



TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : AEP/EAU SOUTERRAINE

Présenté et soutenu publiquement le [Date] par

Abdou Hanzim SALET SAROUKOU

Travaux dirigés par : Prénom NOM

- **M^r Jean Clément MOUNGUENGUI** (Ingénieur Hydrogéologue, chef de division Ressource en eau SP)
- **M^r Bèga OUEDRAOGO** (Ingénieur de l'Équipement Rural, Enseignant 2ie)
- **D^r Mahamadou KOITA** (Enseignant chercheur 2ie)

Département d'hydraulique

Jury d'évaluation du stage :

Président : **D^r Angelbert BIAOU**

Membres et correcteurs : **M^r Bega OUEDRAOGO**

M^{me} Justine TIROGO

M^r Tadjoua KOUAWA

Promotion [2013/2014]



TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord DIEU, le tout-Puissant et le Miséricordieux pour m'avoir permis d'effectuer mon cursus scolaire et en particulier cette étude clôturant mon cycle de Master dans de bonnes conditions.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers M^r MOMBO MOMBO Gladis, Directeur Technique Eau et Assainissement de la Société de Patrimoine, pour m'avoir accordé ce stage, aidé, conseillé et guidé dans mon travail.

Je tiens également à remercier et témoigner ma gratitude à mes responsables de stage : MM MOUNGUENGUI Jean Clément et MAVIOGA Luc pour leur accueil, leur disponibilité, leurs conseils, leurs enseignements et leur contribution à la réalisation de ce travail.

J'adresse aussi mes remerciements à M^r NGANDZINO L. André, M^r YOUMOU Sylvain, M^r MISSANDA Jean Marc, M^{me} PAMBA M. Prisca, M^r LEBAMA Ludovic, M^r EFFA Armand, M^r MAKOSSO G. Martial, M^r ONDO O. Sheriff et M^r MBOUKOU S. Roland pour l'intérêt qu'ils m'ont porté durant ma période de stage.

Je remercie mes encadreurs M^r Bega OUEDRAOGO et M^r Mahamadou KOÏTA pour l'orientation, la patience et leur disponibilité qui ont constitué un atout sans lequel ce travail n'aurait pu être mené à terme.

Mes remerciements vont également à l'endroit du corps professoral et administratif du 2ie pour les efforts qu'ils déploient afin d'assurer à leurs étudiants une formation de qualité.

Je ne saurais oublier mes amis de promotion, CHITOU Ulrich, GODOUI Astrid, AUVA E. Vanessa, OUELOGO Djamilatou, IDO Sylvia, KANEZA Joyce et WONGA B. Jeancia.

Mention spéciale à M^r CHITOU Rahamane et à sa femme pour l'accueil et le soutien qu'ils m'ont apporté durant mon cursus.

Que mes frères et sœurs soient remerciés pour leur soutien et pour tous les sacrifices consentis à mon égard ;

Je n'oublie pas mes très chers et tendres neveux, NKOMBE NDIAYE Zeynab et BADJENDA Zyad ;

J'adresse un vibrant hommage à mes très chers Parents pour leur soutien infailible et tous les sacrifices consentis durant mon parcours. Sans vous et sans votre bénédiction, ce travail n'aurait certainement pas abouti. Vous êtes et vous resterez à jamais des modèles de vie pour nous vos enfants.

Enfin, je remercie tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réussite de ce travail.

TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE

RESUME

La présente étude a été effectuée au Nord, à 10 km de Libreville dans le quartier Angondjé. Elle porte sur l'amélioration de la distribution d'eau potable dans cette partie de la ville à travers la réalisation des forages. Afin d'atteindre les objectifs visés, la démarche méthodologique adoptée a consisté à faire un diagnostic de la situation actuelle de l'AEP, à exécuter une étude de prospection géophysique préalable à la réalisation de forage et à dimensionner les canalisations de transport d'eau.

Le diagnostic a montré que les populations situées au Nord de Libreville rencontrent d'énormes problèmes d'accès à l'eau potable qui s'expliquent par la limite des unités de production de Ntoum ($175000 \text{ m}^3/\text{jr}$) n'arrivant plus à satisfaire la demande ($200000 \text{ m}^3/\text{jr}$) en eau des populations. Cette situation se fragilise davantage, cause d'une urbanisation accélérée liée à une démographie de plus en plus importante de la ville de Libreville, et particulièrement au Nord.

Ainsi, dans l'optique d'améliorer la situation précaire qui prévaut au Nord de Libreville, l'étude géophysique réalisée a permis d'identifier cinq (5) points (SP1, SP2, SP3, SP4, SP5) favorables à l'implantation des forages. En effet, cinq (5) forages ont été réalisés et ont permis d'obtenir respectivement des débits de $15 \text{ m}^3/\text{jr}$, $55 \text{ m}^3/\text{jr}$, $25 \text{ m}^3/\text{jr}$, $25 \text{ m}^3/\text{jr}$ et $30 \text{ m}^3/\text{jr}$ soient un total de $3600 \text{ m}^3/\text{jr}$ d'eau supplémentaire. L'eau produite a été acheminée vers la mini station de traitement de capacité 100 m^3 , à partir des canalisations dimensionnées à cet effet.

Mots Clés :

1 – LIBREVILLE

2 – DIAGNOSTIC

3 – MANQUE D'EAU

4 - GEOPHYSIQUE

5 – FORAGES

TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE

ABSTRACT

The present study was made in the North in 10 km from Libreville in the district Angondjé. it concerned the improvement of the drinking water distribution in this part of the city through the realization of the drillings. To reach the aimed goals, the adopted methodological approach (initiative) consisted in making a diagnostic of the current situation of the AEP, in executing a study of prospecting preliminary geophysics in the realization of drilling and in sizing the pipes of transport of water.

The diagnosis showed that the populations situated in the North of Libreville meet enormous problems of access to the drinking water which are understandable by the limit of the production units of Ntoum (175000 m³ / day) not managing any more to satisfy the demand (200000 m³ / day) in water of the populations. This situation weakens more, talks of an accelerated urbanization bound (connected) to a more and more important demography of the city of Libreville, and particularly to the North.

So, in the optics to improve the precarious situation which prevails in the North of Libreville, the study geophysics realized allowed to identify five (5) points (SP1, SP2, SP3, SP4, SP5) favorable to the setting-up (presence) of the drillings. Indeed, five (5) drillings were realized and allowed to obtain respectively debits (flows) of 15 m³ / day, 55 m³ / day, 25 m³ / day, 25 m³ / day and 30 m³ / day are a total of 3600 m³ / day of the additional water. The produced water was forwarded to the mini treatment station of capacity 100 m³, from pipes sized for that purpose.

Key words:

-
- 1 - LIBREVILLE
 - 2 - DIAGNOSIS
 - 3 - LACKING WATER
 - 4 – GEOPHYSICS
 - 5 – DRILLINGS

TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE

LISTE DES ABREVIATIONS

AEP : Alimentation en Eau Potable

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

CAN : Coupe d'Afrique des Nations

DGRH : Direction Générale des Ressources Hydrauliques

FAO : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)

MERH : Ministère de l'Energie et des Ressources Hydrauliques

Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)

SEEG : Société d'Energie et d'Eau du Gabon

SP : Société de Patrimoine

ONU : Organisation des Nations Unies

UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture

TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE

Table des matières

LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
AVANT PROPOS.....	x
PRESENTATION DE LA SOCIETE DE PATRIMOINE	x
o Missions et activités principales	x
o Organigramme de la société	x
INTRODUCTION	1
I. PROBLEMATIQUE.....	2
II. OBJECTIFS DU PROJET	2
1. Objectif global.....	2
2. Objectifs spécifiques.....	2
III. GENERALITES	3
1. Présentation de la zone d'étude.....	3
1.1 Situation géographique.....	3
1.2 Organisation administrative	4
1.3 Caractéristiques physiques et naturelles.....	4
1.3 Données socio-démographiques.....	9
2. Situation actuelle du système d'AEP de Libreville	10
2.1 Contexte général de l'alimentation en eau potable de Libreville.....	10
2.3 Cas particulier de la zone Nord	14
IV. MATERIELS ET METHODES	16
1. Données et matériels.....	16
2. Méthodes	16
2.1 Diagnostic de la situation actuelle de l'AEP d'Angondjé	16
2.2 Campagne de prospection géophysique	17
2.3 Réalisation des forages	20
2.4 Raccordement des forages à la station de traitement.....	24
2.5 Protection du réseau contre le coup de bélier.....	28
V. RESULTATS.....	29
1. Diagnostic situation actuelle de l'AEP d'Angondjé.....	29
2. Campagne de prospection géophysique.....	29
1.2 Sites recommandés pour les forages.....	33
1.2 Conclusion	34
3. Réalisation des forages	34
3.1 Essais par palier	34

TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE

3.2	Essais longue durée	36
3.3	Qualité chimique et bactériologique de l'eau.....	37
4.	Raccordement des forages à la station de traitement.....	38
4.1	Dimensionnement des canalisations	38
4.2	Dimensionnement des pompes	40
5.	Protection du réseau contre le coup de bélier.....	40
VI.	DISCUSSIONS ET ANALYSE	41
1.	Analyse du système d'AEP d'Angondjé	41
2.	Renforcement de la production	41
VII.	RECOMMANDATIONS	43
	CONCLUSION.....	44
	BIBLIOGRAPHIE.....	45
	ANNEXES.....	46

**TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE
AU NORD DE LIBREVILLE**

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques des forages existants à proximité de la zone d'étude	8
Tableau 2: Coupes géologiques forages SEEG et Mika	9
Tableau 3: Caractéristiques conduites de transport.....	12
Tableau 4: Caractéristiques des forages raccordés au mini réseau d'AEP.....	15
Tableau 5 : Calage des valeurs de résistivités	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 6: Interprétation lithologique des résultats des sondages électriques.....	31
Tableau 7: Interprétation lithologique des résultats des sondages électriques (fin)	32
Tableau 8: Coordonnées des sites favorales à l'implantation de forages	34
Tableau 9: Récapitulatif des valeurs des coefficients de pertes de charges B et C	36
Tableau 10: Récapitulatif valeurs de transmissivité des forages	37
Tableau 11: Résultats des analyses in situ	38
Tableau 12: Présentation des résultats du dimensionnement du réseau d'adduction ...	39
Tableau 13: Caractéristiques des pompes.....	40
Tableau 14: Récapitulatif des valeurs de surpression et de dépression	40
Tableau 15: Caractéristiques des différents forages.....	42

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation de la zone d'étude.....	3
Figure 2: Localisation et voie d'accès au site	4
Figure 3: Carte géologique du bassin sédimentaire du Gabon	7
Figure 4: Synoptique système d'alimentation en eau potable de Libreville (SEURECA, Mission HG3, 19 Septembre 2006).....	11
Figure 5: Schéma du dispositif Schlumberger (Chalikakis Kostantinos, 2006)	17
Figure 6: Les zones de prospection au Nord de Libreville (SEURECA, 12/2011)	19
Figure 7: Cartographie sondages électriques	20
Figure 8: Schéma synoptique des forages réalisés autour du Stade de l'amitié	27
Figure 9: Courbe sondage électrique étalon utilisé par SEURECA	30

TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE

AVANT PROPOS

Ce mémoire de fin d'étude s'inscrit dans le cadre du renforcement de la production d'eau potable au Nord de Libreville.

La société GEOFOR a été désignée adjudicataire du marché, suite à l'Appel d'Offre lancé par la SOCIETE DE PATRMOINE, pour la réalisation de cinq (05) forages autour du stade de l'amitié à Angondjé, Libreville (Gabon). La mise en œuvre du projet contribuera à l'amélioration de la distribution d'eau potable au Nord de Libreville.

PRESENTATION DE LA SOCIETE DE PATRIMOINE

La Société de Patrimoine du service Public de l'Eau Potable, de l'Energie Electrique et de l'Assainissement a été créée en 2011 par le gouvernement Gabonais. Ses missions et son organisation sont décrites et présentées ci-dessous.

○ Missions et activités principales

La Société de Patrimoine a pour missions d'assurer la production, le transport, la distribution de l'eau potable, de l'énergie électrique et l'assainissement des eaux.

En outre, elle a pour rôle d'assister le gouvernement Gabonais dans l'identification des besoins, de développement des réseaux de distribution d'eau potable et d'énergie électrique. Elle contribue donc à :

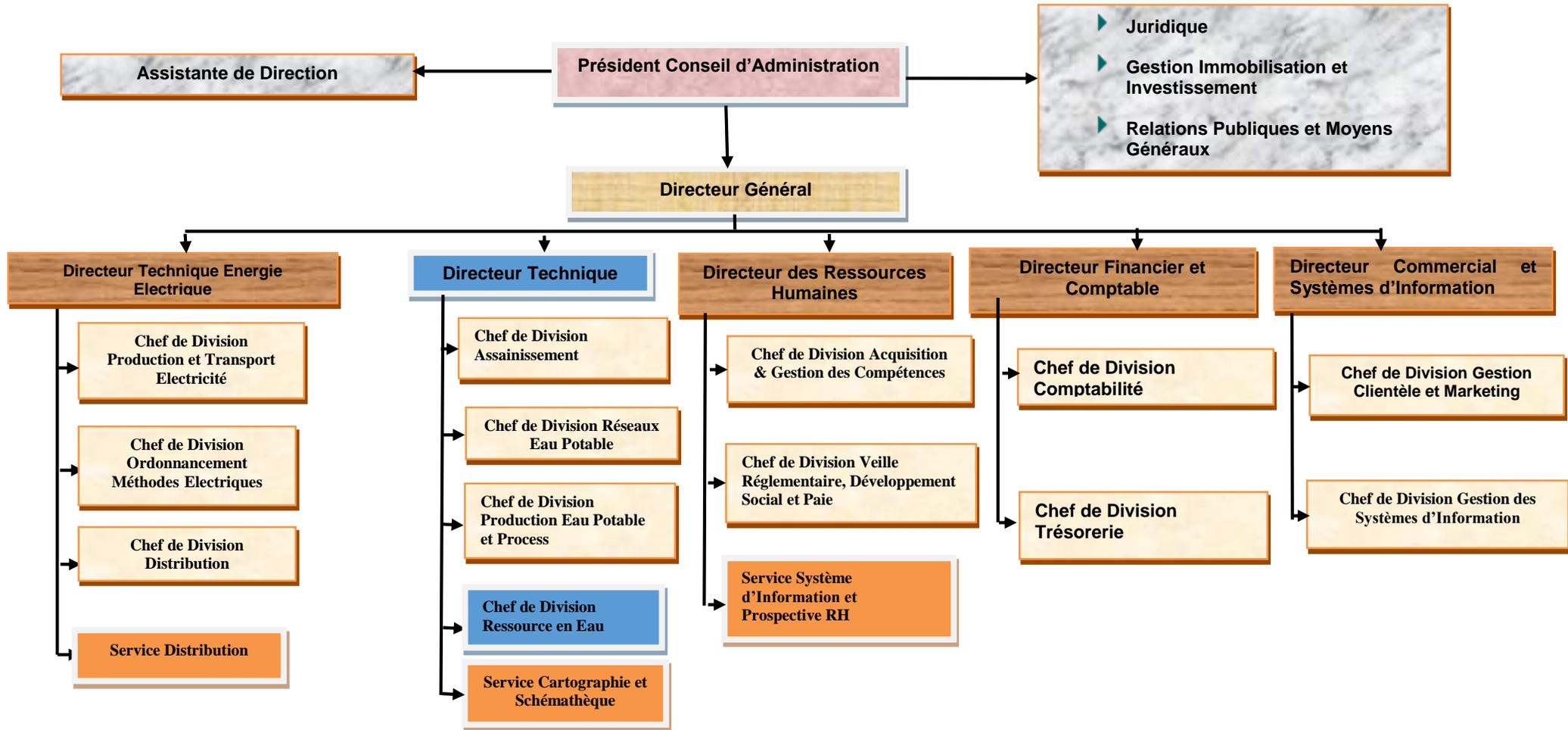
- L'exploitation de l'ensemble des unités de production d'énergie électrique telles que les barrages hydroélectriques, les centrales thermiques, les panneaux photovoltaïques appartenant à l'Etat ;
- L'exploitation des lignes de transport d'énergie électrique à travers l'ensemble du territoire national ;
- L'exploitation des unités de production d'eau, ainsi qu'à la distribution de cette ressource vers les points de consommation finale ;
- L'exploitation des installations et équipements d'assainissement et de traitement des eaux usées.

○ Organigramme de la société

La société de patrimoine est organisée comme ci-dessous. Les études et travaux effectués dans le cadre de mon thème de recherche ont été menés au sein de la Division Ressources en eau de la direction technique Eau et Assainissement.

TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE

ORGANIGRAMME DE LA SOCIETE DE PATRIMOINE



TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE

INTRODUCTION

Le Gabon comme l'ensemble des pays africains est confronté depuis quelques années à des problèmes d'approvisionnement en eau potable de ses populations plus particulièrement celle du Nord de la ville de Libreville. Cette situation est paradoxale étant donné que le pays est très bien arrosé. Les principales causes d'une pareille situation sont à rechercher dans une démographie galopante, d'un réseau de distribution obsolète et d'une exploitation très faible des ressources en eau souterraines qui à travers de forages pourraient renforcer le système existant et diminuer les pénuries fréquentes.

En effet, Libreville, capitale du Gabon connaît depuis 2005 des problèmes d'accès à l'eau potable liés non seulement à la vétusté des équipements actuels, à l'insuffisance de la production, des moyens de transport, de stockage et de distribution, mais aussi au développement socio-économique et démographique. En effet, depuis quelques temps, les quartiers de la périphérie Nord de Libreville notamment le quartier Angondjé, est devenu la nouvelle destination pour les populations en quête de parcelles. Ainsi, l'Etat gabonais, par le biais du Ministère de l'Urbanisme et du Cadastre, a construit de nouvelles cités et, plus récemment encore, la construction d'un nouveau stade et d'un Centre Hospitalier Universitaire (CHU). Tout ceci entraînant une explosion des besoins en eau potable des populations au moment où les équipements d'approvisionnement n'ont pas connu d'amélioration.

La fourniture de l'eau potable en quantité suffisante devient une préoccupation majeure ou du moins une priorité pour le gouvernement Gabonais. C'est dans ce contexte que celui-ci a décidé, pour pallier ces manquements, de mettre en place une politique de développement visant à garantir l'accès à l'eau potable des populations.

Ainsi, dans le cadre du renforcement des capacités des unités de production d'eau en vue de satisfaire la demande, le M.E.R.H. a instruit la SP à lancer le projet intitulé « Travaux d'urgence pour l'amélioration de la distribution d'eau potable au Nord de Libreville (Avorbam - Angondjé) ». Le projet consiste à mobiliser les eaux souterraines par la réalisation des forages dont les sites ont préalablement été définis à la suite d'une campagne de prospection géophysique et hydrogéologique en vue de renforcer les capacités de production et donc atténuer le problème d'accès à l'eau potable auquel sont confrontées les populations dans cette partie de la capitale politique du Gabon.

TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE

I. PROBLEMATIQUE

Depuis 2005, l'observateur note dans certains quartiers de Libreville, notamment au Nord des problèmes d'approvisionnement en eau. Ces difficultés d'accès à l'eau potable rencontrées par les populations de Libreville peuvent s'expliquer par :

- L'explosion des besoins en eau potable des populations du fait du développement de la ville et de l'accroissement de la population ;
- Les insuffisances ou le mauvais pilotage du contrat de concession entre l'Etat Gabonais et la SEEG ;
- L'insuffisance et la vétusté des ouvrages actuels de transport (manque de canalisation de grand diamètre), de stockage et de distribution témoignant l'incapacité du système actuel à assurer une distribution continue de la ressource eau.
- La variation des débits des sources de captage (rivières, forages) en période d'étiage réduisant ainsi la quantité d'eau pompée.

Les différents écarts observés laissent présager que le système d'AEP de Libreville est encore loin de satisfaire la demande en eau (200000 m³/jr en 2014, SEEG) potable des populations notamment au Nord de la ville.

II. OBJECTIFS DU PROJET

1. Objectif global

L'objectif global de cette étude est l'amélioration de l'approvisionnement en eau de consommation des populations de la zone Nord de Libreville par un renforcement des capacités de production.

2. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de l'étude sont :

- diagnostiquer la situation actuelle du système d'AEP de Libreville ;
- Exécuter une étude de prospection géophysique pour l'identification de cinq (5) sites favorables à l'implantation de forages ;
- Réaliser cinq (5) sondages de reconnaissance transformables en fonction des résultats en forages d'exploitation ;
- Raccorder les forages à la station de traitement d'Angondjé.

III. GENERALITES

1. Présentation de la zone d'étude

1.1 Situation géographique

La zone d'étude (Figure 1) est située à Angondjé à 10 km au Nord de Libreville. L'accès au site se fait par des routes carrossables et bitumées.

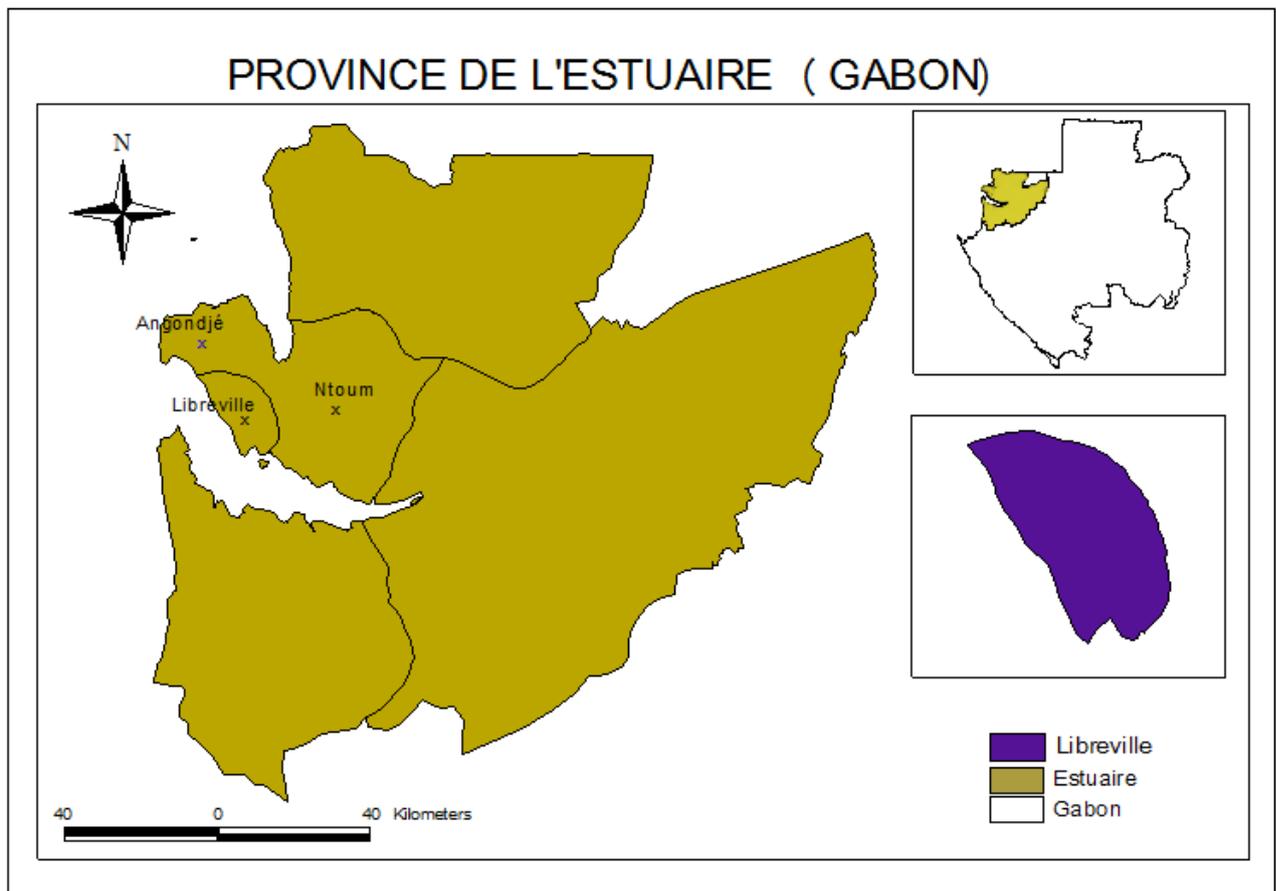


Figure 1: Localisation de la zone d'étude



Figure 2: Localisation et voie d'accès au site

1.2 Organisation administrative

La commune d'Akanda est divisée en deux arrondissements. Le premier est situé au Cap Estérias et le second à Angondjé. L'organisation générale de la mairie est la suivante (enquête de terrain) :

- Un maire central chargé de la direction de la commune ;
- Deux adjoints au maire épaulés chacun, par un secrétaire général chargé de l'animation, la coordination et le contrôle de l'ensemble des services administratifs de l'arrondissement. A noter que les deux (2) adjoints au maire dirigent chacun un arrondissement.

