

La ressource en eau dans la région de Gbêkê (Côte d'Ivoire)

Thomas T. Maillard Maillard

▶ **To cite this version:**

Thomas T. Maillard Maillard. La ressource en eau dans la région de Gbêkê (Côte d'Ivoire). [Rapport de recherche] Région Normandie. 2019. halshs-02277088

HAL Id: halshs-02277088
https://shs.hal.science/halshs-02277088

Submitted on 3 Sep 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Un projet d'Urgence Eau soutenu par la Région Normandie à travers l'initiative Normandie pour la Paix.

La ressource en eau dans la région de Gbêkê (Côte d'Ivoire)

Synthèse de la littérature

Projet ETUPO : Étude de l'accès à l'eau potable et à l'assainissement dans la vallée du Bandama (Côte d'Ivoire)

Bouaké, Côte d'Ivoire

2 avril 2019

Thomas MAILLARD
Docteur en Géographie
Conseiller Cartographie et SIG – Urgence Eau
Chercheur associé LADYSS (CNRS UMR 7533)

Sommaire

Évolution de la pluviométrie dans la zone d'étude.....5
Les réserves d'eau de surface.....6
Les aquifères (eaux souterraines).....9
Les aquifères d'altérite.....9
Les aquifères fissurés.....10
Les points-clés à retenir.....13
Recommandations pour Urgence Eau.....13
Bibliographie sélective :.....14

Introduction

