consommation à la maison, constitue un point fort de notre travail par rapport aux études antérieures. La complexité de la matière, le cadre large du travail ainsi que le manque de données ou de moyens techniques ont d'ailleurs eu comme conséquence que le résultat de certaines analyses était parfois approximatif. Nous espérons néanmoins avoir fourni des informations précieuses par rapport à la situation de l'approvisionnement en eau de boisson à Bengou, ce qui permettrait à l'avenir de mieux cibler et d'améliorer les interventions dans les différents domaines. Au-delà du fait que ce travail ait relevé pour le village de Bengou une situation très complexe et des problèmes nombreux, qui semblent presque insolubles dans le contexte politique et économique du Niger, ce travail a également pu montrer que de nombreuses solutions existent. Des mesures en partie très simples à appliquer pourraient fortement améliorer la situation de Bengou. Nous souhaiterions sincèrement que, pas à pas, cet objectif soit atteint pour que la population de Bengou, et d'ailleurs, vive dans de meilleures conditions afin de préserver leur santé.

Annexes

Annexe 1 : Questionnaire et grilles d'analyses

OBSERVATION SEMIE-STRUCTUREE ET QUESTIONS D'ENTRETIEN

Date / Heure
Quartier
Concession
No Identification famille
Nom de famille :
Personne interrogée
Nombre de personnes dans famille
 Nbr d'enfants < 1an
 Nbr d'enfants 1-4 ans
 Nbr d'enfants 5-14 ans
 Nbr personnes > 15 ans

A) SOURCE D'EAU

Où (A) prenez vous principalement l'eau de boisson pour votre famille ? No d'identification :
 1. puit traditionnel
 2. puit cimenté
 3. forage
 4. autre

Est-ce que (A) constitue votre source d'eau de boisson principale durant toute l'année ?
 1. Oui
 2. Non
 3. Pourquoi/Quand
 4. Quelle est l'alternative

Est-ce que toute la famille utilise cette même source (A) ou est-ce qu'il y a des personnes qui utilisent aussi d'autres sources pour l'eau potable?
 1. Oui
 2. Non
 3. Qui (sexe/âge).....
 4. Quelle source
 5. Pourquoi/quand

Est-ce que l'eau (A) est de bonne qualité ?
 1. Oui
 2. Non
Pourquoi vous pensez qu'elle est de bonne/mauvaise qualité ?

Si dans le quartier il y aura une source d'eau de bonne qualité qui est bonne pour la santé, est-ce que vous serez prête à parcourir une distance plus longue et chercher l'eau de boisson là-bas ?
 1. Non
 2. Oui
 Quel temps de marche maximal ?

Est-ce que vous seriez aussi prête à payer pour une eau de bonne qualité ?
 1. Non
 2. Oui

B) PUISETTE

Type de puisette pour l'eau du puit (A) ?

- 1. Puisette traditionnelle
- 2. Autre

Qu'est-ce que vous faites avec la puisette après avoir puisée l'eau ?

- 1. Dispositif pour attacher puisette
- 2. Déposé par terre
- 3. Autre

Stockage de la puisette au moment de l'intervention :

- 1. Endroit très hygiénique, propre
- 2. Endroit moyennement hygiénique
- 3. Endroit peu hygiénique, sale

Est-ce que pour (A), ceci est la seule puisette ?

- 1. Oui
- 2. Non
- 3. Combien d'autres existent / possèdent une ?

C) TRANSPORT

Est-ce que vous pourriez nous montrer dans quel récipient vous transportez l'eau?

- | | Couvercle | | Branches présentes | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1. Pas de récipient de transport | | | | |
| <input type="checkbox"/> 2. Bassin large (plastique / métalle) | <input type="checkbox"/> 1. Oui | <input type="checkbox"/> 2. Non | <input type="checkbox"/> 1. Oui | <input type="checkbox"/> 2. Non |
| <input type="checkbox"/> 3. Saut (plastique / métalle) | <input type="checkbox"/> 1. Oui | <input type="checkbox"/> 2. Non | <input type="checkbox"/> 1. Oui | <input type="checkbox"/> 2. Non |
| <input type="checkbox"/> 4. | <input type="checkbox"/> 1. Oui | <input type="checkbox"/> 2. Non | <input type="checkbox"/> 1. Oui | <input type="checkbox"/> 2. Non |

Est-ce que vous l'utilisez aussi pour d'autres choses que pour le transport ?

- 1. Non
- 2. Oui, pour

Stockage du « récipient de transport » au moment de l'intervention :

- 1. Endroit très hygiénique, propre
- 2. Endroit moyennement hygiénique
- 3. Endroit peu hygiénique, sale

D) STOCKAGE

Dans quel récipient est-ce que vous stockez l'eau de boisson ?

- 1. Pas de stockage
- 2. Canaris
- 3.

Est-ce que vous utilisez un filtre ? Autre traitement?

- 1. Oui
- 2. Non
- 3. Pourquoi pas ?
- 4. Pourquoi oui ?

Observation récipient du stockage

- | Couverture | Crevasses | Robinet |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non |
| <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non |
| <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non |

E) COMPORTEMENT DEFECATION

Où allez-vous faire vos besoins ?

evt. No. d'ident. /coord. ?

- 1. Latrine traditionnelle
- 2. Brousse, préciser l'endroit
- 3. Latrine cimentée
- CSI Collège
- 4. Autres, préciser.....

F) CONSCIENCE DU LIEN EAU-MALADIE-HYGIENE/ ETAT SANTE

Dans votre famille, est-ce qu'il y a eu des cas de diarrhée la dernière semaine ?

- 1. Non
- 2. Oui quisexe ... âge <1an 1-4ans 5-14ans >15ans
- quisexe ... âge <1an 1-4ans 5-14ans >15ans
- quisexe ... âge <1an 1-4ans 5-14ans >15ans

Dans votre famille, est-ce qu'il y a eu des cas de diarrhée les 2 dernières semaines ?