1.3 Caractéristiques physiques et naturelles

Les caractéristiques physiques et naturelles concernent le relief marqué par des collines peu élevées, le climat de type équatorial humide, la végétation, le sous-sol et l'hydrographie.

a. Le relief

Libreville est édifée sur un relief accidenté, parsemé de multiples collines et de vallons. Ces structures sont traversées par des cours d'eau plus ou moins importants qui se jettent dans l'estuaire du Gabon (estuaire du Komo).

b. Le climat

Le climat est équatorial humide, de type intertropical. Il est caractérisé par des températures élevées tout au long de l'année variant de 22° à 33° selon les régions avec des températures moyennes de l'ordre de 27/28° C.

La pluviométrie annuelle varie de 3000 à 3200 mm dans le Nord-Ouest près de Libreville, de 1400 à 1600 mm dans les plaines de l'Ogooué, de la Nyanga au Sud-Est du pays et à moins de 400 mm dans les Plateaux Batékés au Sud-Est. La pluviométrie moyenne est de 1803 mm/an. Deux saisons pluvieuses, de Septembre à mi-Décembre et de mi-Février à Mai, séparées par deux saisons sèches, de Juin à Août et de mi-Décembre à mi-Février. L'humidité est élevée puisqu'elle reste toute l'année supérieure à 80% (FAO, l'irrigation en Afrique en chiffre).

c. La végétation

La végétation naturelle du milieu a disparu au fil du temps au profit de végétations anthropiques dues à l'occupation humaine.

En effet, du fait de la densité des populations et de l'urbanisation de la zone, on y trouve plus de végétation primaire. Les principales espèces qu'on y trouve sont : des plantes herbacées et quelques arbres (palmiers) bordant les alentours du stade.

d. Les sols et les sous-sols

Les sols sont de types équatoriaux et tropicaux caractérisés par la présence d'épaisses couches latéritiques qui donnent naissance à des cuirasses latéritiques.

Le sous-sol est typique des zones d'ouverture océanique ayant contribué à la formation du bassin côtier Gabonais (figure 3). Ce dernier est essentiellement constitué de terrains sédimentaires continentaux, puis marins à continentaux séparés par du sel. Ce sont essentiellement des alternances de sable fin à très fin, parfois moyens à grossiers qui alternent

avec des argiles et grès (groupe d'Anguillé). On y distingue également une alternance des calcaires, de dolomies, des marnes et des argiles, qui appartiennent au groupe de Sibang. L'ensemble repose en discordance sur un socle. (BURGEAP, 1999).

La zone d'étude se situe dans le Bassin sédimentaire côtier, constitué par des formations (BURGEAP, 1999) déposées au Crétacé : il s'agit

- du Groupe d'Anguillé constitué de formations d'Anguillé, Pointe Clairette et Ewangué constitués des Grès, Sables argileux, Argilites ;
- du Groupe de Sibang, constitué d'une alternance de calcaires, dolomies, marnes et argiles ;
- du Groupe du Cap Lopez constitué de calcaires, argilites et sables silicifiés.

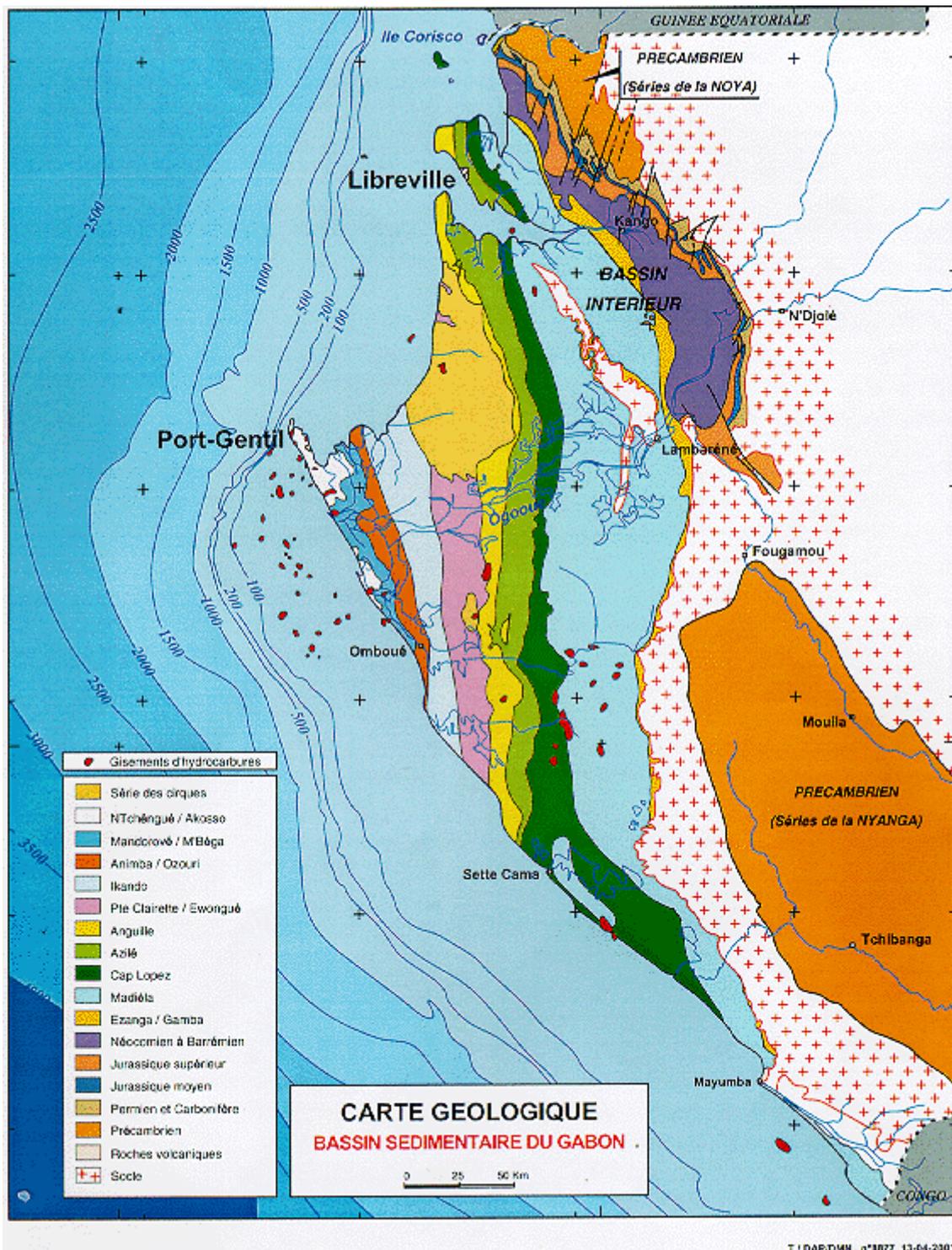


Figure 3: Carte géologique du bassin sédimentaire du Gabon

e. L'hydrographie

Le réseau hydrographique dense du Gabon est dominé par le grand bassin versant de l'Ogooué qui comprend un abondant réseau de cours d'eau. Cependant, Libreville est

principalement bordé par l'estuaire du Komo (230 km de long avec une superficie de 5000 km²) et dont les affluents arrosent les différents quartiers.

f. L'hydrogéologie

Ayant déjà fait l'objet de nombreux tests positifs, à travers la réalisation de plusieurs forages par le passé (forages CHU, base Mika, forages SEEG Okala,...), les calcaires de Sibang ont été identifiés comme cible hydrogéologique dans ce projet.

En effet, les calcaires de Sibang sont situés à la base de la série d'Azilé (bassin sédimentaire côtier, figure 3) d'âge Turonien et d'orientation Nord-Ouest et Sud-Est. Elle s'étend de part et d'autre de Libreville selon une bande, de 6 à 8 kilomètres de large et a été reconnue par les pétroliers jusqu'à 650 mètres de profondeur au niveau de Libreville. On y distingue de bas en haut la succession des terrains suivants :

- Les calcaires gréseux de Sibang (Membre de Libreville) ; essentiellement marneux, ils présentent des horizons karstifiés qui sont le lieu de circulation de fissures à gros débits.
- Les grès rubéfiés, la série grés - marneuse de Lowé (Membre d'Owendo)
- Les calcaires et marnes de la série marno-calcaire de la rivière Ayong (Membre du Mont Baudin) ; (BURGEAP, 1999)

La coupe lithologique des forages réalisés (Tableau1) pour le compte de la SEEG (SEEG, 2007) et de la base Mika (GEOFOR, 2013) ont été retenus pour illustrer ce paragraphe :

Tableau 1: Caractéristiques des forages existants à proximité de la zone d'étude

Désignation	Coordonnées		Date de réalisation	Q (m ³ /h)	Profondeur (m)	S (m)	Q/s (m ³ /h/m)
	X	Y					
Forage SEEG	9°24'33.4"	0°29'64.7"	2007	31.2	188	60.02	0.52
Forage Mika	545175,56	57832.47	2013	14	177	15.28	0.92

La coupe géologique (Tableau 2) des terrains traversés par ces forages est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2: Coupes géologiques forages SEEG et Mika

Forage SEEG		Forage Mika	
Profondeur	Lithologie	Profondeur	Lithologie
0 - 2 m	argile latéritique	0 - 5 m	Altérite
2 - 7.6 m	argile graveleuse jaunâtre	5 - 8 m	altérite grise
7.6 - 61 m	calcaire sain	8 - 16 m	Calcaire blanchâtre
61 - 68 m	calcaire fissuré	16 - 40 m	calcaire fissurés gris
68 - 70 m	calcaire sain	40 - 69 m	sable argileux grossiers
70 - 74 m	calcaire fissuré	69 - 99 m	calcaire fissuré gris - blanc
74 - 128 m	calcaire sain	99 - 140	calcaires argileux gris - blanc
128 - 131 m	calcaire fissuré	140 - 177	calcaire fissuré
131 - 138 m	calcaire gréseux fin grisâtre		
138 - 150 m	calcaire sain		
150 - 180 m	calcaire fissuré et calcaire altéré		
180 - 188 m	calcaire sain		

1.3 Données socio-démographiques

Les caractéristiques socio-démographiques sont liées à la démographie et à la typologie de l'habitation dont la description est donnée ci-dessous.

a. Démographie

Au recensement général de la population et de l'habitat, réalisé en 2003, la population de Libreville était estimée à 538195 habitants dont 6538 à Angondjé avec un taux d'accroissement de 3.5 %. Elle est estimée actuellement 785749 habitants à Libreville dont 9545 à Angondjé.

b. Typologie de l'habitat

Au Nord de Libreville, nous pouvons distinguer trois catégories d'habitation qui varient selon l'architecture et les matériaux de construction (visites de terrain). Ainsi, nous avons :

- Le bas standing : il se caractérise par une ou plusieurs habitations simples (studio ou appartement) construit en brique ou en planche.
- Le moyen standing : ce sont les habitations construit en brique et clôturés. Elles sont majoritairement représentées dans la zone.

- Le haut standing : Il s'agit d'une ou de plusieurs propriétés construit en brique et clôturée. Elles sont généralement peintes ou carrelées et se différencient des autres maisons par leur architecture

2. Situation actuelle du système d'AEP de Libreville

Le mini système d'AEP qui existe dans le site qui fait l'objet de notre étude est inclus dans celui de Libreville.

2.1 Contexte général de l'alimentation en eau potable de Libreville

L'approvisionnement en eau potable des principales communes du Gabon est assuré par la SEEG (Société d'Energie et d'Eau du Gabon). L'entreprise, qui a le monopole de la production, de la distribution et de la gestion de l'eau depuis sa création en 1964, a été privatisée en 1997 et c'est le Groupe VÉOLIA, à travers sa filiale VEOLIA AMI, qui en détient la majorité depuis cette date avec 51 % du capital.

L'approvisionnement en eau potable des populations de Libreville est assuré à partir des eaux de surface et de forages de la station de traitement de Ntoum (Figure 4) située à environ 40 km de Libreville. La capacité de production de cette unité est évaluée à 175000 m³/jr dont 12000 m³/jr provenant de l'eau additionnelle des forages de Ntoum (SEEG)

L'eau produite est refoulée par trois (3) grosses canalisations (Tableau 3) de transport (DN 1000, DN 800 et DN 450) vers les ouvrages de stockages situés au PK6 et au PK9. A noter que la conduite de diamètre 450 assure le transport et la distribution d'eau jusqu'au PK18 (BURGEAP, 1999).

Cependant, la desserte en eau dans les secteurs en plein développement, notamment au Nord est mal assurée en raison de la saturation des ouvrages de production et de transport. Ainsi, plusieurs quartiers situés en périphérie à l'instar d'Angondjé et d'Avorbam se retrouvent confrontés à des problèmes d'accès à l'eau potable.

TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE

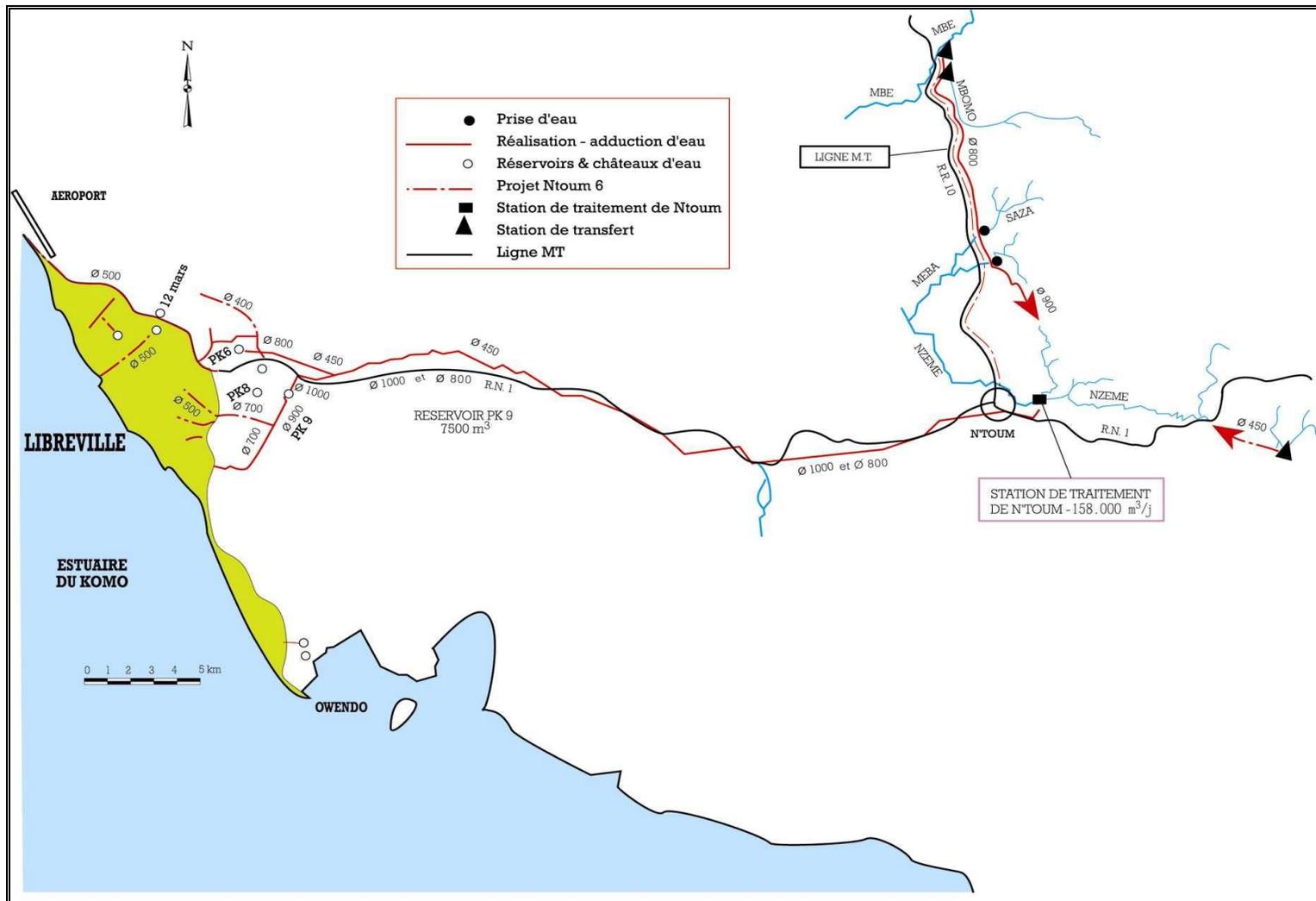


Figure 4: Synoptique système d'alimentation en eau potable de Libreville (SEURECA, Mission HG3, 19 Septembre 2006)

a. Ouvrages existants

La production de l'eau distribuée à Libreville s'effectue par le captage et le pompage de l'eau de la rivière Nzémé à Ntoum ainsi qu'à partir de 5 stations de transfert (Méba, Mbé, Saza, Assango, Agoula) d'eau qui augmentent le volume d'eau au point de captage.

b. Production

L'usine de traitement des eaux de surface (Nzémé, Méba, Mbé, Saza, Assango, Agoula) et des eaux souterraines (exploitation de trois forages) de Ntoum représente la plus grande unité de production d'eau potable au Gabon. Avec une capacité de production journalière évaluée à 175000 m³, celle-ci permet d'assurer la desserte en eau potable des populations de Ntoum et de Libreville. Elle compte en son sein trois (3) sous unités de traitement notamment Ntoum 1 et 2, Ntoum 3 et 4 et Ntoum 5 et 6.

c. Réseau de transport

L'eau produite au sein de l'usine de traitement est acheminée sur Libreville par le biais d'un réseau de transport dont les caractéristiques (tableau 3) des différentes canalisations sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3: Caractéristiques conduites de transport

N°	Type de canal	Diamètre nominal (mm)	Pression nominale	longueur (Km)	Fonction
1	Fonte	450	PN 16	40	Transport et distribution
2	Fonte	800	PN 25	40	Transport
3	Fonte	1000	PN 25	32	Transport

d. Stockage

Après son refoulement sur Libreville, l'eau produite au sein de l'usine de Ntoum est stockée avant une éventuelle distribution dans les ménages. Ainsi, le stockage d'eau est assuré par les ouvrages suivants (SEEG) :

- Six (6) réservoirs en béton armé situés au PK6 d'une capacité totale de 23000 m³ répartis de la manière suivante :

- Deux (2) réservoirs circulaires d'une capacité de 5000 m³ chacun et dont un seul est en service ;
- Deux réservoirs (tous en service) rectangulaires d'une capacité de 5000 m³ chacun ;
- Deux réservoirs (tous en service) circulaires d'une capacité de 1500 m³ chacun.
- Deux (2) réservoirs en béton armé situés au PK9 de 7500 m³ chacun et dont un seul est en service.

e. Réseau de distribution

La distribution de l'eau potable à Libreville a pour point de départ la sortie des réservoirs de tête du PK06.

C'est un réseau de distribution complexe (SEEG) qui comprend:

- des conduites d'adductions qui assurent le transfert de l'eau potable des réservoirs de tête vers les secteurs de distribution ;
- des conduites de distribution principales qui assurent l'acheminement de l'eau potable à l'intérieure des secteurs de distribution ;
- des conduites de distribution secondaires qui desservent les différentes artères menant aux habitations des consommateurs ou aux points de consommation collective urbaine ou péri-urbaine ;
- les branchements qui relient les précédentes aux habitations des consommateurs ou des points de consommations collectives urbaines et péri-urbaines ;
- Le réseau de distribution est mixte (maillé et ramifié).

Le mode de distribution est également complexe. Il comprend trois étages de distributions:

- un premier étage de distribution dit gravitaire à partir des réservoirs de têtes jusqu'aux limites d'énergie potentielle disponible ;
- un deuxième étage de distribution dit sur pressé dont l'acheminement de l'eau potable vers les points de consommation nécessite l'utilisation de structure de relèvement (station de pompage + réservoir de distribution, ou station de surpression en ligne, etc.) ;
- un troisième étage de distribution assuré par les systèmes d'AEP autonomes d'Angondjé stade et Okala Mikolongo (forage + traitement + pompage + réservoirs de distribution + raccordements aux réseaux de distribution existants).

Le réseau de distribution de Libreville comprend plus de 815 Km de réseaux composé de conduites de nature diverses: fonte grise, amiante ciment, PVC, fonte ductile, PEHD, acier galvanisé. Les diamètres des adductions vont du DN 450 au DN 1000 ; et celles de distributions principales et secondaires se situent entre le DN 250 et le DN 60. Les branchements vont du DN 20 au DN 40 ou DN 50 en PEHD.

- Les ouvrages qui assurent le deuxième étage de distribution sont les suivants :
 - station de pompage en charge : 6 (OWENDO, Gros Bouquet; Nkembo, RPD, PK8, ANGONDJE) ;
 - station de surpression: 2 (Sibang + Booster Owendo)
 - Réservoir de distribution : 5 (OWENDO, GB; Nkembo, PK8, ANGONDJE) + 1 (2ème Angondjé).

- Les ouvrages qui assurent le troisième étage de distribution sont les suivants :
 - le système d'AEP d'Okala Mikolongo allant des forages à la sortie du réservoir surtout vers le réseau de distribution existant ;
 - **les systèmes d'AEP d'Angondjé Stade allant des forages à la sortie du réservoir surtout vers les réseaux de distribution existant.**

2.3 Cas particulier de la zone Nord

Au Nord de Libreville, l'alimentation en eau potable des populations est assurée principalement par une partie de l'eau provenant de l'usine de traitement de Ntoum.

En outre, la SEEG exploite les eaux souterraines pour le ravitaillement des populations (enquête de terrain).

En effet, cinq (5) forages (Tableau 4) ont été réalisés en 2011 et raccordés au mini-réseau de distribution dans le cadre du renforcement des capacités de production afin de satisfaire la demande en eau des populations. L'adduction d'eau de ces forages est assurée par le mini réseau (voir annexe) d'adduction d'eau potable mis en place par le Ministère dans le cadre de la CAN 2012. L'eau fournie par ces forages est d'abord refoulée vers la station de traitement d'Angondjé (50 m³) au moyen d'une canalisation de diamètre 160 avant d'être stockée dans un réservoir métallique de 100 m³ et distribuée ensuite au moyen des canalisations de diamètre 160 en PEHD (8 km).

Tableau 4: Caractéristiques des forages raccordés au mini réseau d'AEP

N°	Localisation	Coordonnées		Date réalisation	Q (m3/h)	s: Rabat (m)	Débit spécifique Q (m3/h/m)	Statut
		X	y					
F1	Stade Ang.	9°23'45.2"	0°31'22.8"	2011	9	45.8	0.20	Abandonné
F2	Stade Ang.	9°23'42.3"	0°31'09.0"	2011	18	18.36	0.98	Abandonné
F3	Stade Ang.	9°23'41.28"	0°31'30.88"	2011	10	30.3	0.33	Abandonné
F4	Stade Ang.	9°23'33.77"	0°31'7.50"	2011	18	44.38	0.40	Abandonné
F5	Stade Ang.	9°23'32.64"	0°30'53.96"	2011	8	35.77	0.26	Fonctionnel

IV. MATERIELS ET METHODES

1. Données et matériels

Cette partie de l'étude aborde les différentes données récoltées et le matériel utilisé pendant l'étude.

