

Mise en exploitation d'aquifères karstiques insoupçonnés pour alimenter en eau Libreville (Gabon)

Bernard Collignon¹ & Claude Ondo²

¹HYDROCONSEIL, 198 chem d'Avignon, 84470 Chateauneuf de Gadagne, France, collignon@hydroconseil.com

²SEURECA, BP 774, Libreville, Gabon - claudeONDO@seureca.com

Abstract

The capital city of Gabon (Libreville) has an 800,000 population and the demand for water is larger than present production capacity. Supplying the city with water has always been hectic, because surface water resources are scarce in the peninsula where the city is located. In 2005, the water utility (SEEG) has decided to mobilize additional water resources and karstic aquifers proved to be the cheapest option, as well as the most easy to implement in short period of time.

Two well fields have been built. They extract water from the Madiela limestone formation, explored by deep oil wells. The first well field (near Ntoun) has been implemented along a small limestone compartment (4km²). It is producing 4.4 million m³/year since 3 years and meets the water demand for 7% of Libreville. Three wells have been equipped with divers with the purpose to monitor sea water intrusion and outcomes are interesting: (a) although the aquifer is very near a salty river, no sea intrusion has been recorded, (b) permanent storage is limited but (c) recharge by rain is very efficient (>6 million m³/year).

The present exploitation rate (12 000m³/day) is sustainable and will be expanded to 50,000m³/day. Investment costs as well as O&M costs are smaller with these karstic aquifers than with present surface water alternatives. For this reason, a second well field (near Meba) will be equipped in 2012 with a 10,000m³/day scheduled production capacity.

Résumé

La capitale du Gabon (Libreville) est située sur une péninsule, où les ressources en eau sont limitées. La demande en eau dépasse la capacité de production actuelle de l'usine de traitement des eaux de surface de Ntoun. La compagnie des eaux (SEEG) a donc décidé en 2005 de mobiliser des ressources en eau supplémentaires et les aquifères karstiques se sont révélés l'option la plus économiquement avantageuse et la plus rapide à mettre en œuvre.

Depuis 2005, deux champs captants ont été développés dans la formation des calcaires de Madiela, qui étaient connus dans la région grâce aux forages pétroliers. Le premier champ (à Ntoun) a été installé le long d'un petit bloc calcaire (4km²). Il est exploité depuis 3 ans au rythme de 4,4 millions de m³/an et couvre 7% des besoins en eau traitée de la ville. Les trois forages (200 mètres de profondeur) ont été équipés de sondes de mesure pour garantir un monitoring rigoureux du biseau salé. Ce système de surveillance a permis de faire plusieurs observations intéressantes: (a) bien que l'aquifère soit situé à moins de 1km d'un estuaire aux eaux saumâtres, il n'y a pas d'intrusion saline, (b) les réserves permanentes de l'aquifère sont limitées mais (c) la recharge par les précipitations est extrêmement efficace (> 6 millions de m³/an).

Le rythme d'exploitation actuel (12 000m³/jour) est donc compatible avec une exploitation durable de la ressource et va être élargi. Les charges d'équipement et d'exploitation de ces aquifères karstiques sont plus faibles que celles des solutions alternatives (eaux de surface + usines de traitement). Pour cette raison, un second aquifère karstique est en cours d'équipement (à Meba), avec une capacité de production attendue en 2012 de 10 000m³/jour.

1. Introduction

Libreville (capitale du Gabon) a une population de 800 000 habitants et une demande en eau comparable à celle des pays européens (235 litres par jour et par habitant, soit 188 000m³/jour). L'approvisionnement en eau de la ville a toujours été problématique, parce que les ressources en eau sont limitées dans la péninsule où est située la ville (voir fig. 1).

Jusqu'en 1970, la ville était approvisionnée par des forages profonds, exploitant les calcaires de Sibang (voir tableau 1). La production de ces forages ne permettait cependant pas d'alimenter beaucoup plus de 100 000 habitants et l'entreprise de distribution d'eau (Société d'Énergie et d'Eau du Gabon, SEEG) a décidé d'investir dans une grande usine de traitement des eaux de surface, implantée 45km à l'est de la ville. Cette usine d'une capacité de 162 000m³/jour traite les eaux de 5 rivières de la région de Ntoun.