- 1. Non
- 2. Oui quisexe ... âge <1an 1-4ans 5-14ans >15ans
- quisexe ... âge <1an 1-4ans 5-14ans >15ans
- quisexe ... âge <1an 1-4ans 5-14ans >15ans

Pourquoi est-ce que vous pensez qu'elle/il a eu la diarrhée ?

- 1. je ne sais pas
- 2.
- 3.

Est-ce que vous allez voir un infirmier / médecin si quelq'un a la diarrhée ?

- 1. Non Autres mesures
- 2. Oui Lequel

Est-ce que vous pensez que l'eau peut transmettre des maladies ? [T]

- Oui Non Je ne sais pas

Si oui, lesquelles ?

- diarrhée vers
- autre (spécifier)

OBSERVATIONS PIT LATRINES

Pit Latrines CSI Collège Privée

Schéma/Coupe (indiquer aussi direction d'écoulement ES par rapport latrines / puits)

Type de construction (eau / séc ; simple / double,
.....
.....
.....

Année Constructeur

Statut / Propriété.....

Responsable /Entretien

Vidange : Fréquence.....

Endroit

Traitement

Utilisateurs / Fréquence

Endroit emplacement : A l'amont Altitude

Profondeur dalle bétonnée

Hauteur eaux souterraines

Type de sol

Capacité de filtrage

Problèmes / Remarques

Installations

Fosses étanches	<input type="checkbox"/> 1. oui	<input type="checkbox"/> 2. non	
Protection contre pluie	<input type="checkbox"/> 1. oui	<input type="checkbox"/> 2. non	
Rigole d'évacuation eau de pluie	<input type="checkbox"/> 1. oui	<input type="checkbox"/> 2. non	
Dalle avec pente	<input type="checkbox"/> 1. oui	<input type="checkbox"/> 2. non	
Etat construction, fissures, etc	<input type="checkbox"/> bon état	<input type="checkbox"/> traces dégradation	<input type="checkbox"/> mauvaise état
Signes d'abaissement	<input type="checkbox"/> 1. oui	<input type="checkbox"/> 2. non	
Propreté installation	<input type="checkbox"/> propre	<input type="checkbox"/> moyen	<input type="checkbox"/> sale
Odeur	<input type="checkbox"/> 1. oui	<input type="checkbox"/> 2. non	
Insectes	<input type="checkbox"/> 1. oui	<input type="checkbox"/> 2. non	
Dispositif pour laver les mains	<input type="checkbox"/> 1. non	<input type="checkbox"/> 2. oui	<input type="checkbox"/> 3. savon présent

OBSERVATION LATRINES TRADITIONNELLES

Schéma / Plan

Situé dans concession	<input type="checkbox"/> 1. Oui	<input type="checkbox"/> 2. Non
Nombre d'utilisateurs		
Utilisateurs autres que concession	<input type="checkbox"/> 1. Oui	<input type="checkbox"/> 2. Non
Construction par qui		Profondeur trou
Soubassement latrine		
Couverture à la surface		
Inclinaison surface	<input type="checkbox"/> 1. Oui	<input type="checkbox"/> 2. Non	
Rigole de drainage	<input type="checkbox"/> 1. Oui	<input type="checkbox"/> 2. Non	
Fonctionnement (fréquence vidange, où, par qui, couverture, quel matériel)		
.....			
Odeur	<input type="checkbox"/> 1. Oui	<input type="checkbox"/> 2. Non	
Insectes	<input type="checkbox"/> 1. Oui	<input type="checkbox"/> 2. Non	
Humidité	<input type="checkbox"/> sec	<input type="checkbox"/> peu humide	<input type="checkbox"/> humide
Propreté	<input type="checkbox"/> propre	<input type="checkbox"/> moyen	<input type="checkbox"/> sale

Annexe 2 : Liste des variables

No	Variable	Score	Signific	Score	Signific	Score	Signific	Score	Signific	Score	Signific	Score	Signific	Score	Signific	Score	Signific	Nom variable
1	No_Identifier	1-n																Numeration selon saisie
2	Quartier	1	Goye	2	Bako	3	Manzon	4	Illela	5	Sala	6	Nafoga					Nom du quartier
3	Nom_fam	0	texte															Nom de la famille
4	Nbr_fam_rec	N																Code recensement Bengou, 1 à x par quartier
5	Date																	Date
6	Nbr_pers_rec	N																Nombre de personnes dans famille selon recensement
7	Nbr_pers_ji	N																Nombre de personnes dans famille selon interviewé
8	SE_type	1	tradit	2	ciment	3	forage	4	autre									Source d'eau: type
9	SE_seule	1	oui	2	non													Source d'eau: seule source d'eau durant toute l'année
10	SE_altemat	0	prq/qd															Source d'eau: source d'eau alternative / raison pour alternative
11	SE_ttfam	1	oui	2	non													Source d'eau: source d'eau pour toutes les membres de la famille
12	SE_ttfam_alte	0	prq/laq															Source d'eau:
13	SE_qualité	1	oui	0	non	3	ne sais pas											Source d'eau: bonne qualité
14	SE_qualité_R	0	texte															Source d'eau: bonne qualité pourquoi
15	SE_dist	0	non	1	oui													Source d'eau: château d'eau prêt à parcourir distance
16	SE_disL_txt	0	texte															Source d'eau: commentaire distance
17	SE_prix	0	non	1	oui													Source d'eau: château prêt à payer
18	PST_type	1	tradit	2	autre													Puisette type
19	PST_loc	1	dispositif	2	par terre	3	maison	4	autre									Puisette stockage
20	PST_hyg	1	propr	2	moy	3	sale											Puisette stockage hygiène
21	PST_nbr	1	oui	0	non	N	nombre											Puisette: seule puisette pour A
22	TRP_type	1	bassin	2	saut													Transport type
23	STOK_type	1	canaris															Stockage type
24	STOK_filtre	1	oui	0	non	0	texte											Stockage: utilisation d'un filtre, pourquoi oui/non
25	STOK_trait	1	oui	0	non	0	texte											Stockage: utilisation d'un traitement, pourquoi oui/non
26	STOK_couv	1	oui	2	absent	3	à côté	4	pas présent									Stockage: canaris couvert au moment de l'observation
27	STOK_crev	1	oui	0	non													Stockage: crévasses présentes
28	STOK_rob	1	oui	0	non													Stockage: robinet présente
29	SANT_1S	N	nbr tot															Santé: nbr de cas de diarrhé dans famille la semaine passé
30	SANT_1S_enf	N	nbr enf															Santé: nbr de cas de diarrhé dans famille la semaine passé, dont _enfants
31	SANT_2S	N	nbr tot															Santé: nbr de cas de diarrhé dans famille il y a 2 semaines
32	SANT_2S_enf	N	nbr enf															Santé: nbr de cas de diarrhé dans famille il y a 2 semaines dont _enfants
33	SANT_raiso	1	sait pa	0	texte													Santé: pourquoi diarrhé?
34	SANT_méd	1	oui	2	non	3	texte											Santé: visite d'un médecin / autres mesures
35	SANT_trans	1	oui	0	non	3	ne sais pas											Santé: eau peut transmettre des maladies?

