

Qualité et vulnérabilité des ressources en eau souterraine du centre urbain de Ouagadougou au Burkina Faso

Suzanne Yameogo¹, Bernard Blavoux² et Alain N. Savadogo³.

Problématique

L'expansion non contrôlée de grandes métropoles africaines constitue de manière évidente une grave menace de pollution pour les eaux souterraines. L'absence d'infrastructures d'assainissement (présence de décharges, d'ordures, de latrines et fosses septiques non étanches) et l'inadéquation du système d'évacuation des eaux pluviales et usées font courir un risque important de contamination aux aquifères.

Face à cette situation préoccupante, l'UNESCO en partenariat avec le PNUE a initié le projet régional intitulé « *Urban pollution of superficial and groundwater aquifers in Africa* ». Ce projet avait, pour les métropoles retenues, une double ambition, d'une part créer un système de surveillance et produire des bulletins d'alerte sur l'évolution d'une pollution ainsi que des cartes de vulnérabilité, d'autre part vulgariser les résultats obtenus pour permettre aux décideurs, législateurs et gestionnaires des ressources de prendre des mesures adéquates pour combattre la pollution.

Cet article, dont on peut trouver les développements dans la thèse de doctorat de son premier auteur présente les principaux résultats obtenus pour la ville de Ouagadougou.

Contexte physique, géologique et hydrogéologique

Géographie générale

La ville de Ouagadougou est située au centre du Burkina-Faso dont elle est la capitale (Fig. 1). Comprise entre 1°28 et 1°36 de longitude ouest et 12°20 et 12°26 de latitude nord, elle est circonscrite actuellement dans un cercle de 15 km de rayon. Elle compte plus d'un million et demi d'habitants avec un taux de croissance de 7 à 10% par an.

La morphologie de l'agglomération est celle d'une pénéplaine à l'altitude moyenne de 300 m. Le relief est constitué par des buttes de cuirasses latéritiques au sud-ouest, à l'ouest et au nord (altitude 320 m). Les pentes sont faibles (1,5%) jusque vers les bas fonds. La cote la plus basse de 282 m correspond au lit du Massili au nord-est de la ville.

Ouagadougou connaît un climat de type soudano-sahélien caractérisé par l'alternance de deux saisons très contrastées, une saison des pluies, de juin à septembre et une saison sèche, longue de près de huit mois. Sur les dernières décennies, la ville a reçu en moyenne 700 mm de pluie.

L'essentiel des précipitations tombe en juillet et août, période pendant laquelle s'opère la recharge des nappes. Les températures moyennes mensuelles oscillent entre 26,6°C (minima d'août et janvier) et 33,1°C en avril. Les effets conjugués des fortes températures et des faibles humidités relatives engendrent une évapotranspiration potentielle très élevée de 1 900 mm qui soustrait des volumes d'eau importants aux lacs et barrages souvent aussi sollicités pour l'alimentation en eau potable.

Hydrologie et assainissement

La ville de Ouagadougou est drainée par des petits affluents du Massili. L'affluent principal qui traverse la ville est coupé par quatre **barrages collinaires**, le barrage de Boulmiougou au sud-ouest de la ville et les barrages de Ouaga 1, 2, et 3 qui se succèdent au nord et constituent le réceptacle d'une partie des eaux pluviales (Fig. 2). La retenue de Ouaga 3 participe à l'alimentation en eau potable de la ville.

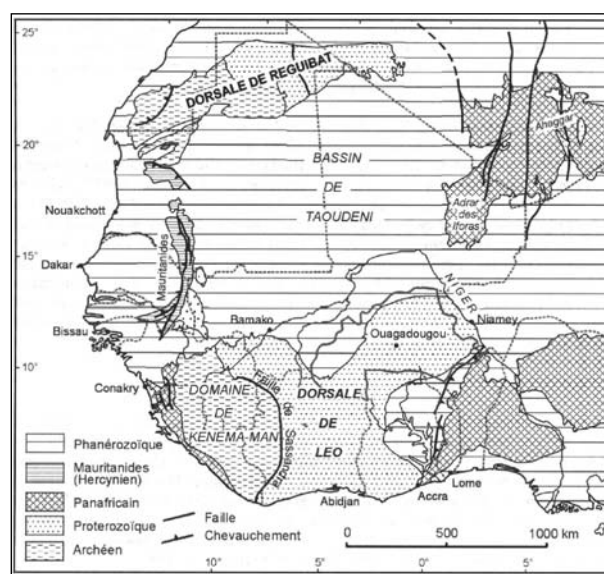


Figure 1. Situation générale de Ouagadougou dans le contexte géologique ouest-africain (Bessoles, 1977).