L'alimentation en eau de Bouaké, et plus largement de la région de Gbêkê, provient des eaux de surfaces (rivières ou plans d'eau) qui alimentent principalement les grandes agglomérations desservies par le réseau de la SODECI et des aquifères[1] du sous-sol (puits et forages) dans les villages. Toutefois, à la suite de la pénurie de 2018, de nombreux citadins se sont équipés de puits et de forages pour sécuriser leurs approvisionnements, voire développer une activité commerciale.

L'ensemble de la zone est inscrite dans le bassin versant[2] du Bandama, et plus spécifiquement à cheval sur deux sous bassins : le Bandama Blanc au nord-ouest et le N'Zi au sud et à l'est(*cf.*Fig. 2. p.3). Pour évaluer les ressources en eau disponibles et leur évolution, il convient de mesurer plusieurs paramètres détaillés dans la figure ci-dessous : précipitations, ruissellement, précipitations efficaces (part des précipitations qui s'infiltre dans le sous-sol et réalimentent les nappes souterraines), évaporation, stockage dans les réservoirs de barrage et dans le sous-sol. Sont également à prendre en considération la qualité des eaux superficielles et souterraines et les possibilités d'exploitations de ces dernières (*cf.*Fig. 1. p.2).

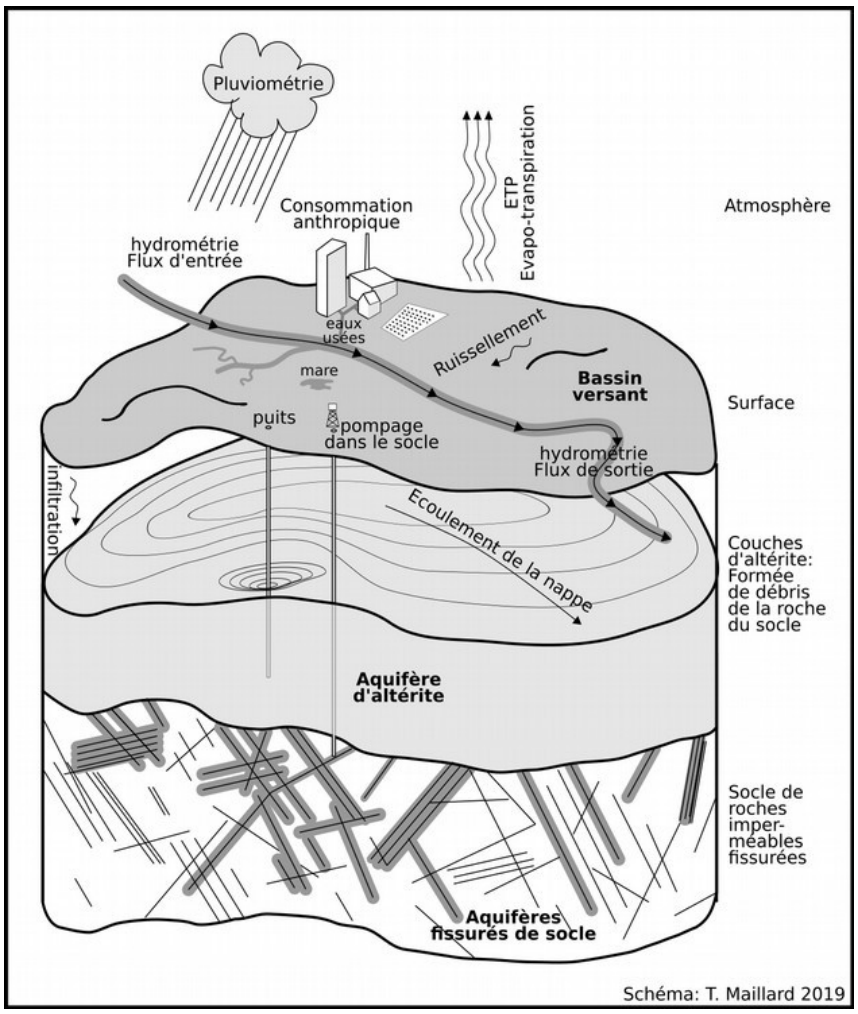
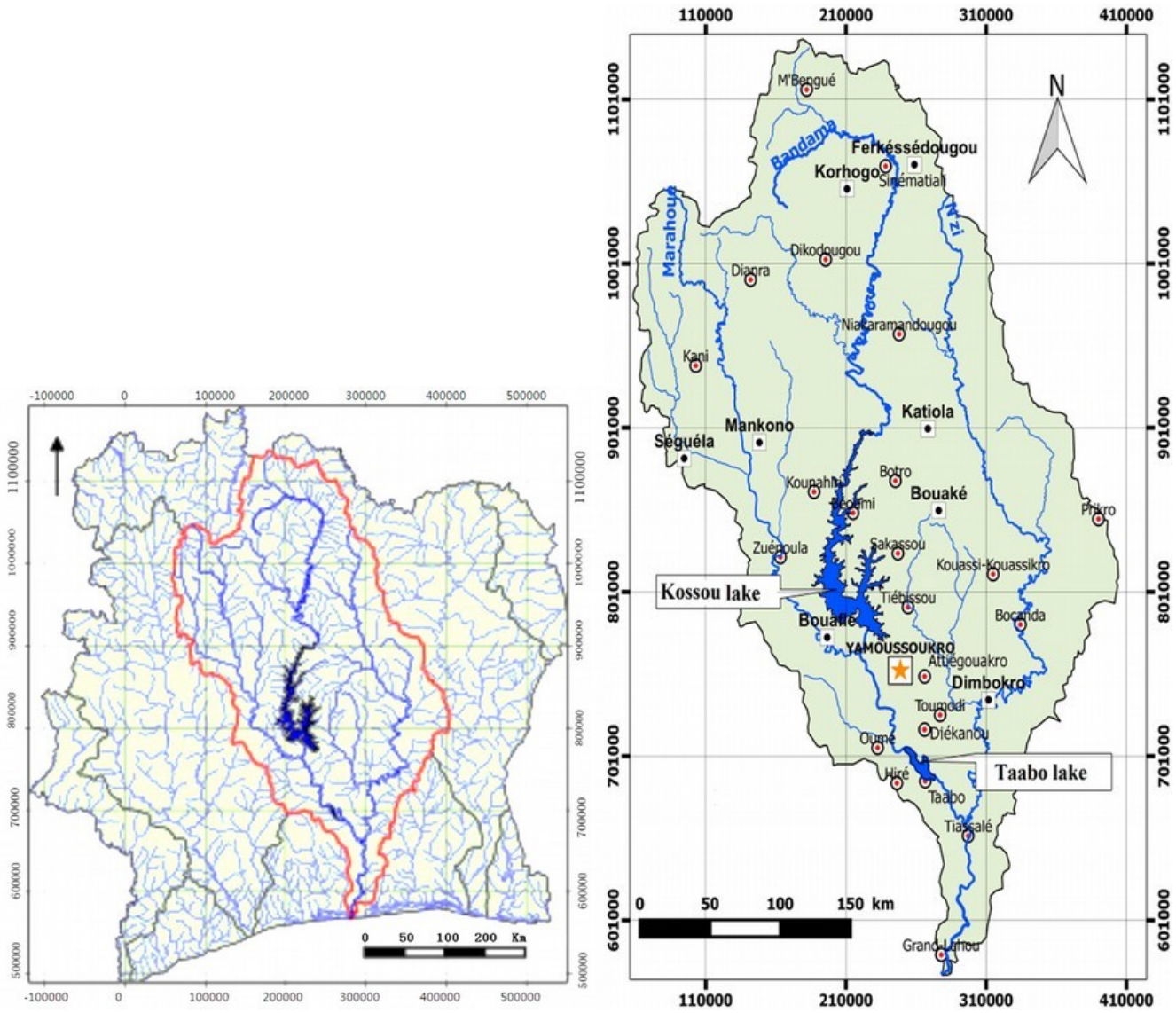


