

CHAMPS CAPTANTS SUR MÉGA-FRACTURES DU SOCLE ET GÉNÉRALISATION DES RÉSEAUX D'ADDUCTION D'EAU POTABLE EN MILIEU RURAL : CONCEPT ET FAISABILITÉ TECHNIQUE

Youssef KOUSSOUBE* et Alain Nindaoua SAVADOGO

Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO / Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre, Département des Sciences de la Terre, Laboratoire des Géoressources et Environnement, 09 BP 848 Ouagadougou, Burkina Faso

*Correspondance, e-mail : youssef.koussoube@gmail.com

RÉSUMÉ

Cet article établit le diagnostic de l'approche actuelle dans l'alimentation en eau potable à travers les programmes hydrauliques et montre les difficultés du secteur : insuffisance des débits des forages, déficit de maintenance des pompes manuelles, difficultés dans la décentralisation de la gestion des infrastructures hydrauliques, déficit de la qualité de l'eau. L'étude propose une nouvelle méthode de localisation des sites aquifères qui est basée sur la densité forte des 70 000 ouvrages du pays (1 forage tous les 4 km², ou 1 forage pour 260 habitants) permettant ainsi de faire une cartographie des fractures captées par les forages hydrauliques existants ; ensuite, les cibles privilégiées sont les méga-fractures ou les nœuds des fractures ainsi identifiées. L'eau souterraine sera fournie par des fontaines et des terminaux de raccordement privés dans les ménages ; le mode de gestion du service public d'eau se ferait par affermage. Les nouveaux indicateurs de service d'eau amélioré seront atteints ce qui développerait une économie locale et de nouveaux emplois en milieu rural.

Mots-clés : *forage hydraulique, faille, centre de production d'eau, réseau multi-village, zéro corvée d'eau.*

ABSTRACT

Conceptual and technical feasibility of water production center built on mega-fractures of the basement rocks for drinking water supply in rural areas of Burkina Faso

This article establishes the diagnosis of the current approach to drinking water supply through hydraulic programs and shows that there are difficulties in this sector : insufficient drilling flow, maintenance deficit for manual pumps, difficulties in hydraulic infrastructure management facing to the decentralization, water quality deficit. The study proposes a new method for the location of aquifer prospecting sites that is based on the high density of the country's 70,000 structures (1 borehole per 4 km², or 1 borehole for 260 inhabitants), thus making it possible to map fractures on existing hydraulic drilling; then, the preferred targets are the mega-fractures or the nodes of the fractures or the nodes of the geological mega-fractures. In this context, groundwater will be provided by fountains and private connection terminals in rural community households; the management of the public water service of this new water supply network would be through leasing. New improved water service indicators will be achieved which would develop a local economy and new jobs in rural areas.

Keywords : *hydraulic drilling, fault, water production center, multi-village network, zero water chores.*

I - INTRODUCTION

Au Burkina Faso, les quarante dernières années ont été marquées par une explosion du nombre d'ouvrages de captage des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable des villes et des villages [1, 2]. De sept (7) villes desservies en 1970, l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA) qui a en charge de la desserte en eau potable en milieu urbain, gère aujourd'hui 54 centres dont le taux d'accès à l'eau potable est estimé à 84 %. En milieu rural, le taux d'accès n'est en moyenne que de 64 % [1, 2]. Cependant, depuis 1970, le nombre des ouvrages modernes équipant les huit mille (8000) villages est passé de quelques centaines à plus de soixante dix mille (70 000) de nos jours. La **Figure 1** illustre à l'échelle du pays, la forte densité actuelle des points d'eau atteignant 0,25 forage/km² soit 1 forage tous les 4 km². Dans la même période, les quantités d'eau par habitant et par jour sont passées de 10 à 20L/j/ht et la distance maximale souhaitée pour accéder au point d'eau est passée de 1 km à 500 m conduisant ainsi à une hydraulique de quartiers (400 habitants) en lieu et place de l'hydraulique de villages [1]. Ces statistiques moyennes

nationales cachent des disparités dans l'alimentation en eau des populations. Par exemple, le milieu urbain bénéficie d'un service public d'eau par bornes fontaines et branchements privés au prix de 200 F CFA/m³ alors que pour le milieu rural comptant 70 - 80 % de la population, l'eau est servie après un effort physique pour le déplacement ainsi que pour l'exhaure du puits ou du forage équipé d'une pompe à motricité humaine. De plus, le mètre cube d'eau est vendu à environ 400 F CFA en milieu rural ; pour les villages bénéficiant d'adduction d'eau potable simplifié (AEPS) le mètre cube d'eau est vendu à 500 FCFA. Dans certaines localités semi-urbaines du Sahel comme la localité de Déou, le coût de l'eau varie selon les saisons. En 2014 il était de 5000 FCFA/m³ pendant la période de forte chaleur entre les mois d'avril et juin [4]. Ces faits montrent ainsi que l'équité qui est le premier principe énoncé par le document de politique et stratégie en matière d'eau au Burkina Faso [2] est remis en cause. Il faudrait alors repenser une autre stratégie de desserte en eau et un mode de gestion efficace à la portée des populations qui sont rurales pour une large partie. Les centres de production d'eau avec un réseau de distribution multi-villages de l'eau potable permettrait de lever toutes les contraintes liées à l'hydraulique de village ou de quartiers et d'assurer un service de l'eau de qualité. Cette étude vise à atteindre d'ici 2030 l'objectif 6.1 des ODD (objectifs du développement durable). La question qui se pose est de savoir si cette étude est techniquement réalisable compte tenu de la géologie, de l'hydrogéologie et du climat du Burkina. Ainsi, un exemple pratique du cadre conceptuel a été dans la commune de Yako en 1994 [4] et dont la mise en œuvre pratique a été réalisée pour la commune de Déou en 2015 [3]. L'objectif de ce travail est de montrer la faisabilité technique des systèmes autonomes de production d'eau en milieu rural et semi-urbain.