1. Laboratoire d'Hydrogéologie de l'Université de Ouagadougou, Burkina Faso. Courriel : suzanneyameogo@yahoo.fr

2. Laboratoire d'Hydrogéologie, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Faculté des Sciences, 33 rue Louis Pasteur F-84000 Avignon. Courriel : bernard.blavoux@gmail.com

3. Laboratoire d'Hydrogéologie de l'Université de Ouagadougou, Burkina Faso.

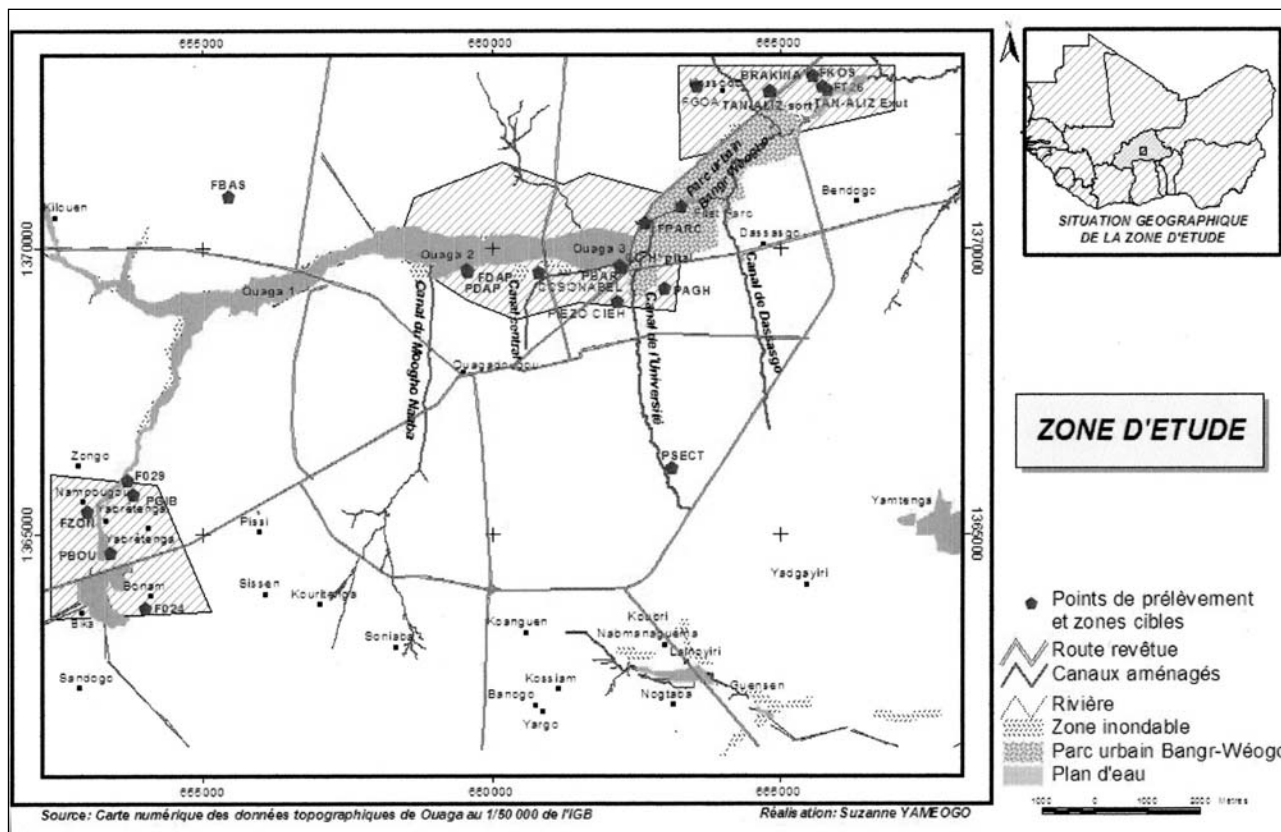


Figure 2. Équipements hydrauliques de Ouagadougou (source : Yameogo, 2008).