Fig. 1. Schéma de synthèse de l'analyse de la ressource en eau *dans la région de Bouaké*

1 Un aquifère est constitué par des roches perméables comportant une zone saturée en eau.

2 Les bassins versants correspondent à la portion d'espace dans laquelle l'ensemble des précipitations convergent vers un cours d'eau. Ils sont séparés par une ligne de partage des eaux, souvent une ligne de crête.

Fig. 2. Bassin versant du Bandama



Source : Soro, Gneneyougo, Affoué Yao, Yao Kouame, et Tié Bi. 2017. « Climate Change and Its Impacts on Water Resources in the Bandama Basin, Côte D'ivoire ». Hydrology 4(1), p.3.

Évolution de la pluviométrie dans la zone d'étude

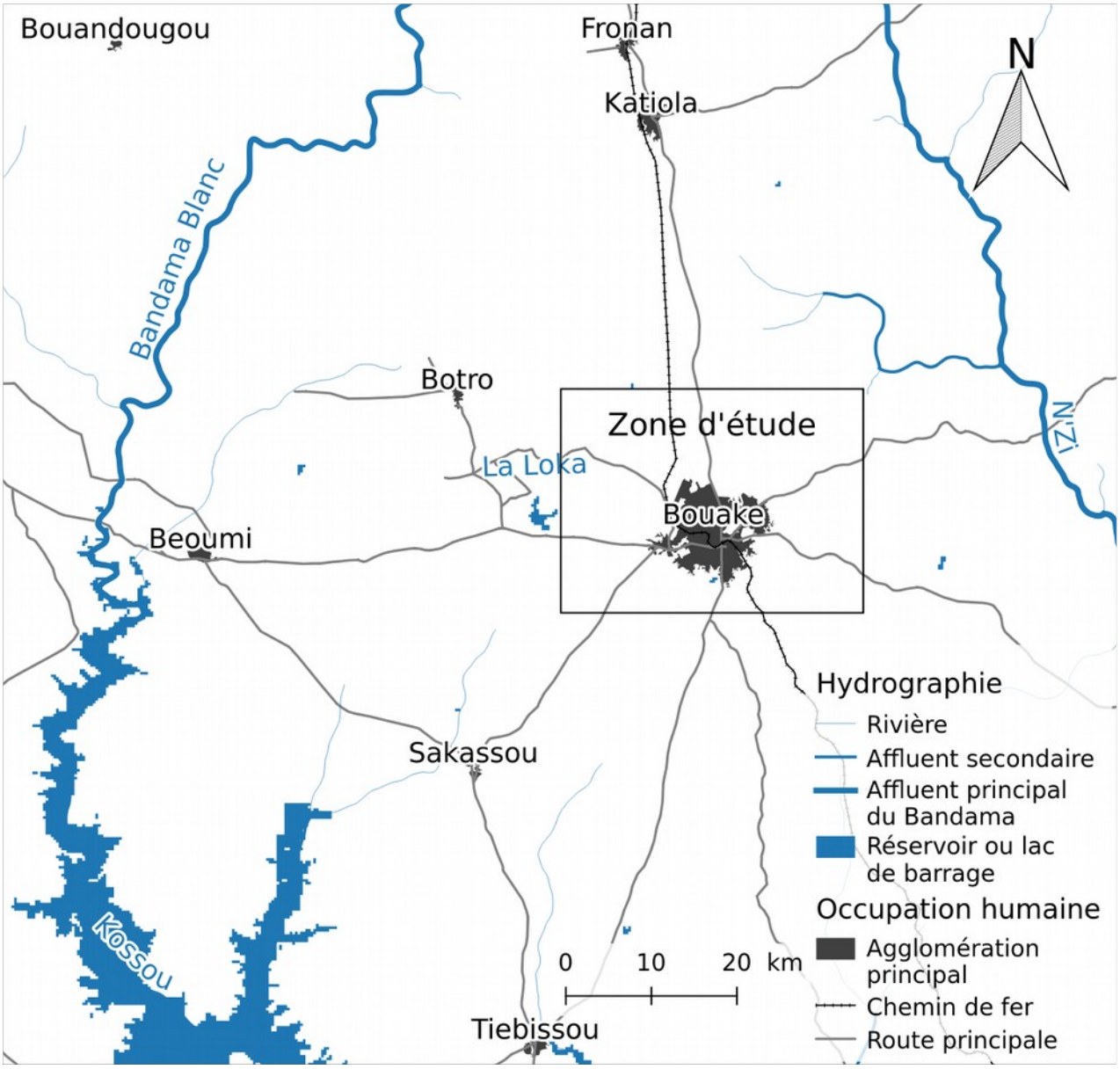
L'Afrique de l'Ouest souffre d'un déficit pluviométrique marqué depuis 1970. Plusieurs études (Goula et al. 2006 ; Goula, Kouassi, et Savane 2009 ; Kouassi et al. 2010, 2013 ; Soro et al. 2013, 2017) s'appuyant sur les modèles développés par le GIEC pour décrire l'évolution du climat dans la vallée du Bandama envisagent une augmentation de la température de l'ordre de 3 °C d'ici à 2030 et une régression des précipitations de l'ordre de 16 à 20 %[3]. De plus, les épisodes de pluies seraient moins fréquents et plus violents. Dans de telles conditions l'infiltration de l'eau dans le sous-sol serait plus faible[4]. En amont de la zone qui nous intéresse, une étude signale une diminution de 13 % de l'infiltration entre les décennies 1980-1989 et 1990-1999 et une augmentation de la rapidité du tarissement en saison sèche correspondant à une diminution du volume des nappes souterraines (Soro et al. 2013). Il convient également de surveiller l'évolution du couvert végétal puisque celui-ci favorise l'infiltration de l'eau dans le sol. Toutefois, si la situation est particulièrement préoccupante dans le Sahel, au niveau de Bouaké, la capacité de recharge de 100 à 300 mm par an des nappes (autour de 180 mm au nord de Bouaké) est estimée suffisante par rapport aux besoins selon les travaux menés par les hydrogéologues du BRGM (BRGM 2008). Cela signifie que sur les 1200 mm de pluie qui tombent en moyenne chaque année, entre 100 et 300 mm (entre 8,3 et 25 %) s'infiltrent dans le sous-sol. Le reste s'évapore ou ruisselle et aboutit dans un cours d'eau et dans les plans d'eau. Par comparaison la zone sahélienne plus au nord présente une recharge inférieure à 50 mm pour une pluviométrie inférieure à 500 mm (infiltration inférieure à 10 % des précipitations). Si la situation ne semble pas aussi préoccupante dans la zone de Bouaké, il convient cependant de surveiller avec attention l'évolution des précipitations.

3 Notons que ces résultats sont valables pour le scénario le plus pessimiste du GIEC. Pour le scénario le plus optimiste, la température devrait n'augmenter que de 1,5 °C dans la zone et la pluviométrie croître.

4 Pour comprendre cela, imaginez que le sol est une éponge. Pour la gorger d'eau, il vaut mieux faire couler de l'eau doucement dessus. Un jet trop fort favorise le ruissellement de l'eau sur l'éponge au détriment de l'infiltration.

Les réserves d'eau de surface

Fig. 3. Hydrographie des alentours de Bouaké



Sources : Contributeurs OSM, Base Hydroshed

Dans la vallée du Bandama sont présents de nombreux barrages assurant l'alimentation en eau destinée à la consommation humaine et aux activités agricoles et industrielles (*cf.*Fig. 3. p.5). Bouaké est alimentée principalement par le barrage de la Loka situé à l'ouest et par plusieurs petits barrages (Abouliba au sud, Kamp à l'est, *etc.*). À 80 km au sud-ouest de Bouaké, la principale retenue d'eau du pays est le lac du barrage hydroélectrique de Kossou qui alimente les agglomérations de Diabo, Sakassou et Djékanou. Les études précédemment citées signalent une diminution générale du débit des cours d'eau dans la zone de l'ordre de 52 % lié à plusieurs facteurs :

- la diminution de la pluviométrie depuis 1970,
- l'accroissement de l'évaporation liée à l'augmentation des températures,
- l'augmentation des prélèvements par une population croissante.

La modélisation à partir du scénario le plus pessimiste (RCP 8.5) développé par le GIEC indique un risque de baisse du débit des différents cours d'eau du bassin du Bandama de l'ordre de 20 % (Goula, Kouassi, et Savane 2009, p.10) d'ici à 2025[5]. Le N'Zi est particulièrement sensible à ces changements (*cf.* Fig. 4. et Fig. 5. p.7).

La crise de l'eau de 2017 a, en outre, révélé des problèmes d'entretien des retenues des barrages. L'assèchement rapide du barrage de la Loka alimentant Bouaké est pour partie dû à l'absence d'un curage régulier. En effet, les barrages accumulent des particules en suspension qui se déposent progressivement dans le fond (sédimentation) et, sans curages réguliers, la retenue d'eau se comble. Un autre facteur intervient, c'est celui de la création de carrières et de mines en amont qui ont siphonné une partie des écoulements de surface.