36	SANT_mal	0				0													Santé: si oui, lesquelles?
37	LAT_type	1	tradit	2	ciment	0													Latrine type
38	LAT_conc	1	oui	0	non	3	champ												Latrine située dans concession
39	LAT_prof	N	en m																Latrine profonde en mètre
40	LAT_incl	1	oui	0	non														Latrine: inclinaison grande diamètre
41	LAT_incl2	1	oui	0	non														Latrine: inclinaison petit diamètre (infiltration au niveau trou possible)
42	LAT_surface_imp	1	oui	0	non	3													Latrine: surface imperméable
43	LAT_drainag	1	oui	2	non	3	partiel												Latrine: drainage possible
44	LAT_cercle	1	oui	0	non														Latrine: cercle présent
45	LAT_couv	1	oui	0	non														Latrine: couvercle
46	LAT_instfonc	1	oui	0	non														Latrine: installations prévues, mais dégradées/non fonctionnelles
47	LAT_vid	N	anné																Latrine: vidange tous les __ années
48	LAT_odr	1	oui	0	non														Latrine: odeur présent
49	LAT_insect	1	oui	0	non														Latrine: insectes présents
50	LAT_hum	1	sec	2	peu humide	3	très humide												Latrine: humidité surface
51	LAT_soubass	1	oui	0	non														Latrine: soubassement imperméable / couche filtrante présente
52	LAT_prop	1	propre	2	moyen	3	sale												Latrine: propreté
53	PUITS_type	1	tradit	2	ciment	3	forage												Puits: type
54	PUITS_type2																		Puits: type traditionnel, sous-groupe
55	PUITS_prof	N	en m																Puits: niveau statique lors de l'enquête
56	PUITS_3m	1	oui	0	non														Puits: couche imperméable premiers 3m (verticale)
57	PUITS_couv	1	oui	0	non														Puits: couverture présente
58	PUITS_inclin	1	oui	0	non														Puits: inclinaison de la surface (échelle min. 1m)
59	PUITS_inclinB	1	oui	0	non														Puits: inclinaison de la surface (échelle autour trou)
60	PUITS_surface_imp	1	oui	0	non														Puits: surface imperméable
61	PUITS_drain	1	oui	0	non														Puits: rigole de drainage
62	PUITS_Stag	1	oui	0	non														Puits: stagnation des eaux possible
63	PUITS_mur	1	oui	0	non														Puits: mur ou autre protection accès puit
64	PUITS_distLAT	N	en m																Puits: distance puit latrine la plus proche en mètres
65	PUITS_dépôts	1	oui	0	non														Puits: dépôts fécaux autour puit (<3m)
66	PUITS_animau	1	oui	0	non														Puits: animaux présents dans concession
67	PUITS_conces	1	oui	0	non														Puits: situé dans concession
68	PUITS_pluproch	1	oui	0	non														Puits: puits utilisé est le plus proche?
69	EAU_Nitrate	N	mg/l																Eau: taux de nitrates (mg/l)
70	EAU_ph	N																	Eau: pH
71	EAU_odeur	1	absent	2	ferreux	3	autre												Eau: odeur
72	EAU_couleur	1	clair	2	jaunâtre	3	laiteux												Eau: couleur
73	EAU_particule	0	absent	1	+	2	++	3	+++										Eau: particules / turbidité