Avec l'urbanisation, les principaux marigots de la ville ont été aménagés en **canaux bétonnés** ce qui entraîne l'augmentation des superficies imperméables et accroît le ruissellement au détriment de l'infiltration. Quatre principaux canaux servent maintenant d'axes de drainage dans le bassin de Ouagadougou, le canal du Mogho Naaba qui alimente la retenue Ouaga 2, le canal central et celui de l'Université qui se rejoignent au niveau du parc urbain Bangr-Wéogho où ils se mêlent aux eaux usées de la zone industrielle et le canal de Dassassogho le plus à l'est.

Géologie et hydrogéologie de Ouagadougou

Ouagadougou est située dans une zone de socle cristallin et cristallophyllien du Paléo-Protérozoïque, affecté par de grandes fractures orientées NE-SW, NW-SE et N-S. Ces formations sont enfouies sous une épaisse couverture d'altération qui dépasse par endroits 40 mètres et dont le profil complet comprend une cuirasse latéritique alumino-ferrugineuse surmontant des altérites argileuses et les arènes grenues.

L'horizon sommital fait de cuirasse latéritique est entaillé par les rivières et donne lieu à une **nappe à surface libre** peu profonde (3 à 15 m) exploitée par des puits de grand

diamètre et des puisards (Fig. 3). Le suivi depuis 1978 du piézomètre du CIEH (Fig. 4) illustre bien les réactions saisonnières de cette nappe avec une remontée des niveaux début juillet pour un maximum en octobre, légèrement retardé par rapport à celui des pluies en août. On y observe aussi, de 1978 à 1985, l'enfoncement des niveaux engendré par la pluviométrie déficitaire. Ces aquifères constituent souvent des ressources en eau temporaires qui viennent à épuisement en fin de saison sèche (avril-mai) et deviennent avec l'urbanisation très vulnérables à la pollution.

Une **deuxième nappe** plus profonde est celle constituée par les arènes grenues et le socle cristallin fissuré et fracturé. Du fait de sa dominante argileuse, l'horizon d'arènes très fluentes et grenues résultant de l'altération de la roche originelle se caractérise par une porosité d'interstice significative et une perméabilité relativement faible. Lorsqu'il est saturé, cet horizon assure une bonne capacité de stockage des eaux souterraines au sein du système aquifère. Le socle est constitué de granite affecté, sur une épaisseur de plusieurs dizaines de mètres, par des fissures et injecté de filons de pegmatite qui augmentent sa productivité. Ce niveau a une fonction essentiellement conductrice. Il est atteint par la plupart des forages réalisés à Ouagadougou.

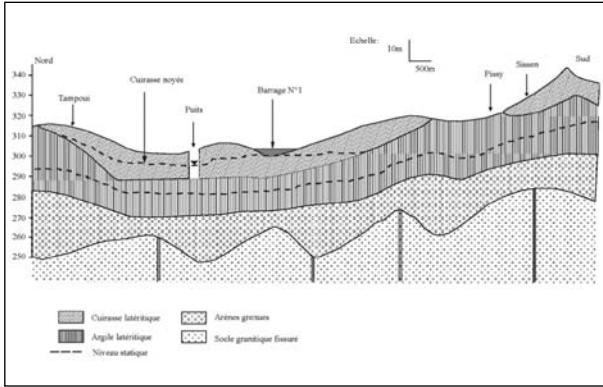


Figure 3. Coupe hydrogéologique du profil d'altération (source : Yameogo, 2008).

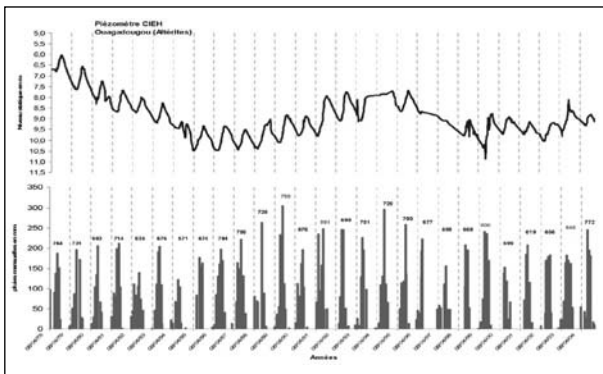


Figure 4. Piézométrie superficielle (source : Yameogo, 2008).