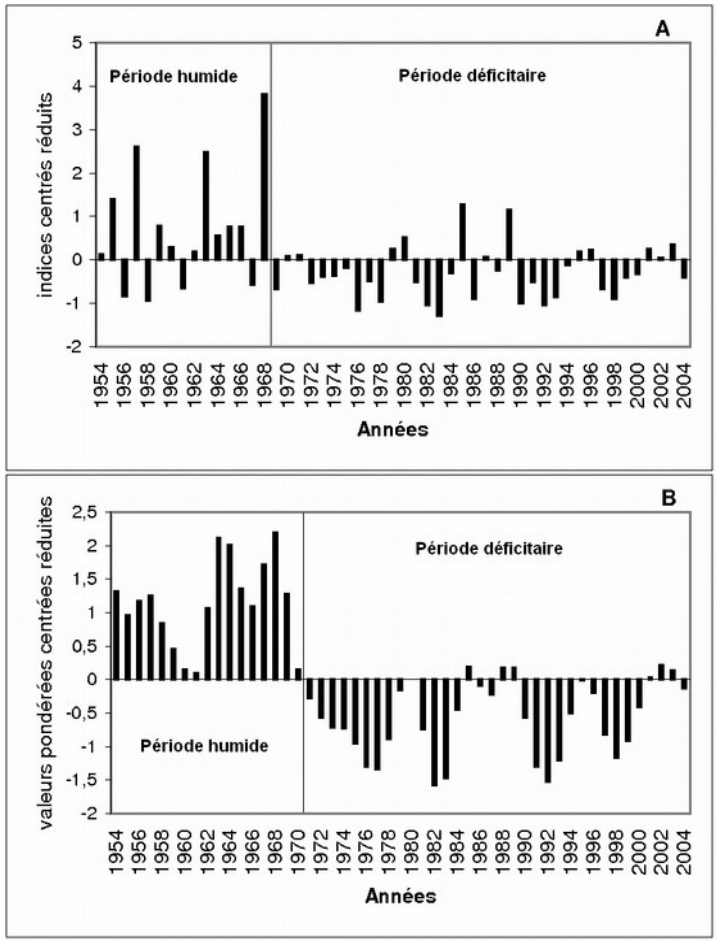
Enfin, dernier élément, les eaux de surface sont de moins bonne qualité que les eaux souterraines, car elles contiennent :

— d'une part, des polluants chimiques (nitrates, métaux lourds, etc.) provenant des activités agricoles, industrielles et des eaux usées domestiques rejetées à l'amont,

— d'autre part, des micro-organismes qui ne sont pas naturellement éliminés par filtration comme c'est souvent le cas pour les eaux souterraines lorsqu'elles traversent des matériaux à faible porosité.

5 Le scénario le plus optimiste (RCP 4.5) prévoit au contraire un doublement du débit (x2,4) et des capacités de rechargement des nappes (x1,7), mais la tendance actuelle est plutôt pessimiste.

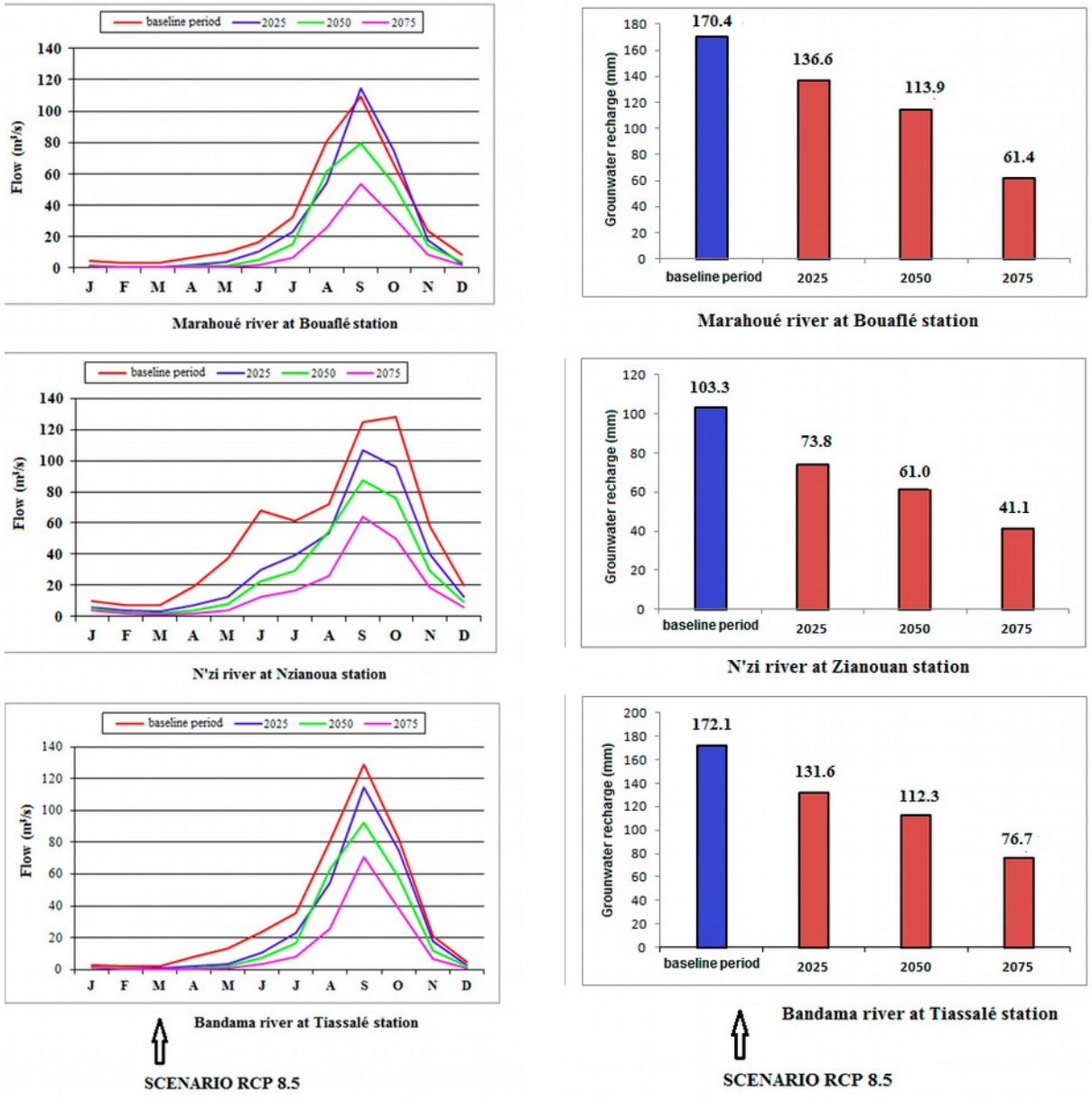
Fig. 4. Une réduction du débit moyen annuel du N'Zi