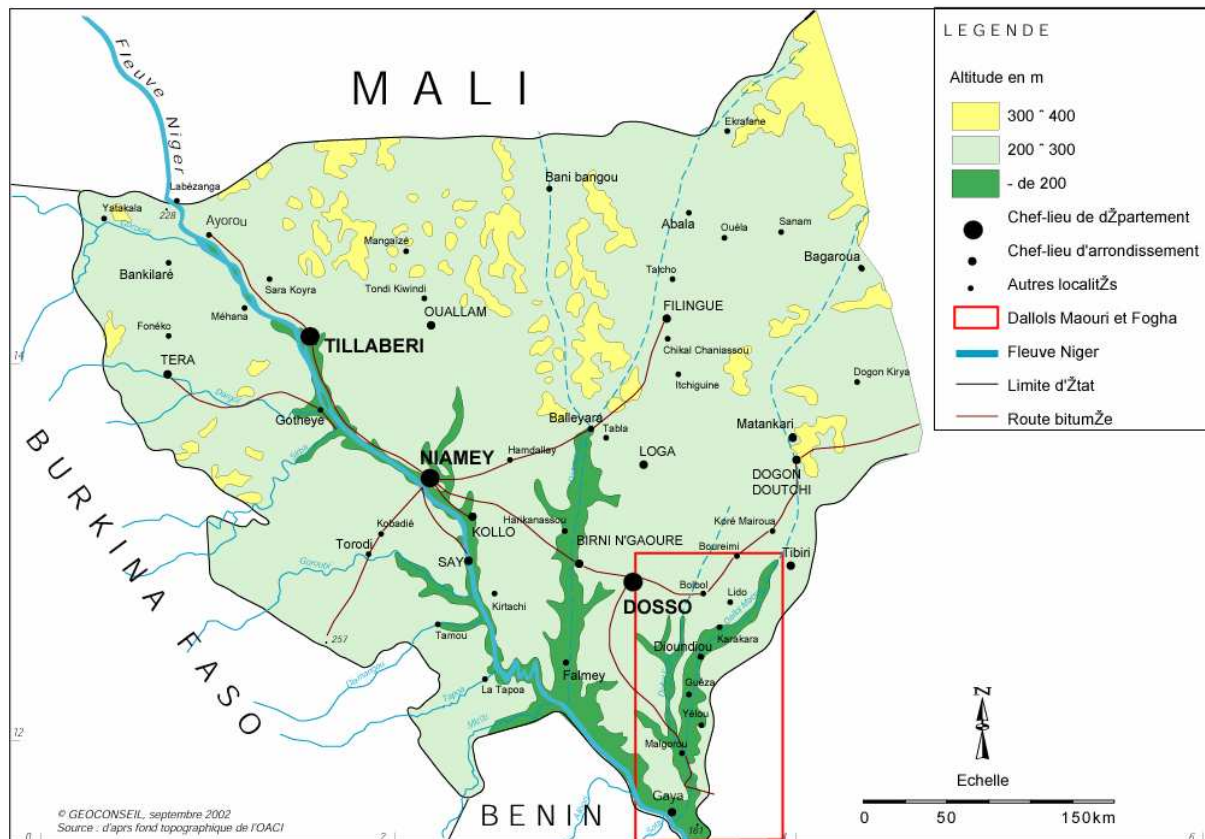
O: ordinal (texte)

N: nominal (chiffre)

-6 question pas posée

-7 question posée, mais données absentes (ex. si puits/latrine effondré)

Annexe 3 : Localisation des dallols Fogha et Maouri dans l'ouest nigérien



Source: Géoconseil 2000

Annexe 4 : Résultats d'analyse de la qualité de l'eau à Bengou en 2003
Analyses microbiologiques, physiques et chimiques faites par Khamis H.

Annexe 4.1 : Résultats d'analyse E. Coli et Coliformes totaux dans l'eau à Bengou (2003)

E. Coli

Normes: 0 colonies dans 100 ml

Puits	09.09.2003		11.09.2003		16.09.2003	
	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml
1	0	0	5	22	++	++
2	0	0	1	4	4	8
3	0	1	7	4	9	10
4	3	8	16	17	23	24
5	8	7	24	24	22	23
6	25	36	0	0	74	64
7	6	3	0	0	++	++
8	13	13	1	4	12	5
9	20	16	4	4	49	47
10	0	1	0	2	7	9
11a	Nd	Nd	0	0	1	0
11b	Nd	Nd	0	0	Nd	Nd

d'après Khamis H. 2003

Coliformes totaux

Normes: 0 colonies dans 100ml

Puit	09.09.2003		11.09.2003		16.09.2003	
	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml
1	25	20	47	?	+++	+++
2	29	50	?	?	?	?
3	55	65	?	92	++	++
4	++	++	++	++	++	++
5	110	115	80	60	++	++
6	180	90	0	0	+++	+++
7	80	75	0	0	+++	+++
8	16	21	0	3	++	++
9	300	320	27	65	?	?
10	100	61	34	27	++	++
11a	Nd	Nd	0	0	++	++
11b	Nd	Nd	0	0	Nd	nd

d'après Khamis H. 2003

A noter que les analyses ont été faites sur 1 ml au lieu de 100 ml (impossibilité de compter le nombre de colonies présente en raison de la forte concentration)

- Valeurs en dessus des normes	Nd : non déterminé
 Puits cimenté	++ : 10^3 à $9,9 \cdot 10^3$ colonies
	+++ : 10^4 à $9,99 \cdot 10^4$ colonies,
	++++ : le nombre de colonies est supérieur à 10^5

Annexe 4.2 : Résultats d'analyse pour les nitrates et le pH dans l'eau à Bengou (2003)

Nitrates

Normes: 50mg/l

Puits	09.09.2003	11.09.2003	16.09.2003
1	3	1	16
2	1	0	0
3	33	42	19
4	97	157	112
5	91	90	133
6	106	98	79
7	24	22	24
8	0	0,2	0
9	41	34	36
10	44	37	26
11a	Nd	5	2

d'après Khamis H. 2003

pH

Normes: 6,5 - 8,5

Puits	09.09.2003	11.09.2003	16.09.2003
1	7	7	7
2	7	7	7.5
3	7	7.5	7
4	7.5	7.5	7.5
5	7.5	7.5	8 ?
6	7.5	7.5	8 ?
7	7	7	8 ?
8	8 ?	8 ?	7.5
9	7	7	8
10	7	7	7.5
11a	Nd	7	8

d'après Khamis H. 2003

- Valeurs en dessus des normes

▭ Puits cimenté

Annexe 5 : Résultats d'analyse de la qualité de l'eau à Bengou en 2007
Analyses chimiques et physiques faites par Hinden C.