Une campagne d'hydraulique urbaine comportant 205 forages a montré que les débits de ces ouvrages sont bons pour ce type de milieu puisque 102 dépassent les 10 m³/h générés entre 46 et 66 m de profondeur (Fig. 5). Les transmissivités de l'aquifère profond sont intéressantes avec des valeurs comprises entre 0,3 et 6,5 10⁻³ m²/s. Les fluctuations saisonnières enregistrées sur quatre piézomètres profonds (Fig. 6) montrent l'hétérogénéité de leur comportement surtout en amplitude et attestent d'un milieu discontinu sans circulation générale, ce qui ne permet pas de lever une carte piézométrique.

Contexte hydrochimique

Il a été établi à partir des analyses chimiques de 184 échantillons prélevés dans les puits et les forages des zones cibles et de tous les secteurs et arrondissements de la ville.

Sur un diagramme de Piper (Fig. 7) les forages exploitant l'aquifère inférieur présentent un faciès bicarbonaté calcique et magnésien hérité de la seule hydrolyse des silicates, tandis que les puits de la nappe superficielle présentent un faciès chloruré et nitraté à tendance sodique

témoignant de pollutions domestiques et maraîchères. Lors du suivi réalisé sur les cycles hydrologiques 2003 et 2004 dans les zones cibles, les puits montrent des augmentations très importantes de leurs éléments anthropiques (NO₃, Cl, Na) dès le début de la saison des pluies avec un maximum en juillet-août alors que le maximum piézométrique ne se manifeste qu'en octobre, indiquant de ce fait un pluviollessivage initial et une dilution ultérieure.

Les minéralisations totales sont très variables, comme l'indiquent les conductivités électriques des eaux qui vont de 100 à 1300 µs/cm. Les conductivités au-delà de 350 µs/cm, élevées pour ce type de milieu, sont la conséquence des apports anthropiques de matière organique (excréta, ordures) et accusent une pollution par les chlorures et les nitrates. Elles correspondent à la très grande majorité des puits et quelques rares forages de la zone industrielle au nord-est de la ville.

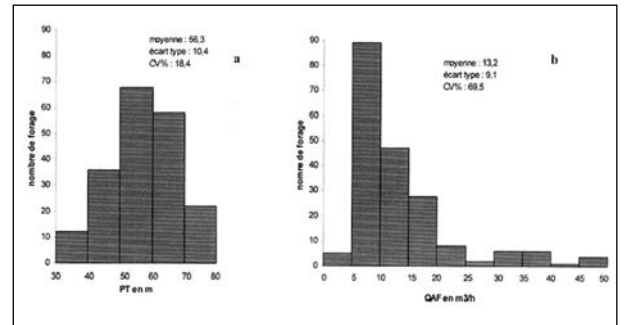


Figure 5. Profondeurs et débits des forages (source : Yameogo, 2008).

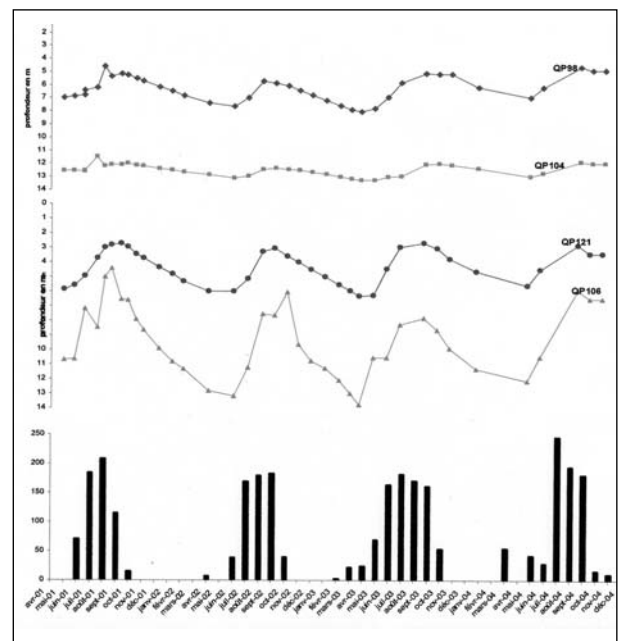


Figure 6. Piézométrie profonde (source : Yameogo, 2008).