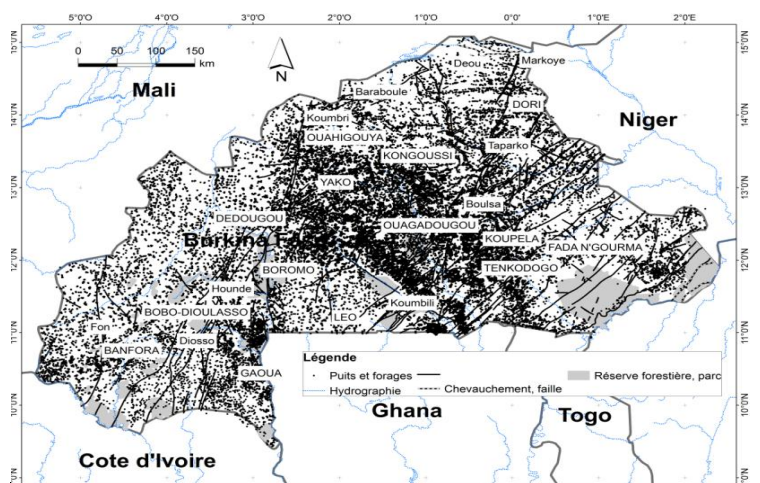


Figure 1 : Distribution géographique des forages et puits modernes au Burkina Faso en 2013 (source : Ministère en charge de l'eau du Burkina Faso)

II - CADRE NATUREL DE L'ÉTUDE

II-1. Géologie

Le Burkina est occupé à 82 % [6, 4] par des roches éruptives et métamorphiques et par celles des ceintures birimiennes datées du Paléoprotérozoïque tandis que les dykes de dolérite qui les injectent datent du Mésoprotérozoïque (**Figure 2**). La couverture sédimentaire du socle est d'âge soit Néoprotérozoïque, Paléozoïque, Cénozoïque ou Quaternaire. Ici ne sera traité en détail que des ressources hydrogéologiques des formations du socle car les régions sédimentaires et celles de l'ouest en particulier, constituent le château d'eau du Burkina où les ressources pour des systèmes d'adduction d'eau rurale existent et en abondance avec des secteurs où les forages exécutés sont même artésiens [5 - 7].

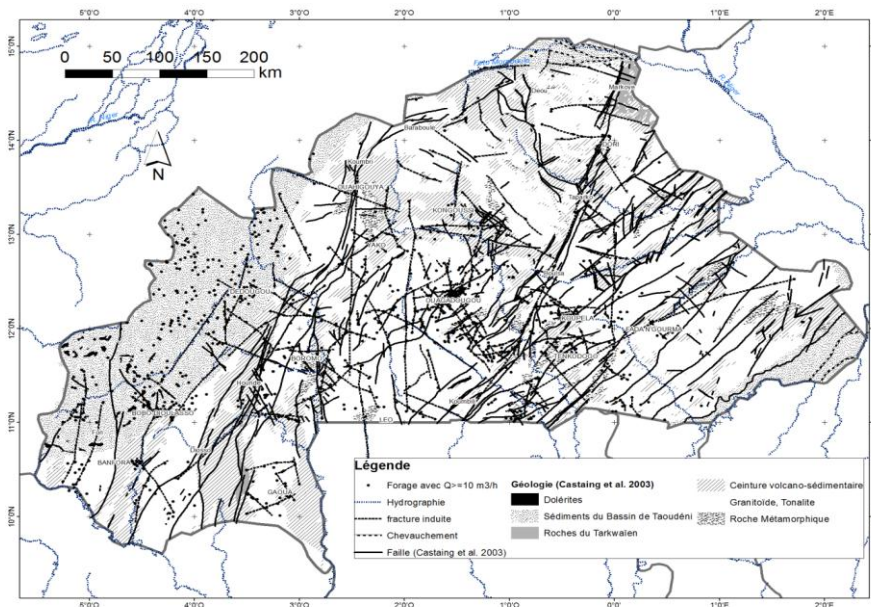


Figure 2 : Carte géologique et structurale simplifiée du Burkina Faso [4] et distribution des forages à débit supérieur à 10m³/h

II-2. Hydrogéologie et formations aquifères

Dans les régions de socle, les ressources en eau souterraine sont liées aux fractures qui affectent le substratum rocheux et qui souvent induisent de fortes épaisseurs de roche fissurée et altérée [8 - 12]. Le mode de gisement des eaux souterraines en milieu de socle [10] est donné par la **Figure 3**. On y distingue une nappe superficielle qu'on retrouve dans les alluvions et les cuirasses

noyées ainsi que dans les altérations argileuses (saprolite) et une nappe profonde et plus productive dans les arènes grenues et la frange fissurée du socle dont la pérennité de la production n'est assurée que si elle draine un horizon capacitif épais constitué par les altérites qui la recouvrent.

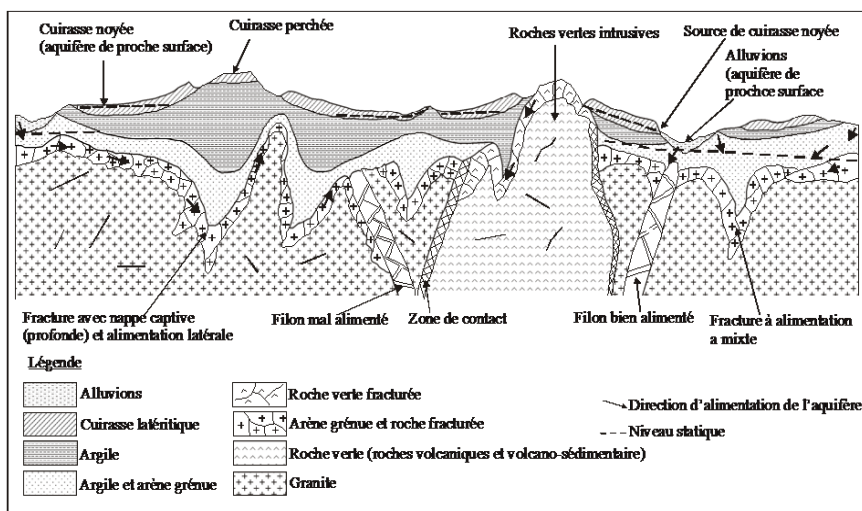


Figure 3 : Mode de gisement des eaux souterraines en milieu de socle cristallin au Burkina Faso [10]