Ce sont :

- La carte géologique du Gabon (M.E.R.H) ;
- Les coupes lithologiques (log) des anciens forages réalisés à proximité de la zone d'étude ;
- Les études concernant la ville de Libreville (SEEG et SEURECA) ;
- Les études sectorielles (SEEG et SEURECA) concernant le Nord de Libreville ;
- Les rapports annuels (DGS) de la SEEG entre 2005 et 2013 ;
- Le centre de documentation et d'information de la DGS et du 2ie ;
- Des fiches d'enquêtes ;
- L'utilisation d'un GPS, d'un appareil photo numérique, d'un kit de mesure in situ (PH, conductivité, turbidité), d'un pedomètre ;
- Matériels de bureau : ordinateur portable, imprimantes, photocopieuse, Autocad, Google Earth, Excel.

2. Méthodes

Afin de mieux appréhender la thématique de l'étude, l'approche utilisée est basée sur plusieurs axe. Ainsi, Pour l'atteinte des objectifs fixés, nous avons utilisé un certain nombre de méthodes qui partent de l'acquisition et du diagnostic de l'AEP d'Angondjé, de l'implantation à la réalisation de forages et le dimensionnement des canalisations de refoulement.

2.1 Diagnostic de la situation actuelle de l'AEP d'Angondjé

Le diagnostic du système d'AEP d'Angondjé avait pour but de comprendre le fonctionnement du système d'AEP à Angondjé et avoir une idée sur les difficultés rencontrées par les populations. L'approche adoptée a consisté à mener des enquêtes auprès des ménages et à avoir des entretiens avec différentes personnes ressources et entités en charge de l'eau.

Les enquêtes menées auprès des ménages ont consisté à interroger les populations sur les problèmes rencontrés dans la zone en matière d'approvisionnement en eau potable et surtout d'avoir une idée sur leur mode d'approvisionnement. C'est un exercice au cours duquel seules quelques questions sont pré connues (questionnaire en annexe) mais, de nouvelles questions émergent pendant la

discussion compte tenu des réponses obtenues. Toutefois, nous veillons à ce que l'interlocuteur ne s'évade pas ou ne s'éloigne pas trop du sujet principal.

En outre, la sortie de terrain et la visite des différentes installations a permis d'apprécier l'état des différents ouvrages notamment les ressources disponibles (forages), la station de traitement, le réseau d'adduction et de distribution, les réservoirs.

2.2 Campagne de prospection géophysique

Une fois le diagnostic terminé, il fallait mettre une méthodologie en place pour l'identification des sites d'implantations des forages pour satisfaire les besoins en eau des populations. Dans le cadre de notre étude, la méthode géophysique mise en œuvre est celle des résistivités électriques (sondage électrique). Le dispositif choisi est celui de Schlumberger pour sa simplicité de mise en œuvre et son coût relativement moins élevé. Le choix de la méthode retenue se justifie non seulement par la connaissance du contexte hydrogéologique mais aussi des différents travaux réalisés dans la zone d'étude.

a. Principe

Les sondages électriques ont pour but de mesurer en plusieurs points la différence de potentiel engendrée par l'injection d'un courant continu dans le sol.

En effet, le principe de la méthode consiste à injecter dans le sol un courant d'intensité I aux moyens de deux électrodes de courant A et B et à mesurer la différence de potentiel aux bornes de deux électrodes de potentiel M et N (voir Figure 5). Plus les électrodes A et B sont écartées, plus le courant électrique pénètre profondément dans la terre. Le dispositif de mesure teste ainsi des couches de roches de plus en plus profonde.

Les mesures permettent alors d'établir une coupe transversale de résistivité des terrains sous-jacents d'une part et, d'autre part, en se référant aux coupes lithologiques établies au droit d'ouvrages souterrains implantés à proximité, d'en déterminer la nature.

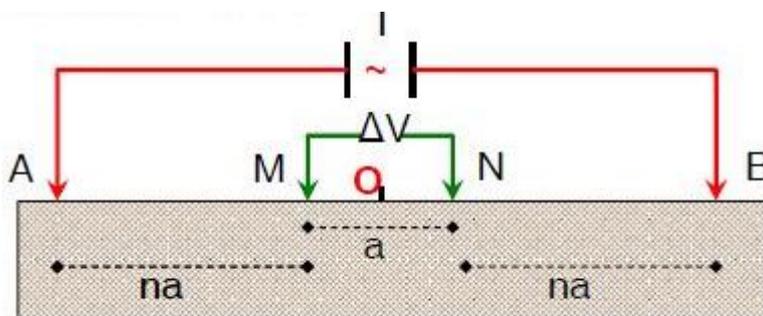


Figure 5: Schéma du dispositif Schlumberger (Chalikakis Kostantinos, 2006)

Pour l'exécution des travaux, l'équipe de géophysique a disposé de :

- Un Résistivimètre de marque TERRAMETER ABEM SAS 1000
- Des câbles électriques parfaitement isolés, de basse résistance ohmique et de bonne résistance mécanique ;
- Des électrodes d'injection de courant et de mesure de potentiel ;
- Une caisse à outils
- Des jalons en acier conducteurs de courant électrique ;
- Un GPS servant à localiser les points et un appareil photo ;
- 1 pick-up 4x 4 double cabines ;
- Un ordinateur portable équipé du logiciel d'acquisition
- Une équipe de prospection composée d'un (1) ingénieur chef d'équipe, chargé de diriger les opérations et de relever sur fiches, les résistivités mesurées et, quatre (4) assistants chargés du déplacement et de la fixation des électrodes.

b. Choix de la zone de prospection

La zone de prospection géophysique a été choisie à l'issue d'une analyse multicritères. Les critères identifiés sont présentés ci-dessous :

- L'existence des terrains à faible densité d'urbanisation : la réalisation d'un forage au rotary exige une emprise libre d'au moins 400m² (Projet HG 018, Page 30,12/2011) pour déployer le matériel à utiliser.
- La zone doit souffrir régulièrement du manque d'eau (pression insuffisante et coupures d'eau fréquentes)
- La zone doit se situer à proximité d'une branche du réseau d'AEP de la SEEG afin de permettre un raccordement facile du forage au réseau et ne pas alourdir le budget de l'opération.
- Aucun obstacle ne doit exister entre la zone explorée et le réseau (pas de rigole à traverser par exemple).

Sur la base des critères énoncés ci-dessus, une délimitation de l'ensemble des zones qui pourraient faire l'objet d'une prospection au Nord de Libreville a été faite. C'est ainsi qu'au regard des critères mentionnés ci-dessus, le périmètre du stade paraît le mieux indiqué.

La figure ci-dessous représente la délimitation (en rouge) des zones favorables à la prospection géophysique au Nord de Libreville.

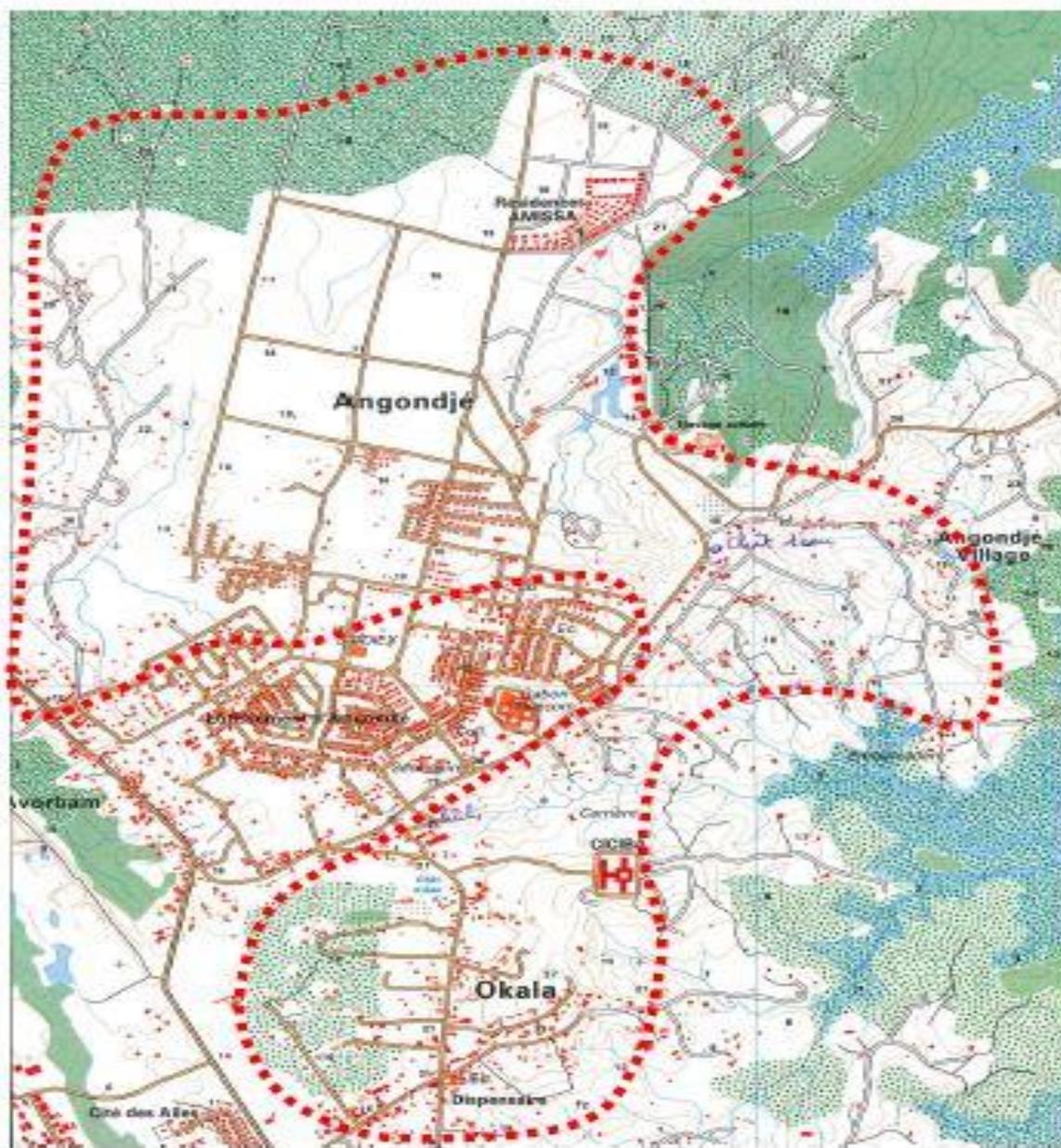


Figure 6: Les zones de prospection au Nord de Libreville (SEURECA, 12/2011)

c. Organisation de la campagne de mesure

Après avoir délimité les zones de prospection, la suite de notre étude a consisté à déterminer des emprises rectilignes de 350 mètres de long (Figure 7), libres de tout obstacle permettant ainsi de déployer les lignes d'injection du courant électrique pour les mesures. Ainsi, sur chaque emprise identifiée (10 au totales), un sondage électrique d'une longueur de 350 mètres a été réalisé. Les sondages électriques ont été positionnés sur une image satellite. Le tableau annexé à ce mémoire

présente les dix (10) sondages électriques réalisés avec leur dénomination et les coordonnées relevées au GPS (Coordonnées UTM, WGS 84).

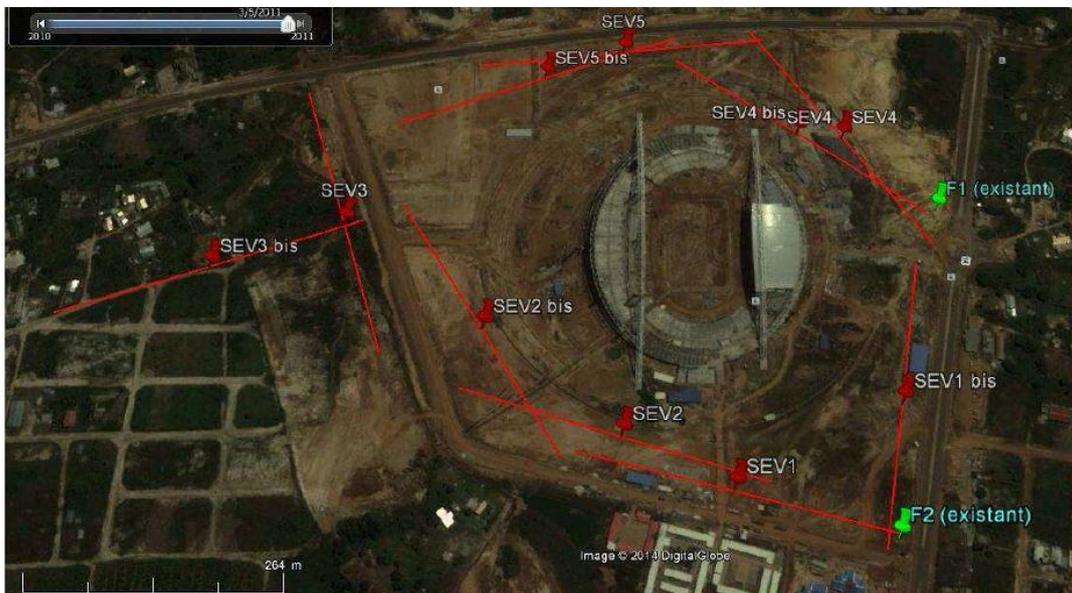


Figure 7: Cartographie sondages électriques

2.3 Réalisation des forages

Après avoir identifiés et implantés les points favorables à la réalisation des forages, il s'en est suivi la foration aux points identifiés. Compte tenu du contexte géologique (terrains sédimentaires) de notre site d'étude, la technique de foration utilisée est le forage au rotary. Cette technique utilise un outil (trépan) monté au bout d'une ligne de sonde (tiges vissées les unes aux autres), animé d'un mouvement de rotation de vitesse variable et d'un mouvement de translation verticale sous l'effet d'une partie du poids de la ligne de sonde ou d'une pression hydraulique. Le mouvement de rotation est imprimé au train de tiges et à l'outil par un moteur situé sur la machine de forage en tête de puits. Les tiges sont creuses et permettent l'injection de boue au fond du forage.

a. Mise en place des ateliers

L'installation du chantier a été effectuée par l'entreprise (GEOFOR) chargée de la réalisation des différents ouvrages. En effet, les différents équipements nécessaires à l'accomplissement des différentes tâches ont été installés autour du chantier. L'accès au site se fait par des routes bitumées.

Sur chaque atelier, l'entreprise a fait exécuter deux fosses qui communiquent entre elles. La première fosse a servi de fosse de décantation et la seconde de fosse de foration.

b. Foration

Dans le cadre de notre étude, la foration s'est déroulée en deux phases à savoir celle de la reconnaissance puis celle qui a consisté à transformer le forage de reconnaissance en forage d'exploitation.

La première phase de la foration a consisté à la réalisation du sondage de reconnaissance en diamètre 8"1/2, puis en diamètre 12"1/4 et en diamètre 17"1/2 (tricône) de 0 – 30 m de profondeur. Ensuite, un tubage de protection en acier de diamètre 13"3/8 a été posé et cimenté sur toute sa longueur. La reconnaissance s'est poursuivie en diamètre 8"1/2 de 30 m jusqu'à la côte finale du forage (180m).

La seconde phase, a eu pour but de transformer le sondage de reconnaissance en forage d'exploitation par alésage avec un outil de diamètre 12"1/4 de 30 m jusqu'à 180 m.

Les conditions de transformation du sondage de reconnaissance en forage d'exploitation sont :

- Avoir un débit supérieur à 15 m³/h ;
- La qualité de l'eau plus ou moins conforme aux normes de potabilité.

Echantillonnage et description des déblais ou cuttings : Les déblais ou cuttings (échantillons) ont été prélevés au fur et à mesure à chaque mètre et à chaque changement de faciès géologique. Ils ont fait l'objet d'une description avec la plus grande précision afin d'identifier les couches de terrains potentiellement aquifères et de dresser une coupe lithologique (log) du forage. La fiche technique ainsi que la coupe géologique de chaque forage sont présentées en annexe

Pendant la foration, un relevé de l'avancement du train de tiges par mètre foré a été réalisé, afin de déterminer la vitesse de foration au mètre, permettant ainsi de déceler les zones résistantes et celles de relâchement.

La diagraphie

Dans le but d'identifier les formations géologiques traversées par le forage et de déterminer leur caractère aquifère, des diagraphies ont été enregistrées. Il s'agit notamment des diagraphies Gamma ray/Résistivités.

- Outils Gamma ray

Les diagraphies Gamma ray sont des enregistrements de la radioactivité naturelle des formations géologiques traversées par le forage. Elles permettent d'identifier les éléments radioactifs existants dans celles-ci. Généralement les radiations mesurées sont celles des éléments tels que le Potassium, le thorium et l'Uranium.

- Outils de résistivités

Ces Diagraphies consistent à injecter un courant d'intensité I et à mesurer la différence de potentiel qui en résulte. Le courant se propage plus ou moins facilement dans la formation forée en fonction de ses caractéristiques physiques.

L'acquisition et le traitement des différentes diagraphies s'est fait sur micro-ordinateur, à l'aide des logiciels Electromind 6CH et WellCad. Les courbes obtenues après traitement et interprétation sont présentées en annexes.

En somme, les diagraphies ont permis de déterminer les formations géologiques traversées et d'identifier les zones productrices à travers la mesure des paramètres physiques (radio activité, résistivité).

c. Tubages

Après la foration avec l'outil de diamètre 17"1/2 (tricône) de 0 à 30 m, on procède au moyen d'une grue à la descente et à la pose du casing : tubage en acier de diamètre 13"3/8 suivie de la cimentation de l'espace annulaire de diamètre 17"1/2-13"3/8 sur toute sa longueur.

Ce tubage de protection est destiné à assurer la verticalité et la stabilité des parois en tête du forage, d'éviter toute possibilité d'éboulement mais aussi d'éviter l'infiltration des eaux superficielles.

d. Equipement des forages

L'équipement des forages a été réalisé en tenant compte des interprétations lithologique et diagraphique, ainsi que de l'incorporation des données d'avancement de foration.

- Captage : Les forages ont été équipés de tubes en PVC de diamètre 200 mm lisses et crépinés en fonction de la présence des zones stériles et celles des venues d'eau. Les crépines ont été posées au droit des failles ou venues d'eau principales. La longueur de la colonne des crépines varie selon l'importance des arrivées d'eau. A la base de la colonne du tubage un bouchon de pieds a été placé en-dessous d'un tube de décantation.
- Gravillonnage des forages (massif filtrant) : Après la mise en place de la colonne de captage, du gravier débarrassé de toute impureté, calibré (2 – 5 mm) a été mis en place à partir du fond du forage jusqu'à cinq (5) mètres au-dessus de la crépine supérieure.

- Joint d'argile, tout venant et cimentation anti-polluant : Après la mise en place du massif filtrant, un bouchon d'étanchéité d'un mètre (sobranite : argiles gonflantes) a été posé au-dessus du massif filtrant afin d'isolé le forage de toute pollution ; et, l'espace annulaire a été comblé par du tout-venant puis cimenté au-dessus.

La construction de la tête de puits et de la margelle en béton a clos cette étape.

Les coupes techniques (schéma d'équipement) des différents ouvrages sont annexées à ce rapport.

e. Développement des forages et Essais de pompage

Ces opérations consistent à mettre en production un forage d'eau. Elles représentent la phase ultime et indispensable dans l'exécution d'un forage, quel que soit le type d'aquifère. Elles ont pour objectifs principaux de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère et de calculer le débit d'exploitation du forage.

e.1.Développement des forages

Le développement a permis d'augmenter la productivité des différents forages. Il s'est déroulé de la façon suivante :

- La première phase a consisté à injecter de l'air dans le forage à l'aide d'un compresseur. Cette opération permet de chasser le sable et l'argile obstruant les fissures productrices, augmentant ainsi la productivité du forage. Elle permet aussi de laver le massif filtrant et de mieux tasser le gravier.
- La deuxième phase a consisté à traiter le forage par l'utilisation d'un produit chimique appelé hexaméthaphosphate de sodium. Il est préparé et homogénéisé dans un mixeur, puis injecté dans le forage pour un temps de réaction de trois (3) heures. Son but reste le même que celui visé par le développement à l'air lift.

Un développement par pompage continu du forage jusqu'à l'obtention de l'eau claire a été réalisé à la fin du traitement. Il a non seulement permis d'apprécier le débit du forage mais aussi d'éliminer les éléments les plus fins encore présents dans le forage.

e.2.Essais de pompage

Les essais de pompage ont permis de vérifier les capacités de production et les caractéristiques hydrodynamiques du forage. Ainsi, nous distinguons les essais par paliers (essais de puits) et les essais de longue durée (essais de nappe).

- Essais par paliers ou essais de puits : Ce type d'essai dit de courte durée, réalisé à débits croissants et de durée constante permet de déterminer le débit critique afin d'en déduire le débit d'exploitation (90% débit critique) du forage à partir de la courbe caractéristique. La détermination du débit critique se fait à l'intersection de deux droites tangentes à la courbe caractéristique du forage.

Pour ce faire, les tests ont consisté à pomper le forage par paliers enchaînés d'une heure (1h) avec des débits croissants et à mesurer simultanément les niveaux dynamiques (à l'aide d'une sonde) dans le forage afin d'en déduire le rabattement.

La valeur du rabattement enregistrée à la fin de chaque palier a permis de représenter la courbe caractéristique $s = f(Q)$ de chaque forage (voir annexe)

- Essais de longue durée ou essais de nappe : ils ont été réalisés à débit constant pendant 48h et ont permis de tester le comportement de l'aquifère afin d'en déduire la transmissivité et ultérieurement le coefficient d'emménagement. Pendant le pompage, le rabattement de la nappe est mesuré dans le forage. La phase de pompage est suivie d'une remontée d'environ neuf heures de temps.

Le traitement des données recueillies pendant les essais a permis de construire les courbes de descente et de remontée en échelle semi-logarithmique (voir annexe). En outre, elle a permis de déterminer les valeurs du coefficient de transmissivité des aquifères.

f. Qualité chimique et bactériologique de l'eau

Pendant les essais de pompage longue durée, des prélèvements d'échantillons d'eau ont été effectués par le laboratoire de la SEEG en vue de réaliser les analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du forage.

2.4 Raccordement des forages à la station de traitement

Après la réalisation des forages, la ressource en eau a été mobilisée à travers le dimensionnement des canalisations de refoulement et à la détermination des caractéristiques de pompe à installer dans les différents forages.

a. Dimensionnement des conduites de refoulement

Le réseau d'adduction (figure 8) d'eau dont le synoptique se présente de la manière suivante en tenant compte des exigences de l'exploitant.

- Le forage SP1 (15 m³/h) a été raccordé au collecteur existant de diamètre 160 mm qui refoule l'eau à la station de traitement ;
- Le forage SP2 (55 m³/h) a été connecté à une bêche (située à 1500 m de SP2 et à 50 m de la station) raccordée à son tour à la station de traitement ;
- Le forage SP3 a été raccordé à la bêche qui se trouve à l'intérieur du stade ;
- Les forages SP4 et SP5, interconnectés par une conduite et situés respectivement à 82 m et 404 m de leur point de convergence A ont été raccordés au même collecteur que SP1.

Les formules de Bresse et de Manning-Strickler ont été utilisées pour la détermination des diamètres des conduites (PEHD) et le calcul des pertes de charges.

- Bresse : $D \text{ (mm)} = 1,5Q^{0,5} \text{ (m}^3\text{/s)}$;
- La condition de vitesse est la suivante : $0,3 \leq V \leq 1,2 \text{ m/s}$;
- Les pertes de charges singulières représentent 10 % des pertes de charges linéaires

$$J = \frac{10,29 * Q^2}{Ks^2 * D^{5.33}} * L \text{ (m)} ;$$

- Le niveau dynamique maximal (5 m au-dessus de la crépine supérieure) représente le niveau pour lequel la crépine supérieure ne sera pas dénoyée ;
- La HMT a été calculée par la formule suivante : Hauteur géométrique (m) + JT (m) avec :
 - Hauteur géométrique = Côte Station + Niveau dynamique maximale ;
 - JT (m) représente les pertes de charges totales ;
 - Les côtes TN ont été déterminées à l'aide d'un GPS.