Variation interannuelle des indices centrés réduits des modules annuels (A) et des modules annuels pondérés du N'Zi à Dimbokro (B).

Source : Goula, Bi Tié Albert, Issiaka Savane, Brou Konan, Vamoryba Fadika, et Gnamien Béatrice Kouadio. 2006. « Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide) ». VertigO (Volume 7 Numéro 1). p.8

Fig. 5. Scénario pessimiste du GIEC pour 2015 (Source : Soro et al. 2017)



Évolution du débit mensuel

Évolution du taux annuel d'infiltration

Les aquifères (eaux souterraines)

Les aquifères sont constitués par des roches perméables comportant une zone saturée dans laquelle s'écoule une nappe souterraine.

Selon le plan directeur de gestion intégrée de la ressource en eau, les potentialités des eaux souterraines sont très largement sous-exploitées puisque dans la vallée du Bandama, seuls 2,75 % du potentiel estimé est utilisé (JICA 2001:75, tableau 12-3). Malgré l'accroissement de l'aridité de la zone depuis 1970, l'augmentation importante du nombre d'ouvrages de prélèvement et la diminution de l'infiltration découlant de la baisse de la pluviométrie et de la réduction du couvert végétal, les nappes souterraines demeurent très largement sous-exploitées. Elles sont pourtant bien souvent de meilleure qualité que les eaux de surface ou puisées à faible profondeur. Il convient de noter toutefois qu'une étude récente prévoit une diminution de 25 % des réserves d'eau souterraines dans le bassin du Bandama (Soro et al. 2017, p.10).

Dans la région qui nous intéresse, les granitoïdes éburnéens (*cf.* Fig. 7. et Fig. 8. p.10) ont été altérés en sables quartzeux ou argileux grossiers assez favorables au stockage de l'eau. Cette configuration géologique produit deux stocks d'eau souterraine superposés dans le district de Gbêkê (*cf.* Fig. 6. p.10 et Fig. 9. p.11).

Les aquifères d'altérite

Les principaux aquifères exploités sont les aquifères situés dans la couche d'altérite[6] qui surplombe le socle granitique imperméable. Pendant longtemps, seuls les aquifères d'altérite ont été exploités. L'épaisseur de la couche d'altérite conditionne à la fois le volume stocké et la productivité. Dans la zone de Gbêkê, il semble que l'épaisseur moyenne soit très élevée de l'ordre de 50 m. De ce fait, ces aquifères sont potentiellement très riches et certains auteurs notent leurs sous-exploitations et les forts potentiels de la zone pour la perforation manuelle (UFR-STRM et LATASAH 2009).

La couche d'altérite est épaisse, moyennement perméable, et le niveau statique (profondeur à laquelle on atteint l'eau) est inférieur à 15 mètres de profondeur. La productivité dépend de la profondeur aussi, au vu de l'épaisseur d'altération et de la profondeur des puits observés à Bouaké, il serait envisageable d'approfondir les puits existants les moins profonds qui tarissent en saison sèche (20 % des ouvrages analysés tarissent entre décembre et mars). Il faut cependant retenir que le puisatier ne peut manuellement creuser plus profondément que 40 mètres sous peine d'asphyxie[7].

6 L'altérite est une couche plus ou moins épaisse de matériaux meubles résultant de l'altération physico-chimique de la roche du socle. La composition de cette couche dépend donc de la roche mère sous-jacente, ici des granites.

7 La profondeur maximum de pénétration de l'air est estimée à 40 mètres environ.

Les aquifères fissurés

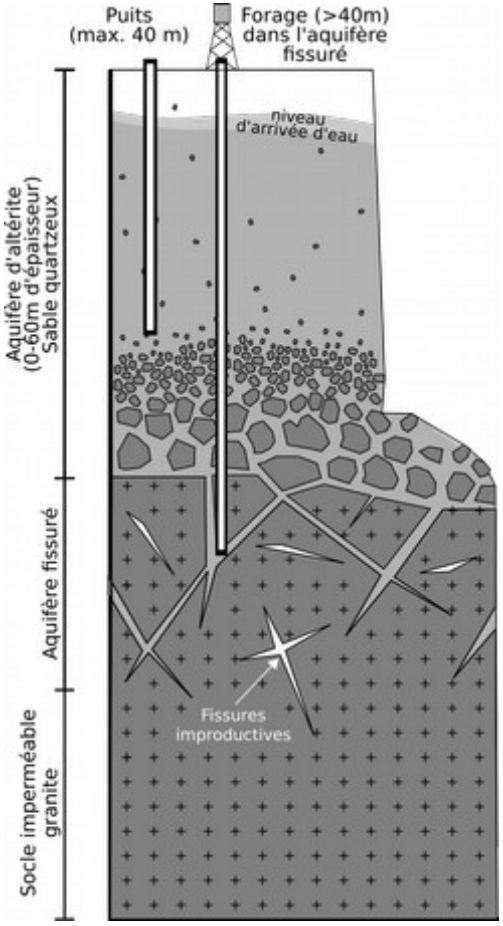
Si la roche du socle a une porosité faible, sa partie supérieure est parcourue de fractures et de fissures nées de son refroidissement et de mouvements tectoniques lors de son histoire géologique. « *L'eau circule dans les roches cristallines à travers les réseaux de fractures à fonction drainante, généralement bien alimentés et capables de fournir des débits assez importants quand ils sont bien captés par les forages. À l'heure actuelle, les forages captant les fractures sont les plus sûrs et les moins influençables par les fluctuations saisonnières ; contrairement aux puits réalisés dans les altérites et qui sont placés sous l'influence directe du rythme des saisons* » (UFR-STRM et LATASAH 2009).