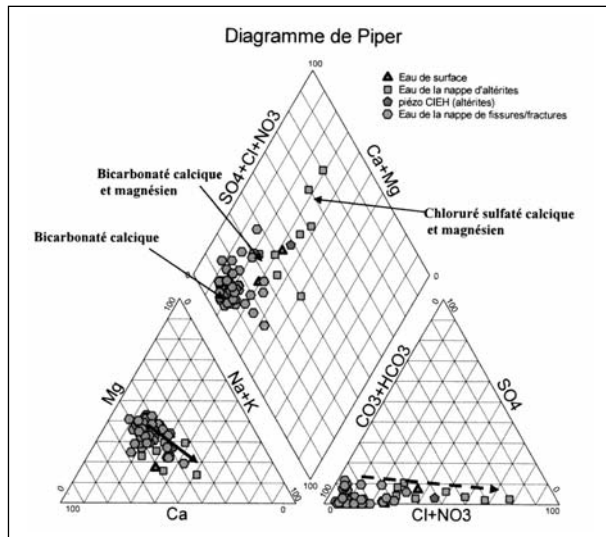


Figure 7. Faciès hydrochimiques reportés sur un diagramme de Piper (source : Yameogo, 2008).

Alimentation en eau de la capitale

Elle s'effectue surtout par le prélèvement d'eau de surface dans les retenues collinaires et les barrages, mais un appoint en eau souterraine s'avère nécessaire. Les statistiques montrent que :

- 8 % des ménages s'alimentent par des sources gratuites pendant toute l'année, soit le puits particulier, le puits du voisin, le puits ou le forage public et les barrages ;
- 72 % des ménages utilisent uniquement des sources d'AEP payantes, c'est-à-dire le branchement particulier privé et celui du voisin, la borne-fontaine, le revendeur d'eau et le forage ou la borne fontaine privée ;
- 20 % disposent d'une combinaison des deux catégories précédentes.

La consommation moyenne d'un habitant de Ouagadougou tributaire du réseau de distribution d'eau potable s'élève à plus de 400 l/foyer/jour. Ces chiffres très élevés cachent bien entendu une réelle disparité et une situation précaire pour une grande partie des « Ouagalais ». On estime les besoins domestiques à 50 l par jour et par habitant.

Les eaux de surface

Jusqu'en juillet 2004, l'alimentation en eau potable (AEP) était assurée à partir du barrage de Loumbila situé à 18 km au nord-est de la ville et des 3 barrages Ouaga 1, 2 et 3, communicants, orientés selon un axe Ouest-Est. D'une capacité totale de stockage de 41,3 Mm³, ces barrages offrent une réserve exploitable de 14,3 Mm³ en année normale (6,5 Mm³ en année sèche), ce qui était notoirement insuf-

isant face aux besoins domestiques de 50 l/jour d'une population de 1,5 million d'habitants, soit environ 27,5 Mm³/an. Mais la mise en eau, en 2004, du barrage de Ziga construit à 50 km à l'est de la capitale et d'une capacité de 200 Mm³ a permis d'améliorer l'accès de plus de 500 000 nouveaux abonnés de la ville et devrait couvrir les besoins jusqu'en 2015.

Les eaux souterraines

Environ 500 forages dans la nappe profonde contribuent à l'AEP et permettent de mobiliser au mieux 17,5 Mm³/an, mais seulement 6,5 Mm³ en année sèche. De plus, 1 800 puits ont été inventoriés dans les concessions qui prélèvent dans l'aquifère superficiel, ce qui correspond à 1 000 à 1 500 m³/j suivant les besoins.