III - MÉTHODOLOGIE

III-1. Cartographie des grandes fractures / failles hydrauliques

Pour réaliser ce travail, une cartographie structurale au 1/1 000 000 du Burkina Faso [4] a été utilisée comme document de travail. Cette carte structurale au 1/1 000 000 est issue des travaux de terrain (géologie et métallogénie) effectués sur treize cartes géologiques à 1/200 000 éditées lors du projet SYSMIN, dont six feuilles entièrement levées et sept autres cartes révisées [4]. Nous avons reporté sur la carte structurale à l'échelle 1/1 000 000, les forages les plus productifs ($>5 \text{ m}^3/\text{h}$) et les alignements de ces forages les plus pertinents (supérieurs à $5 - 10 \text{ m}^3/\text{h}$) ont été dessinés en prenant en compte le réseau hydrographique et la géomorphologie.

III-2. Identification des plateformes de prospection

Les zones de mégafractures ayant des longueurs de fracture plurikilométriques sont identifiées ; les zones de croisements entre des mégafractures des alignements représentatifs de forages hydrauliques à gros débit sont identifiées comme des plateformes potentiels de centre de production d'eau. Par exemple,

dans la zone test de Déouont été déterminées quatre (4) plateformes de prospection à partir de la carte géologique sur laquelle sont reportés les linéaments extraits de l'image satellitaire LANDSAT ETM+ d'octobre 2000 [3, 13].

III-3. Mise en œuvre des méthodes de prospection électromagnétique et électrique

Le déploiement conjoint de ces méthodes électromagnétiques et électriques devrait permettre de localiser et de caractériser les aquifères discontinus dans les mégafractures [5, 12, 15].

III-4. Choix des sondages et suivi-contrôle de l'exécution des sondages de reconnaissance

La foration des sondages retenus au cours de la précédente phase est rigoureuse suivie ; Si l'analyse chimique et bactériologique ainsi que celle des métaux lourds et métalloïdes comme l'arsenic sont concluantes, ces forages seront équipés avec des tubages à gros diamètres.

III-5. Analyse chimique et bactériologique des eaux pour en savoir la potabilité

Le prélèvement d'échantillons selon les normes en vigueur devrait permettre à partir de différents protocoles analytiques, de doser les éléments chimiques majeurs (anions, cations), les paramètres physiques et chimiques (dureté, pH, conductivité électrique) ainsi que les métaux lourds et métalloïdes, la silice dissoute, les cyanures et la bactériologie [18].

III-6. Suivi et contrôle des opérations de développement et des essais de pompage des forages

Ces opérations ont pour but de déterminer les débits d'exploitation [16, 17]. D'autres étapes suivront.

III-7. Autres étapes

Il s'agit de :

- Equipement du forage par une pompe immergée de construction d'un château d'eau de 40 m³;
- Canalisation primaire et secondaire vers les villages (bornes fontaines) et les concessions pour les branchements privés ;
- Mise en place d'une délégation de service de l'eau [19].

La conséquence de la sécheresse entamée depuis les années 1970 dans la bande sahélienne [5, 20] est évalué du point de vue de l'assèchement des poches et fractures du bedrock. En particulier, le rapport entre les mesures géophysiques d'implantation et la productivité des forages tests est évaluée. Dans ce contexte de sécheresse, [5] ont montré le rôle des ouvrages de CES/DRS dans la concentration de l'eau de surface et par conséquent la recharge des nappes phréatiques.

IV - RÉSULTATS

IV-1. Distribution des forages les plus productifs et nouvelle carte structurale

Si la centaine de millier de forages réalisés en milieu rural n'ont pas permis d'y couvrir de manière satisfaisante les besoins en eau des populations, on arrive néanmoins à dégager certaines qui se remarquent par leur grande productivité. Ainsi, la localisation des plus productifs d'entre eux montre que les ouvrages à gros débits se situent sur des méga-fractures ou à leurs nœuds et qu'il existe une relation bijective entre la distribution des forages à haut rendement et celle des méga-fractures (*Figure 2*). On retiendra à titre illustratif les résultats les plus frappants suivants :

- Le cas du couloir de cisaillement jalonné de forages à gros débits qui part depuis le Nord du Burkina au niveau de Baraboulé, passant par Ouahigouya et Houndé avant de franchir la frontière avec la Côte d'Ivoire (*Figure 2*). Reconnu et localisé avec précision par géophysique au niveau de Ouahigouya, les forages que nous avons implantés le long de ce couloir de cisaillement ont donné des débits de 12, 20, 25 et 38m³/h pour l'adduction d'eau de cette ville. A Houndé, les ouvrages du même couloir ont fourni des débits de 25, 45, 80 et 100m³/h (Source). Dans cette localité, les fragments des brèches mylonitiques ainsi que l'épaisse altération argileuse qui est associée, rendent très difficiles la maîtrise des opérations de foration qui peuvent atteindre ou dépasser 150m de profondeur ;
- Au Centre-Est du pays, il en est également ainsi du couloir de cisaillement qui part de Tambao, passe par Dori, Taparko, Boulsa, l'Ouest de Koupéla, Manga à l'Ouest de Tenkodogo, Koumbili avant de traverser la frontière avec le Ghana. Plus d'une vingtaine de forages à gros débit jalonnent aussi ce couloir (*Figure 2*).

On peut donc partir de la distribution des forages à gros débit pour tracer de nombreuses méga-fractures omises par la cartographie géologique (*Figure 4*) qui a comme handicap majeur la présence généralisée de la couverture des altérites. Un réseau de méga-fractures peut alors être généré lorsque l'on prend

en compte la distribution des forages à haut rendement (**Figure 4**). Pour les zones urbaines comme Ouagadougou, la densité des forages à haut débit est plus forte du fait de la plus grande sollicitation des fractures. Cette relation entre fracture et gros débit de forage contredit bien sûr fondamentalement l'idée de certaines références [21, 22]. Et nous le démontrons tous les jours dans nos implantations et le ferons aussi dans l'étude pour l'AEP de Déou que nous présentons ci-dessous.