Annexe 5.1 : Résumé des résultats physico-chimiques des puits traditionnels à Bengou (2007)

Aspects physico-chimiques

Substance	Valeurs moyennes détectées à Bengou	Valeurs min / max détectées à Bengou	Normes proposées par l'OMS
Indicateurs chimiques :			
Nitrat NO3	93 mg/l	0 / 300 mg/l	50 mg/l
Nitrit NO2	0 mg/l	0 mg/l	3,0 mg/l
Chloride	0 mg/l	0 mg/l	250 mg/l
Chlor total	0 mg/l	0 mg/l	0,3 mg/l
Chlor libre	0 mg/l	0 mg/l	0,3 mg/l
Phosphate	0,5 mg/l	0,5 mg/l	65 mg/l
Ammonium	0 mg/l	0 mg/l	1,5 mg/l
Indicateurs physiques :			
pH	5,82	5,0 / 7 mg/l	6,5 - 9,5
Particules solides	++	0 à +++	absentes
Couleur	laiteux	claire / laiteux	claire
Odeur	terreux	absente / terreux	absente

Hinden, 2007

- Au niveau des indicateurs chimiques, seul les nitrates se trouvent en dessus des normes
- Les substances comme le nitrite, le phosphate et l'ammonium qui pourraient être un indicateur pour l'utilisation des engrais se trouvent dans les normes
- Nous n'avons pas pu mesurer des traces de chlore total et de chlore libre. L'eau n'a pas subi un traitement par de l'hypochlorure

Annexe 5.2 : Résultats d'analyse pour le pH dans les puits traditionnels à Bengou (2007)

pH

Normes: 6,5 - 9,5

Echant.	pH	Echant.	pH	Echant.	pH	Echant.	pH	Echant.	pH
N01	6,0	N11	5,0	I21	7,0	B31	-	G41	6,0
N02	6,5	N12	5,0	M22	6,0	B32	6,0	G42	6,0
N03	6,0	S13	5,5	M23	5,5	B33	5,5	G43	6,0
N04	6,5	S14	5,75	M24	5,0	B34	5,25	G44	5,0
N05	6,0	S15	6,5	M25	5,5	B35	5,5	G45	6,0
N06	6,5	S16	5,5	M26	5,5	B36	5,75	G46	5,0
N07	6,0	S17	5,25	M27	5,5	B37	6,5	G47	6,0
N08	6,5	S18	5,0	M28	-	B38	6,0	G48	6,0
N09	5,5	I19	7,0	B29	-	G39	5,0	G49	6,0
N10	6,0	I20	7,0	B30	-	G40	5,0	G50	6,0

Hinden, 2007

- Le pH de l'eau souterraine à Bengou est trop bas, ce qui a aussi été confirmé par Guero (2003) qui a obtenu des valeurs en dessous de la norme pour l'eau de la nappe alluviale dans le dallol Maouri
- Le pH est d'une moindre importance par rapport à la santé de l'homme, mais une eau avec un pH bas favorise la corrosion des installations métalliques et l'eau peut ainsi contenir des substances chimiques dissoutes. Un pH bas peut en outre avoir une influence sur l'efficacité du traitement de l'eau. Ces facteurs doivent être pris en compte pour une éventuelle installation d'un approvisionnement et/ou de traitement de l'eau dans l'avenir.

Annexe 6.1 : Les maladies liées à l'eau

Les quatre groupes des maladies liées à l'eau

I Hydrique

Les maladies hydriques ont pour origine la consommation d'une eau contaminée.

Les pollutions bactériologiques, virales, issues des déjections humaines ou animales, sont responsables de maladies telles que le choléra, la poliomyélite, les hépatites A et E et la fièvre typhoïde.

Les pollutions par les nitrates, pesticides et métaux lourds (plombs, mercure, etc.), issues des activités humaines, provoquent selon les concentrations des maladies allant du simple trouble à l'empoisonnement.

II Pénurie d'eau

Les maladies liées à l'insuffisance de l'eau et qui surviennent suite à un manque d'hygiène corporelle

Ex : Noma, Conjonctivite, trachome

III D'origine aquatique

Les maladies à support hydrique sont causées par des organismes aquatiques qui passent une partie de leur cycle de vie dans l'eau et une autre en tant que parasites.

A l'état de parasites, ils ont en général la forme de vers vivants dans des vecteurs animaux intermédiaires, tels que les mollusques ou les escargots. Ils infectent alors directement les humains soit en perçant leur peau soit par ingestion d'eau ou d'aliments.

Les principales maladies à support hydrique sont le ver de Guinée (draconculose), la paragonimiose, la clonorchiose et la schistosomiase (bilharziose).

Ex : Draconculose (ver de Guinée), schistosomiase

IV Vecteur lié à l'eau

Les maladies transmises par des vecteurs liés à l'eau. Certains parasites ou virus n'ont pas de relation directe avec l'eau mais utilisent des animaux vecteurs vivant ou se reproduisant dans ou près de l'eau. Ces animaux vecteurs participent à la diffusion des maladies.