Cette ressource est devenue insuffisante pour faire face à la croissance continue de la population et de la demande, particulièrement en fin de saison sèche (juin-septembre). Un projet de mobilisation d'autres ressources en eau de surface a donc été identifié, mais les investissements à réaliser sont assez lourds, ils exigent un concours de l'Etat et leur mise en œuvre prendra de nombreuses années.

Pour parer au déficit en eau actuel, la SEEG nous a donc demandé de rechercher des ressources complémentaires rapidement mobilisables, avec des investissements limités, qui puissent être engagés sur fonds propres de l'entreprise.

2. Les ressources en eau souterraine

Pour répondre à la demande de la SEEG, nous avons ciblé les ressources en eau souterraines, car elles peuvent être mobilisées plus rapidement que les eaux de surface, avec des investissements plus limités et que l'on peut plus facilement moduler dans le temps (par tranches d'investissement successives).

Le substratum de Libreville est formé d'une puissante série sédimentaire (> 8000m - carte géologique du Gabon et BEICIP/FANLAB, 2006). La plupart des formations ont cependant une perméabilité assez limitée et seuls trois d'entre elles présentent des débits suffisants pour l'alimentation en eau de Libreville (BURGEAP, 1999 - voir fig 1 et tableau 1) :

- Les calcaires de Sibang (exploités par la SEEG jusqu'en 1980), dont les ressources sont trop limitées

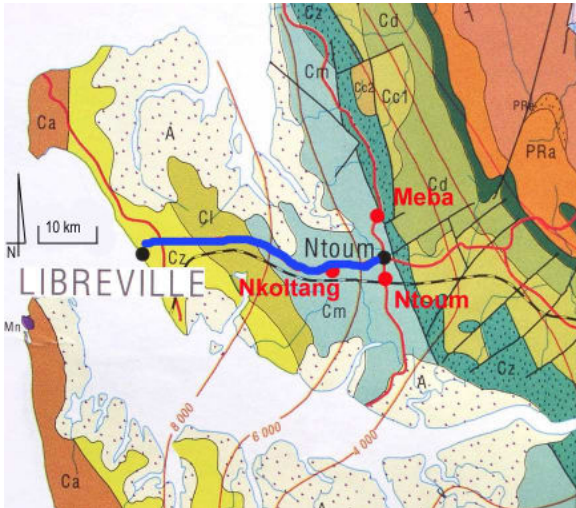


Fig. 24. Extrait de la carte géologique du Gabon, (Hudeley, 1970) avec la conduite d'alimentation de la ville et les blocs calcaires prospectés par sondage.

- Les grès de N'Dombo, reconnus par SAFEGE en 1983, dont les eaux ferrugineuses nécessitent un traitement préalable
- Les calcaires de Madiela (objet du présent article) qui avaient été négligés jusqu'à présent, car leurs affleurements sont très restreints.

| Code | Lithologie - Age | Productivité |
|--------------|---|---|
| A | Alluvions argileuses récentes (mangrove) - Quaternaire | Peu productifs |
| Ca, Cz et Cl | Série d'Anguilé et série d'Azilé, (marnes dominantes, sables et calcaires de Sibang) - Turonien | Peu productif, sauf Calcaires de Sibang |
| Cm | Série de Madiela (sables, marnes et calcaires) - Albien | Les calcaires sont très productifs |
| Cz et Cc | Série de Cocobeach (sables, marnes) - Crétacé inférieur | Peu productive |
| Cd | Grès de N'Dombo (sables, grès) | Grès très productifs |
| PRa | Socle cristallin | Peu productif |

Tableau 1. Formations géologiques de la région de Libreville (voir carte géologique de la figure 1).

3. Prospection des aquifères karstiques

La prospection hydrogéologique s'est concentrée sur les niveaux calcaires de la série de Madiela.

Dans la région de Ntoum, cette prospection est difficile car les affleurements rocheux sont rares. Toute la région est couverte d'une dense forêt équatoriale et le relief est très modéré. Il n'existe aucune forme karstique de surface remarquable (pas de dalles rocheuses, ni de lapiaz, de dolines, de pertes). Le seul compartiment calcaire qui soit bien connu avait été recoupé par hasard lors d'une prospection pétrolière et son extension a ensuite été vérifiée par sondage par l'entreprise Lafarge il y a 40 ans). Ce bloc de 4km² est maintenant exploité par l'entreprise CIMGABON.

