

La surexploitation de la nappe profonde du socle au Burkina Faso : l'exemple de Ouahigouya. Vers une catastrophe annoncée

A. Babine¹, H. Sanfo², A. Hébié¹, S. Nakolendousse¹, M. Dzikowski², D. Brondel³ et G. Nicoud³.

Face à la difficulté d'approvisionner en eau potable par AEPS (Adduction d'Eau Potable Simplifiée) les 37 villages ruraux de la commune de Ouahigouya, la coopération décentralisée Chambéry-Ouahigouya a décidé en 2015 de réaliser un état des lieux exhaustif des ouvrages et de l'exploitation des eaux souterraines sur le territoire communal. Il en est ressorti, d'une part, qu'un grand nombre de forages échappe à la connaissance du Service des eaux de la commune gestionnaire en raison d'un trop grand nombre d'opérateurs intervenant en solitaire et d'autre part, que ces forages profonds exploitent une nappe de socle sans qu'aucune étude d'impact quantitatif sur la ressource ne soit réalisée. Ainsi, des premières études ont débuté en collaboration avec l'université Joseph Ki-Zerbo de Ouagadougou afin de connaître les véritables ressources souterraines exploitées et à disposition de la commune pour mieux orienter les investissements. Ces études visent à satisfaire les objectifs du Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et Assainissement qui impose une AEPS par village. Plus spécifiquement, les données acquises et actualisées sur la nappe du socle exploitée depuis une trentaine d'années permettent d'approcher son fonctionnement et sa productivité limitée.

Données et méthode

Toutes les mesures de terrain ont été acquises par 3 étudiants de Master en Hydrogéologie de l'université Joseph Ki-Zerbo : A. Babine, H. Sanfo et A. Hébié, sous la direction du professeur S. Nakolendousse et l'encadrement de D. Brondel et G. Nicoud de Chambéry Solidarité Internationale. D'importants moyens financiers et logistiques ont été nécessaires pour chacune des missions comportant 4 mois de terrain.

En 2016, en saison sèche, un inventaire exhaustif de tous les ouvrages prélevant en nappe profonde du socle et en nappes superficielles des alluvions et de la cuirasse ferrugineuse a été dressé sur l'ensemble des 37 villages ruraux de la commune. Chaque ouvrage a été visité, localisé et nivelé à l'aide d'un GPS différentiel. La mesure de la longueur des forages et de la profondeur de l'eau a nécessité le démontage puis le remontage des pompes à motricité humaine (PMH) par un artisan de maintenance.

228 forages exploitant réellement la nappe du socle et 1721 puits traditionnels et modernes prélevant l'eau des nappes superficielles ont été reconnus et fichés. Chaque ouvrage a fait l'objet d'un relevé géologique. Une courte campagne en octobre 2016 a permis de réaliser 8 essais de pompage par paliers stabilisés et des prélèvements pour analyses physico-chimiques et isotopiques. Il existe une forte disparité dans la répartition des forages : 0 à Ramesse (2500 habitants) ou 1 à Risci pour 600 habitants, une AEPS à Somiaga accompagnée d'un forage par soixantaine d'habitants. Les résultats de cette première mission sont consignés dans les mémoires de A. Babine (2016) et H. Sanfo (2018). Cette importante étude hydrogéologique a été financée par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse et par Chambéry Métropole avec la participation de la commune de Ouahigouya.

En 2019, deux campagnes de mesures piézométriques en basses eaux (avril-mai) et en hautes eaux (septembre) ont concerné un réseau piézométrique simplifié de 43 forages profonds et 42 puits traditionnels (voir photo 1 en fin d'article) répartis sur l'ensemble des villages ruraux, accompagnées d'analyses physico-chimiques et bactériologiques. Les résultats ont constitué le mémoire d'A. Hébié (2020). Le financement a été assuré par Chambéry Métropole et la commune de Ouahigouya.

De ces données fiables actualisées, nous avons, entre autres, déterminé les caractéristiques des écoulements de la nappe du socle, les zones d'infiltration, les battements saisonniers de la nappe, pour évaluer sa recharge et son évolution piézométrique. Cela nous a conduit à nous interroger sur sa pérennité, en l'absence de recharge significative eu égard aux volumes prélevés (Machard de Gramont H. *et al.*, 2017 ; Romenont E. *et al.*, 2019).