Ex : Paludisme, fièvre jaune

Source : d'après www.cite-sciences.fr

Annexe 6.2 : Maladies prédominantes à Bengou et classement des maladies liées à l'eau

RAPPORTS DE MEDECINE DE SOINS DU CSI BENGOU							Période: 2005				
Type de maladie	2005					2005 Total	Groupe de maladie	Mode de transmission			
	01/05 Total	02/05 Total	03/05 Total	04/05 Total	05/05 Total			I Hydrique	II Pénurie d'eau	III D'origine aquatique	IV vecteur liée à l'eau
A Infections faecal-oral microbial											
Choléra	0	0	0	0	0		A	x	x		
Shigellose (cas confirmés)	0	0	0	0	0		A	x	x		
Diarrhée simple	118	137	88	123	466		A	x	x		
Diarrhée, avec déshydratation	15	14	10	12	51		A	x	x		
Dysenterie	53	67	57	56	233		A	x	x		
Diarrhée, sanguinolente	34	5	15	10	64		A	x	x		
Affect.digestives y compris intest	4	12	14	14	44		A	x	x		
B Infections peau et yeux											
Noma	0	0	0	0	0		B		x		
Conjonctivite	9	5	5	7	26		B		x		
Trachome	0	0	0	0	0		B		x		
Affections dermatologiques	73	85	85	107	350		B		x		
Autres affections ophtalmologiques	18	3	3	13	37		B		x		
C Vers parasite											
Bilharziose	10	11	12	12	45		C			x	
Onchocercose (nématode)	0	0	0	0	0		C			x	
Dracunculose (vers guinée)	0	0	0	0	0		C			x	
D Insecte vecteur lié à l'eau											
Fièvre Jaune	0	0	0	0	0		D			x	
Paludisme simple	561	675	510	247	1993		D			x	
Paludisme grave	10	15	15	12	52		D			x	
E Autres maladies non liées à l'eau											
Toux ou rhume	145	128	111	147	531		E				
Pneumonie	26	17	14	19	76		E				
Pneumonie grave	4	3	3	4	14		E				
Malnutrition MPE	9	35	33	17	94		E				
Autres affection nutritionnelles	2	0	0	0	2		E				
Anémie	6	3	3	5	17		E				
Drépanocytose	0	0	0	0	0		E				
Hypertension artérielle	4	6	8	12	30		E				
Autres affections cardio-vasculaires	0	0	0	0	0		E				
Goitre	0	0	0	0	0		E				
Xérophtalmie	1	0	0	0	1		E				
Trichiasis	0	0	0	0	0		E				
Cataracte (Trübung Linse, Star)	0	0	0	0	0		E				
Otite aigue	9	1	2	3	15		E				
Otite chronique	2	0	1	1	4		E				
Mal de gorge	6	0	0	0	6		E				
Mal d'oreille	8	2	1	2	13		E				
Autres affections ORL	6	2	3	6	17		E				
Traumatismes - Plaies - Brûlures	28	36	36	43	143		E				
Affections bucco-dentaires	8	85	13	10	116		E				
Stérilité	0	14	0	0	14		E				
Autres affections urinaires	22	13	17	22	74		E				
Affections gynécologiques	12	18	14	11	55		E				
Affections obstétricales	23	25	27	16	91		E				
Écoulements urétraux	4	2	4	5	15		E				
Écoulements vaginaux	4	6	4	4	18		E				
Ulcérations génitales (syphilis, ..)	0	0	0	0	0		E				
Autres IST	7	0	0	0	7		E				
Autres affections uro-génitales	2	0	0	0	2		E				
Toux chronique	1	1	3	0	5		E				
Tuberculose pulmonaire frottis pos.	0	1	0	0	1		E				
Tuberculose pulmonaire frottis nég.	0	0	0	0	0		E				
Tuberculose extra pulmonaire	0	0	0	0	0		E				
Asthme	4	6	8	8	26		E				

Onchocercose	0	0	0	0	0	E
Lèpre (nouveaux cas)	1	1	0	0	2	E
Rougeole	1	0	0	0	1	E
Méningite	0	0	0	0	0	E
Tétanos néonatal	0	0	0	0	0	E
Toutes autres formes de tétanos	0	0	0	0	0	E
Paralysie flasque aiguë (PFA)	0	0	0	0	0	E
Diphthérie	0	0	0	0	0	E
Coqueluche	0	0	0	0	0	E
Complications de l'ablation luette	3	2	0	0	5	E
Troubles mentaux	0	0	0	1	1	E
Affections Ostéo-articulaires	2	10	11	9	32	E
Envenimations / morsures	0	2	1	3	6	E
Autres parasitoses non intestinales	0	12	0	0	12	E

Maladies liées à l'eau	01/05 Total	02/05 Total	03/05 Total	04/05 Total	Nbr de maladies liées à l'eau	% des maladies liées à l'eau	% des maladies totales
Groupe A	224	235	184	215	858	25.53%	17.85%
Groupe B	100	93	93	127	413	12.29%	8.59%
Groupe C	10	11	12	12	45	1.34%	0.94%
Groupe D	571	690	525	259	2045	60.84%	42.54%
Cas de malades liés à l'eau (A-D)	905	1029	814	613	3361		69.92%
Cas de maladies totales (A-E)	1255	1460	1131	961	4807		100%
(A-D)/(A-E)	72.11%	70.48%	71.97%	63.79%	69.92%		
(A)/(A-E)	17.85%	16.10%	16.27%	22.37%	17.85%		
(B)/(A-E)	7.97%	6.37%	8.22%	13.22%	8.59%		
Maladies les plus fréquentes à Bengou							
1. Paludisme*	571	690	525	259			2045 42.54%
2. Diarrhé**	220	223	170	201			814 16.93%
3. Toux ou rhume	145	128	111	147			224 4.66%
sur maladies totales en 2005							4807 100.00%
*paludisme simple+paludisme grave **diarrhée simple + diarrhée avec déshydratation + dysenterie + diarrhée sanguinolente							
Comparaison: les maladies liées à l'eau dans le pays entier et dans une région au Nord du pays (Agadez)							
Agadez groupe (A-D)							38,12%
Niger groupe (A-D)							41,37%

1



- Puits traditionnel avec surface cimentée et inclinée, empêchant l'écoulement de l'eau à l'intérieur
- Absence de couvercle

2



- Puits traditionnel avec bord cimenté, empêchant l'écoulement de l'eau à l'intérieur.
- Puisette et corde traînant par terre.