4. Implantation et développement de 3 champs captant

Nous avons implanté le premier champ captant de la SEEG en 2006 à la limite orientale de ce petit bloc calcaire, 1 km au sud de la ville de Ntoum. Trois forages d'explorations de 200 mètres ont été forés et ils ont donné d'excellents résultats (200 mètres calcaires en plaquettes, avec des débits spécifiques de plus de 10m³/h par mètre de rabattement). Ces forages ont été équipés et raccordés au

principal réservoir de l'usine de traitement d'eau de Ntoum (c'est-à-dire en aval de ses unités de filtration)

Ce premier test ayant été positif, la prospection a été étendue aux autres indices calcaires dans la région.

Un deuxième bloc calcaire avait été repéré par Lafarge (Lafarge Conseil Etudes. 1976) à Nkoltang en 1970 et il a été foré sur 150 mètres. La première partie du puits produisait de l'eau douce, mais il a produit des eaux saumâtres en profondeur et cet objectif a été abandonné après des tentatives infructueuses de pomper seulement les eaux douces observées dans la partie supérieure de l'aquifère.

En 2007, nous avons découvert un troisième bloc calcaire à Meba, toujours grâce à des forages de reconnaissance (pas d'affleurement). La série de Madiela y comporte au moins 100m de calcaires légèrement argileux, localement dolomitisés, en bancs minces, extrêmement karstifiés (tous les forages ont subi des pertes totales de boue, entraînant de grandes difficultés de foration). C'est un aquifère très prometteur qui produit des eaux d'excellente qualité et il sera mis en exploitation en 2012.

5. Evaluation des réserves, en utilisant les données d'exploitation

L'entreprise de distribution d'eau (SEEG), a mis le champ captant de Ntoum sous surveillance, car il constitue une ressource stratégique pour cette ville qui souffre d'un fort déficit en eau. Tous les forages ont été équipés de dispositifs de mesure et d'enregistrement du niveau de l'eau, de sa conductivité et de sa turbidité.

Il n'existe pas de piézomètre et les mesures sont donc perturbées par les arrêts et démarrages intempestifs des pompes, mais le traitement simultané de l'ensemble des données permet de corriger l'effet de ces perturbations et d'analyser l'évolution de l'aquifère lui-même.

L'ensemble de ces données ont été traitées en utilisant une méthode d'interprétation des essais par pompage utilisée avec succès en Algérie (Collignon, 1986 et Collignon, 1988). Les principales conclusions après 4 années d'observation sont décrites ci-dessous.

Rabattement instantané : le rabattement quasi instantané qui se produit au démarrage des pompes est de l'ordre de 25cm par L/s (ce qui correspond à des forages très productifs) (Figure 2). Il est extrêmement stable sur le long terme (on n'observe pas de vieillissement, ni de développement des forages en cours d'exploitation). Il suit une loi quadratique, qui traduit bien les pertes de charge singulières dans les fissures productives des forages.

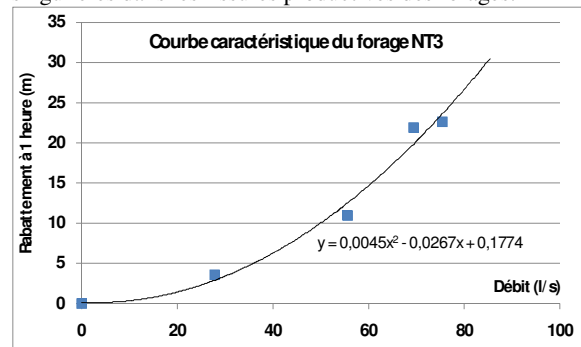


Fig. 2. Courbe caractéristique du forage NT3

Rabattement durant la saison sèche :

Il est non négligeable (1,2 à 1,5 mètres par mois), ce qui indique que les réserves permanentes de l'aquifère sont relativement limitées. Elles ont été évaluées en mesurant le

rabattement dans l'ensemble du champ captant, durant la saison sèche de 2009 et à nouveau en 2010. Le niveau de l'eau est descendu de 5 mètres, à comparer à un prélèvement de 1,1 millions de m³. Les réserves permanentes de l'aquifère sont donc évaluées à 220 000m³ par mètre de rabattement. (Collignon et Ondo, 2010).