L'ONEA⁴ gère plus de 100 forages productifs sous forme de postes d'eau autonomes (pompes immergées avec réservoir en élévation et rampe de distribution) et de postes d'injection d'eau. Par ailleurs, les habitants des quartiers périphériques utilisent environ 150 forages équipés de pompes à main, issus pour la plupart de projets d'hydraulique urbaine. Il existe 108 forages totalement privés dont 41 avec une exhaure motorisée.

La contribution des eaux souterraines à l'alimentation en eau potable de la collectivité serait réduite à ce jour à 12%. Elle s'élevait à 60% avant la mise en service du barrage de Ziga et ce taux devrait encore baisser. Mais l'appoint des eaux souterraines reste indispensable en raison de son accessibilité dans les zones périphériques de la ville et parce que l'utilisation des retenues de surface est d'avantage sujette aux aléas climatiques et plus vulnérable aux pollutions diverses, dont l'eutrophisation.

La pollution de l'aquifère superficiel

Les teneurs en nitrate ont été mesurées au cours d'une campagne conduite en 2004 sur 1 800 puits de l'agglomération de Ouagadougou, puits dont la localisation précise a été obtenue à l'aide d'un GPS. Concentrations et distances entre les puits ont fait l'objet d'un traitement statistique en vue de caractériser la structure spatiale des teneurs en nitrate avant d'établir une carte de leur distribution. L'histogramme des concentrations (Fig. 8) montre que 55% des puits recensés présentent des valeurs supérieures à 50 mg/l, norme de potabilité OMS, et que 29% ont même des valeurs supérieures à 100 mg/l.

Le variogramme (Fig. 9) fait apparaître une structure emboîtée avec une première portée à courte distance de 350 m et une seconde portée à une échelle plus vaste de 2 400 m environ. Après avoir atteint ce palier de semi

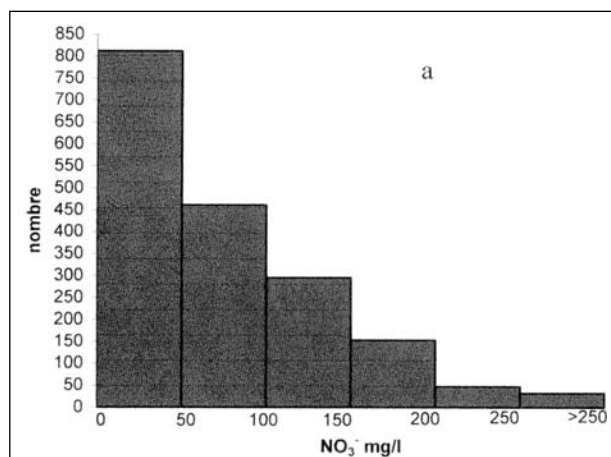


Figure 8. Histogramme des nitrates (source : Yameogo, 2008).

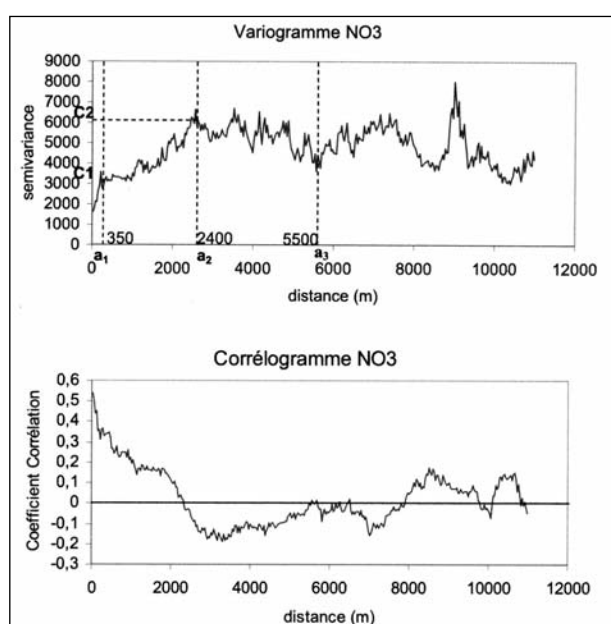


Figure 9. Analyses statistiques. Variogramme et corrélogramme NO₃ (source : Yameogo, 2008).

variance maximale, la variabilité diminue lentement jusqu'à 5 500 m. Cette structure peut s'expliquer par deux mécanismes responsables des variations des teneurs en nitrate :

- un premier mécanisme local probablement lié à la présence de latrines ou d'autres sources de pollution telles que l'aménagement des espaces verts (jardins), les sites de maraîchage (zone de culture), les ordures ménagères ;
- un deuxième mécanisme beaucoup plus général et/ou microrégional, probablement lié aux caractères physiques et au comportement hydrodynamique de l'aquifère, avec des phénomènes de dilution, de dispersion, de dénitrification.