Figure 8: Schéma synoptique des forages réalisés autour du Stade de l'amitié

b. Dimensionnement de la pompe et accessoires

Le choix des différentes pompes a été fait en tenant compte du débit, de la hauteur manométrique de chaque forage mais aussi de leur diamètre (8"). Les pompes immergées de la série SP ont donc été choisies dans le catalogue GRUNDFOS

2.5 Protection du réseau contre le coup de bélier

Le coup de bélier est un phénomène transitoire provoqué par la mise en marche ou l'arrêt brusque d'une pompe, la fermeture ou l'ouverture brusque d'une vanne, le prélèvement instantané d'un débit important. Il provoque une propagation d'onde et une oscillation en masse de l'eau à l'intérieur de la conduite. Il est à l'origine de variations importantes de la pression qui peuvent être soit supérieure à la pression nominale de la conduite, soit inférieure à la pression atmosphérique pouvant provoquer : une rupture de conduite par implosion, un déboitement des conduites suite à la rupture et à la détérioration des joints, un endommagement des pompes.

Face au danger potentiel que représente le coup de bélier pour les installations il devient alors primordial de prévoir des moyens de protection (ventouse, ballon anti bélier, cheminées d'équilibre, volants d'inertie,...) si nécessaire, afin de préserver les installations contre ce phénomène.

Détermination des valeurs limites de pression (surpression et dépression)

- La variation de pression a été calculée par la formule suivante : $\Delta h = a \text{ (m/s)} \times V_0/g$ avec :

- $a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + k \cdot \frac{D_{int}}{e}}}$, la célérité de l'onde avec $K_{PEHD}=83$, D_{int} : diamètre intérieur de la conduite et e : l'épaisseur ;

- V_0 (m/s), la vitesse d'écoulement dans la conduite ;

- $g = 10 \text{ m/s}^2$

- Hauteur trop plein H_{TP} est égale à 45 m (SP1, SP2, SP4, SP5) et 28 m (SP3) ; $H_{TP} = Z_{TN \text{ radier}} + H_{\text{radier}} + H_{\text{réservoir}}$ avec $Z_{TN \text{ radier}} = 30 \text{ m}$, $H_{\text{radier}} = 10 \text{ m}$ et $H_{\text{réservoir}} = 5 \text{ m}$
- Pression atmosphérique $P_{\text{atm}} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,013 \text{ Bar}$;
- Charge H_0 dans les conduites : $H_0 = (H_{TP} - Z_{TN \text{ forage}}) + P_{\text{atm}} + JT$, avec JT les pertes de charges ;
- Pression nominale dans les conduites : PN 16 Bar.

V. RESULTATS

1. Diagnostic situation actuelle de l'AEP d'Angondjé

Le diagnostic de l'AEP d'Angondjé a révélé des problèmes réels en termes d'alimentation en eau potable des populations. En effet le quartier d'Angondjé situé à la périphérie de Libreville est alimenté par une partie de l'eau provenant de l'usine de traitement de Ntoum et vu sa position éloignée et l'augmentation rapide de sa population, le système n'arrive plus à satisfaire les besoins estimés à 27635 m³/jr (SEEG, Etude prévisionnelle de la demande en eau de Libreville, 2012).

Outre l'urbanisation du secteur et l'insuffisance de l'eau provenant de Ntoum, la baisse de productivité des forages réalisés dans le cadre de la CAN 2012 vient aggraver le stress hydrique connu dans ce secteur. En effet, sur les cinq (5) forages réalisés en 2011 un seul est en service, le forage F5 qui fournit un débit 8 m³/h (Tableau 4).

On constate également des perturbations au niveau du réseau de desserte vu qu'il existe de nombreuses pertes d'eau en cours de transport, en atteste les fréquentes interventions sur la canalisation DN 450 (Tableau 3). En outre, Sur les huit (8) ouvrages de stockage (38000 m³) disponibles, seuls six sont en service, totalisant une capacité de stockage de 25500 m³. Ainsi, on remarque que la capacité totale des ouvrages utilisée ne représente que 15 % de la production journalière (175000 m³/jr) de la station de traitement de Ntoum. Ceci illustre bien le problème d'insuffisance à l'eau potable à Libreville dû en partie au manque d'ouvrage de production. Le manque d'eau occasionne des délestages continus, les arrivées d'eau tardives aux points de livraison ou encore l'absence totale d'eau d'un endroit à un autre pendant plusieurs mois.

2. Campagne de prospection géophysique

L'analyse des sondages électriques électrique a permis de mettre en évidence des anomalies électriques correspondant probablement à des niveaux d'altérations. Les sondages (voir annexe) ont été traités à l'aide du logiciel GeoElect. Mod.

Cependant, pour que les résultats soient la plus réaliste possible, il est toujours préférable de caler l'un des sondages électriques sur la coupe lithologique d'un forage existant. Pour ce faire, nous avons utilisé les résultats obtenus par SEURECA en 2011 sur le même site. En effet, SEURECA, à partir d'un sondage électrique réalisé et à partir de la coupe lithologique d'un forage situé à proximité du stade, a pu caler les valeurs des résistivités des différents terrains (terre, sable, calcaire) recoupés par le forage et de disposer ainsi d'une échelle locale de résistivité.

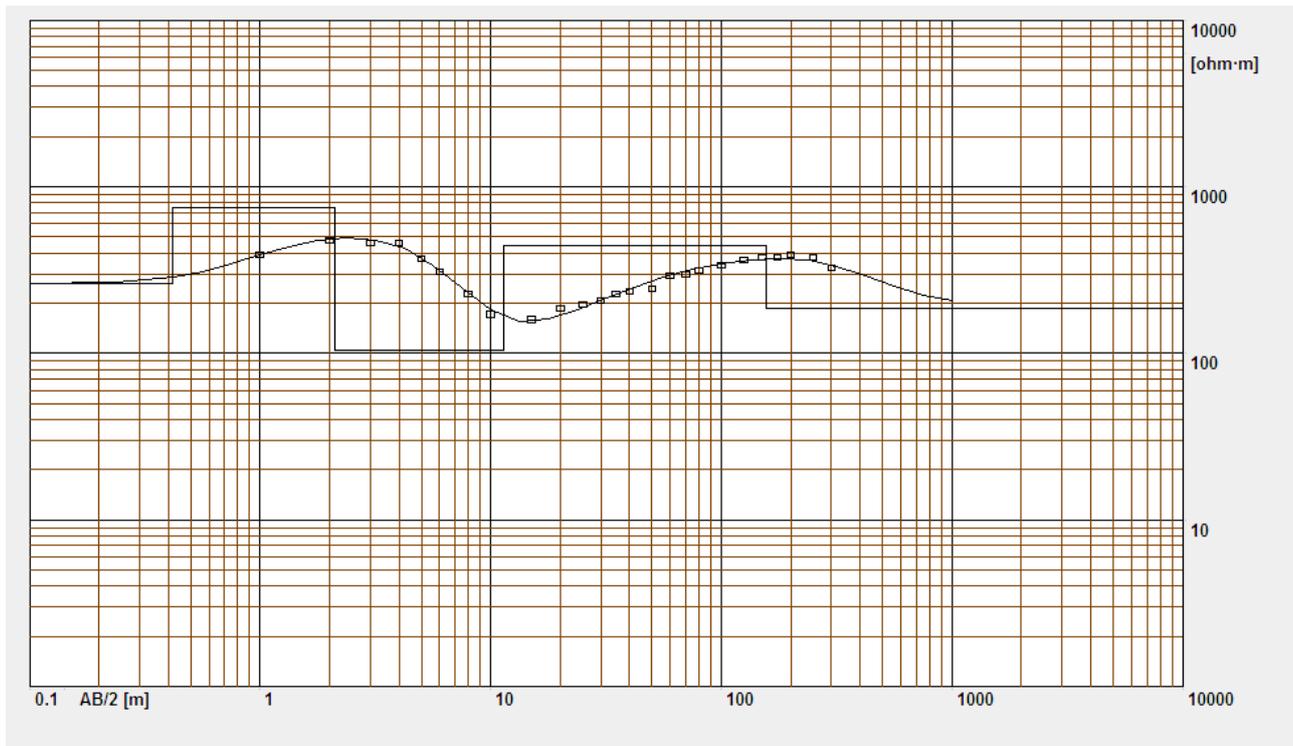


Figure 9: Courbe sondage électrique étalon utilisé par SEURECA

Le model résistivité/épaisseur a montré, la présence de différents niveaux résumés dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Echelle de résistivités (SEURECA, 2011)

Résistivité ohm.m	Lithologie déduite des échantillons de roche recueillis durant le forage
700 à 1200	Latérites
100 à 200	Sables fins plus ou moins argileux
400 à 500	Calcaires
100 à 150	Marnes dures ou marno-calcaires
10 à 50	Argiles et sables argilo-limoneux

Ainsi, pour chaque profil, le détail de la coupe géo-électrique obtenue est consigné dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 6: Interprétation lithologique des résultats des sondages électriques

Profil	Epaisseur (m)	Résistivité (ohm.m)	Terrain
SEV1	0 - 3.5	900	terrain résistant constitué de latérites, calcaires et grès.
	3.5 - 25	180	moins résistant et constitués argiles de décalcification, sables, limons, Calcaires poreux;
	25 - 145	25	terrain moins résistant
SEV1 bis	0 - 1.5	150	terrain résistant constitué de terre végétales ; altérites; limons;
	1.5 - 3.5	600	terrain correspondant à un niveau résistant
	3.5 - 50	80	moins résistant et constitué d'argiles de décalcification, sables, limons, Calcaires poreux ; correspond à un niveau conducteur
	50 - 120	20	résistant correspondant à un niveau conducteur
SEV2	0 - 2	1400	niveau résistant et constitué de latérite de remblais compactée; congglomérats, brèches, Calcaires, Grès
	2 - 3.0	500	niveau résistant et constitué de latérite de remblais ; Calcaires, Grès ;
	3.0 - 50	80	constitué d'argiles de décalcification, sables, limons, Calcaires poreux ; niveau moins résistant
	50 - 120	25	correspondant au niveau conducteur
SEV2 bis	0 - 1	25	constitué de terre végétales ; Altérites; Limons ; correspond à un niveau conducteur
	1 - 3.0	800	constitué de latérite de remblais ; Calcaires, Grès ; correspond à un niveau résistant
	3.0 - 50	80	constitué d'argiles de décalcification, sables, limons, Calcaires poreux ;
	50 - 120	50	correspondant à un niveau moins résistant
SEV3	0 - 1.5	70	constitué de terre végétales ; Altérites; Limons .correspond à un niveau moins résistant
	1.5 - 4.5	250	constitué de sables limoneux; Calcaires poreux ; correspond à un niveau résistant
	4.5 - 45	20	constitué d'argiles de décalcification, sables limoneux, Calcaires poreux ;
	45 - 120	100	constitué d'une alternance marno-calcaires poreux et fissurés.

Tableau 7: Interprétation lithologique des résultats des sondages électriques (fin)

Profil	Epaisseur (m)	Résistivité (ohm.m)	Terrain
SEV3 bis	0 - 1	65	constitué de terre végétales ; Altérites; Limons
	1 - 3.5	300	correspondant à un niveau résistant et constitué de sables limoneux; Calcaires poreux ;
	3.5 - 45	20	moins résistant et constitué d'argiles de décalcification, sables limoneux, Calcaires poreux sous nappe
	45 - 120	30	correspondant à un niveau conducteur constitué d'une alternance d'argiles, Marno-calcaires poreux.
SEV4	0 - 2	350	correspondant à un niveau résistant constituée de latérites ; Sables Limoneux;
	2 - 3.0	600	terrain correspondant à un niveau résistant
	3.0 - 40	80	résistant et constitué d'une alternance d'argiles de décalcification, sables limoneux, Calcaires poreux ;
	40 - 120	20	correspondant à un niveau conducteur
SEV4 bis	0 - 2	400	correspond à un niveau résistant et constituée de latérites ; Sables Limoneux
	2 - 4.0	600	constitué de sables limoneux; Calcaires poreux; Grès ;
	4.0 - 35	30	constitué d'une alternance d'argiles de décalcification, sables limoneux, Calcaires poreux ;
	35 - 120	20	correspondant à un niveau conducteur et constituée d'une alternance marno-calcaires poreux.
SEV5	0 - 2	100	constitué de latérites ; Sables Limoneux;
	2 - 3.5	250	constitué de latérite de remblais ; Calcaires, Grès ;
	3.5 - 40	80	constitué d'argiles, sables, limons, Calcaires poreux ;
	40 - 120	35	correspondant à un niveau moins résistant
SEV5 bis	0 - 3.0	140	constitué de latérites ; Sables Limoneux;
	3.0 - 3.5	400	constitué de latérite de remblais ; Calcaires, Grès ;
	3.5 - 40	80	constitué d'argiles, sables, limons, Calcaires poreux ;
	40 - 120	10	correspondant à un niveau conducteur.

L'interprétation géologique des sondages électriques a donc permis de distinguer trois (3) types de terrains qui sont :

- Les zones où le sous-sol est le plus conducteur (< à 100 ohm.m) qui correspondent probablement à des argiles et marnes, peu intéressantes pour de futurs forages ;

- Les zones les plus résistantes (> 300 ohm.m) qui correspondent vraisemblablement à des calcaires, très intéressants pour de futurs forages ;
- Enfin, les zones de résistivités intermédiaire ($100 < R < 300$ ohm.m) qui peuvent être de nature différentes : des sables argileux ou des calcaires sableux (potentiellement productifs) ou des calcaires marneux peu intéressants.

Toutefois afin de lever l'incertitude, la réalisation d'un sondage de reconnaissance sera nécessaire.

Par ailleurs, l'analyse des résultats a permis de mettre en évidence l'existence des terrains résistants (> 300 ohm.m) situées entre 3 et 120 m de profondeur.

Ces formations correspondent à une épaisse série de calcaires qui pourrait s'apparenter aux calcaires productifs de Sibang.

Ils ont été retenus comme la principale cible hydrogéologique pour la réalisation des futurs forages.

Les résultats des travaux de forages réalisés au Nord de Libreville (CHU, base Mika, forages SEEG,..) en 2011 mettant aussi en évidence cette épaisse couche de calcaire identifiée comme appartenant aussi à la série de Sibang corroborent les résultats obtenus.

De même, la carte des iso-valeurs de résistivité (voir annexe) des études antérieures (projet HG 018, 12/2011) réalisées au Nord de la ville entre la Sablière et l'extrême Nord d'Angondjé en passant naturellement par le Stade de l'amitié Sino-Gabonaise confirme les résultats obtenus. En effet, cette carte présente des zones de forte résistivité correspondant sans doute aux calcaires. Les résultats obtenus, ont permis d'identifier des sites favorables à l'implantation de forages à proximité du Stade de l'amitié.

1.2 Sites recommandés pour les forages

Par manque de données tels que les indices biologiques et de carte linéaire, les résultats de prospection géophysique n'ont pas pesé dans le choix des sites favorable à l'implantation des forages. Cependant ils ont confirmé les résultats de prospection géologique et hydrogéologique préalablement réalisé.

Ainsi, à l'issue de la prospection géologique, hydrogéologique et géophysique, en croisant les critères susmentionnés et les résultats obtenus, cinq (5) points favorables à l'implantation de forages ont été identifiés sous les abréviations **SP1**, **SP2**, **SP3**, **SP4** et **SP5** et dont les localisations sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8: Coordonnées des sites favorables à l'implantation de forages

IMPLANTATIONS	COORDONNEES GPS (UTM)		
	X	Y	Z (m)
SP1	543910	57401	22
SP2	543317	57874	20
SP3	544038	57985	24
SP4	543719	57348	23
SP5	543348	57574	21

1.2 Conclusion

D'un point de vue géologique, la zone est caractérisée par la présence de formations calcaires, grès et marnes. Du point de vue hydrogéologique, les formations en présence sont de bons aquifères. Cependant, la maîtrise technique et la méthodologie jouent un rôle important dans la productivité des ouvrages de captage. Nous recommandons donc que les travaux de forage soient réalisés selon les règles de l'art et, suivis par un hydrogéologue qui jugera de l'arrêt ou de la poursuite de la foration en fonction des réalités rencontrées (avancement de l'outil de forage, lithologie, interprétation diagraphique et venues d'eau observée).

Compte tenu des résultats obtenus d'une part et des forages déjà réalisés à proximité de la zone d'étude, nous recommandons une profondeur de 180 m pour chaque forage.

3. Réalisation des forages

3.1 Essais par palier

Après l'interprétation des courbes caractéristiques (voir annexe) des différents forages, nous remarquons sur la courbe du SP2 un changement de pente qui traduit une variation non négligeable du rabattement traduisant l'atteinte du débit critique (voir courbe caractéristique SP2) de 36 m³/h soit un débit d'exploitation de 32,4 m³/h.

Concernant le forage SP3, le débit critique obtenu est de 22 m³/h soit un débit d'exploitation de 20 m³/h environ.

Contrairement à SP2 et SP3, les courbes caractéristiques des forages SP4 et SP5 ne permettent pas de déterminer leur débit critique. De ce fait, nous avons donc retenu comme débit d'exploitation ceux fixés au dernier palier soient 25 m³/h et 30 m³/h respectivement pour les forages SP4 et SP5.

Etude des pertes de charge :

Les résultats des essais sont reportés sur un graphique arithmétique (voir annexe) avec les débits en abscisses et les rabattements en ordonnées.

Contrairement au forage SP2 dont la courbe caractéristique qui selon toute vraisemblance à l'allure d'une courbe, celle des autres forages (SP3, SP4 et SP5) sont légèrement incurvés (SP3 et SP4) ou concave (SP5 à partir de 25 m³/h) témoignant l'existence des pertes de charges dues à l'écoulement permanent.

En effet, pendant le pompage, le rabattement réel du forage est déterminé par l'équation $S(m) = BQ + CQ^2$ qui désigne la somme des pertes de charges linéaires (BQ) dues à l'écoulement laminaire et les pertes de charges quadratiques (CQ^2 , écoulement turbulent) liées à l'écoulement de l'eau au travers du massif filtrant et des crépines. Le report des rabattements spécifiques S/Q en fonction des débits Q donne la droite d'équation $\frac{S}{Q} = B + CQ$ passant par les points de couple rabattements spécifiques S/Q en fonction des débits Q. Ainsi, on déduit graphiquement les coefficients de pertes de charges linéaires (B) et quadratiques (C).

- ✓ B= intersection de la droite (S/Q) avec l'axe S/Q ;
- ✓ C correspond à la pente de la droite et est déterminé par : $C = \text{Tangente } \alpha = a/b$.

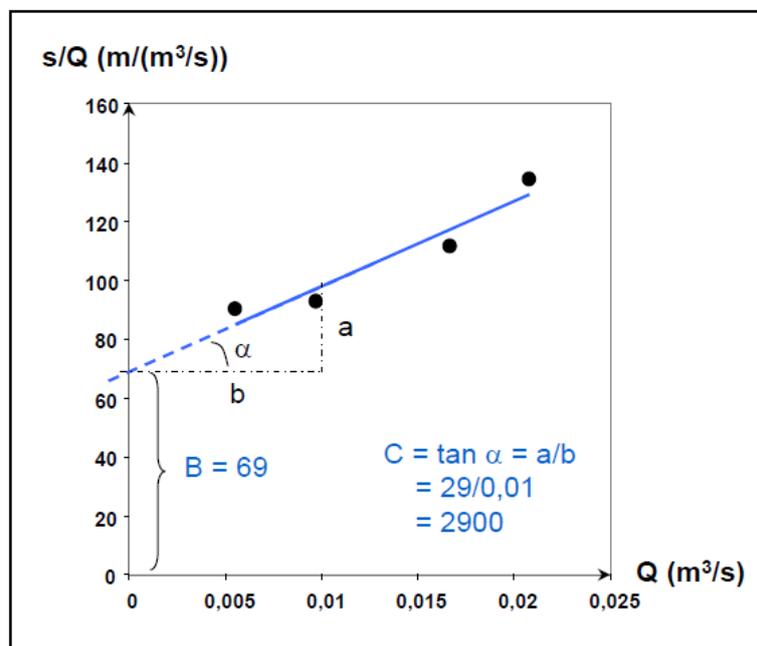


Figure : Exemple de détermination des coefficients B et C

Le tableau ci-dessous présente pour chaque forage, les valeurs des coefficients B et C.

Tableau 9: Récapitulatif des valeurs des coefficients de pertes de charges B et C

Forages	Coefficient de pertes de charges linéaires (B)	Coefficient de pertes de charges quadratiques (C)
SP2	0,17	0,0147
SP3	1,93	0,0495
SP4	2,44	0,0309
SP5	3,38	-0.0118

3.2 Essais longue durée

Le traitement des données recueillies pendant les essais a permis de construire les courbes de descente et de remontée en échelle semi-logarithmique (voir annexe). En outre, elle a permis de déterminer les valeurs du coefficient de transmissivité des aquifères.

Après interprétations, nous remarquons que les différentes courbes d'essais de pompage (courbes de descente) présentent des allures plutôt satisfaisantes. Mais, notons que :

- Sur la courbe de descente du SP2, des fluctuations sont observées. Elles peuvent être dues soit aux variations de régime du moteur, soit à une recharge de la nappe ;
- Sur la courbe de descente du SP3, nous remarquons une stabilisation assez rapide des valeurs de rabattements au bout de 10 minutes de pompage. Mais au bout de 3h de pompage, les rabattements chutent progressivement pour se stabiliser à nouveau après 28h de pompage. Cela peut vouloir indiquer la présence d'une limite imperméable ;
- Sur la courbe de descente du SP4, nous observons pendant 15 minutes, une descente constante des valeurs de rabattements indiquant la présence d'un écran imperméable de l'aquifère au voisinage du forage. Cependant, le régime permanent (stabilisation des valeurs de rabattement) est atteint au bout de 20 minutes de pompages ;
- Les remarques faites sur la courbe de descente du SP5 sont similaires à celles du SP4 à la seule différence que la stabilisation commence un peu plus tôt (après 6 minutes de pompage).

En ce qui concerne les courbes de remontées (voir annexe), elles présentent des allures plutôt satisfaisantes sur l'ensemble des quatre forages bien qu'il convient tout de même de souligner que le temps de remontée n'a pas permis d'atteindre le niveau statique initial. Après interprétation des différentes courbes (descente et remonté), la phase suivante est celle de la détermination des paramètres hydrodynamiques (transmissivité et emmagasinement) de nos aquifères.

Cependant, en l'absence d'un piézomètre d'observation, nous n'avons pu déterminer qu'un seul paramètre : la transmissivité. Elle est calculée à partir de la pente de la droite passant par les couples de points rabattements fonction du temps par la méthode de Jacob. La formule utilisée est la suivante :

$$\Delta = \frac{0,183.Q}{T} ; \Rightarrow T = \frac{0,183}{\Delta/Q} ; \Rightarrow T = \frac{0,183.Q}{\Delta} \text{ avec } \Delta = \frac{S_i - S_o}{\log t_i - \log t_o}$$

$$\text{D'où } T = \frac{0,183.Q}{\frac{S_i - S_o}{\log t_i - \log t_o}}$$

Les valeurs obtenues pour les transmissivité de l'ensemble des quatre forages sont consignées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 10: Récapitulatif valeurs de transmissivité des forages

Forages	Transmissivité T (m ² /s)
SP2	6.19E-04
SP3	1,59E-02
SP4	2,54E-02
SP5	1,69E-02

3.3 Qualité chimique et bactériologique de l'eau

La qualité des eaux est bonne, si l'on excepte quelques récurrences de fer et de légère odeur d'ammonium dans les forages SP2 et SP3. Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 11: Résultats des analyses in situ

Forages	Conductivité (μ S/cm)	PH	NTU	Fer (mg/l)	Amonium (mg NH ₄ /l)
SP 1	533	7,35	7,75	0,87	< 0,1
SP 2	502	7,10	28,50	1,3	< 0,1
SP 3	538	7,25	21,50	1,9	< 0,1
SP 4	571	7,20	28,30	1,1	< 0,1
SP 5	525	7,15	23,55	1,6	< 0,1

4. Raccordement des forages à la station de traitement

4.1 Dimensionnement des canalisations

Les résultats du dimensionnement des canalisations de refoulement d'eau des forages vers la station de traitement sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 12: Présentation des résultats du dimensionnement du réseau d'adduction

Tronçon	Q transit (m3/s)	DN (mm)	D int (mm)	V (m/s)	L (m)	JT (m)	Côte TN (m)	Côte Station (m)	Niv Dyn max (m)	H geo (m)	HMT (m)
SP2 - Bâche	0.0153	200	181.8	0.589	1500	2.432	20	38	87	105	107.59
Bâche - Station	0.0083	140	127.3	0.655	50	0.161	33	38			5.16
SP3 - Stade	0.0069	125	113.6	0.685	900	3.697	24	38	79	93	96.70
SP1 - Collecteur	0.0042	110	100	0.531	67	0.195	22	38	108	124	129.48
SP5 - A	0.0083	140	127.3	0.655	404	1.302	21	38	82	99	106.63
SP4 - A	0.0069	125	113.6	0.685	82	0.337	23	38	82	97	103.66
A - Collecteur	0.0153	160	145.4	0.589	196	1.046					
Collecteur - Station	0.0194	160	145.4	1.171	611	5.28					

4.2 Dimensionnement des pompes

L'exhaure des différents forages sera assurée par les pompes dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 13: Caractéristiques des pompes

Désignation	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
Constructeur	GRUNDFOS MS 6000				
Type	SP 17 - 15	SP 60 -13	SP 30 - 12	SP 30 - 12	SP 30 - 14
Fréquence (Hz)	50	50	50	50	50
Vitesse (tr/minute)	2900	2900	2900	2900	2900
HMT (m)	133	111	105	105	107
Q (m3/h)	15	55	25	25	30
Puissance (KW)	9.2	26	11	11	13
Rendement (%)	72	80	76	76	78
Diamètre (mm)	138	138	138	138	138
Poids net (kg)	65	107	70	72	76

Après descente de la pompe dans le forage, un dispositif permettant de raccorder la colonne montante à la conduite de refoulement a été mis en œuvre : l'antenne de raccordement (voir annexe). Les éléments constitutifs de celle-ci sont : une purge d'air, un compteur, un manomètre, un clapet de retenue et une vanne.