Connectivité des fissures :

L'essentiel du bloc calcaire est drainé par un réseau de fissures interconnectées et le niveau de l'eau dans tous les forages réagit simultanément au démarrage d'une pompe et aux précipitations (Fig. 3.3).

Recharge par les pluies :

Elle est extrêmement rapide (moins de 24h de délai de réaction) et très efficace (2 mètres en moins de 3 jours et 4 à 6 mètres sur le premier mois de la saison des pluies). Elle compense rapidement l'effet du rabattement causé par l'exploitation et le niveau observé avant le début de la saison sèche est récupéré en moins de deux mois.

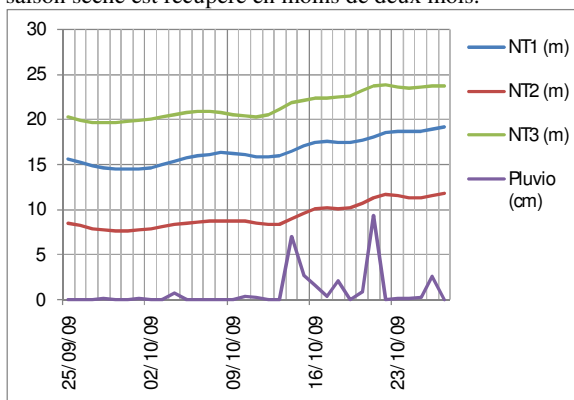


Fig. 3. Réaction de la hauteur d'eau dans les forages aux précipitations

Turbidité :

Bien que la recharge par la pluie soit très rapide et bien que les eaux de ruissellement observées en surface soient très turbides, l'eau des forages ne se trouble jamais (turbidité <0,5 NTU) (Figure 4). Ceci suggère que le réseau de fissures exploité par les forages ne soit pas connecté avec le karst de surface par des drains de grande dimension (aven, pertes concentrées) ou encore que les altérites qui recouvrent le karst jouent un rôle de filtre relativement efficace de la forte turbidité des eaux de surface.

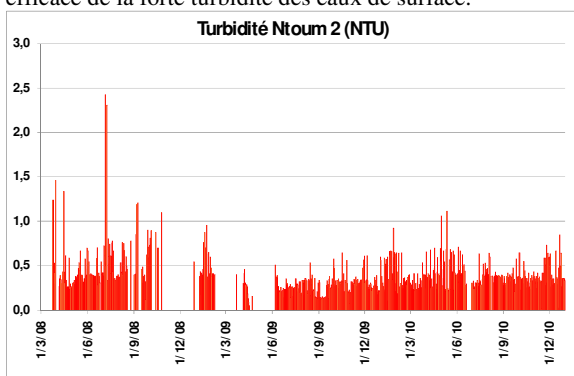


Fig. 4. Evolution de la turbidité en exploitation.

L'aquifère se comporte ainsi comme un stock souterrain bien protégé, de quelques dizaines de millions de m³, bénéficiant d'une recharge annuelle d'une dizaine de millions de m³. Sur la base de cette observation, il a été décidé :

- d'équiper le champ de Ntoum avec sept forages supplémentaires, pour une capacité totale de 50 000m³/jour (Collignon et Ondo, 2011)
- d'équiper un second champ (Meba) reconnu 10km plus au Nord, dans la même formation géologique, avec une capacité totale de 10 000m³/jour (idem)

6. Absence d'intrusion d'eau de mer

Les aquifères karstiques de la région de Ntoum sont très vulnérable aux intrusions salines, car l'eau de mer pénètre à travers la mangrove jusqu'à proximité des affleurements de Madiela calcaire (voir fig. 1). L'intrusion saline est sensible à Nkoltang, où la prospection hydrogéologique a été abandonnée. Par contre, à Ntoum, aucune intrusion saline n'est sensible après 4 ans d'exploitation, bien que le niveau de l'eau dans la carrière ait été abaissé au-dessous du niveau de la mer. On peut en déduire qu'il ne s'agit pas d'un vaste aquifère s'étendant sur des dizaines de kilomètres. Il s'agit plutôt de petits blocs carbonatés isolés les uns des autres.

Pour surveiller une éventuelle intrusion saline, la conductivité de tous les forages a été suivie en continu durant 4 ans (Figure 5). De manière inattendue, la conductivité a régulièrement baissé, ce qui montre bien l'absence de communication avec la mer et suggère une réalimentation par drainage d'autres aquifères moins minéralisés (grès de Gamba ou de N'Dombo).