Région d'étude

La province du Yatenga, dont le chef-lieu est Ouahigouya, occupe la partie septentrionale du Burkina Faso, délimitée par la frontière malienne proche de Mopti (Fig. 1). La commune urbaine de Ouahigouya, riche de 37 villages ruraux, dépasse 140 000 habitants dont 55 000 villageois. Elle est distante de 180 km de la capitale Ouagadougou plus au sud. Le climat de type sahélo-soudanien est caracté-

1. Laboratoire des Géosciences et Environnement (LAGE) Université Joseph Ki-ZERBO, Ouagadougou.

2. Laboratoire EDYTEM Campus Scientifique de Savoie Technolac 73376 Le-Bourget-du-Lac Cedex.

3. Courriel : gnicoud@live.fr

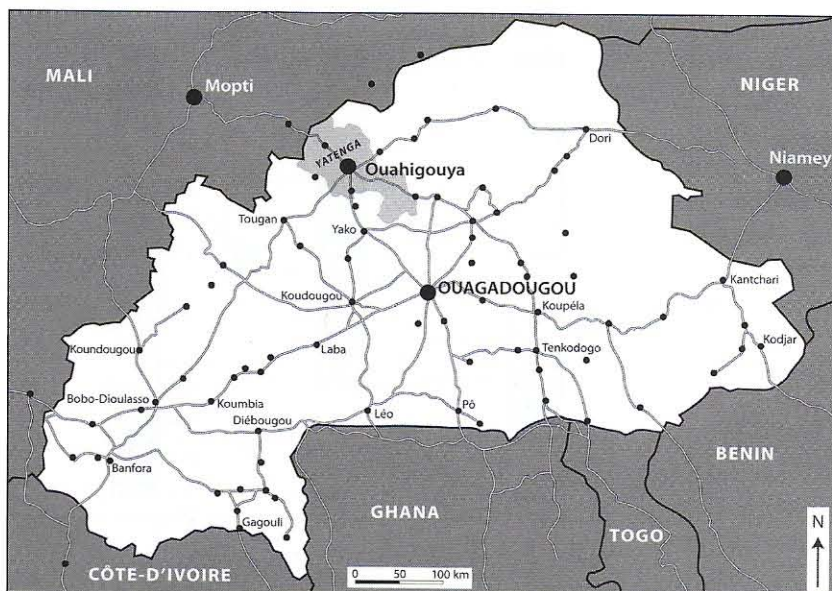


Figure 1. Localisation géographique de la commune de Ouahigouya.

térisé par l'alternance de deux saisons contrastées, l'une sèche de 9 mois accompagnée des vents secs et chauds de l'harmattan avec des températures moyennes mensuelles dépassant 33°C en avril et mai et une autre, humide, de juillet à septembre, avec une pluviométrie moyenne de 650 mm au cours des 50 dernières années. Des années peuvent être très déficitaires, avec moins de 400 mm comme de 1982 à 1985. Au contraire, les années 2015 à 2019 sont plutôt excédentaires, avec une moyenne de 940 mm.

Le relief peu marqué, est relativement diversifié avec bas-fonds, plateaux, buttes cuirassées tabulaires et collines au nord, avec des altitudes variant de 370 à 300 m. Le réseau hydrographique est composé d'un ensemble de marigots temporaires alimentés par les pluies et s'écoulant du nord-ouest vers le sud-est, drainé par la rivière Sanba, affluent de rive droite du Nakambé (Fig. 2). Deux barrages de plus de 2 Mm³ chacun contribuent à l'alimentation en eau de la ville centre. La végétation est dominée par une savane arbustive et des steppes arborées devenues des zones d'élevage extensif. Une agriculture maraîchère est dynamique dans les bas-fonds, utilisant l'eau des nappes superficielles. Dans les villages ruraux, la consommation d'eau est précisément estimée à 12 l/j/habitant, hors abreuvement du bétail et arrosage.

Hydrogéologie du socle altéré

La géologie

La province du Yatenga comprend deux unités lithostratigraphiques. La première, qui couvre les 3/4 de la

surface, est un vieux socle birrimien à éburnéen, cristallin à cristallophyllien (granite, granodiorites, gneiss, mica-schistes, filons quartzeux), de schistes, de matériaux volcano-sédimentaires et volcaniques de même âge. La seconde est une couverture sédimentaire grésocalcaire précambrienne à tertiaire, conservée au nord dans le bassin tectonique du Gondo.

Le territoire communal de Ouahigouya est entièrement disposé sur le socle constitué ici de schistes volcano-sédimentaires pour près de 40% de sa superficie, de granites et associés pour 30% et de roches vertes disposées au nord et nord-est pour le reste (Fig. 3).

Les affleurements de socle sont rares et très discontinus. D'épaisses altérites se sont développées depuis 600 millions d'années, favorisées par la fracturation, les intrusions filoniennes et le climat (Fig. 4).