Le corrélogramme simple (voir figure 9) montre un coefficient d'autocorrélation moyen à faible distance

(0,54 entre 0 et 35 m pour 1 022 couples de points). Il décroît rapidement avec la distance, et s'annule vers 2 300 m pour devenir négatif jusqu'à 5 500 m.

Ce type de variations avec des coefficients de corrélation rapidement négatifs et une semi variance qui diminue après avoir atteint une valeur maximale, est caractéristique de structures en taches en accord avec l'hydrodynamique de socle en poches et l'absence de circulation générale.

La carte, élaborée à partir de l'analyse spatiale d'ArcView (Fig. 10), illustre cette distribution en taches des nitrates dans l'aquifère supérieur. Elle met en évidence les zones les plus affectées par la pollution, Centre sud, Nord-est et Nord-ouest.

La vulnérabilité de l'aquifère inférieur

L'élaboration d'une carte de vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère inférieur des arènes grenues et du socle prend en compte deux paramètres physiques naturels qui conditionnent l'acheminement d'une pollution de surface, à savoir la fracturation du milieu et l'épaisseur de la zone non saturée. Les fractures assurent un acheminement rapide quand l'épaisseur de la zone non saturée est faible. La zone non saturée a un rôle inverse de rétention notamment quand son épaisseur est très importante.

Dans un premier temps une carte de densité de fracturation a été réalisée à partir de la carte des alignements morphostructuraux (linéaments) à l'échelle du 1/50 000 (maille carrée de 2 km). Les longueurs cumulées des linéaments dans chaque maille constituent un poids affecté au centre de chaque maille qui correspond à la densité de fracturation.

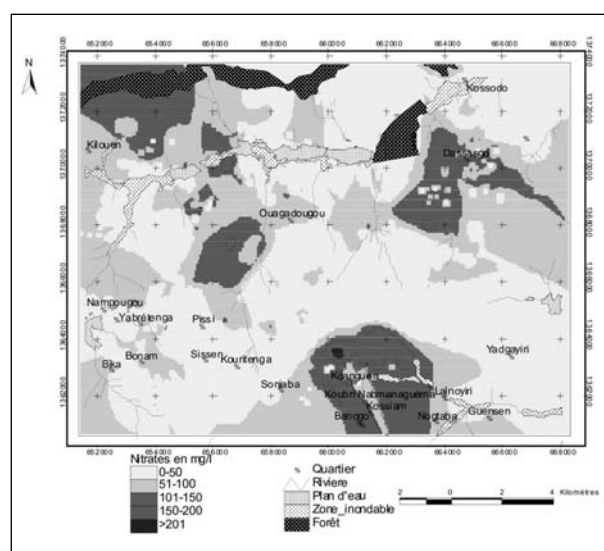


Figure 10. Carte nitrates (source : Yameogo, 2008).

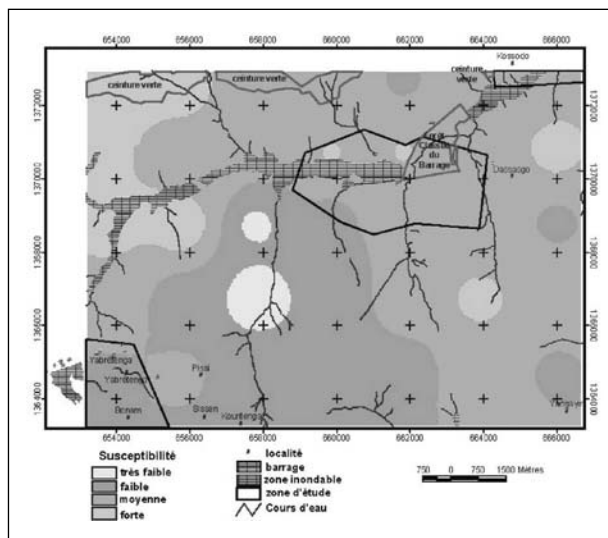


Figure 11. Carte de vulnérabilité (source : Yameogo, 2008).