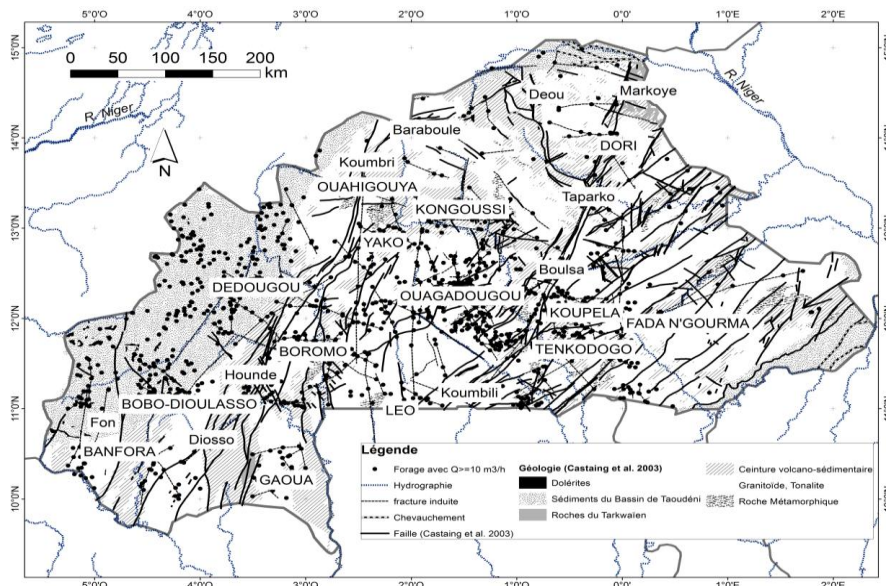


Figure 4 : Nouvelle carte structurale étendue aux méga-fractures du socle cristallin d'après les alignements de forages à débit supérieur à 10 m³/h

IV-2. Schéma synthétique de captage et de distribution de l'eau potable

Le nouveau système de distribution par réseau proposé ici (**Figure 5**) s'appuie sur des forages implantés sur les méga-fractures ou leurs nœuds formant dans un espace géographique réduit, un centre production de la ressource en eau potable comprenant les forages et une bêche de stockage provisoire avant le refoulement de l'eau dans un ou plusieurs châteaux d'eau. Il présente l'avantage de réduire considérablement le nombre des ouvrages à réaliser, à entretenir et à protéger contre les pollutions éventuelles [23]. De même, les systèmes d'exhaure seront réduits en nombre mais auront des puissances plus élevées. Si l'on ramène à cinq forages productifs par centre semi-urbain et avec un chiffre moyen de 8000 villages ou quartiers à desservir ayant déjà leurs pompes à motricité humaine, le nombre d'ouvrages, dans le cadre de notre

démarche de réalisation de centre de production d'eau, serait à diviser par cinq. Ainsi, on reviendrait à desservir 8000 villages/5 soit 1600 villages. Si chaque centre de production d'eau se dotait de deux forages productifs à gros débit, on compterait ainsi dans le pays 3200 forages ; on pourrait ajouter à ce chiffre de 3200 forages d'exploitation, les forages munis de pompes manuelles et des puits pastoraux des hameaux de culture isolés et des zones d'élevage ou des parcours de transhumance. En effet, pour ces petits regroupements de populations, le faible nombre de consommateurs et le pastoralisme pratiqué font que les puits busés à grand diamètre et les forages munis de pompes manuelles sont mieux indiqués. Ainsi, on pourrait avoir un parc de forages et de puits modernes ou pastoraux d'environ 18 200 (si on évalue un grand maximum de 5 fois plus de forages pastoraux que de forages d'exploitation). De 70 000 ouvrages actuellement on en serait plutôt à seulement 18 200 forages et puits pastoraux ou modernes, Ainsi ces 18 200 ouvrages représentent un chiffre optimum d'ouvrages à réaliser et à entretenir, soit seulement environ 25 % du nombre total actuel des forages et puits modernes.

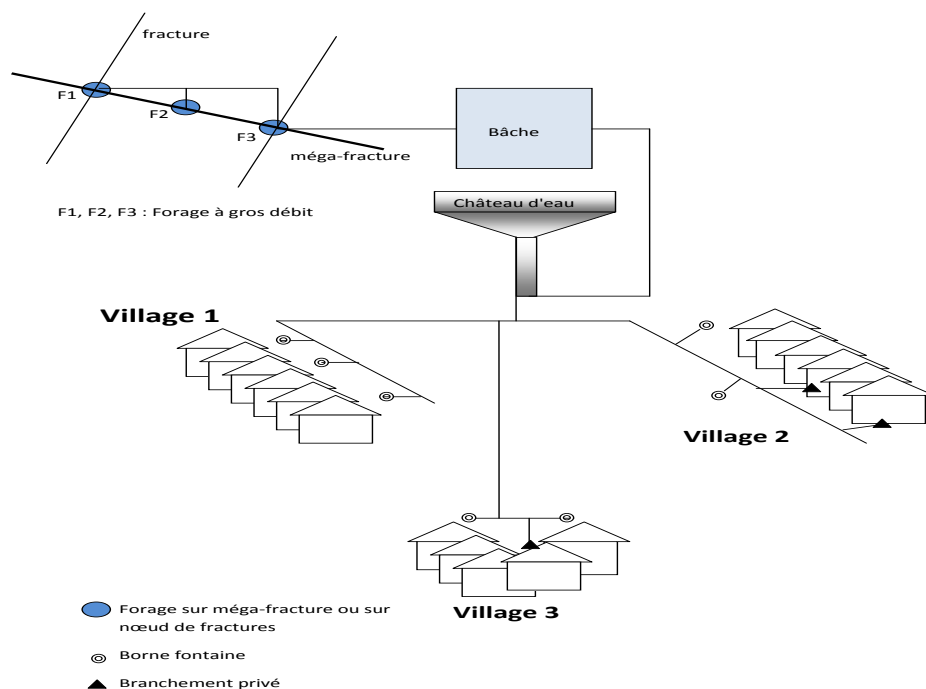


Figure 5 : *Nouveau modèle de système de production et de distribution d'eau potable multi-villages proposé*