Toutefois, l'eau y est présente, mais de manière très discontinue, très inégale et les méthodes de prospection probabilistes n'offrent aucune certitude quant à la productivité des forages futurs (identification des fissures par photo-interprétation, estimation de l'épaisseur d'altérite, sondages tests). Pour exploiter ces fissures, il faut réaliser plusieurs ouvrages de reconnaissance en vue d'atteindre des fissures potentiellement transmissives (contenant de l'eau) afin de pouvoir choisir d'exploiter les plus productifs (Gilli, Mangan, et Mudry 2016:45-46). De ce fait, l'exploitation des fissures nécessite des moyens importants tant au niveau de la prospection que de l'exploitation.

En outre, les débits des forages demeurent faibles. Le directeur de la SODECI à Bouaké rapporte que dans la zone, les forages ont un débit allant de 2 m^3/h à 21,2 m^3/h. La tendance est à la réduction de ces débits, puisque le plus gros forage assurait un débit de 35 m^3/h à sa mise en service. Il n'assure aujourd'hui plus que 21,2 m^3/h. Les ressources des aquifères fissurés sont très largement insuffisantes pour alimenter la ville : elles n'assurent que 8 % des approvisionnements en eau, tandis que les eaux de surface fournissent les 92 % restant.

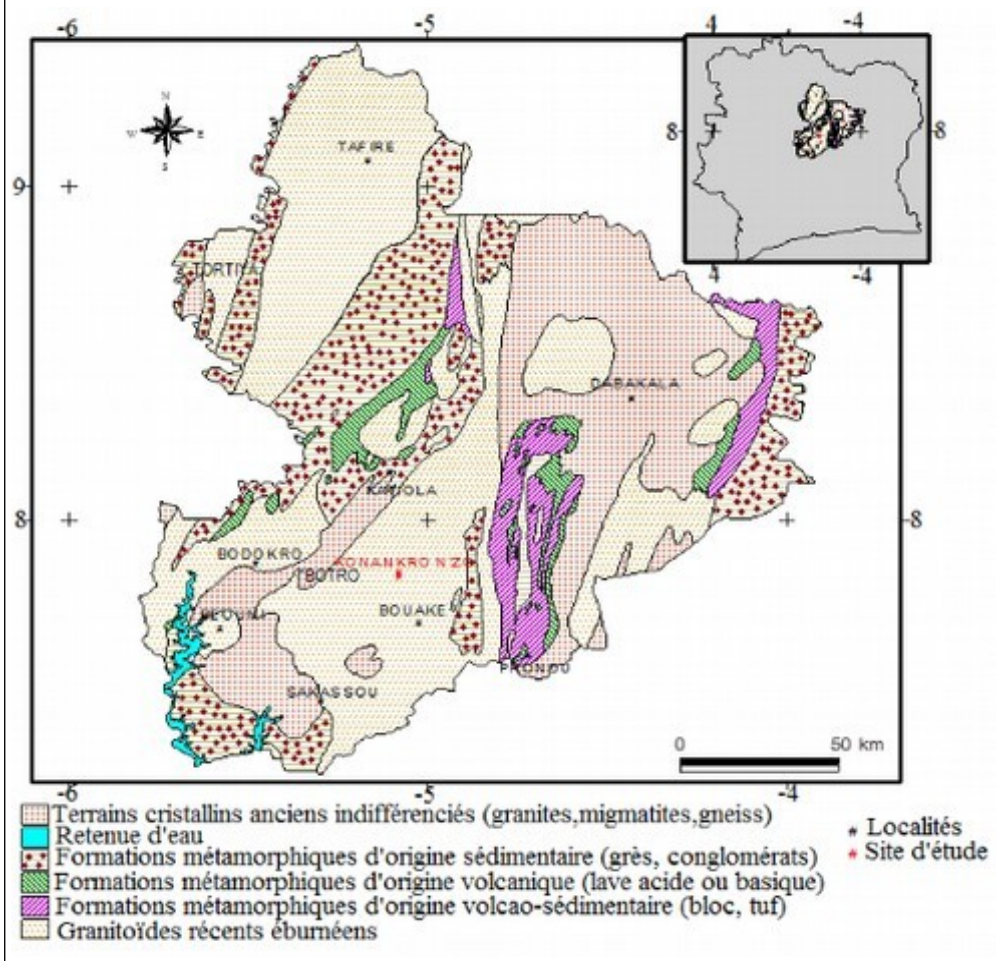
Sur le plan de la qualité de l'eau toutefois, il convient d'éviter d'exploiter les fissures situées au-dessous des cours d'eau polluées, car une étude comparant les compositions chimiques des différents stocks d'eau sur le bassin versant du N'Zi montre que les fissures communiquent directement avec les eaux de surface. « *Les eaux des aquifères de fissures ont une signature chimique proche des eaux de surface traduisant une interaction possible entre ces deux hydrosystèmes. Cette assertion est confortée par la superposition à plusieurs endroits des réseaux hydrographiques et de fractures du socle constituant l'aquifère de fissures* […] *Les aquifères des altérites, moins profonds, semblent être faiblement connectés aux deux premiers systèmes avec un faible échange d'eau. Ceci milite en faveur d'un échange de flux entre le réseau hydrographique et les aquifères fissurés, sans contribution significative des aquifères d'altérites.* […] *On pourrait donc retenir que dans le socle cristallin draine une partie de l'eau contenue dans le réseau hydrographique* » (Kamagate et al. 2011:213-14).