C'est dans ces altérites que se développent deux

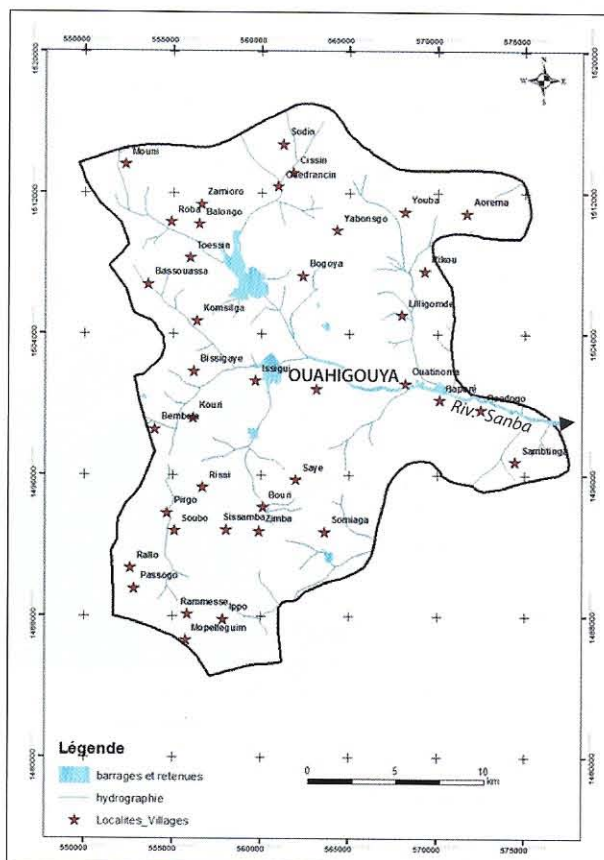


Figure 2. Carte hydrographique de la commune de Ouahigouya.

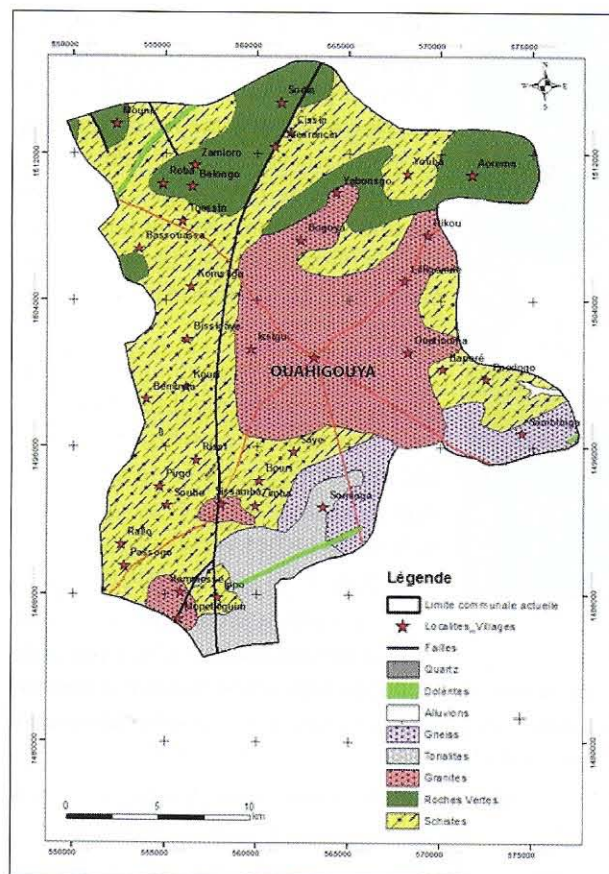


Figure 3. Carte géologique actualisée de la commune de Ouahigouya (d'après Babine A. et Sanfo H, 2016).

horizons aquifères superposés (Fig. 5) :

- le premier en profondeur, souvent entre 50 et 80 m, est représenté par des altérites grossières sablo-caillouteuses issues de la décomposition chimique du socle et par le socle fissuré ou fracturé en cours de décomposition. L'épaisseur de cet ensemble varie de 5 à 30 m ;
- le second est superficiel. Il repose sur 20 à 50 m d'argile latéritique imperméable et est constitué de matériaux ferrugineux conglomérés en une cuirasse épaisse de quelques mètres à plus de 20 m. Des alluvions métriques limono-sableuses à cailloutis occupent les bas-fonds.