IV-3. Faisabilité technique du système d'adduction d'eau multi-villages de Déou

Suite aux difficultés techniques rencontrées dans la réalisation de forages d'eau [5], cette étude a été menée en vue de résorber le problème crucial de la disponibilité de la ressource en eau potable en qualité et en quantité au profit des populations de la commune rurale de Déou. Dans cette zone, le taux de succès des forages est d'environ 58 %. Des activités récentes de forage ont donné les résultats suivants : sur 20 implantations seuls 7 forages ont été positifs avec des débits inférieurs à 5 m³/h. En effet, la méthode de Schlumberger largement utilisée pour les implantations géophysiques n'a pas permis d'obtenir dans la localité de Déou, un forage à débit au moins égal à 5 m³/h malgré les nombreuses tentatives effectuées dans ce sens. Le débit de 5 m³/h est considéré comme un gros débit à même de desservir un château d'eau. Si la difficulté réside à trouver des débits importants, il y a également le fait que la qualité de ressource en eau trouvée est défectueuse. En effet, un seul forage à gros débit de 18 m³/h situé à 5 km au Sud de Déou avait été identifié dans la base de données de l'Inventaire National des Ouvrages Hydrauliques (INOH). Le test d'analyse physico-chimique effectué du 05/03/2014 au 04/04/2014 par le Laboratoire National de Santé Publique (LNSP) en plus des autres tests effectués sur ce forage par d'autres laboratoires a conclu à la non conformité de l'eau selon les normes de potabilité en vigueur au Burkina Faso (les teneurs en sulfates, en fluorures et en fer très élevées). Au total, le défi de la recherche en eau à Déou se pose en termes de quantité mais aussi de qualité. C'est ce qui justifie des études approfondies pour la recherche d'eau souterraine, vu que les investissements déjà faits sur l'AEPS sont importants ».

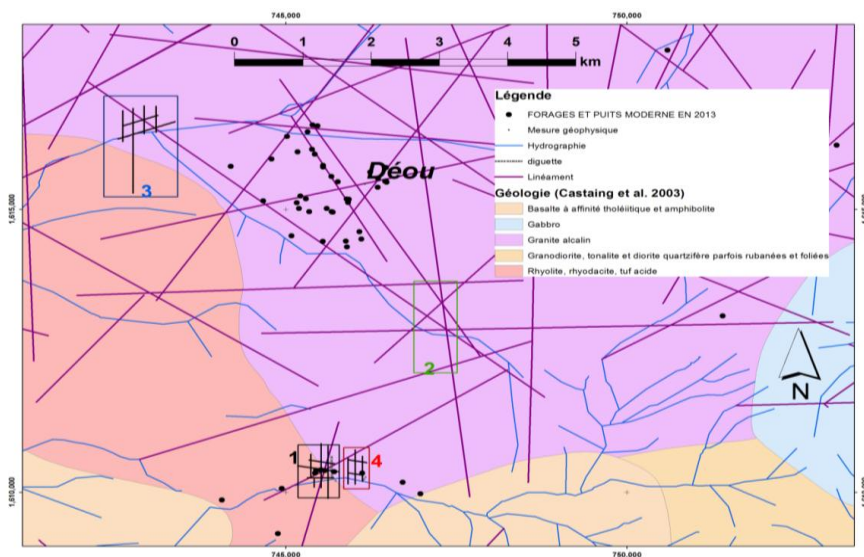


Figure 6 : Carte géologique de la région de Déou indiquant les plateformes de prospection et des réseaux de linéaments sur lesquels se fonde le choix des plateformes

Nous avons, pour résoudre le problème de l'insuffisance de la ressource en eau adopté la démarche méthodologie déjà présentée plus haut. Nous insisterons seulement sur les points 6 à 8 de notre démarche. Après la prospection et l'identification des sondages prometteurs, la foration suit directement ; ensuite le forage dont le débit est suffisant et dont la qualité de l'eau est conforme aux normes nationales est équipé en outils d'exhaure et de refoulement de l'eau pompée vers une bache et un château d'eau. La **Figure 5** en indique le plan conceptuel de mise en œuvre. Le fonctionnement de la pompe électrique immergée et les pompages de la bache vers le château d'eau peuvent être assurés par une des sources d'énergie suivantes : thermique (groupe électrogène autonome), thermique en réseau, solaire, système hybride. Le système hybride consiste à associer deux sources énergétiques complémentaires en vue de pallier aux pannes du réseau électrique, l'absence du soleil pendant la nuit ou pour réduire le coût d'exploitation du centre de production d'eau (solaire/thermique ou solaire/réseau par exemple). Pour le cas de Déou, le système solaire à l'aide de 32 panneaux de 300 watts chacun a été retenu (**Tableau 1**). Enfin, pour la gestion du centre de production comprenant la maintenance des équipements et infrastructures, la vente de l'eau auprès des usagers, il est recommandé la mise en place d'un dispositif décentralisé. Le mode de gestion par affermage semble être le plus efficace dans diverses régions d'Afrique (Bénin, Sénégal, Burkina Faso).