5. Protection du réseau contre le coup de bélier

Afin de protéger le réseau contre le phénomène de coup de bélier, une étude consistant à déterminer les valeurs de surpression et de dépression a été réalisée. Le tableau ci-dessous présente les résultats des différents calculs.

Tableau 14: Récapitulatif des valeurs de surpression et de dépression

Tronçon	a (m/s)	ΔH (m)	JT (m)	Patm (mcE)	Htp (m)	Z _{TN forage} (m)	H0 (m)	$\Delta H + H0$ (m)	H0 - ΔH (m)
SP2 - Bâche	334	19.67	2.43	10.13	45	20	37.56	57.23	17.89
SP3 - Stade	335	22.93	3.70	10.13	28	24	17.83	40.75	-5.10
SP1 - Collecteur	334	17.72	0.20	10.13	45	22	33.33	51.05	15.60
SP5 - A	334	21.85	5.28	10.13	45	21	35.43	61.26	17.56
SP4 - A	335	22.93	5.28	10.13	45	23	32.47	60.34	14.48

On remarque que les valeurs de surpression (en bleue) sont inférieures à la pression nominale (16 Bar) dans les conduites de refoulement, il n'existe donc pas de risque d'éclatement de la conduite en cas de coup de bélier d'où Il n'est pas nécessaire de prévoir un dispositif anti bélier.

En outre les valeurs de dépression (en gris) des tronçons 1, 3, 4 et 5 sont supérieures à zéro. Il n'existe pas de risque de dépression sur ces tronçons contrairement au tronçon 2 pour lequel il faut nécessairement prévoir l'installation d'une ventouse.

VI. DISCUSSIONS ET ANALYSE

1. Analyse du système d'AEP d'Angondjé

L'analyse du système d'AEP d'Angondjé a fait ressortir les difficultés des populations pour s'approvisionner en eau potable. Bien que le réseau de distribution et les différents ouvrages (station de traitement et réservoirs d'eau) soient en bon état, les populations d'Angondjé souffrent des problèmes de manque d'eau dus à une production très insuffisante. Cette situation a fait naître dans la zone des modes d'approvisionnement en eau potable qui varie selon le rang social de la population. Ainsi, pour leur approvisionnement, plusieurs familles (les mieux nanties) vivent d'eau de forages (privés) dont la qualité n'est pas forcément garantie.

Les moins nanties se font livrer de l'eau par des distributeurs informels dans les cubitainers de 1000 litres, pour certains ; d'autres s'approvisionnent chez leur voisin ou dans les stations de lavage automobile moyennant une somme forfaitaire.

Quant aux plus démunis, ils s'approvisionnent dans les rivières qui ne tarissent pas ou recueillent l'eau de pluie en saison pluvieuse et dans les puits traditionnels.

Tout ceci illustre bien la situation précaire qui prévaut au Nord de Libreville en matière d'alimentation en eau potable des populations d'une part et, démontre d'autre part l'incapacité du système d'AEP actuel à satisfaire aux besoins des populations situées au Nord de Libreville.

2. Renforcement de la production

Afin de pallier les différents manquements observés dans la zone, l'augmentation de la capacité de production devient importante. A cet effet, au regard de l'urgence du problème d'alimentation en eau potable des populations de la zone Nord, nous avons envisagé de réaliser des nouveaux forages dans le quartier Angondjé.

Après avoir identifié cinq points favorables à l'implantation (Tableau 8) des forages par la méthode de sondage électrique. Cinq nouveaux forages ont donc été réalisés autour du stade de l'amitié Sino

Gabonaise. Après interprétation des courbes caractéristiques des essais de pompage, les débits pour les forages SP2, SP3, SP4 et SP5 sont respectivement 32,4 m³/jr, 20 m³/jr, 25 m³/jr et 30 m³/jr. Mais compte tenu des résultats obtenus pendant les essais préliminaires les débits finals ont été fixés à 15 m³/jr, 55 m³/jr, 25 m³/jr, 25 m³/jr et 30 m³/jr respectivement pour les forages SP1, SP2, SP3, SP4 et SP5. Cette différence peut s'expliquer par la mauvaise conduite des essais de pompage. En effet, les essais par palier (durée d'une heure) exécutés n'ont pas permis d'atteindre le régime permanent (pseudo stabilisation de la nappe). De ce fait les capacités réels des différents aquifères ont été sous-estimées rendant difficile l'interprétation des courbes caractéristiques d'essais de pompage.

Nous suggérons donc après analyse des résultats, d'exploiter chaque forage au débit indiqué (tableau 15) en pompage continu, afin d'éviter une détérioration très rapide de l'ouvrage et éviter d'épuiser rapidement les ressources en eau mobilisées. Un suivi de la productivité et des niveaux d'eau dans le forage devra être effectué régulièrement.

Tableau 15: Caractéristiques des différents forages

Forage	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
Profondeur (m)	202	180	200	180	180
Q (m ³ /h)	15	55	25	25	30
Niv Stat (m)	15,02	5,71	5,79	10,73	10,03
Niv Dyn (m)	98,68	59,74	91,86	89,45	105,08
Rabatement (m)	83,66	54,03	86,07	78,72	95,05

Les nouveaux forages réalisés ne permettront pas de résoudre définitivement les problèmes d'approvisionnement en eau potable des populations puisque les 3600 m³/jr d'eau mobilisée sont nettement inférieur aux prétentions en eau des populations estimés à 27635 m³/jr (SEEG, Etude prévisionnelle de la demande en eau de Libreville, 2012). Cependant, les forages réalisés soulageront la population en attendant la fin des projets dits structurants projetées pour fin 2015.

VII. RECOMMANDATIONS

Afin de contribuer à l'amélioration de la distribution d'eau potable dans les quartiers Avorbam et Angondjé situés au Nord de Libreville et d'assurer la pérennité des ouvrages de production, nos recommandations portent sur la **notice d'exploitation des ouvrages**, la **maintenance des équipements**, le **monitoring des paramètres**, la **régénération des forages**.

Notice d'exploitation des ouvrages :

Il est impérieux de produire et de diffuser une notice d'exploitation de chaque forage qu'on peut qualifier de « carte d'identité ». Il est important de sensibiliser et de guider les exploitants sur la nécessité d'appliquer les dispositions y relatives dans leur travail au quotidien.

Maintenance des équipements :

Il est nécessaire de procéder, sur une base bien définie, à la surveillance des équipements fixés sur l'antenne de raccordement. Ceux-ci sont des aides à la décision pour peu que des valeurs des paramètres erronées soient enregistrées afin d'anticiper éventuellement sur leur réhabilitation et/ou renouvellement ;

Monitoring des paramètres :

Il est indispensable de suivre les évolutions des paramètres principaux dont les sondes ont été descendues dans chaque forage. Cette initiative permet de calculer le coefficient d'emménagement, de faire des mises à jour des volumes d'eau en place en même temps qu'elle permet d'ajuster les débits d'exploitation. Il est possible de se rendre compte d'un certain nombre de dysfonctionnements comme le colmatage des crépines ; il est ainsi loisible de programmer des opérations d'entretien (soufflage,...);

Régénération des forages :

Cette opération est très importante et doit être initiée régulièrement tous les trois, quatre voir cinq ans, en fonction du type d'aquifère afin de recalculer les paramètres hydrodynamiques de chaque ouvrage et de recalibrer certains outils.

En outre, nous suggérons de réaliser en gros diamètre un forage témoin (200 mm de diamètre) de 150 m de profondeur en y effectuant toutes les opérations jusqu'à sa mise en service, et faire une évaluation comparative avec les forages précédents et existants.

CONCLUSION

Le projet intitulé "Travaux d'urgence pour l'amélioration de la distribution d'eau potable au Nord de Libreville", objet du présent mémoire, a nécessité l'exécution d'une prospection géophysique et hydrogéologique limitée aux secteurs préalablement identifiés avant les travaux de réalisation de cinq (5) forages et les réhabilitations/redimensionnements de la station de traitement avec adjonction d'une bache de contact.

Tous les ouvrages réalisés ont rencontré la formation d'Azilé avec des niveaux aquifères souvent bien développés. Leurs caractéristiques pétro physiques varient de bonnes à très bonnes.

Les essais de pompage exécutés ont donné des débits compris entre 15 et 55 m³/h et ont permis de totaliser 150 m³/h (3 600 m³/j) sur l'ensemble des cinq (5) forages réalisés. De ce point de vue, on peut dire que l'objectif a été atteint car un appoint d'eau de 3 200 m³/j était attendu.

La qualité des eaux est bonne, si l'on excepte quelques récurrences de fer et de légère odeur d'ammonium.

L'eau produite a été refoulée vers la station de traitement puis vers la bache tampon pour y être traitée, avant d'être à nouveau acheminée via une conduite DN 160 vers le château d'eau puis ultérieurement distribuée dans le mini réseau d'eau existant.

La mise en service de ces cinq (5) forages, auxquels il convient d'ajouter le seul réalisés dans le cadre de la CAN 2012 et qui reste en exploitation avec 8 m³/h, produira 158 m³/h soient 3 792 m³/j (dont 25 m³/h dédié au Stade). Cet appoint d'eau potable permettra de résoudre en partie le stress hydrique enregistré dans cette partie de la capitale politique du Gabon et de soulager les populations en attendant la fin des travaux structurants projetée pour fin 2015.

BIBLIOGRAPHIE

- DELHUMEAU, M. (PARIS 1969). Notice explicative. Carte pédologique de Reconnaissance A 1/200000. Libreville - Kango, Estuaire, Gabon.
- E.I.E.R., Département Infrastructures, Energies et Génie Sanitaire. Denis ZOUNGRANA. (2003, Novembre). Cours d'Approvisionnement en Eau Potable.
- GROUPE DES ECOLES EIER - ESTHER, Bèga Urbain OUEDRAOGO. (2005, Avril). Ouvrages Constitutifs de Systèmes d'AEP, ADDUCTIONS - RESERVOIRS - RESEAUX DE DISTRIBUTION.
- GROUPE DES ECOLES EIER-ESTHER, Babacar DIENG. (2013, Juillet). Hydrogéologie et ouvrages de captage.
- SEEG , SEURECA. Bernard COLLIGNON. (2006, Septembre 19). Mobilisation des ressources en eau souterraines pour l'approvisionnement des centres SEEG.Mission HG3 d'hydrogéologie. Libreville/Port Gentil.
- SEEG,SEURECA. Said Ramdane, Malek Abdesselam et Bernard Collignon. (2011, Décembre). Renforcement des quartiers Nord et Sud de Libreville à partir des eaux souterraines, Rapport 2, Prospection géophysique, Délimitation des zones intéressantes à forer.
- SEEG. (s.d.). Etude prévisionnelle de la demande en Eau et en Électricité de l'agglomération urbaine de Libreville sur la période 2014 à 2017.
- SEEG.Burgéap. (1999, Octobre). Etude préliminaire pour la recherche de ressources en eau souterraines ou superficielles destinées à l'alimentation en eau potable de Libreville.

ANNEXES

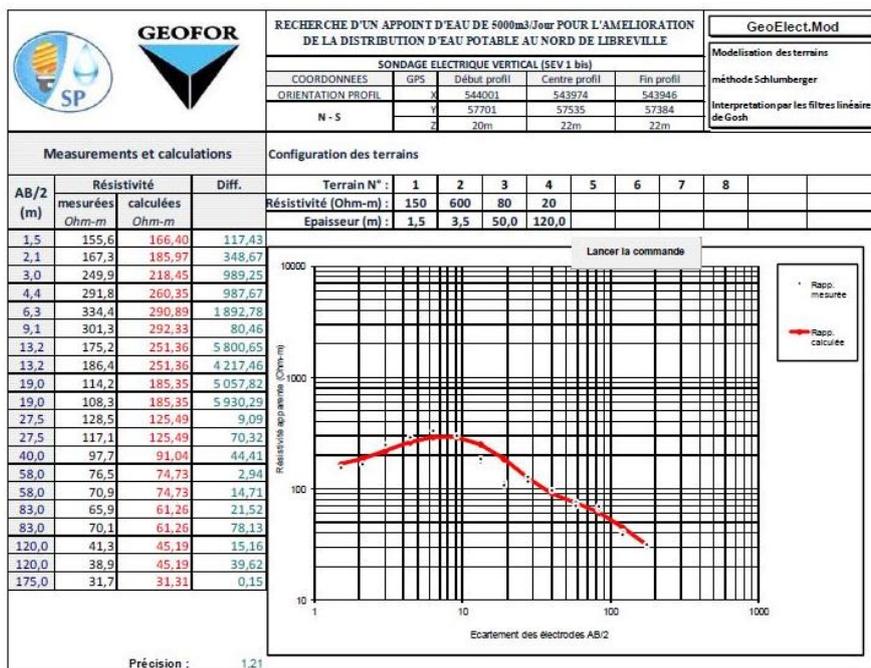
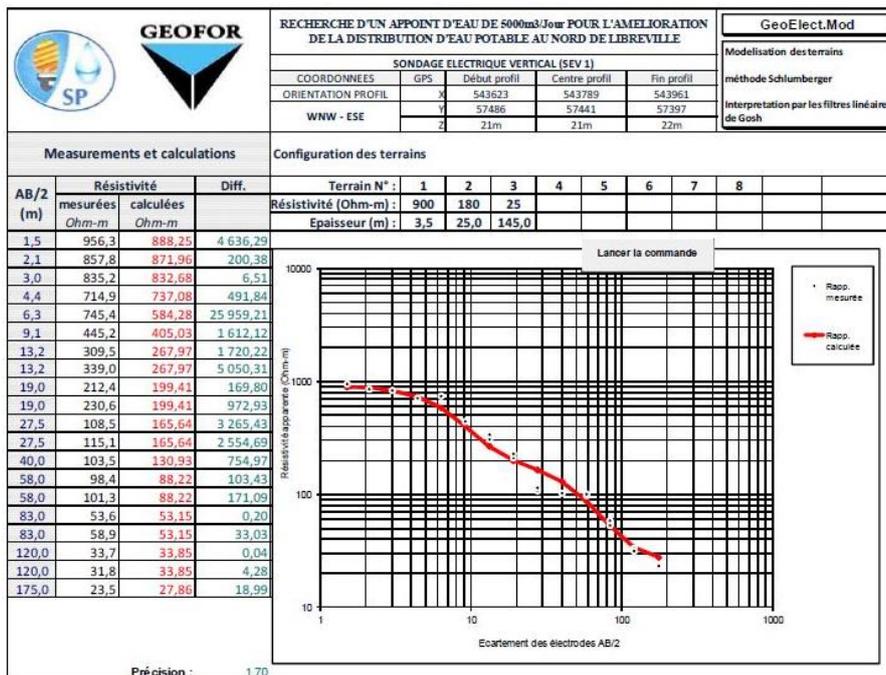
TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE
LIBREVILLE

ANNEXE 1 : Coordonnées des lignes (sondages) investiguées

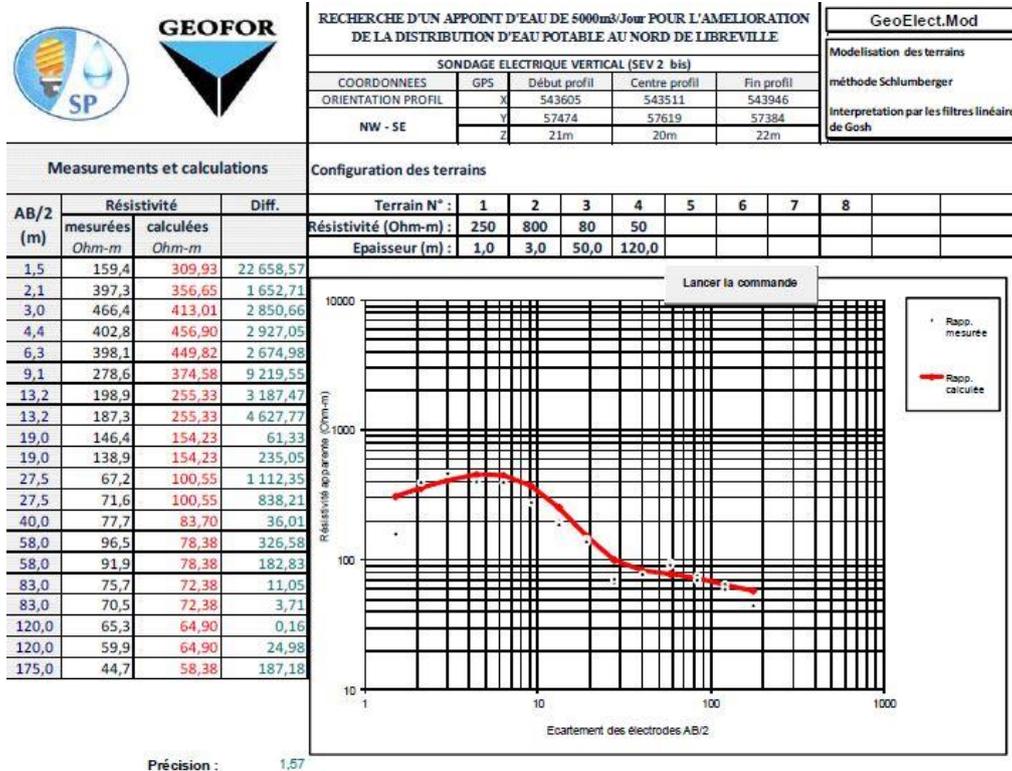
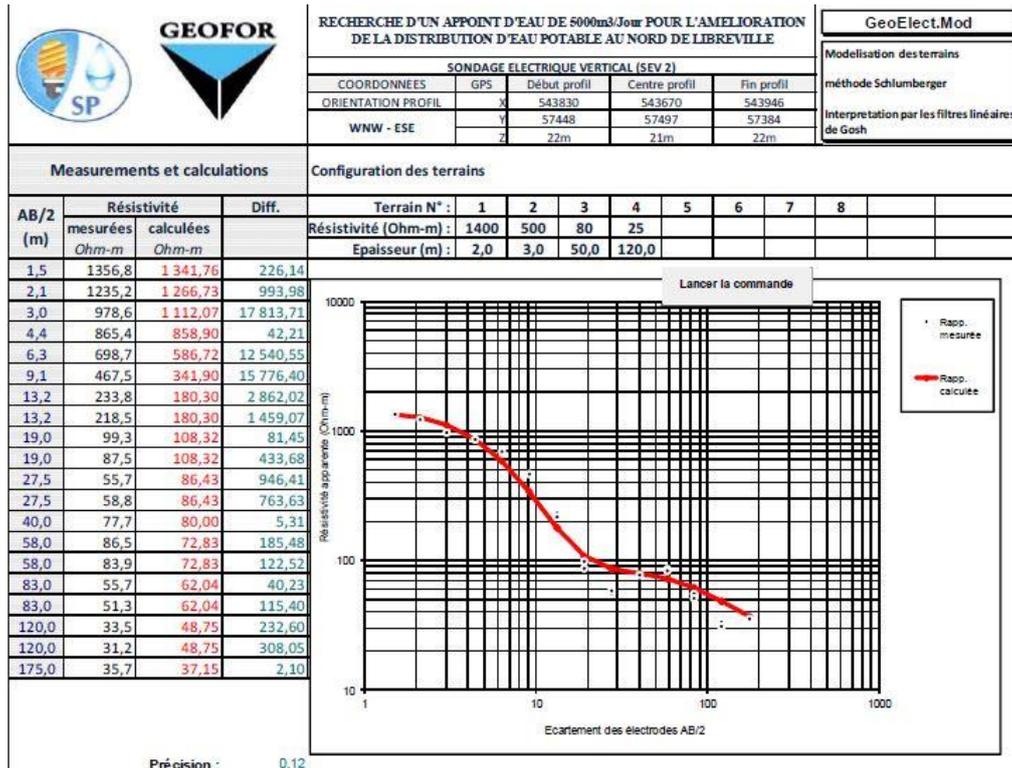
Profil	Longueur Profil AB (m)	Orientation profil	COORDONNEES UTM (GPS)								
			Début profil			Centre			Fin profil		
			X	Y	Z(m)	X	Y	Z (m)	X	Y	Z (m)
SEV1	350	WNW - ESE	543623	57486	21	543789	57441	21	543961	57397	22
SEV1 bis	350	N - S	544001	57701	20	543974	57535	22	543946	57384	22
SEV2	350	WNW - ESE	543830	57448	22	543670	57497	27	543946	57384	22
SEV2 bis	350	NW - SE	543605	57474	21	543511	57619	20	543946	57384	22
SEV3	350	NW - SE	543282	57925	18	543348	57753	19	543401	57591	19
SEV3 bis	350	ENE - WSW	543368	57751	19	543198	57692	20	543035	57638	23
SEV4	350	NW - SE	543821	58010	23	543930	57857	24	544021	57728	21
SEV4 bis	350	NW - SE	543722	57965	23	543873	57863	24	544023	57758	21
SEV5	350	W - E	543941	57962	21	543666	57973	22	543838	57988	22
SEV5 bis	350	WSW - ENE	543394	57879	19	543572	57940	20	543733	57998	23

TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE

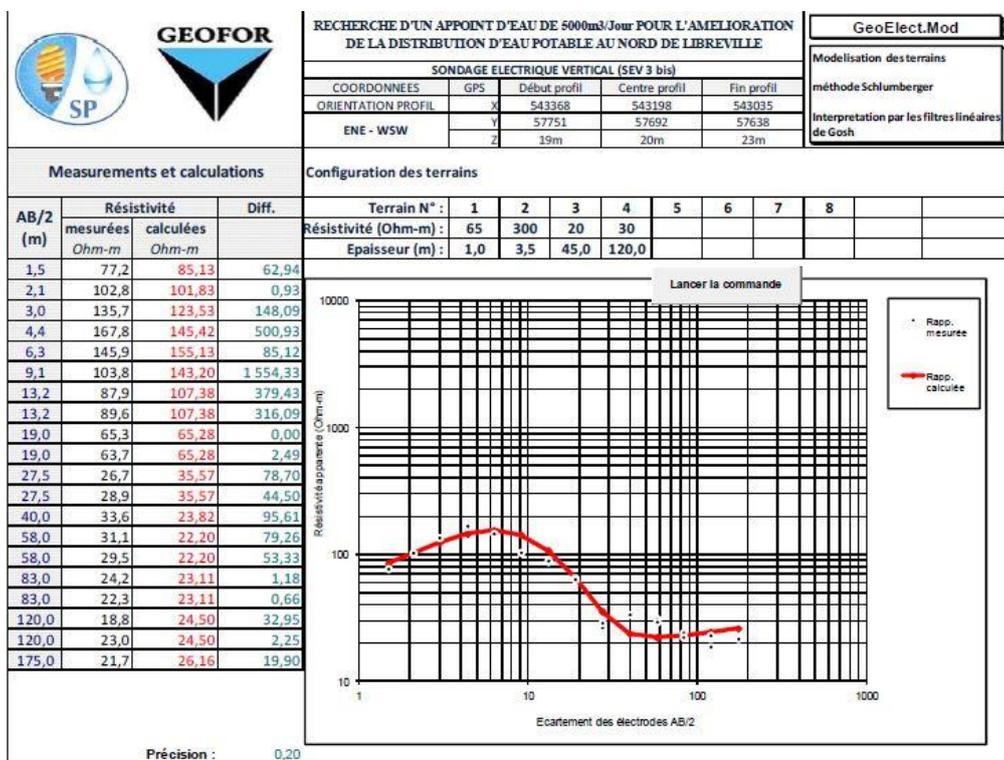
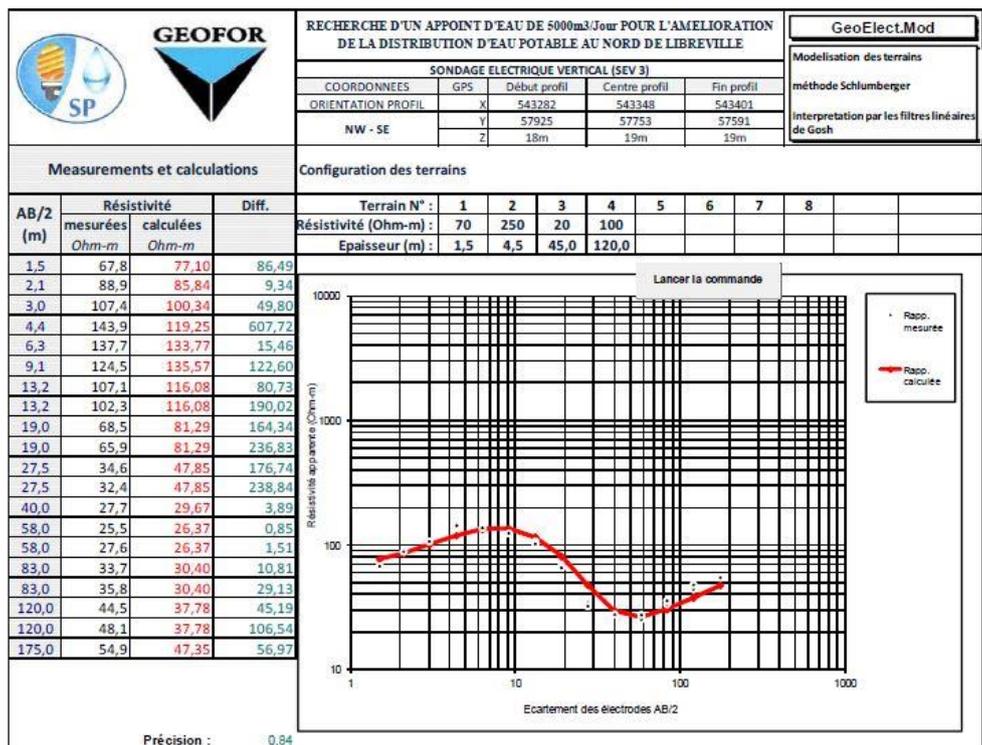
ANNEXE 2 : Sondages électriques



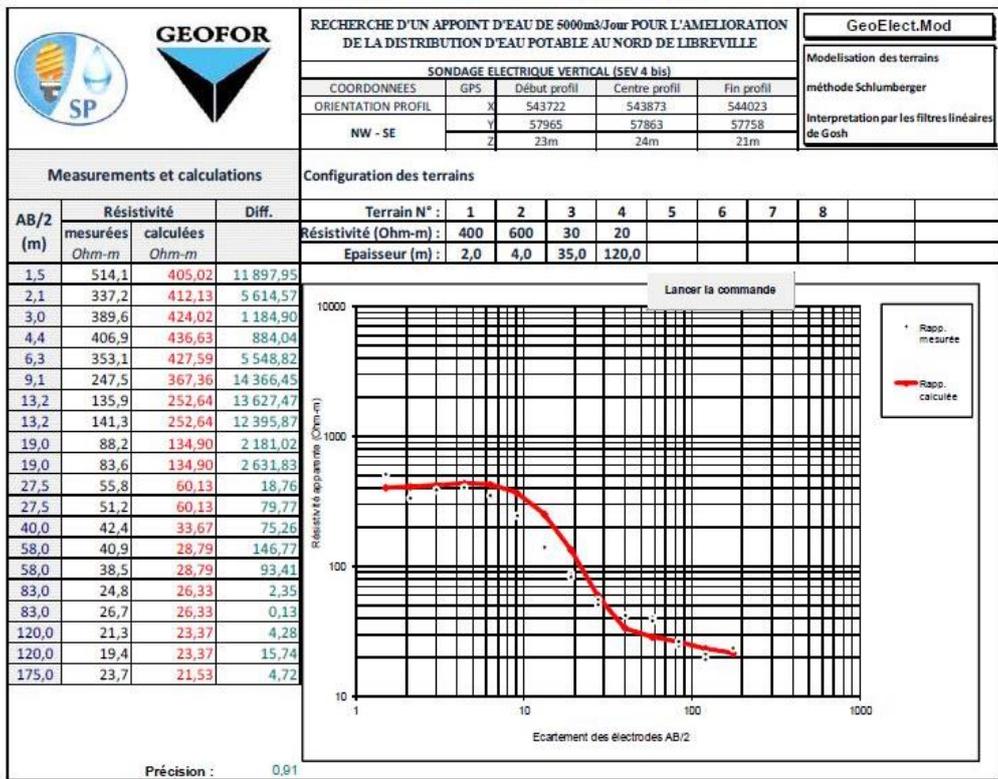
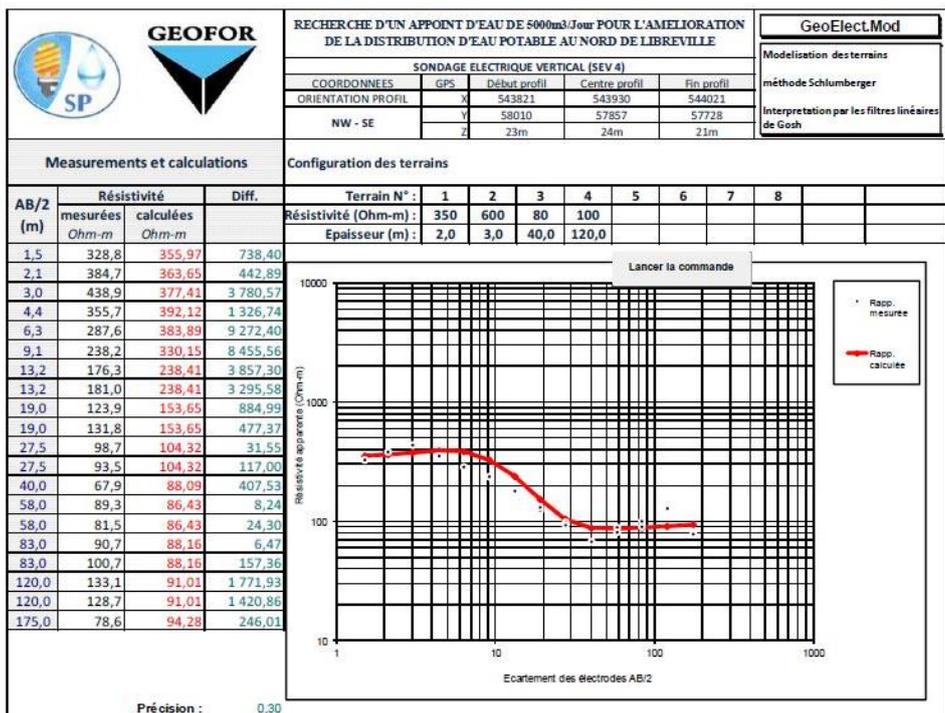
TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE



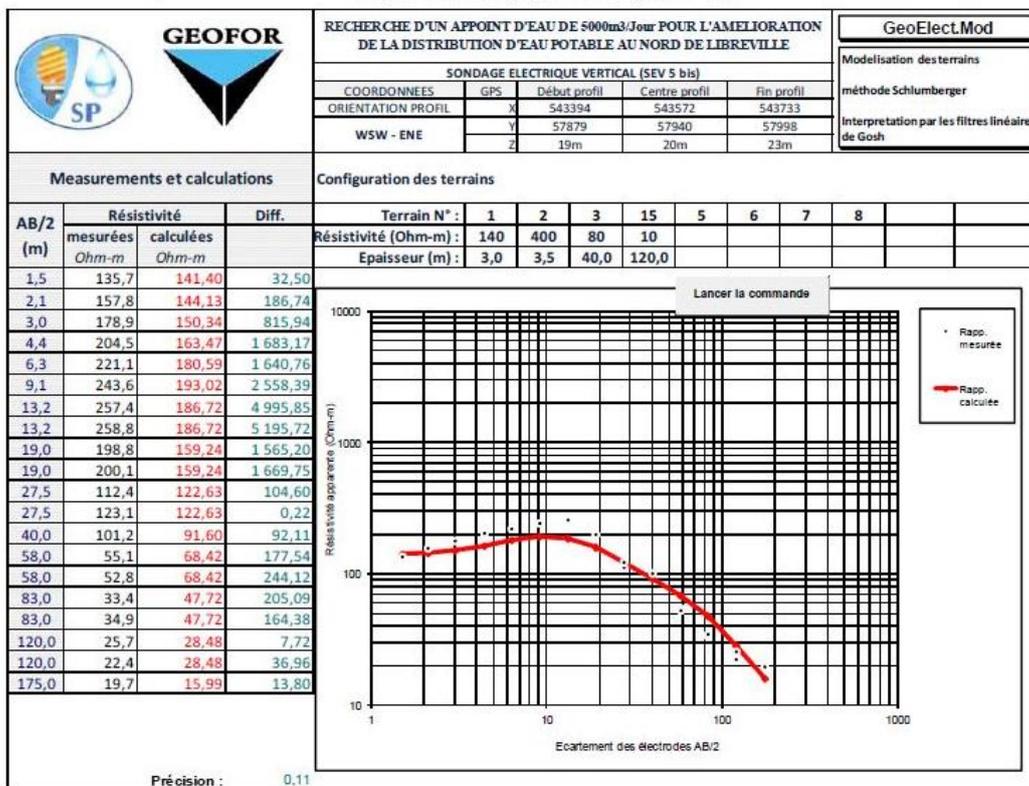
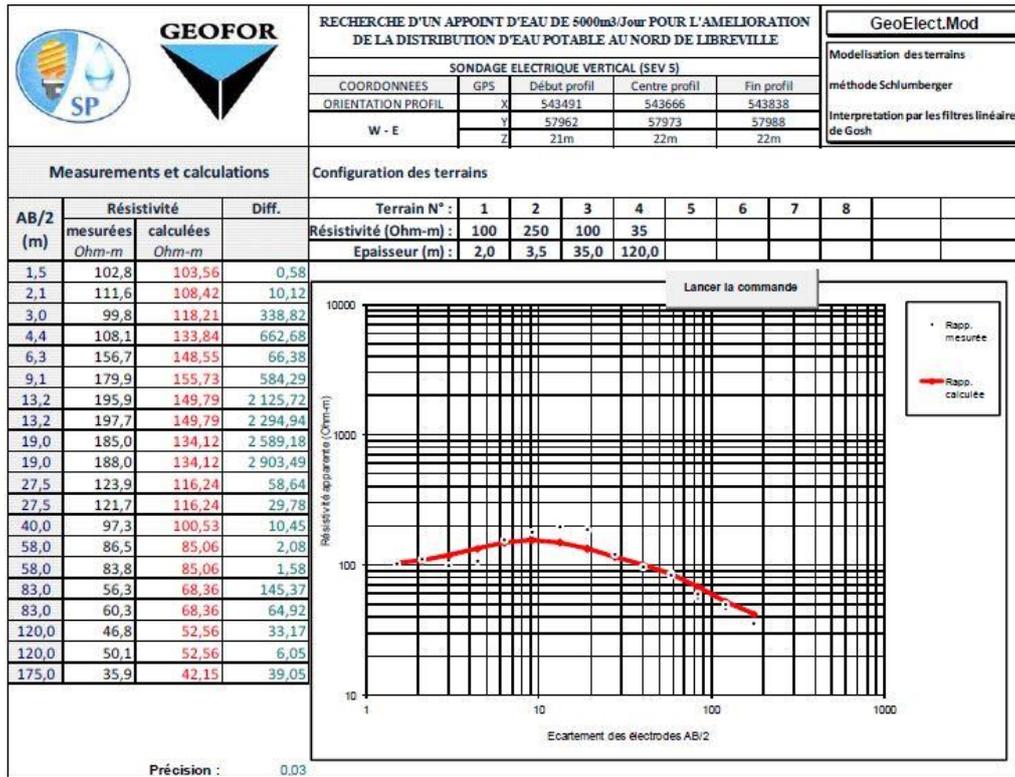
TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE



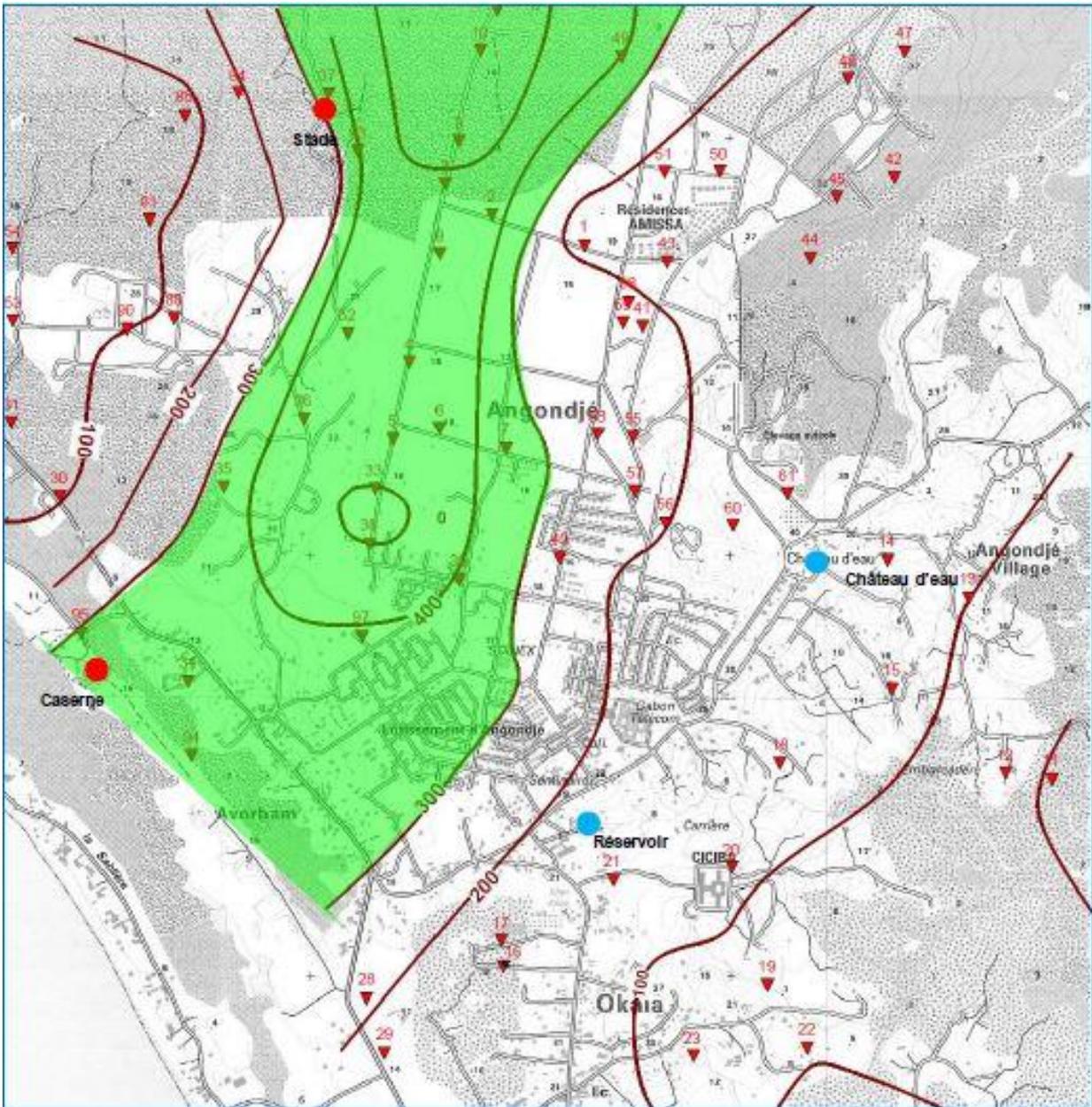
TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE



TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE



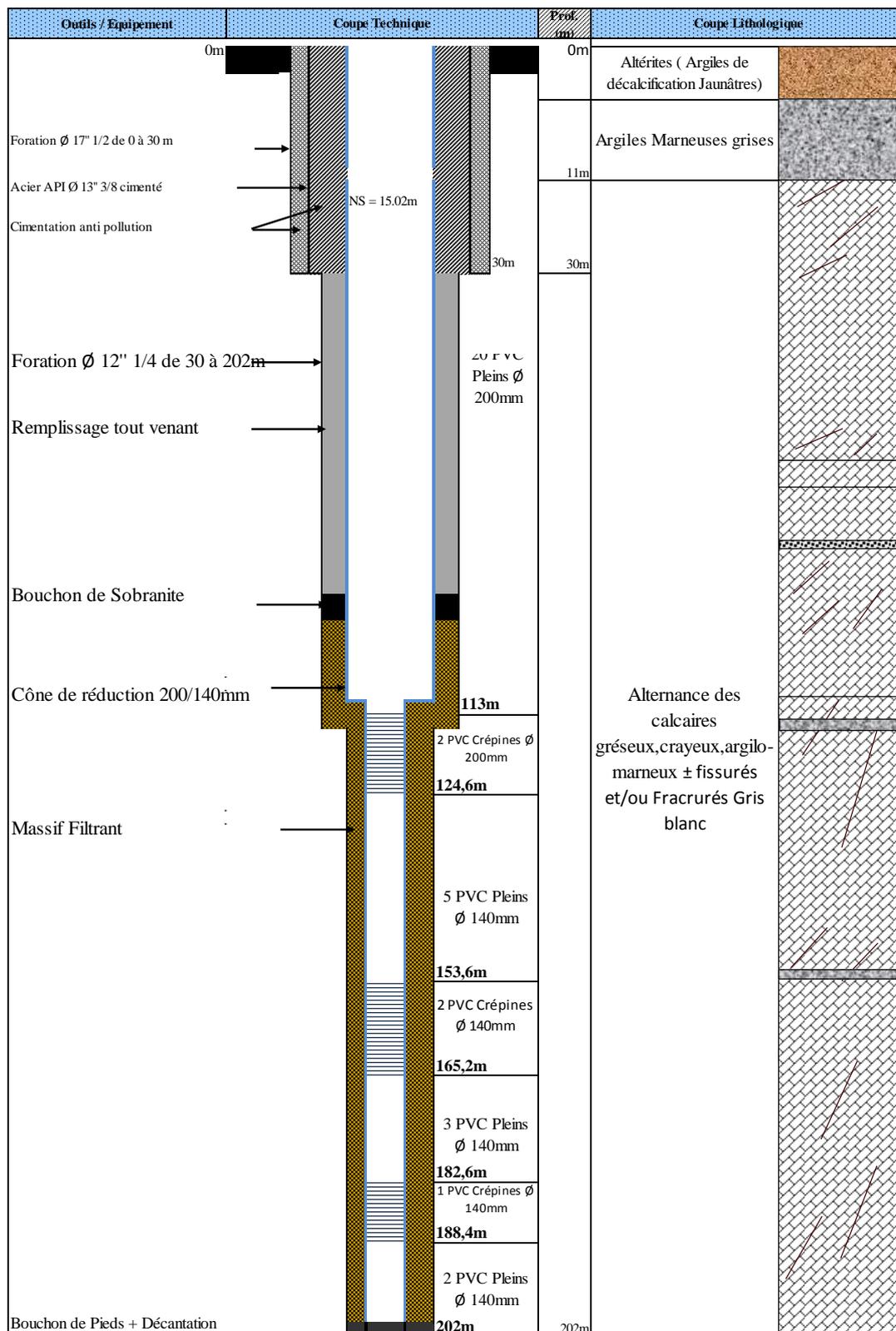
ANNEXE 3 : Carte des iso – valeurs de résistivité



ANNEXE 4 :

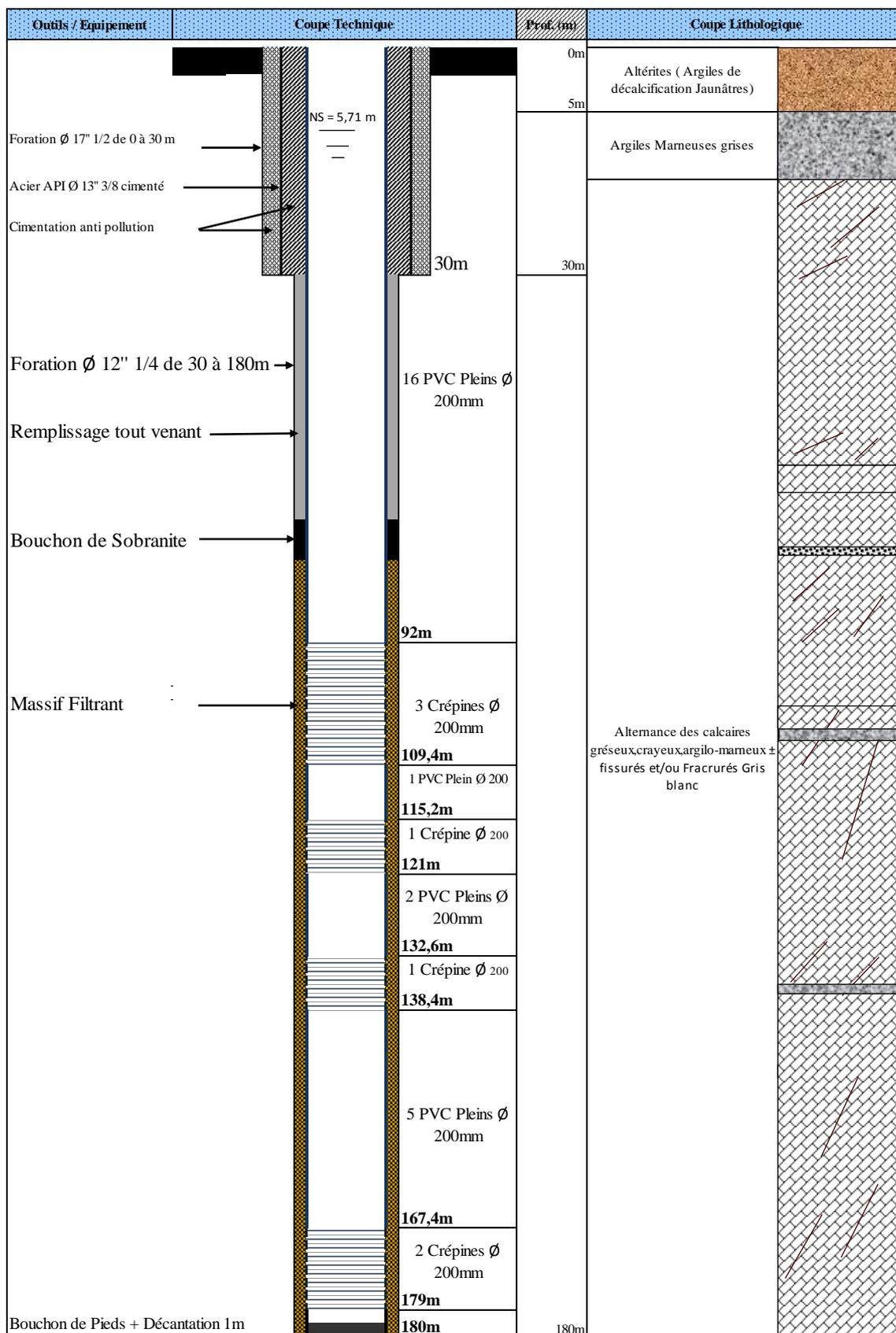
ANNEXE 5 : Coupe technique et géologique