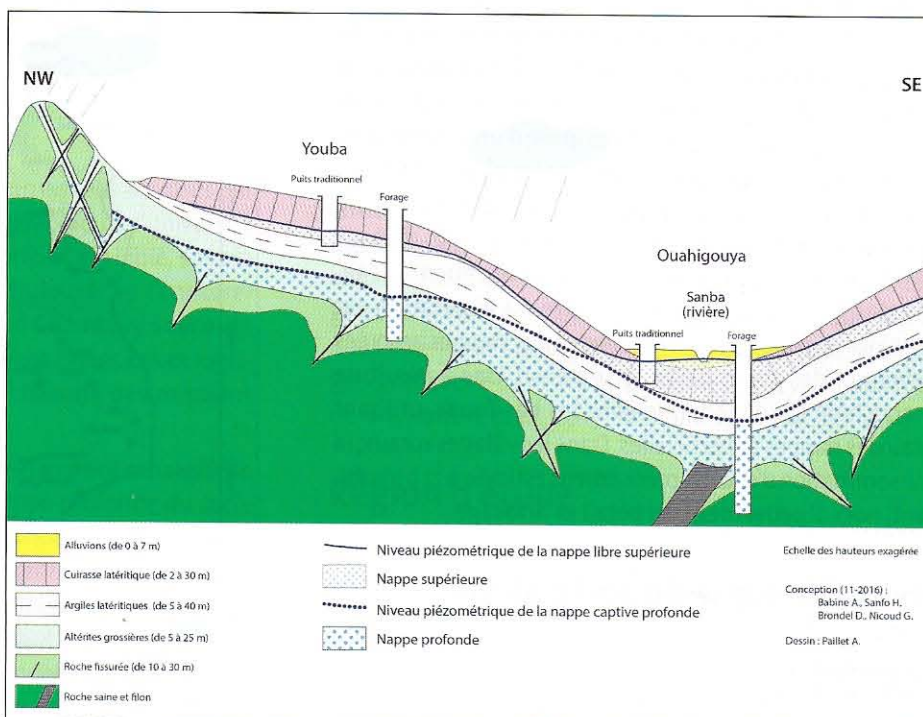


Figure 5. Coupe hydrogéologique schématique au travers de la commune de Ouahigouya.

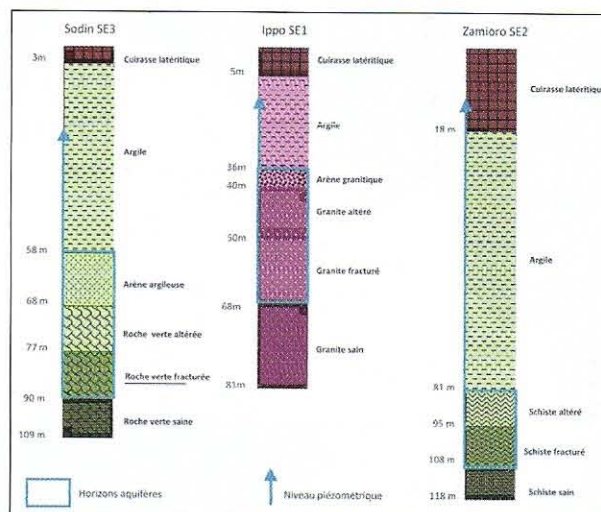


Figure 4. Exemple de coupes de forages.

Les eaux souterraines profondes

Nous ne traitons ici que celles contenues dans l'aquifère profond pour composer la nappe du socle ou nappe profonde par opposition aux nappes superficielles des alluvions ou de la cuirasse. La carte piézométrique réalisée en 2016 à partir de 231 forages fournit des enseignements nombreux et précieux (Fig. 6 et 7) que nous allons détailler.

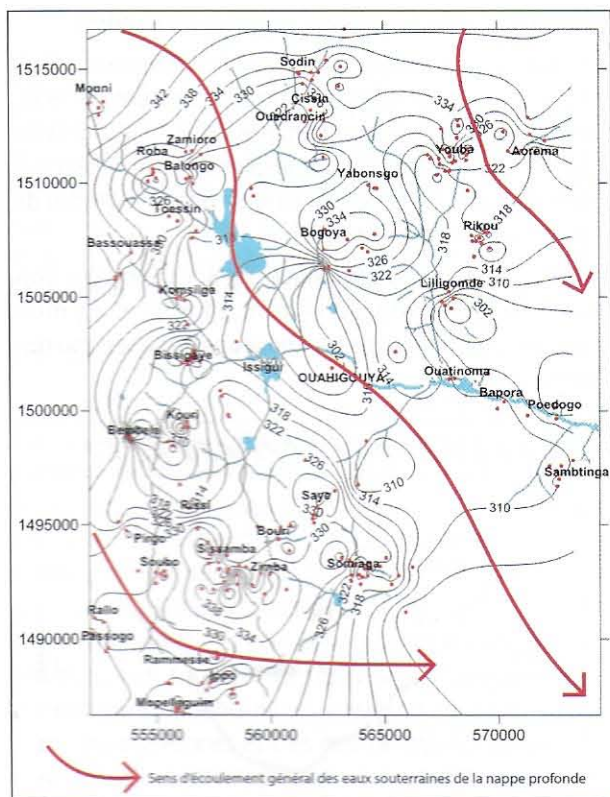


Figure 6. Carte piézométrique de la nappe profonde à Ouahigouya en fin de saison sèche (Babine, 2016).