Tableau 1 : Fiche synthétique de l'AEPS multi-villages de Déou (Déou centre - Ayagourou - Lila)

1) Présentation du projet		4) Pompe	
Région / Province / Commune	Sahel / Oudalan / Déou	Débit du forage	18 m ³ /h
Financement pour la réhabilitation	PAEPA/BAR 4R	Débitpompe	14 m ³ /h
Année de réhabilitation	Décembre 2015	Hauteur manométriquetotale (HMT)	80 m
Cout du projet	104 173 879 francs CFA	5) Bornesfontaines	
Bureau de contrôle	Gauff Ingénieure	Nombre : 10 bornesfontaines	Déou-centre (7BF), Ayagourou (3 BF) et Lila (1 BF)
Entreprise	PPI-BF	6) Branchementsparticuliers	
2) Château d'eau		Nombre	Onze (11)
Type	Métallique et de forme cylindrique	7) Energie	
Volume	40 m ³	Type	Energie solaire
Hauteur sous radier	10 m	Puissance	32 panneaux de 300 W chacun
3) Réseau de refoulement		8) Réseau de distribution	
Type	Refoulement pur du forage au château d'eau	Type	Ramifié
Conduite : PVC de 90 PN 16	Longueur : 2060 m	Conduite : PVC de 90 et PVC de 63	Longueur totale : 17 077 m

La faisabilité technique des systèmes d'adduction multi villages est possible même en contexte climatique difficile comme au Sahel. Le **Tableau 1** présente la fiche synthétique du projet d'AEP de Déou. La démarche méthodologique définie a permis de lever les contraintes quantitative et qualitative d'eau potable. Le réseau créé alimente grâce à 11 bornes fontaines et 11 branchements particuliers les localités de Déou, Lila et Ayagourou.

IV-4. Risques socio-économiques

L'eau distribuée par réseau a un coût que les usagers du système doivent supporter. Le niveau de consommation des sachets d'eau « minérale » montre que les consommateurs sont prêts à payer l'eau pour leur consommation quotidienne. Cependant le prix pratiqué au niveau des Adductions d'eau Potable Simplifié (AEPS) qui est 500 frs CFA/m³ n'est pas un prix juste au regard du prix de l'eau du réseau ONEA en milieu urbain qui est de 200 frs/m³. L'eau faisant partie maintenant des droits humains, une harmonisation du prix de l'eau au niveau national comme c'est le cas pour les hydrocarbures s'impose pour respecter le principe d'équité énoncé par la loi nationale burkinabé sur l'eau en 2001. Un prix national de vente de l'eau qui se situerait entre 250 et 300 francs CFA/m³ peut être proposé pour permettre une péréquation qui couvre les centres à réseaux déficitaires.

IV-5. Risques liés au climat

Le Burkina Faso est un pays sahélien dont le territoire reçoit entre le Nord et le Sud de son territoire 400 à 1000 mm de précipitations par an. Ce faisant les nappes de la partie nord du pays connaissent depuis la sécheresse des années 70 un déficit important du niveau des infiltrations des eaux pluviales avec pour conséquences :

- L'assèchement des poches d'eau souterraine de faible profondeur conduisant à une mortalité massive des ligneux qui en dépendent ;
- Une évaporation intense des eaux des méga-fractures entraînant des concentrations minérales excessives rendant quelques fois les eaux impropres pour la consommation. En illustration on retient les exemples des eaux des forages de Déou et d'Inchagarminé dans la Province de l'Oudalan (**Tableau 2**). Fort heureusement, parmi les méthodes de lutte contre les effets de la sécheresse, certaines comme les digues filtrantes pour la conservation des eaux et des sols peuvent améliorer considérablement l'infiltration qui vient alors diluer les eaux surminéralisées pour les rendre potables (**Tableau 2, Figure 6**).

Tableau 2 : Exemples d'analyses d'eau évaporée puis diluée par des aménagements spécifiques (à Déou, eaux surminéralisées et eaux diluées se situant dans espace de moins d'un km²)

Paramètres	Unités	Valeurs limites OMS	Forage Déou étalon aval (évaporée)	F2 Déou aval (évaporée)	F3 Déou amont proche digue (diluée)	F4 Déou Amont 500m digue (diluée)	Forage Inchagarminne (évaporée)
Température	°C		32.0	29.5	29.3	34.1	30.2
pH		-	6.73	6.78	6.77	7.27	6.81
Conductivité à 20°C	µS/cm	-	1298	1462	361	423	1735
Turbidité	NTU	5	1.16	9.89	3.04	287	0.49
TA	°F	-	0	0	0	0	0
TAC	°F	-	60.5	62.5	17.6	22.1	80.9
Dureté Totale (TH)	°F	50	49.9	45.0	15.4	20.8	75.8
Dureté calcique	°F		28.0	32.7	10.4	12.4	42.1
Résidu sec à 105°C	mg/L	1000	984.59	1108.99	258.44	302.83	1316.07
Calcium (Ca ²⁺)	mg/L	-	112.6	130.9	41.8	49.6	168.4
Magnésium (Mg ²⁺)	mg/L	-	52.5	29.7	11.9	20.4	81.5
Sodium (Na ⁺)	mg/L	200	101.2	140.20	16.20	18.20	78.3
Potassium (K ⁺)	mg/L	-	9.30	3.50	2.10	0.40	1.4
Fer total (Fe)	mg/L	0.3	0.02	0.71	0.42	0.69	0.02
Manganèse (Mn ²⁺)	mg/L	0.5	0.034	0.001	0.001	0.093	0.002
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/L	1.5	0.01	0.10	0.01	0.35	0.03
Arsenic (As)	µ/L	10	0	0	0	0	0
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	mg/L	-	738.1	762.5	214.7	269.6	987.0
Chlorures (Cl ⁻)	mg/L	250	4.0	5.73	0.91	2.57	5.87
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/L	250	47.0	50.0	9.0	22.0	36.0
Nitrites (NO ₂ ⁻)	mg/L	3	0.007	0.432	0.066	0.003	0.003
Nitrates (NO ₃)	mg/L	50	6.16	7.48	10.12	11.0	12.76
Orthophosphates (PO ₄ ³⁻)	mg/L	-	0.35	0.27	0.18	0.48	0.46
Phosphore (P)	mg/L	-	0.11	0.09	0.06	0.16	0.15
Fluor (F ⁻)	mg/L	1.5	1.18	1.22	0.60	0.01	0.02
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	3	0.03	0.01	0.01	0.05	0.05