- SP1



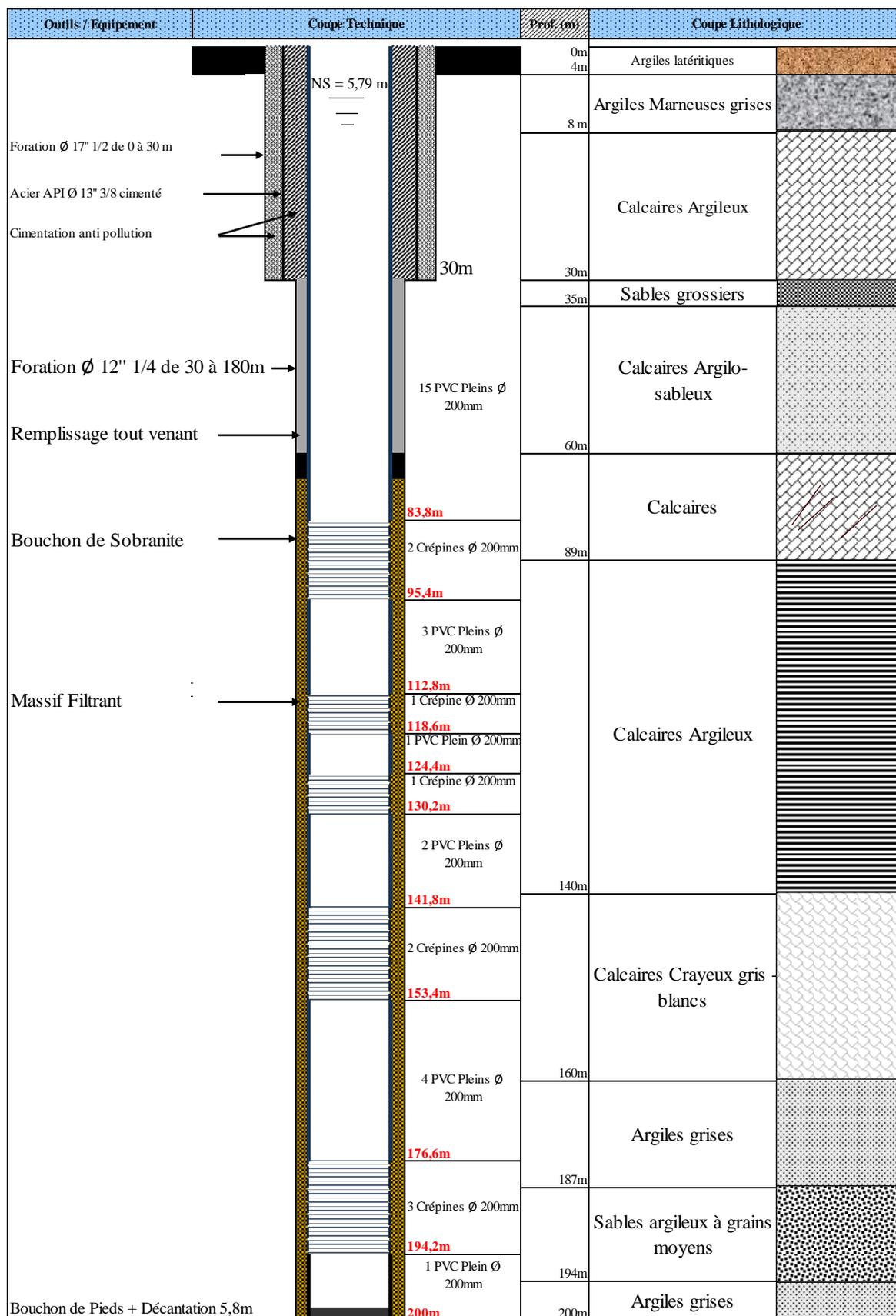
TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE

• SP2



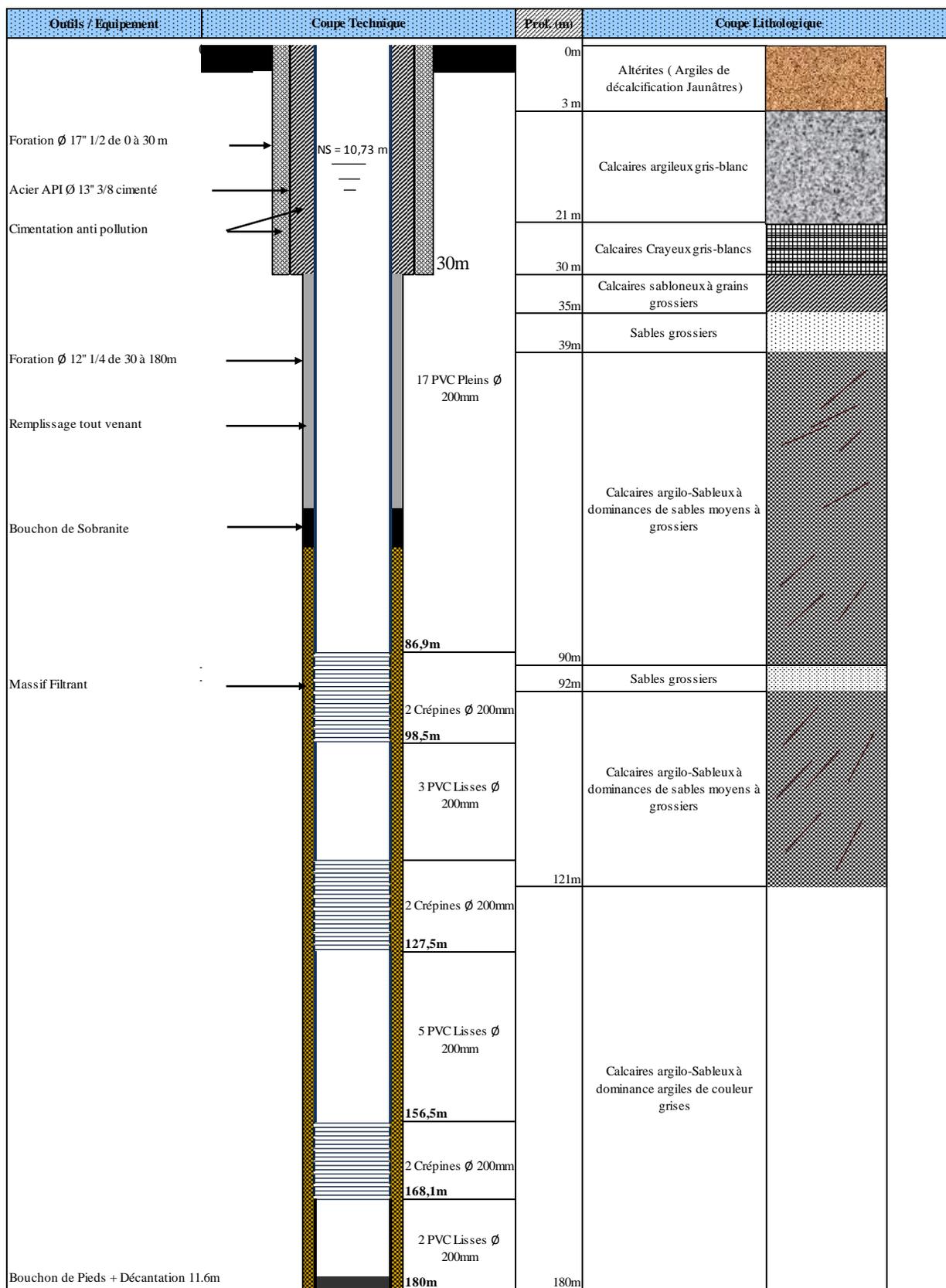
TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE

- SP3 :

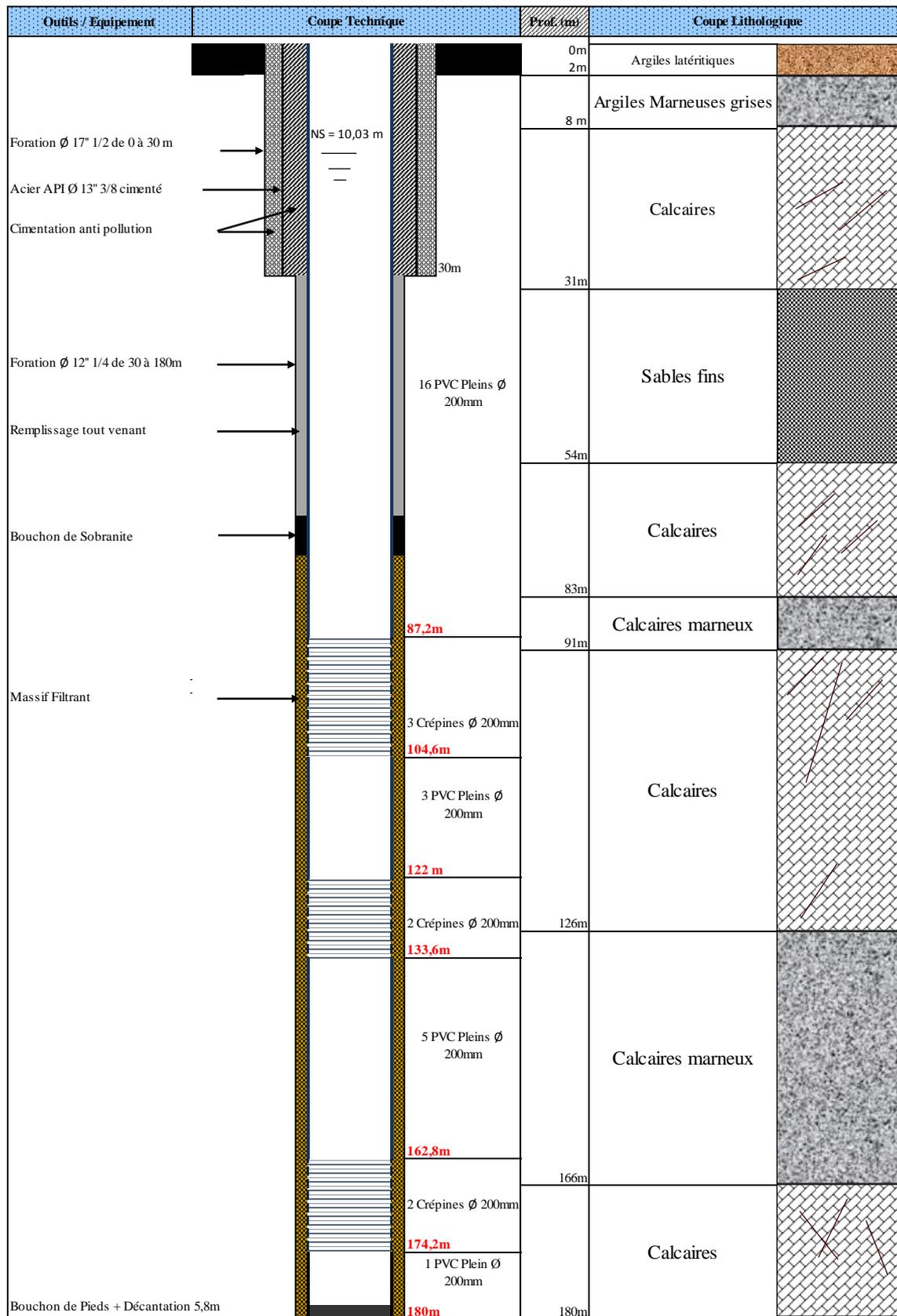


TRAVAUX D'URGENCE POUR L'AMELIORATION DE LA DISTRIBUTION D'EAU POTABLE AU NORD DE LIBREVILLE

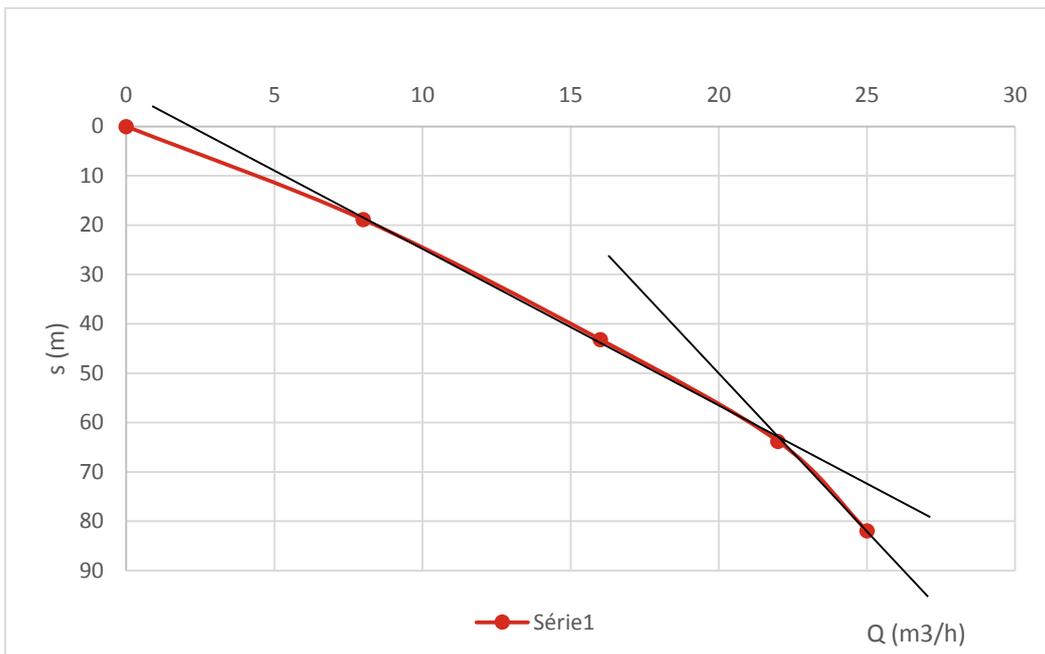
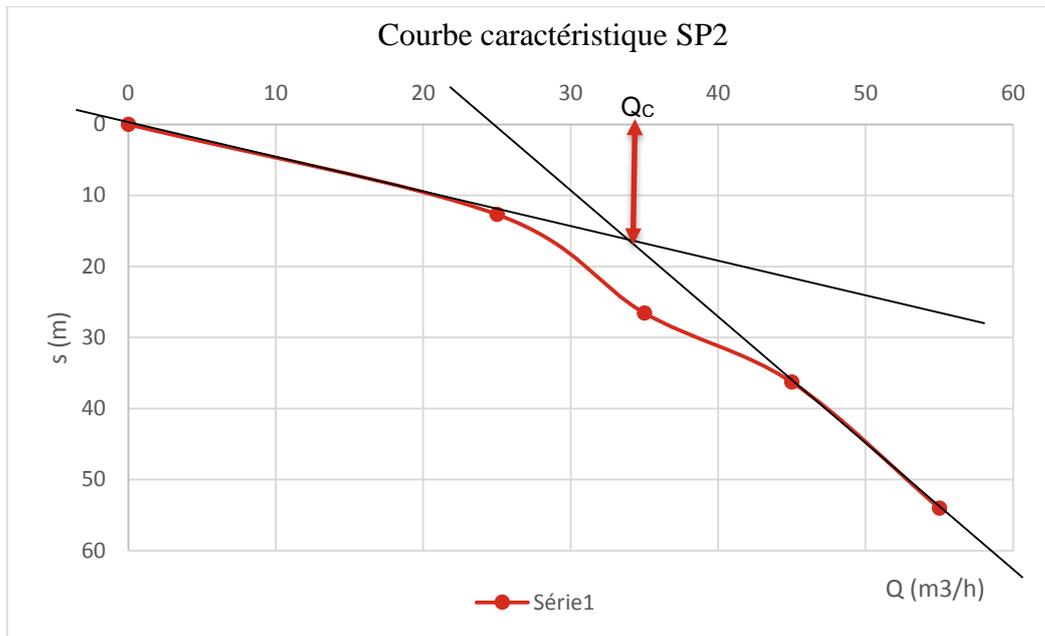
• SP4

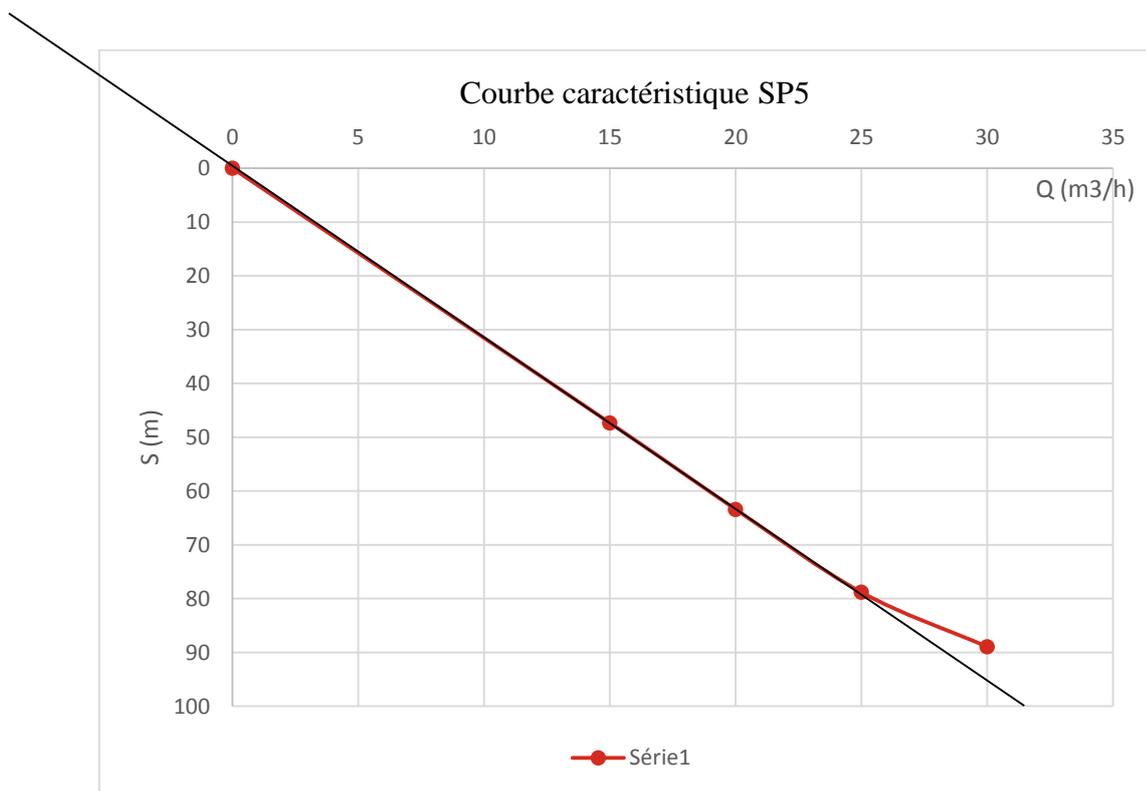
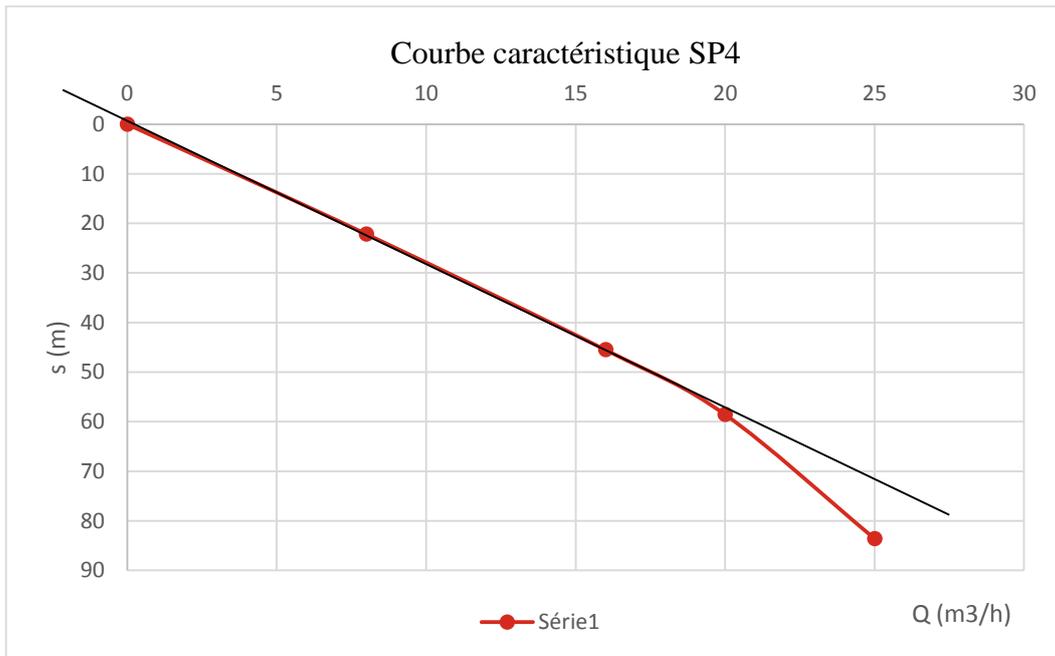


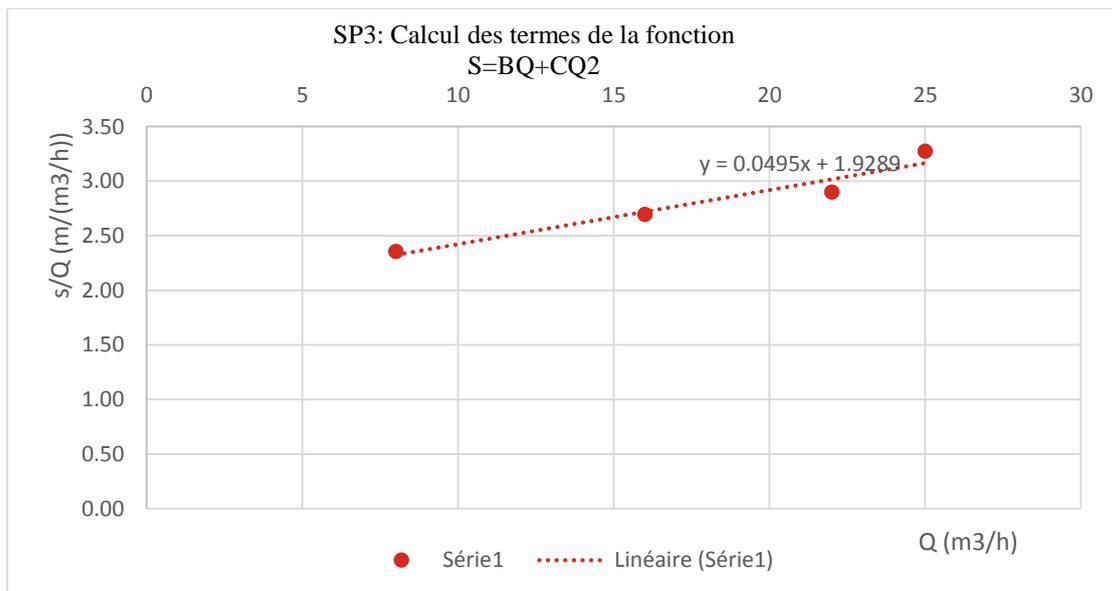
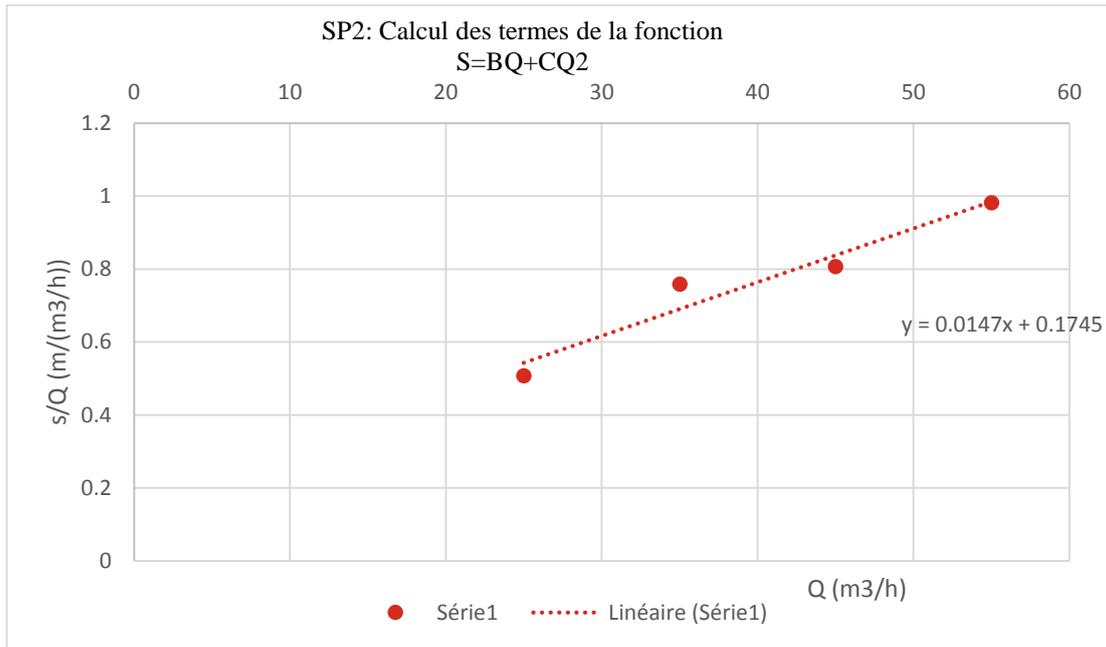
• SP5