Fig. 6. Schéma du sous-sol de Bouaké



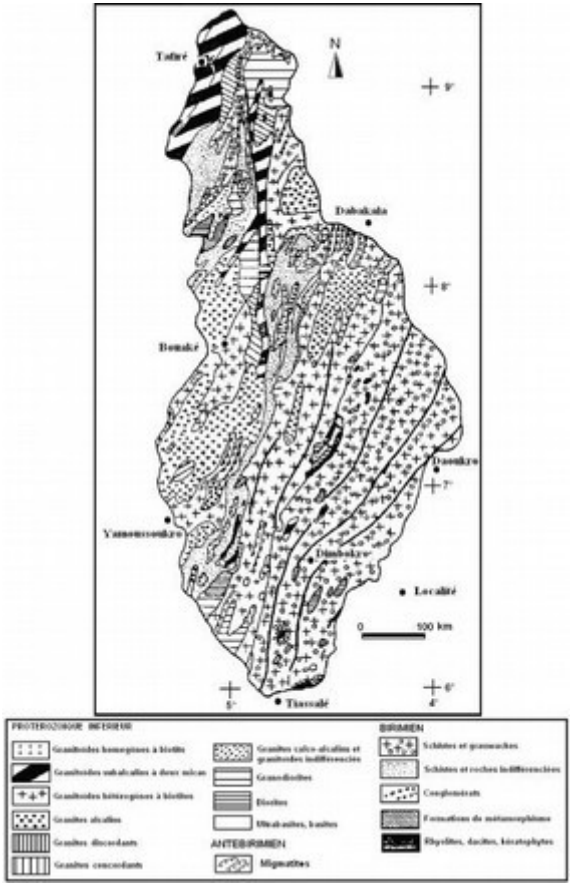
Réalisation : Y. O. Brou et T. Maillard 2019

Fig. 7. Carte géologique du bassin moyen du Bandama



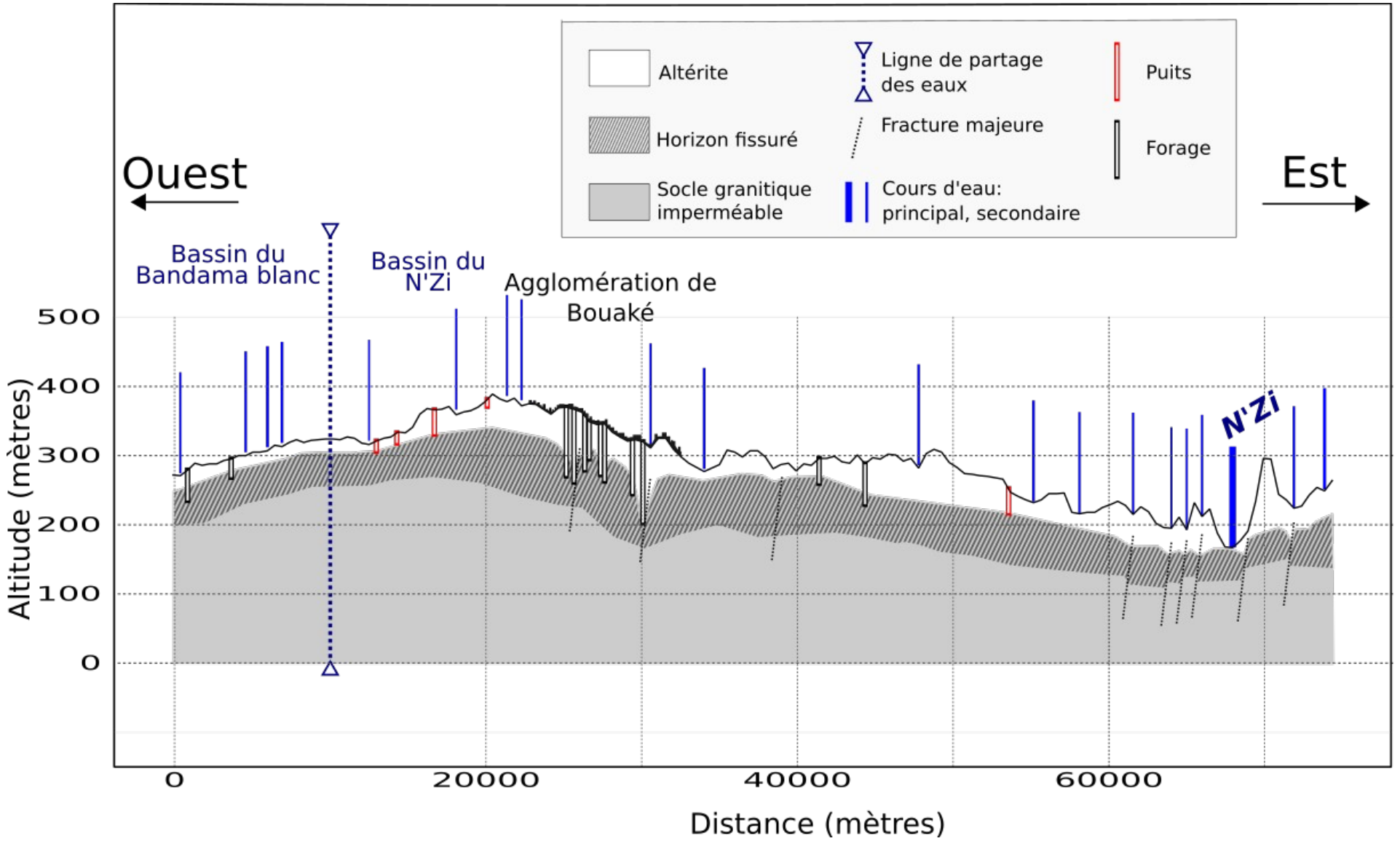
Sources : Atlas de Côte d'Ivoire, ORSTOM, 1979

Fig. 8. Carte géologique : bassin du N'Zi (sous-bassin du Bandama)



Source : (Kouassi et al. 2013:127)

Fig. 9. Coupe schématique Ouest – Est de Bouaké et ses alentours



Réalisation : T. Maillard 2019 à partir des données d'Urgence Eau Côte d'Ivoire et Kouassi et al. 2013
N. B. En l'absence de relevés stratigraphiques, les profondeurs et épaisseurs des couches sont totalement approximatives. Elles ont été schématisées en faisant l'hypothèse que les forages pénètrent dans l'horizon fracturé, que les puits s'y arrêtent et en retenant que l'épaisseur moyenne d'altérite entre 20 et 40 mètres et celle de l'horizon fissuré de 40 à 80 mètres. Il ne s'agit pas d'une coupe géologique exacte, mais plutôt d'un schéma conceptuel.