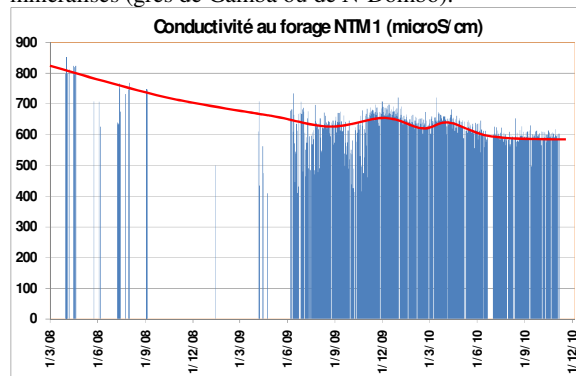


Fig. 5. Evolution de la conductivité des eaux souterraine (mesures instantanées et courbe tendancielle).

7. Les petits aquifères karstiques: une alternative peu coûteuse pour renforcer l'alimentation en eau de Libreville

Les horizons calcaires de la série de Madiela n'affleurent que sur quelques kilomètres carrés dans la région de Libreville et ils n'avaient donc pas été considérés jusqu'à récemment comme des objectifs hydrogéologiques intéressants pour l'approvisionnement en eau de la capitale du Gabon.

Cependant, les forages réalisés ces cinq dernières années ont démontré l'existence d'une ressource abondante et bon marché (car ces eaux ne nécessitent pas de traitements coûteux), à proximité immédiate des grandes infrastructures hydrauliques existantes (conduites et réservoirs principaux de la ville). Elles ont ainsi pu être mise en production très rapidement, pour couvrir le déficit en eau de la ville.

8. Conclusion

Les forages réalisés depuis 2005 ont démontré que les calcaires du Madiela sont karstifiés et extrêmement productifs (100 à 400m³/h par forage). Ils offrent ainsi une ressource alternative peu coûteuse pour la capitale du

Gabon, dont l'alimentation en eau est difficile à cause de sa localisation sur une péninsule.

Un premier champ captant est exploité depuis 2007 au rythme de 4 millions de m³ par an sans aucun signe de surexploitation et il a donc été décidé d'en créer un second et de pousser la capacité à 50 000m³/jour production à 12 millions de m³/an (soit 1/5 des besoins de la ville).

Le monitoring fin des forages exploités (niveau dynamique et conductivité) a permis de montrer que l'aquifère est bien karstifié mais que ses réserves permanentes sont limitées. Heureusement, la réalimentation par les pluies est rapide (moins de 2 jours) et très efficace. La baisse sensible de la conductivité suggère également une seconde forme de réalimentation lente: la drainance d'un aquifère moins minéralisé comme les horizons sableux du Madiela ou du Cocobeach..

Références

- BEICIP/FANLAB. 2006. Gabon open block evaluation NKANI GA-222. Rapport à Petrol One Corp.
- BURGEAP. 1999. Étude préliminaire pour la recherche de ressources en eau souterraines ou superficielles destinées à l'alimentation en eau potable de Libreville. Rapport à la SEEG.
- Collignon B. 1986. Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen (Algérie). Thèse de doctorat (Avignon). Ed. INRH (Alger).

Collignon B. 1988. Évaluation des réserves permanentes et renouvelables des aquifères karstiques de l'Ouest de l'Algérie à partir du suivi piézométrique des forages en exploitation. Comm. 4ème Coll. hydrologie en pays calcaire et milieu fissuré (Besançon). Actes, pp. 99-105.

Collignon B et Ondo C. 2010. Monitoring du champ captant de Ntoun. Rapport à la SEEG.

Collignon B et Ondo C. 2011. Recommandations pour l'exploitation durables du champ de Ntoun. Rapport à la SEEG.

Hudeley H (BRGM). 1970. Carte géologique de la République Gabonaise au 1/1000 000 (www.sysmin-gabon.org).

Lafarge Conseil Etudes. 1976. Etude géologique pour la cimenterie de Ntoun.

SAFEGE. 1983. Réalisation de deux forages de reconnaissance dans les grès de N'Dombo. Rapport à la SEEG.

Figure 6. Monitoring des hauteurs d'eau dans le champ captant de Ntoun.