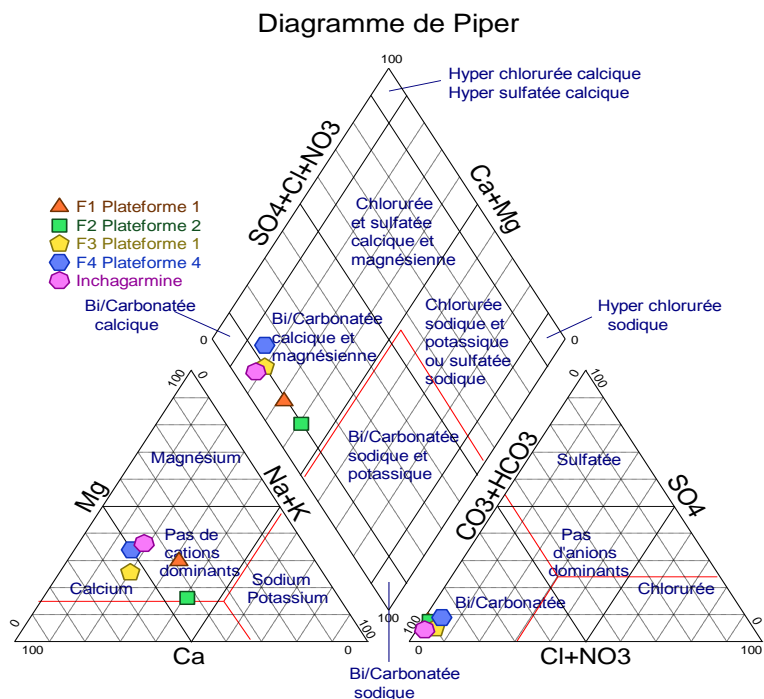
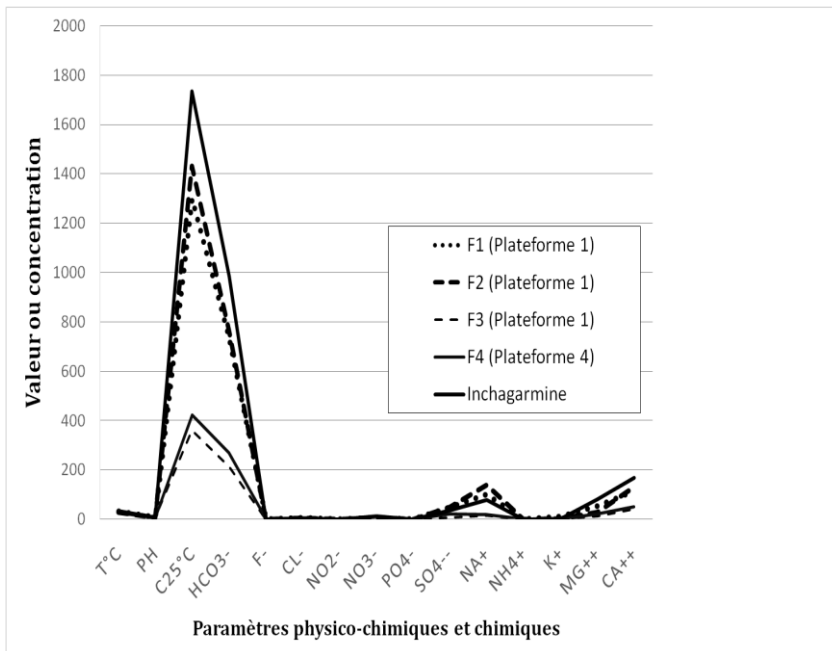


Figure 7 : Graphe de comparaison des paramètres physico-chimiques et représentation des échantillons d'eau dans le diagramme de Piper

A travers le cas de la commune de Déou, il apparaît clairement le rôle que peuvent jouer les aménagements hydrauliques spécifiques (digue filtrante, diguettes anti-érosive, petits barrages) dans la recharge des nappes soumises à une exploitation intensive dans des nappes des centres de production d'eau ; ces dispositifs pourraient assurer la pérennité de la ressource en eau. De plus, la qualité des eaux captées peut s'améliorer du fait de la dilution consécutive à une bonne recharge des nappes captées. Il existe également des cas de toxicité liée à la présence d'arsenic dans les injections filoniennes aurifères des mégafractures [15, 25, 26]. Plusieurs forages dont celui de Diosso dans le sud-ouest du pays que nous avons exécutés pour l'adduction d'eau de ce village ont dû être abandonnés [26]. Dans la zone sahélienne au Nord du pays, à Ouahigouya, un de nos forages d'exploitation pour l'alimentation en eau potable de la ville a été fermé pour teneur excessive en arsenic [23]. La généralisation des pratiques d'orpillage utilisant souvent un traitement chimique utilisant le cyanure et le mercure, l'exploitation minière industrielle et les rejets miniers acides ou cyanurés non contrôlés, le recours aux pesticides et engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'anthropisation (pollution par les ménagères) constituent des menaces qui détériorent la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines.

V - CONCLUSION

La densité des forages à haut rendement au Burkina Faso a été exploitée dans ce travail à partir d'une synthèse des données des forages. La cartographie et les SIG permettent aujourd'hui de dresser, une nouvelle carte de fracturation pour des fins de prospection hydrogéologique. Les zones aquifères sont identifiées à l'échelle du pays. En généralisant la réalisation de centres de production d'eau construits sur des mégafractures ou les nœuds de fractures, on pourrait offrir aux populations rurales de l'eau potable, avec les mêmes commodités de service d'eau comme en ville. La fracture entre les milieux urbains et ruraux en matière du service de l'eau serait résorbée. Les difficultés de maintenance constatées dans la situation actuelle devraient diminuer du fait de la création de centres de production pour des adductions d'eau multi-villages ; le nombre de forages en exploitation qu'il faut gérer et entretenir serait ainsi réduit. Cependant au regard de la péjoration climatique, certains aménagements hydrauliques spécifiques qui favorisent l'infiltration et la recharge des nappes doivent accompagner l'exploitation intensive des ouvrages pour assurer la pérennité quantitative et qualitative de la ressource.

REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été réalisés grâce à une collaboration constante avec les services du Ministère en charge de l'eau au Burkina Faso et les différents services techniques rattachés pour leur collaboration et la mise à notre disposition de données exploitées dans le cadre de ce travail. Nous leur adressons nos vifs remerciements. Nos remerciements de reconnaissance s'adressent également aux reviewers pour leur apport en vue de l'amélioration de ce travail.