3



- Puits traditionnel non aménagé
- Surface inclinée empêchant l'écoulement de l'eau à l'intérieur
- Surface perméable, infiltration possible
- Plusieurs puisettes, stockées par terre

4



- Puits cimenté (construit par l'Arabie Soudite et la Coopération allemande)
- Bords cimentés empêchant l'écoulement de l'eau à l'intérieur
- Accès non réglementé

5



- Puits traditionnel, non aménagé
- Puits se situant à l'extérieur de la concession, accès non réglementé
- Eau stagnante à proximité permettant l'infiltration de l'eau et la prolifération des moustiques

6



- Alentours des puits très humides
- Récipient de transport sans poignée, sale
- Analyse de la qualité de l'eau avec kits

7



- Latrine traditionnelle, surface inclinée, présence d'un cercle permettant de diminuer la quantité d'eau à l'intérieur

8



- Latrine traditionnelle, cercle présent, mais permettant l'écoulement de l'eau à l'intérieur
- Environnement humide et sale

9



- Latrine traditionnelle
- Usages multiples générant un volume d'eau important

10



- Seau de transport en plastique
- Poignées absentes
- Eau très trouble et présence de débris
- Puisette et corde traînant par terre

11



- Canaris avec couvercle, mais non hermétiquement fermé

12



- Canaris fissuré
- Absence de couvercle
- Matériel rouillé
- Présence de gobelets dans l'eau pour boire sur place

Bibliographie

ARGOSS (2001) *Guidelines for assessing the risk to groundwater from on-site sanitation*. British Geological Survey Commissioned Report, CR/01/142. 97p.

BECK M. et GIRARDET D. (2003) *Les ressources en eau du dallol Maouri dans l'arrondissement Gaya: aspect géophysique*. Université Lausanne Institut de géophysique, Lausanne. 13p.

BILLIG P. [et. al.] (1999) *Water and Sanitation Indicators Measurement Guide*. Food and nutrition technical assistance, Washington. 24p.

BENTLEY M. [et. al] (1994) *The use of structured observations in the study of health behaviour*. IRC International Water and Sanitation Centre, The Hague and London School of Hygiene and Tropical Medicine, 58 p.

BURTOGEC Niamey (2002) *Etude techniques pour la construction d'un C.E.G à Kara Kara*. Coopération Suisse, Fonds de soutien aux investissements locaux FSIL. Coupe et plan des latrines.

CAIRNCROSS S. et VALDMANIS V. (*2003) Water Supply, Sanitation, and Hygiene Promotion, Chapter 41. *In : Disease Control Priorities in Developing Countries*, p. 771-792.

CAIRNCROSS S. [et al.] (1991) *Evaluation for Village Water Supply Planning*. IRC International Reference Center for Community Water Supply and Sanitation, WHO Collaborating Centre, The Hague. 179p.

CAIRNCROSS S. [et al.] (1996) The public and domestic domains in the transmission of disease. *Tropical Medicine and International Health, Volume 1, No. 1, p. 27-43, February 1996*. Blackwell Science Ltd.

CARR R. *Excreta-related infections and the role of sanitation in the control of transmission*. []

CAVE B. et KOLSKY P. (1999) *Groundwater, latrines and health*. WELL Study Task No 163, London School of Hygiene & Tropical Medicine, UK WEDC, Loughborough University. 30p.

COTRUVO J. A. [et al.] (2004) *Waterborne zoonoses : identification, causes, and control*. World Health Organization (WHO), IWA Publishing. 528p.

COUSENS S. [et. al.] (1997) Measuring hygiene practices: a comparison of questionnaires with direct observations in rural Zaïre. *Tropical Medicine and International Health, Volume 2, No. 11, p. 1015-1021, November 1997*. Blackwell Science Ltd.

CURTIS V. [et. al] (1997) Dirt and diarrhoea: formative research in hygiene promotion programmes. *Health Policy and Planning, 12(2): p.122-131*, Oxford University Press.

CURTIS V. [et al.] (2000) Domestic hygiene and diarrhoea – pinpointing the problem. *Tropical Medicine and International Health, Volume 5, No. 1, p. 22-32, January 2000*. Blackwell Science Ltd.

DAVIS J. [et al.] (1993) *Developing and Managing Community Water Supplies*. Oxfam Development Guidelines No. 8, The Alden Press Oxford. 178p.

DODO A. (2003) *Evaluation des ressources en eau des vallées fossiles Maouri et de Foga (Gaya)*. Programme RUIG Genève, Niamey. 10p.

DROUART E. et VOUILLAMOZ J.-M. (1999) *Alimentation en eau des populations menacées*. Action Contre la Faim, Hermann Paris, 565p.

FOUCAULT A. et RAOULT J.-F. (2001) *Dictionnaire de géologie*. Masson Sciences, Dunod, Paris.

GÉOCONSEIL (2002) *Étude régionale des milieux physique et humain des vallées de Foga et Maouri dans l'arrondissement de Gaya*, Géoconseil, Département de géographie, Université Abdou-Moumouni, Niamey.

GUERO A. (2003) *Etude des relations hydrauliques entre les différentes nappes du complexe sédimentaire de la bordure sud-ouest du bassin des lullemeden (Niger), Approche géochimique et hydrodynamique*. Travail de thèse, Université de Paris-Sud, Orsay.

KHAMIS H. (2003) *Etude préliminaire sur la qualité de l'eau dans le Dallol Maouri dans l'arrondissement de Gaya, Niger, et ses incidences sanitaires*. Projet RUIG, Genève. 29p.

JENSEN P.K. [et. al.] (2002) Domestic transmission routes of pathogens: the problem of in-house contamination of drinking water during storage in developing countries. *Tropical Medicine and International Health*, Volume 7, No. 7, p. 604-609, July 2002. Blackwell Science Ltd.