Une piézométrie fortement impactée par les prélèvements

L'écoulement général se fait du nord-ouest (Mouni) vers le sud-est (Sambtinga), suivant l'axe de drainage des bas-fonds, avec un gradient très faible de 0,05 %. La direction générale de l'écoulement est fortement perturbée. En effet, la surface piézométrique dessine un ensemble de dômes et dépressions piézométriques. Le positionnement des dômes piézométriques correspond à l'affleurement ou à des hauts fonds du socle plus résistant. Le cœur des dépressions correspond aux secteurs d'exploitation de la nappe par forages. Ces dépressions piézométriques subcirculaires traduisent une surexploitation de la ressource en eau souterraine qui conduit à un rabattement atteignant 10 m à Bassouassa, Toessin ou Balonga, 13 m à Lilligonde et Ouatinoma, 22 m à Bembela ou

Bissiguaye et plus de 25 m dans la ville centre de Ouahigouya. À ce titre, la zone d'influence des pompes motorisées de la ville centre impacte près de la moitié du territoire communal, affectant de ce fait les PMH (pompes à motricité humaine) d'une dizaine de villages proches. Les débits extraits dans la nappe profonde à l'aide des PMH sont de l'ordre de 1 000 m³/jour au total. Par comparaison, il s'en extrait quotidiennement 10 fois plus dans les nappes superficielles. Malgré ce modeste débit prélevé dans les villages, la nappe du socle est fortement impactée, témoignant d'apports insuffisants. Quelques forages mal réalisés prélèvent concomitamment (ou sciemment) les nappes profonde et superficielle, en particulier dans la ville centre.

Une surface d'alimentation limitée

L'alimentation de la nappe profonde se limite uniquement aux zones de substratum affleurant ou sub-affleurant, principalement depuis les collines de roches vertes au nord et à l'ouest de la commune (Mouni, Sodin). Plus localement, les pointements du socle fissuré permettent une infiltration favorisée par la présence d'intrusions filoniennes. La présence assez générale d'une couche d'argile latéritique imperméable interdit toute alimentation verticale dès lors qu'elle dépasse plusieurs mètres. Il en résulte qu'aucune interaction entre les écoulements superficiels des marigots et la nappe profonde n'est relevée cartographiquement. Cette nappe profonde est donc très largement captive sur l'ensemble du

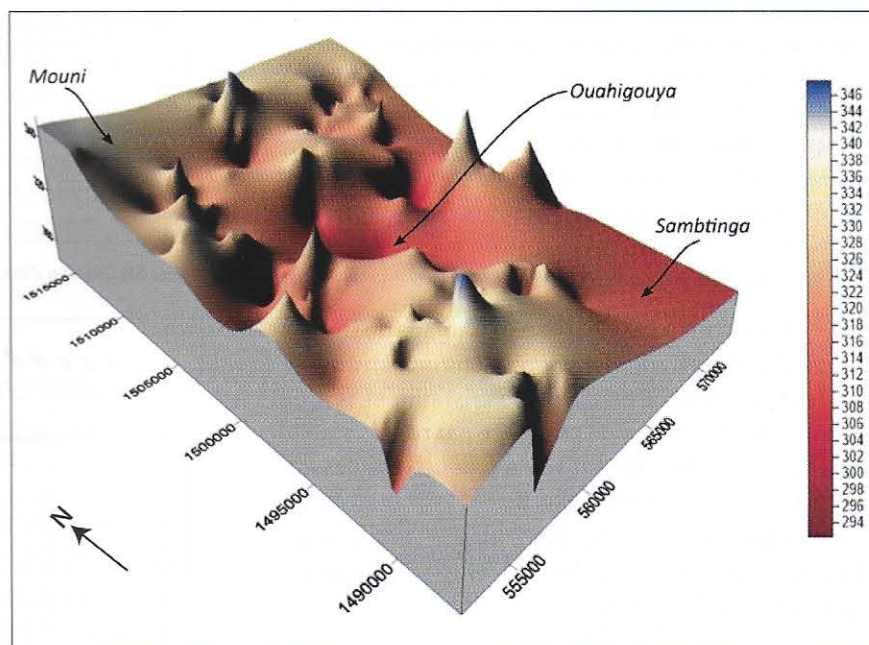


Figure 7. Bloc diagramme de la surface piézométrique de la nappe profonde en fin de saison sèche (Babine A., 2016).

territoire, mais jamais artésienne, même dans l'axe des bas-fonds. À Zamioro par exemple, l'aquifère de schistes altérés est rencontré entre 81 et 108 m de profondeur. L'eau remonte jusqu'à 15 m du sol.