RÉFÉRENCES

- [1] - MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES HYDRAULIQUES, DE L'ASSAINISSEMENT ET DE LA SECURITE ALIMENTAIRE, *Elaboration du programme National d'approvisionnement en eau potable à l'Horizon 2030 : Etat des lieux*, (2014)
- [2] - MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES HYDRAULIQUES, DE L'ASSAINISSEMENT ET DE LA SECURITE ALIMENTAIRE, *Programme National d'Approvisionnement en eau potable à l'horizon 2030*, (2015)
- [3] - A. N. SAVADOGO, *Recherche en vue de l'implantation de forages à gros débits dans la commune de Déou*. Ministère de l'agriculture, des ressources Hydrauliques, de l'Assainissement et de la sécurité alimentaire/ Direction générale des ressources en Eau, (2015)
- [4] - C. CASTAING, J. LE METOUR, M. BILLA, (COORDONNATEURS) ET M. DONZEAU, P. CHEVREMONT, E. EGAL (BRGM), B. ZIDA, I. OUEDRAOGO, S. KOTE, B. E. KABORE, C. OUEDRAOGO (BUMIGEB), D. THIEBLEMONT, C. GUERROT, A. COCHERIE, M. TEGYEY, J. P. MILESI, Y. ITARD (BRGM), *"Cartographie géologique et minière au Burkina Faso"*, Projet Sysmin, N° 7.ACP.BK.074, (2003)
- [5] - Y. KOUSSOUBE, *Hydrogéologie des séries sédimentaires de la plaine du Gondo (Burkina Faso/Mali)*, Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie – Sorbonne Universités, UMR SISYPHE (Paris), (2010) 250 p.
- [6] - D. DAKOURE, *Etude hydrogéologique et géochimique de la bordure sud-est du bassin de Taoudeni (Bukina Faso - Mali). Essai de modélisation*, Thèse de doctorat, UPMC Paris, 222 p. + annexes
- [7] - OFFICE NATIONAL DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT, *"Campagne de réalisation de trois forages à gros débit au profit du centre de Bobo-Dioulasso"*. Rapport, (2014) 56 p.
- [8] - M. ENGALENC, *Comité Interafricain d'études hydrauliques*, Vol. 1 et 2, (1978)
- [9] - J. P. FAILLAT, *Hydrogéologie*, N°1 (1986) 65 - 76 p.
- [10] - A. N. SAVADOGO, *Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute-Volta. Etude régionale du bassin versant de la Sissili*, Thèse de

- doctorat ès Sciences Naturelles, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, (1984) 340 p.
- [11] - M. DETAY, P. POYET, Y. ENSELLEM, A. BERNADI, G. AUBRAC, *Hydrogéologie, C.R. Acad. Sci. Paris*, T. 309, série II, (1989) 429 - 436 p.
- [12] - Y. KOUSSOUBE, *Hydrogéologie de socle cristallin en contexte sahélo-soudanien du Burkina Faso : cas du bassin versant du bas-fond de Bidi (Yatenga)*, Thèse de doctorat, Univ. Cheikh AntaDiop de Dakar, (1996) 210 p. + annexes
- [13] - Y. KOUSSOUBE, A. N. SAVADOGO, A. BABINE, *Afrique Science*, 12 (2), (2016) 410 - 430 p.; <http://afriquescience.info> ; 410 ISSN 1813-548X
- [14] - G. J. PALACKY, I. L. RITSEMA, S. J. DE JONG, *Geophys. Prospect.*, 29, (1981) 932 - 955 p.
- [15] - C. MEYER DE STADELHOFEN, "*Applications de la géophysique aux recherches d'eau*", Technique et Documentation - Lavoisier, Paris, (1991) 183 p.
- [16] - COMITE INTER-ETATS D'ETUDES HYDRAULIQUES, "*Utilisation des méthodes géophysiques pour la recherche d'eau dans les aquifères discontinus*", Paris, (1984)
- [17] - J. BIEMI, "*Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants sub-sahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest: Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire)*", Thèse de Doctorat. ès Sc. Nat., Univ. Abidjan, (1992) 493 p.
- [18] - J. P. JOURDA, E. V. DJAGOUA, K. KOUAME, M. B. SALEY, C. GRONAYES, J.-J. ACHY, J. BIEMI et M. RAZACK, Télédétection, Vol. 6, N°2 (2006) 123 - 142 p.
- [19] - MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'HYDRAULIQUE ET DES RESSOURCES HALIEUTIQUES, "*Etudes d'approvisionnement en eau potable dans 80 centres secondaires du Burkina. Centre de Gossina. Rapport socio-économique*", Programme d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement, (2009)
- [20] - Y. L'HOTE, G. MAHÉ, B. SOMÉ, J. P. TRIBOULET, *Hydrol. Sci. J.*, 47 (4) (2002) 563 - 572 p.
- [21] - J. C. MARÉCHAL, B. DEWANDEL, K. SUBRAHMANYAK, *Water resources Research*, N°40 W11508, doi: 10.1029/2004WR003137, (2004)
- [22] - J. C. MARECHAL, R. WYNS, P. LACHASSAGNE, K. SUBRAHMANYAM & F. TOUCHARD, *C.R. Geoscience*, 335, 5, 451 - 460 p.
- [23] - P. LACHASSAGNE, R. WYNS and B. DEWANDEL, « *Terra Nova*, Vol. 23, (2011) 145 - 161 p.
- [24] - G. CASTANY, *Prospection et exploitation des eaux souterraines*, Paris, Dunod, (1968) 483 p.
- [25] - A. BRETZLER, F. LALANDE, J. NIKIEMA, J. PODGORSKI, N. PFENNINGER, *Science of the Total Environment*, 584-585 (2017) 958 - 970
- [26] - AGENCE D'EXECUTION DES TRAVAUX DANS LE DOMAINE DE L'EAU ET DE L'EQUIPEMENT (AGETEER), *Etude géophysique d'implantation et de contrôle de 16 forages dans différentes régions au Burkina Faso*. BERSSET/AGETEER, (décembre 2015)