JENSEN P.K. [et. al.] (2004) Is there an association between bacteriological drinking water quality and childhood diarrhoea in developing countries? *Tropical Medicine and International Health*, Volume 9, No. 11, p. 1210-1215, November 2004. Blackwell Publishing Ltd.

LAMCO INGENIERIE (2005) *Projet de développement rural intégré de l'arrondissement de Dosso – marché de service pour la composante hydraulique villageoise de PDRI, Rapport de faisabilité*. Niamey. p.11-16

MANN H.T et WILLIAMSON D. (1979) *Water Treatment and Sanitation. A handbook of simple methods for rural areas in developing countries*. Intermediate Technology Development, London. 92p.

MAC DONALD A. [et al.] (2005) *Developing Groundwater : A guide for Rural Water Supply*. ITDG Publishing, Warwickshire. 358p.

MOTCHO KOKOU H. et SALLAH A. (date inconnue) *Enquêtes sanitaires dans l'arrondissement de Gaya*. Université Abdou Moumouni, Géoconseil, Niamey. 22p.

MUSY A. (2005) *Hydrologie générale*. Laboratoire d'Hydrologie et Aménagements (ISTE/HYDRAM). EPFL, Lausanne. Cours téléchargeable sous <http://hydram.epfl.ch/e-drologie>.

NICHOLS P. (1991) *Social survey methods: a fieldguide for development workers*. Oxfam, Oxford. 131p.

Organisation des Nations Unies, ONU (2005) *L'eau, source de vie 2005-2015*. UN Water. 20p.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, OMS (2003) *Stratégie de coopération de l'OMS avec les pays, République du Niger 2004-2007*. 72p.

PICKFORD J. (1991) *The worth of water: technical briefs on health, water and sanitation*. IT Publications, London. 132p.

PICKFORD J. (1995) Chapter 2 Sanitation and Health, p. 11-20. *In: Low cost sanitation: A survey of practical experience*.

REPUBLIQUE DU NIGER (1999) *Schéma directeur de mise en valeur et de gestion des ressources en eau du Niger*. Ministère de l'hydraulique et de l'environnement, Niamey.

REPUBLIQUE DU NIGER (2006) *Atlas annuel des ressources hydrauliques, Département de Gaya, Canton de Bana*. Ministère de l'hydraulique, de l'environnement et de la lutte contre la désertification, Direction des inventaires et de la gestion des ouvrages hydrauliques. Niamey.

REPUBLIQUE DU NIGER (2006) *Annuaire des statistiques sanitaires du Niger année 2005*. Ministère de la santé publique et de la lutte contre les endémies, Système national d'Information sanitaire SNIS. 103p. Annuaire à consulter sous www.snis.cermes.net.

SANTE CANADA (2004) *Recommandations pour la qualité de l'eau de boisson au Canada : Documentation à l'appui – Les virus entériques*. Bureau de la qualité de l'eau et de la santé, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario).

SCHMOLL O. et al (2006) *Protecting Groundwater for Health. Managing de Quality of Drinking-water Sources*. World Health Organization, IWA Publishing London. 663 p.

SUGDEN S. (2006) The Microbiological Contamination of Water Supplies. WELL Factsheet. www.lboro.ac.uk/well. 9p.

TUMWINE J.K. [et. al] (2002) Diarrhoea and effects of different water sources, sanitation and hygiene behaviour in East Africa. *Tropical Medecine and International Health, Volume 7, No. 9, p. 750-756, September 2002*. Blackwell Science Ltd.

UNEP/GRID-Arendal, *Proportion of population with improved drinking water supply in 2002*, Maps and Graphics Library, 2007, <http://maps.grida.no/go/graphic/proportion-of-population-with-improved-drinking-water-supply-in-2002>.

UNESCO-WWAP (2006) *L'eau une responsabilité partagée. 2^{ème} Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau*.

VILAND M. [et al.] (2001) *Eau et santé: Guide pratique pour les intervenants en milieu rural africain*. Programme Solidarité Eau, Edition du Gret, Paris. 109p.

WEGELIN M. (1991) *On-Site Sanitation: Building on Local Practice*. Occasional Paper Series, IRC International Water and Sanitation Centre, WHO Collaborating Centre, The Hague. 74p.

WHO (1984) *Low cost water supply and sanitation technology : pollution and health problems*. SEARO Regional Health Papers No. 4, New Dehli. 40p.

WHO (1997) *Guidelines for Drinking-water Quality*. Second Edition. Volume 3 Surveillance and control of community supplie. Geneva. 250p.

WHO (2000) *Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report*. World Health Organization, Geneva.

WHO (2003a) *Health and Environment in Sustainable Development, Five years after the Earth Summit*. World Health Organization, Geneva.

WHO (2003b) *Chloride in Drinking-water*. Background dokument for development of WHO Guidelines for Drinking-water quality. World Health Organization, Geneva. 9p.

WHO (2003c) *Nitrate and nitrate in Drinking-water*. Background dokument for development of WHO Guidelines for Drinking-water quality. World Health Organization, Geneva. 21p.

WHO (2004) *Guidelines for Drinking-water Quality*. Third Edition, Volume 1, Recommendations, Geneva.

WHO (2006) *Guidelines for Drinking-water Quality*. First addendum to third edition. Volume 1, Recommendations. Geneva. 494p.

WHO UNICEF - Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. www.wssinfo.org.

WRIGHT J. [et. al.] (2004) Household drinking water in developping countries: a systematic review of microbiological contamination between source and point-of-use. *Tropical Medecine and International Health*, Volume 9, No. 1, p.106-117, January 2004. Blackwell Publishing Ltd.

World Water Council, WWC, (2008) www.worldwatercouncil.org