Les battements saisonniers ont été particulièrement appréciés lors des campagnes de 2019. À la suite d'une pluviométrie favorable de 940 mm, la nappe du socle s'est rechargée globalement partout. Toutefois, c'est à proximité des zones d'alimentation que se localisent les plus fortes élévations piézométriques qui atteignent 4 m voire 5 m au nord (Mouni), au nord-est (d'Aorema à Poedogo) et à l'est (Bembela). Par contre, suivant l'axe drainant majeur NW-SE passant par la ville centre, la recharge ne se traduit que par une élévation du niveau piézométrique de 2 m. Il en est de même pour le secteur méridional.

Une ressource non renouvelée

Les variations interannuelles de 2016-2019 révèlent l'accentuation de la baisse des niveaux piézométriques. À la fin de la saison sèche 2019, et par rapport aux relevés correspondants de 2016, sur 3 années, l'abaissement de la nappe du socle est général. 20 sur 37 ouvrages ont enregistré un déficit. Au minimum de 0,3 m, cet abaissement peut atteindre 5 m à Issigui, Baporé et Zimba de part et d'autre de la ville centre. Il témoigne d'une exploitation excessive de la nappe au niveau de la ville centre de Ouahigouya où des forages profonds sont implantés dans les quartiers périphériques pour éviter d'allonger le réseau d'adduction communal alimenté par les barrages. Une stabilisation, voire une légère amélioration de la piézométrie, est constatée au nord-ouest entre Sodin, Mouni et Bassouassa allant de 0,11 m (Bassaouassa) à 4,18 m (Roba), en zone d'infiltration principale, résultant d'une pluviométrie favorable. 9 des 17 ouvrages sur lesquels il y a eu une infiltration efficace, sont situés en amont de la principale retenue d'eau de la commune.

Une productivité médiocre

La répartition des forages est à l'image du contexte géologique ; 55% sont implantés dans un substratum schisteux altéré, 30% en domaine cristallin et 15% en roches vertes. Des essais de pompage par paliers stabilisés sur 4 heures renseignent sur la productivité des différentes catégories de socle (Fig. 8) :

- en domaine schisteux (Fig. 8a), à Issigui, aucune stabilisation n'est obtenue à 0,8 m³/h. Le rabattement dépasse 54 m pour un débit de 1,1 m³/h ;
- en domaine de roches vertes (Fig. 8b), à Mouni, 3 paliers ont été obtenus à 1 m³/h, 2 m³/h et 3,5 m³/h avec un rabat-

tement de 16 m. À 5 m³/h, la nappe s'est effondrée ;

- en domaine granitique, à Rikou, deux paliers sont acquis à 0,9 m³/h et 1,8 m³/h avec un rabattement de 16 m, pour une colonne d'eau restante de 25 m. Au-delà de 2,5 m³/h, le niveau s'effondre de plus de 40 m. À Risci, au-delà du palier à 0,8 m³/h, la nappe s'effondre de plus de 32 m pour un débit de 1 m³/h ;
- en domaine granito-gneissique (Fig 8c), à Somiaga, trois paliers ont été réalisés à 1,5 m³/h, 2,7 m³/h et 4,3 m³/h avec un rabattement de 15 m pour une tranche d'eau restante de 21 m.

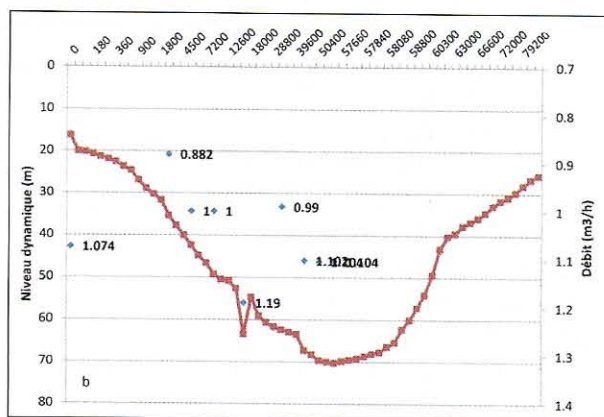


Figure 8a. Graphes d'essais de pompages : Issigui (Schistes).

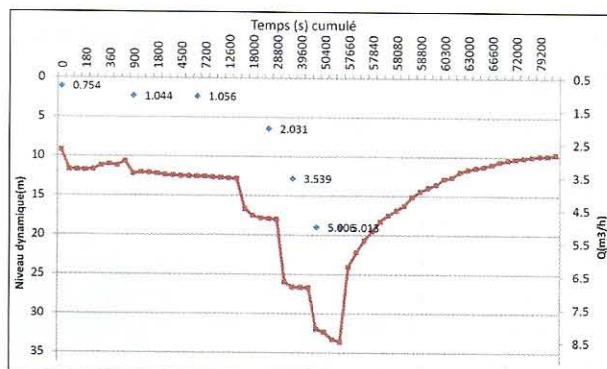


Figure 8b. Graphes d'essais de pompages : Mouni (Roches vertes).