Les points-clés à retenir

La zone d'intervention souffre depuis 1970 d'une forte diminution des pluies. Ce phénomène risque de s'aggraver avec le changement climatique en cours. Les ressources en eau utilisées proviennent de trois stocks aux caractéristiques et potentialités bien distinctes :

- Les **eaux de surfaces *surexploitées***, en forte ***diminution*** et relativement ***polluées***.
- Les **eaux souterraines** sous-exploitées :
  - Les **eaux des aquifères fissurés** : peu exploitées, car ***peu productifs*** et nécessitant des ***investissements lourds*** en matière de prospection.
  - Les **eaux des aquifères d'altérite** : principalement exploité en milieu rural, le stock semble ***important*** et ***facile*** à exploiter à ***petite échelle*** (puits domestiques). Par ailleurs, le sous-sol ***filtre*** les micro-organismes et certains polluants. Cependant, malgré une capacité de stockage importante, ces aquifères sont ***sensibles*** aux variations de la pluviométrie, mais sont toutefois moins vulnérables aux changements climatiques que les eaux de surface.

Recommandations pour Urgence Eau

La pénurie d'eau dont a souffert Bouaké en 2018 n'est pas liée à une pénurie de la ressource, mais plutôt à un problème d'entretien des ouvrages et à l'exploitation presque exclusive du stock le plus vulnérable : les eaux de surface.

Le travail mené par Urgence Eau sur les ouvrages de faible taille exploitant les aquifères d'altérite est pertinent au vu du potentiel et de la sous-exploitation de ce stock d'eau. Toutefois, il convient de mettre l'accent sur le contrôle de la conception des ouvrages de captage et de la qualité de l'eau dans ces ouvrages pour éviter les pollutions liées à des problèmes d'assainissement à proximité des puits, au ruissellement d'eaux sales par la surface ou au mauvais entretien des puits.

L'exploitation des aquifères fissurés nécessite de mettre en œuvre des investissements lourds en matière de prospection et d'exploitation pour un faible rendement. Ce volet de l'exploitation des eaux correspond plutôt aux moyens techniques et financiers dont disposent les grandes agences et sociétés nationales comme l'ONEP et la SODECI.

Le constat de sous-exploitation des eaux souterraines est ancien (2001), il convient donc de surveiller la pérennité de cette ressource face à la régression de la pluviométrie sur la zone. Pour cela, il conviendrait de mener des actions sur les facteurs favorisant la recharge des nappes (l'infiltration) afin de maintenir ces stocks à un niveau quantitatif et qualitatif satisfaisant. Plusieurs interventions sont possibles : multiplication de petits barrages et renforcement du couvert végétal pour favoriser l'infiltration et réduire le ruissellement, contrôle de l'extraction minière en amont, réduction des pratiques polluantes en amont et sur place (réduction de l'emploi des produits phytosanitaires agricoles, épuration des eaux usées domestiques, industrielles et minières). Toutefois, ces éléments ne relèvent pas forcément des compétences d'Urgence Eau.

Bibliographie sélective :

BRGM. 2008. « Carte hydrogéologique de l'Afrique ». 1/1 000 000e.

Gilli, Éric, Christian Mangan, et Jacques Mudry. 2016. Hydrogéologie : *Objets, méthodes, applications*.

Goula, Bi Tié Albert, Issiaka Savane, Brou Konan, Vamoryba Fadika, et Gnamien Béatrice Kouadio. 2006. « Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide) ». *VertigO* (Volume 7 Numéro 1).

Goula, Bt, Vj Kouassi, et L. Savane. 2009. « Impacts du changement climatique sur les ressources en eau en zone tropicale humide : cas du bassin versant du Bandama en Côte d'Ivoire ». *Agronomie Africaine* 18(1) :1-11.

JICA. 2001. *Plan Directeur de gestion intégrée des ressources en eau en République de Côte d'Ivoire*. *Plan directeur*. 51.

Kamagate, Bamory, Droh Lanciné Gone, Inza Doumouya, Ismaïla Ouattara, Moussa Ouedraogo, Adama Bamba, et Issiaka Savane. 2011. « Relation nappe-rivière dans le bassin versant du Bandama en milieu de socle fissuré en Côte d'Ivoire : approche couplée hydrochiomie-télédétection ». *International Journal of Biology and Chemical Sciences* 5(1) :206-16.

Kouassi, Amani Michel, K. F. Kouame, M. B. Saley, et Jean Biemi. 2013. « Impact des changements climatiques sur les eaux souterraines des aquifères de socle cristallin et cristalophyllien en Afrique de l'Ouest : cas du bassine versant du N'Zi-Bandama (Côte d'Ivoire) ». *Larhyss journal* (16) :121-38.

Kouassi, Amani Michel, Koffi Fernand Kouamé, Yao Blaise Koffi, Kouakou Bernard Dje, Jean Emmanuel Paturel, et Sekouba Oulare. 2010. « Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire ». *Cybergeo*.

Soro, Gneneyougo, Affoué Yao, Yao Kouame, et Tié Bi. 2017. « Climate Change and Its Impacts on Water Resources in the Bandama Basin, Côte D'ivoire ». *Hydrology* 4(1) :18.

Soro, Tanina Drissa, Bernard Djè Kouakou, Ernest Ahoussi Kouassi, Gbombélé Soro, Amani Michel Kouassi, Konan Emmanuel Kouadio, Marie-Solange Oga Yéi, et Nagnin Soro. 2013. « Hydroclimatologie et dynamique de l'occupation du sol du bassin versant du Haut Bandama à Tortiya (Nord de la Côte d'Ivoire) ». *VertigO* (Volume 13 Numéro 3).

UFR-STRM et LATASAH. 2009. *Étude de faisabilité des forages manuels, identification des zones potentiellement favorables*. République de la Côte d'Ivoire.