Dans un deuxième temps, les niveaux statiques des ouvrages profonds ont été mesurés et pris en compte pour élaborer la carte de profondeur de la nappe par interpolation des profondeurs mesurées. Ce paramètre est aussi important car il représente l'épaisseur de la zone non saturée.

L'intégration et la combinaison des deux cartes à l'aide du logiciel ArcView a permis de calculer des indices de susceptibilité à la pollution qui ont été regroupés en quatre classes (Fig. 11). Les classes « très faible et faible » n'occupent que 20 % de la superficie de la ville au centre et au centre sud. La classe « moyenne » occupe près de 65% de la zone d'étude dans la partie nord, le secteur est et le sud-est de la ville. La classe « forte » ne représente que 15% de la zone d'étude et se rencontre en taches au nord-est, au sud-est, autour du barrage Ouaga2 et à proximité du Parc urbain Bangr-Wéogho et de façon plus étendue au nord-ouest de la ville dans un secteur qui possède peu de points de suivi et mérite une attention particulière.

Cette ébauche de la carte de susceptibilité à la pollution pourra évoluer avec d'autres paramètres hydrogéologiques pris en compte dans le futur et constituer un outil de référence très pertinent pour la prévention de la pollution des eaux souterraines profondes de Ouagadougou. La carte de distribution des nitrates dans l'aquifère supérieur des altérites constituera la carte des risques lors de l'élaboration d'une carte de vulnérabilité de l'aquifère profond.

Conclusion et recommandations

Une première et bonne connaissance des ressources en eau de l'agglomération de Ouagadougou et de leur qualité a ainsi été acquise.

L'hydrodynamique de socle cristallin avec une configuration en poches plus ou moins discontinues n'autorise pas de circulation générale des eaux souterraines si bien que la pollution est plus marquée à l'échelle locale par l'environnement immédiat de chaque ouvrage. Il s'en suit une distribution des polluants en taches avec une forte variabilité, ce qui va compliquer et multiplier les mises en place de dispositifs de suivi et d'alerte.

Les puits peu profonds qui captent la nappe des altérites et tout particulièrement ceux qui sont dans l'environnement immédiat des latrines, des fosses septiques et des eaux usées sont fortement pollués par les nitrates et souillés par des germes fécaux (contrôles de 2003-2004). Ils constituent un risque important pour la santé de la population la plus défavorisée qu'ils alimentent encore en grand nombre. Il est donc recommandé d'amplifier les campagnes d'information et d'encourager les propriétaires de puits à utiliser pour leurs besoins domestiques l'eau des bornes fontaines de meilleure qualité. Il faudrait peut-être réglementer la construction de nouveaux puits en respectant une distance minimale puits - latrine de 50 m, mais la superficie des parcelles dépasse exceptionnellement 300 m² et la meilleure solution serait de construire des latrines étanches et vidangeables.

Les forages profonds sont encore peu atteints par cette pollution de surface sauf dans la zone industrielle au NE de la ville (tannerie et brasserie). Il faudrait donc aussi interdire ou réglementer les activités polluantes autour des ouvrages de captage et mettre en place des périmètres de protection. Sur un plan communautaire pour combattre la pollution, il faudrait installer dans chaque secteur de la ville des bacs pour les ordures ménagères qui ne seront plus drainées par les canaux à ciel ouvert et envisager des travaux d'assainissement collectif dans le respect des normes internationales. La carte de vulnérabilité de l'aquifère inférieur en permettant de définir des priorités serait d'un intérêt économique, écologique et sécuritaire évident pour la population urbaine.

Référence

- Ouandaogo-Yameogo S., 2008 : « Ressources en eau souterraine du centre urbain de Ouagadougou au Burkina Faso. Qualité et vulnérabilité ». Thèse de Doctorat de l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, spécialité Hydrogéologie, soutenue le 28 novembre 2008 à Avignon.