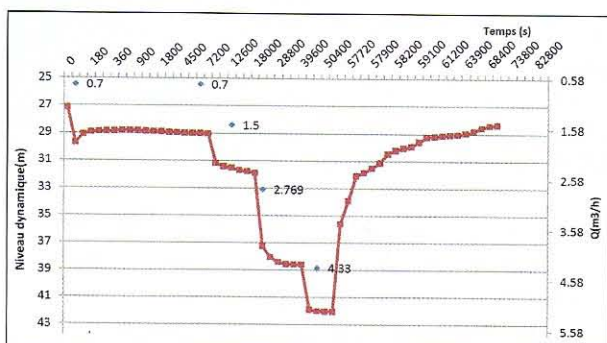


Figure 8c. Graphes d'essais de pompages : Somiaga (Granito-gneiss).

Ainsi, les aquifères issus des roches vertes et des socles granito-gneissiques présentent les meilleurs potentiels pour installer des AEPS. Et ce, surtout si les sites se trouvent à faible distance des affleurements rocheux où se réalise l'infiltration. Il est remarquable de constater que les débits testés avec paliers stabilisés sont bien inférieurs à ceux « vendus » lors de la mise en eau des forages et qui figurent dans les statistiques officielles et sont utilisés par nombre de publications scientifiques.

Des eaux anciennes

La température de la nappe du socle varie peu autour de 32°C. Les pH mesurés varient de 7,2 à 7,9 en périodes de hautes eaux pour dépasser 8 à 8,7 en basses eaux (Rikou, Mouni, Issigui), quelle que soit la roche-mère. Les eaux sont partout agressives, induisant une importante corrosion sur les colonnes d'eau métalliques. Les conductivités électriques atteignent 500 µS/cm sur schistes (Issigui), 330 µS/cm sur roches vertes et moins de 200 µS/cm sur granites. Les eaux sont moyennement minéralisées, bicarbonatées calciques, sodiques, faiblement magnésiennes et très peu sulfatées. L'arsenic, élément indésirable, est très largement présent en domaines schisteux et cristallin, au-dessus de la norme recommandée de 10 µg/L. Quelques analyses des teneurs en tritium, réalisées à l'université d'Avignon à la suite des essais de pompage d'octobre 2016, font ressortir son absence (activité inférieure à 0,5 UT) en nappe du socle pour les ouvrages distants des zones d'infiltration. Par contre à Mouni, dans les collines de roches vertes où s'effectue l'essentiel de l'infiltration, une teneur faible de 0,7 +/- 0,4 UT est relevée. Par comparaison, la nappe superficielle des alluvions de la rivière Sanba a une teneur de 3,7 +/- 0,5 UT, conforme à celle des eaux de pluie. Ces résultats témoignent de la très lente circulation des eaux souterraines de la nappe du socle et de son ancienneté certaine. L'eau exploitée par les forages profonds est une eau « fossile » à l'échelle d'une génération humaine.

Conclusion

Les études hydrogéologiques conséquentes et inédites conduites en 2016 et 2019, basées sur des mesures précises de terrain, fournissent de précieuses connaissances sur la nappe du socle (caractéristiques géométriques de l'aquifère, mode d'écoulement des eaux souterraines, zones de recharge ou âge des eaux) mais aussi sur l'impact des nombreux forages d'exploitation et la pérennité de la ressource. Cette nappe profonde est contenue dans les altérites grossières du socle fissuré et affecté de filons divers. D'épaisseur décimétrique, le réservoir

est très largement recouvert par une puissante couche d'altérites argileuses elle aussi décimétrique, rendant impossible toute infiltration verticale, imposant un régime captif à la nappe. La nappe est libre dans les seuls secteurs d'affleurement du socle. (... qui sont également ses zones de recharge.)

Dans le détail, l'épaisseur du réservoir est excessivement variable, en fonction des états de fracturation du socle et de son altération. De nombreux hauts fonds apparaissent, créant de multiples aquifères secondaires anastomosés, obligeant à un écoulement en « tresses ».

Les cartes piézométriques montrent un écoulement du nord-ouest vers le sud-est, avec un très faible gradient, affecté par des dépressions marquées en zones de prélèvements réalisés pour alimenter la ville centre de Ouahigouya. Ces pompages sont tels que la dépression piézométrique dépasse 25 m sous la ville centre, affectant les territoires ruraux avoisinants. Elle s'est encore abaissée de plus de 1,5 m ces 3 dernières années malgré une pluviométrie excédentaire par rapport à la moyenne des 50 années passées. Plus aucun flux ne s'échappe de la ville centre. À l'aval, la nappe n'est plus alors alimentée que par les apports latéraux contournant la ville centre à l'est et au sud-ouest. L'absence de tritium confirme l'ancienneté des eaux prélevées. La recharge est très insuffisante par rapport aux volumes prélevés dans la ville centre.

La pérennité de la ressource n'est plus assurée et son effondrement à moyen terme est certain. Les connaissances sur la recharge de cette nappe profonde sont très insuffisantes, voire inexistantes malgré, entre autres, les travaux pionniers de Savadogo A.N. (1984), Nakolendousse S. (1991), Koussoube Y. (1996) ou Yameogo S. (2008). C'est pourquoi A. Babine a entrepris une recherche doctorale fondée sur des mesures piézométriques en hautes eaux et en basses eaux, leur relation avec la pluviométrie, des analyses isotopiques suivant des transects amont-aval et une approche du bilan hydrologique, malgré les difficultés à mesurer les débits des écoulements superficiels. Cette recherche bénéficie du financement de l'AIEA (Agence Internationale de l'Énergie Atomique) pour 3 années. À ce jour, la pandémie Covid et l'insécurité dans le nord du Burkina Faso rendent le travail compliqué.

Parallèlement, **il est impératif de soulager cette nappe du socle**. Nous proposons de réhabiliter, dans les villages ruraux, la nappe superficielle de la cuirasse mieux et plus rapidement alimentée par les pluies, là où les puits traditionnels présentent une tranche de plus de 6 m en fin de saison sèche. Ces puits anciens ont été creusés par les Dogons il y a 6 siècles, dans des conditions d'aridité bien plus sévères qu'aujourd'hui. Après des essais de débit, il est

envisagé d'installer des AEPS et de traiter l'eau par U.V. ou toute autre solution d'exploitation aisée qui garantirait une eau potable. L'eau du socle serait alors réservée aux secteurs où la nappe de la cuirasse est absente ou insuffisante. Là encore, il faudra entreprendre une recherche fondamentale sur son fonctionnement, sa recharge et l'amélioration de sa protection sanitaire. Ce projet piloté par H. Sanfo est en recherche de financement.

Bibliographie

- Babine A., 2016. Hydrogéologie de la commune de Ouahigouya (Ouahigouya et ses 37 villages) - Yatenga (Burkina Faso). Mémoire de master en sciences de l'eau. Université Ki Zerbo Ouagadougou, 59 p.
- Hebie A., 2020. Fonctionnement hydrogéologique des nappes d'eau souterraine sur le territoire communal de Ouahigouya. Approche de la recharge des nappes par un suivi piézométrique. Mémoire de master en sciences de l'eau. Université Ki Zerbo Ouagadougou, 109 p.
- Koussoubé Y., 1996. Hydrogéologie en socle cristallin du Burkina Faso. Cas du bassin versant du bas-fond de Bidi (province du Yatenga). Thèse de doctorat. Université de Dakar, Sénégal, 263 p.
- Machard de Gramont H., 2017 (avec la collaboration de A.N. Savadogo et D. Dakoure). Amélioration de la connaissance et de la gestion des eaux souterraines au Burkina Faso. Annexe 1 : diagnostic sur les eaux souterraines. Rapport P 162723, Banque Mondiale, 68 p.
- Nakolendousse S., 1991. Méthode d'évaluation de la productivité des sites aquifères au Burkina Faso. Thèse de doctorat. Université J. Fourier Grenoble. 285 p.
- Romenont (de) E., Violette S., Bertone F. et Schuster M., 2019. Mieux connaître les ressources en eau souterraine du Sahel : de la nécessité d'une approche innovante et inclusive. "Géoloques" n° 202, 19-25.
- Sanfo H., 2018. Exploitation de la ressource en eau souterraine des 37 villages ruraux de la commune de Ouahigouya : cas des nappes superficielles. Mémoire de master en sciences de l'eau. Université Ki Zerbo Ouagadougou. 53 p.
- Savadogo A.N., 1984. Étude régionale du bassin versant de la la Sissili (Burkina Faso). Thèse de doctorat. Université J. Fourier, Grenoble, 351 p.
- Yaméogo S., 2008. Ressource en eau souterraine du centre urbain de Ouagadougou au Burkina Faso. Thèse de doctorat. Université d'Avignon et des pays de Vaucluse. 214 p.



Photo 1. Un puits traditionnel (crédit : G. Nicoud).