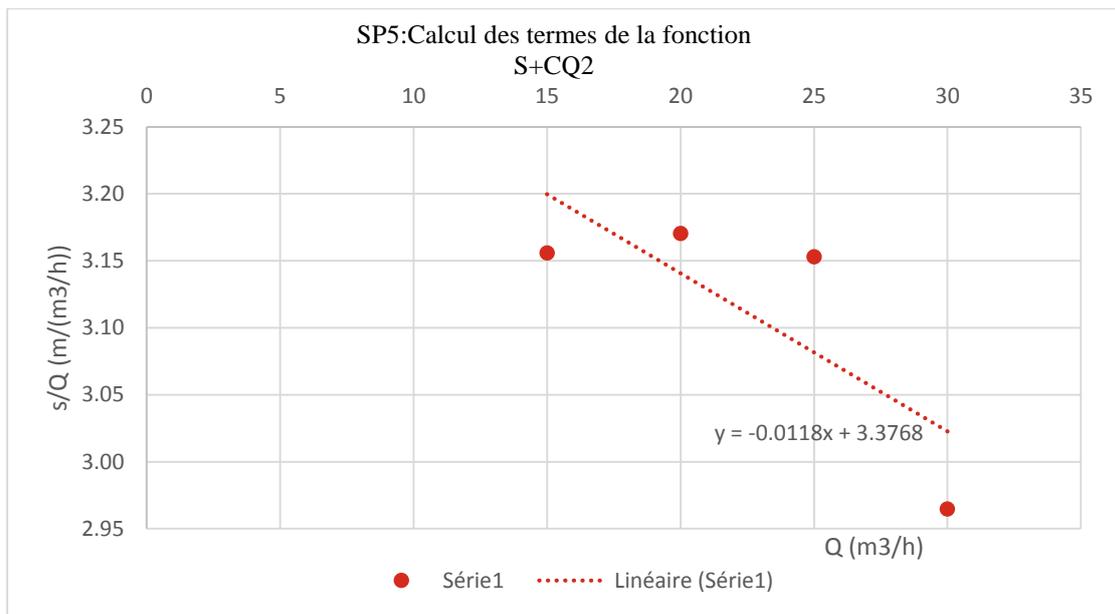
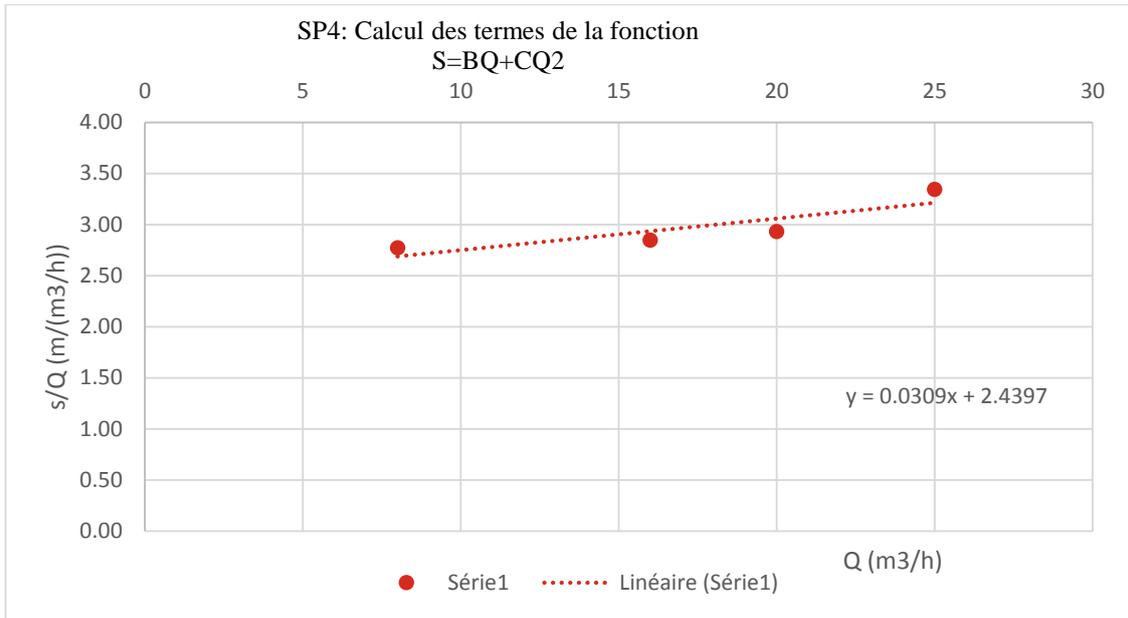


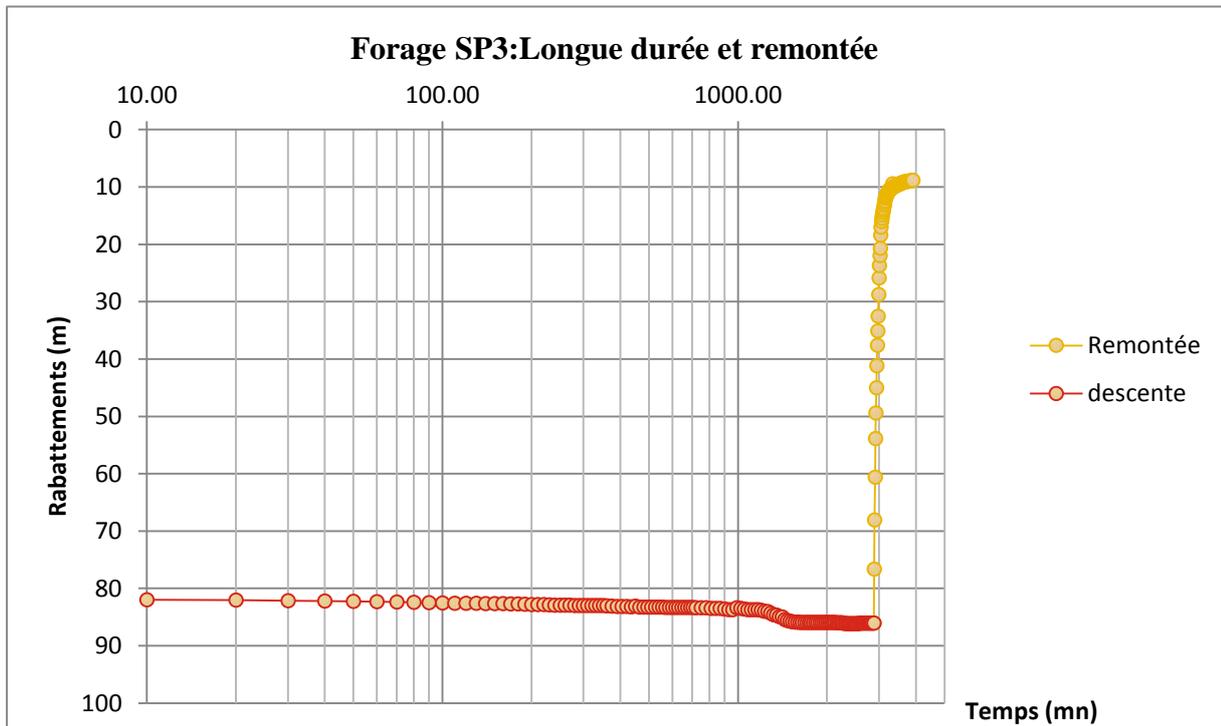
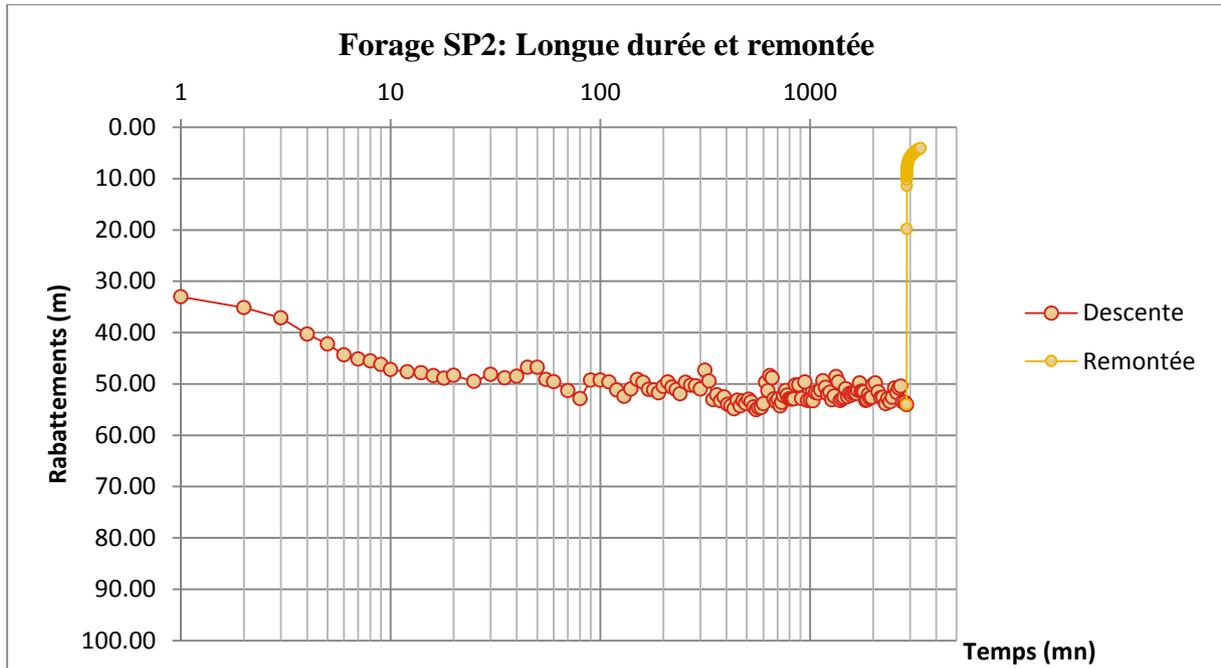
ANNEXE 6 : Résultats des essais de pompage











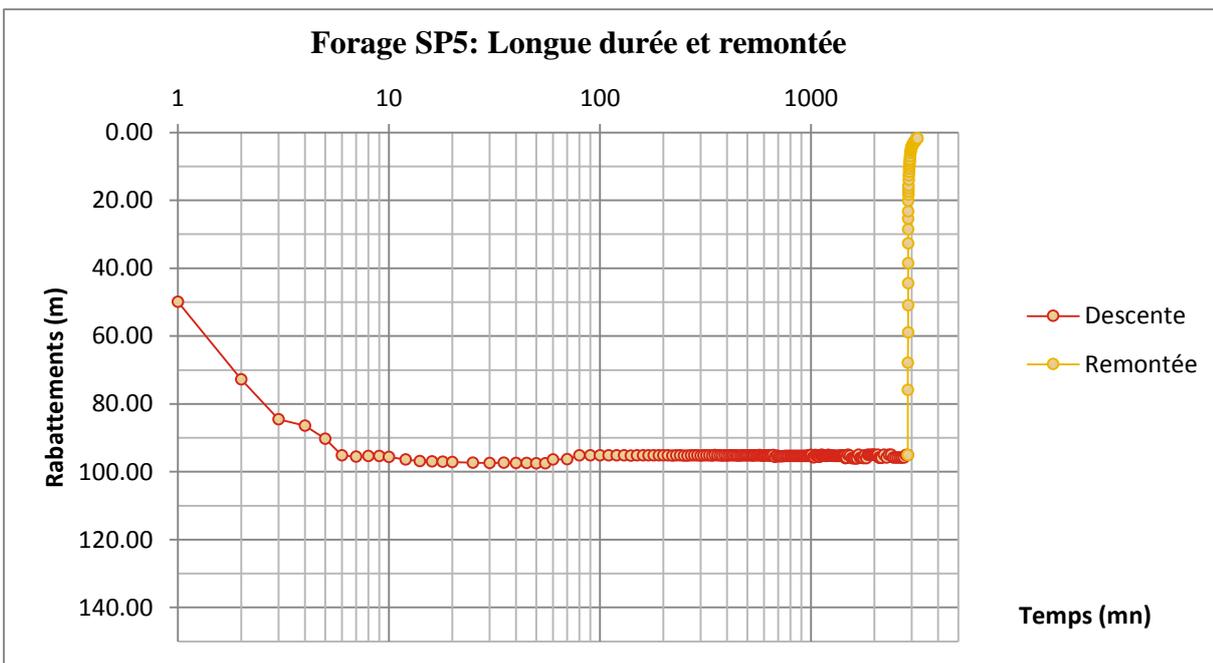
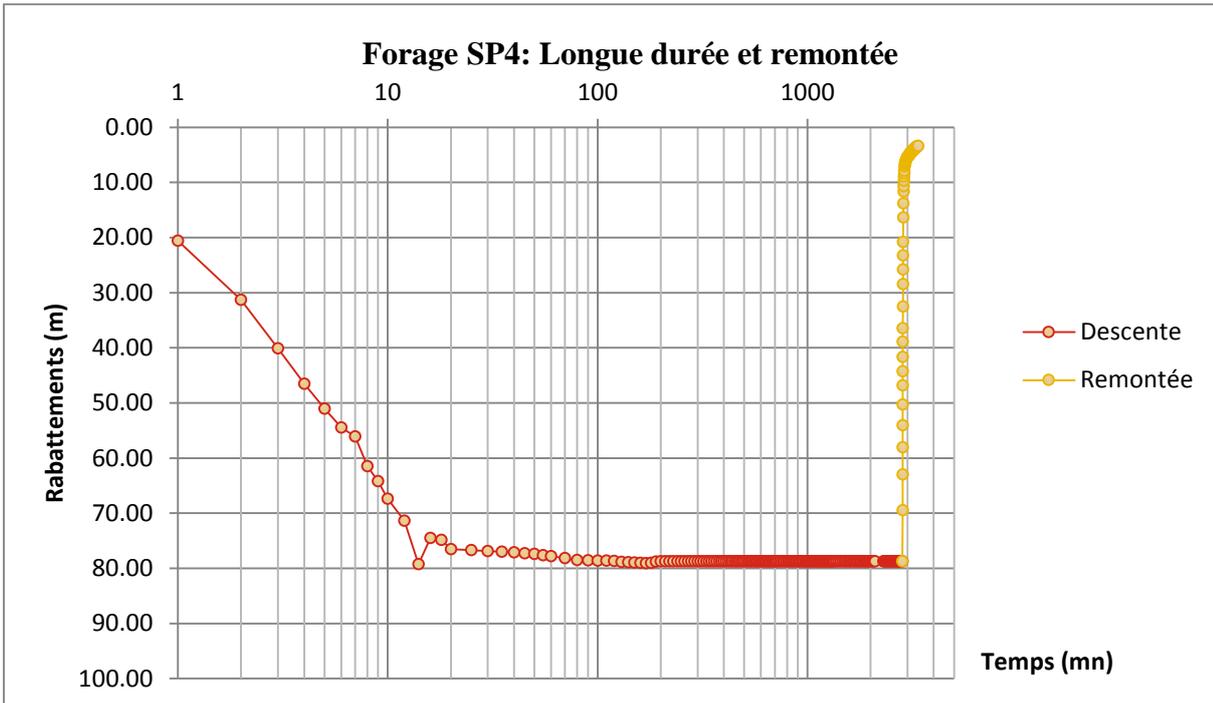


Tableau : Essais de pompage des forages SP2, SP3, SP4 et SP5

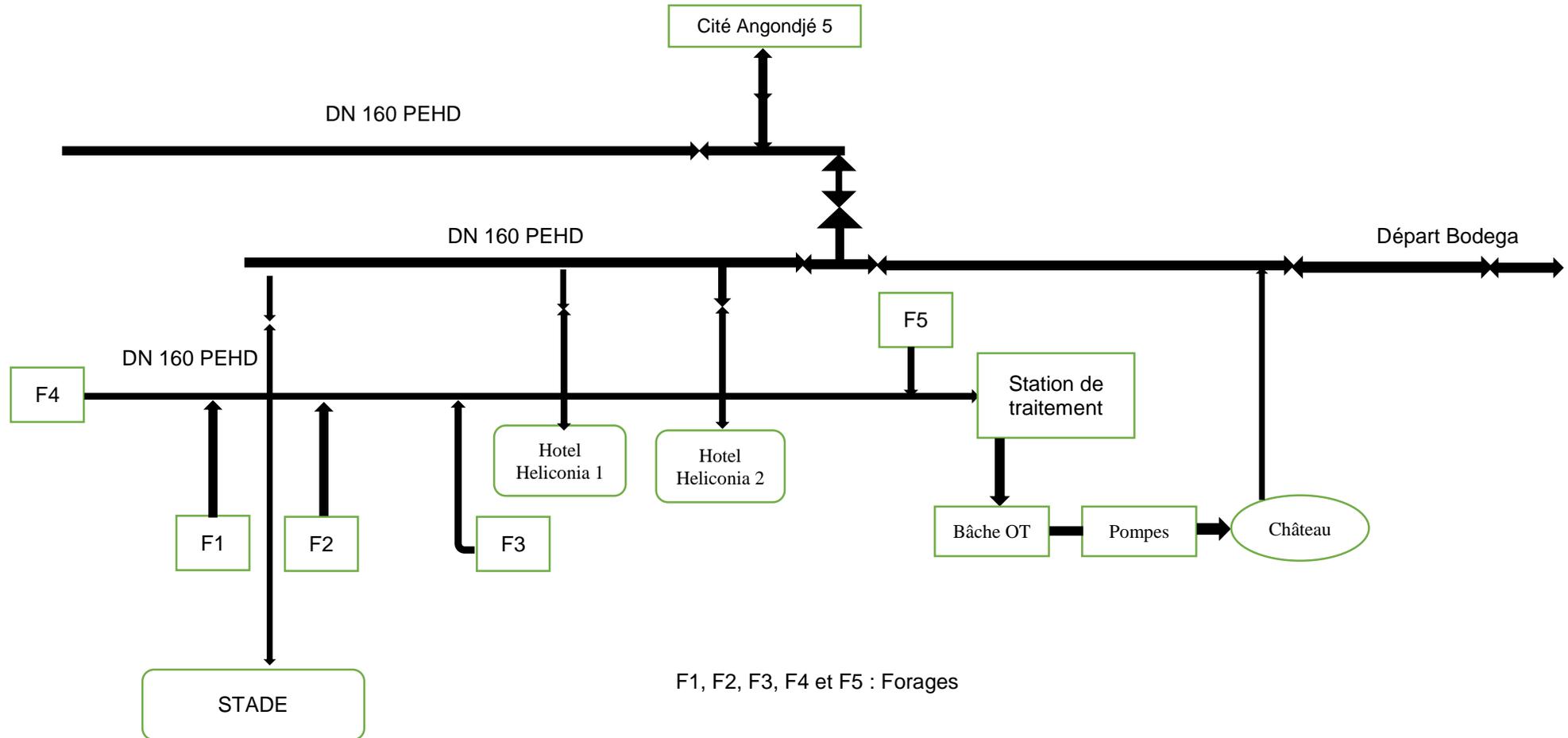
SP2	Q (m3/h)	N Stat (m)	N dyn (m)	S (m)	Q/S (m3/h/m)	S/Q (m/m3/h)
Palier 1	25	5.71	18.39	12.68	1.97	0.51
Palier 2	35		32.27	26.56	1.32	0.76
Palier 3	45		42.01	36.3	1.24	0.81
Palier 4	55		59.9	54.19	1.01	0.99
Longue durée	55		59.74	54.03	1.02	0.98

SP3	Q (m3/h)	N Stat (m)	N dyn (m)	S (m)	Q/S (m3/h/m)	S/Q (m/m3/h)
Palier 1	8	5.79	24.77	19.06	0.42	2.38
Palier 2	16		48.95	43.24	0.37	2.70
Palier 3	22		69.6	63.89	0.34	2.90
Palier 4	25		87.69	81.98	0.30	3.28
Longue durée	25		91.86	86.15	0.29	3.45

SP4	Q (m3/h)	N Stat (m)	N dyn (m)	S (m)	Q/S (m3/h/m)	S/Q (m/m3/h)
Palier 1	8	10.73	32.9	27.19	0.29	3.40
Palier 2	16		56.25	50.54	0.32	3.16
Palier 3	22		69.3	63.59	0.35	2.89
Palier 4	25		94.32	88.61	0.28	3.54
Longue durée	25		89.45	83.74	0.30	3.35

SP5	Q (m3/h)	N Stat (m)	N dyn (m)	S (m)	Q/S (m3/h/m)	S/Q (m/m3/h)
Palier 1	15	10.03	57.37	51.66	0.29	3.44
Palier 2	20		73.44	67.73	0.30	3.39
Palier 3	25		88.86	83.15	0.30	3.33
Palier 4	30		98.98	93.27	0.32	3.11
Longue durée	30		105.08	99.37	0.30	3.31

ANNEXE 7 : SYNOPTIQUES FORAGES STADE DE L'AMITIE



ANNEXE 8: Tableau récapitulatif des résultats du dimensionnement des conduites

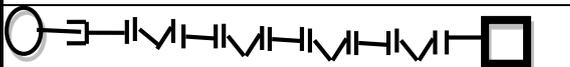
Tronçon	Q transit (m3/h)	Q transit (m3/s)	D (mm) calculé	DN (mm)	D int (mm)	e (mm)	V (m/s)	a (m/s)	ΔH (m)	KS PEHD	J (m)	L (m)	JL (m)	JS (m)	JT (m)	Côte TN (m)	Côte Station (m)	Niv Dyn max (m)	H geo (m)	HMT (m)
SP2 - Bâche	55	0.0153	185.405	200	181.8	18.2	0.589	334	19.671	120	0.00147	1500	2.211	0.221	2.432	20	38	87	105	107.59
Bâche - Station	30	0.0083	136.931	140	127.3	12.7	0.655	334	21.847	120	0.00293	50	0.147	0.015	0.161	33				5.16
SP3 - Stade	25	0.0069	125.000	125	113.6	11.4	0.685	335	22.926	120	0.00373	900	3.361	0.336	3.697	24		79	93	96.70
SP1 - Collecteur	15	0.0042	96.825	110	100	10	0.531	334	17.722	120	0.00265	67	0.178	0.018	0.195	22		108	124	129.48
SP5 - A	30	0.0083	136.931	140	127.3	12.7	0.655	334	21.847	120	0.00293	404	1.184	0.118	1.302	21		82	99	106.63
SP4 - A	25	0.0069	125.000	125	113.6	11.4	0.685	335	22.926	120	0.00373	82	0.306	0.031	0.337	23		82	97	103.66
A - Collecteur	55	0.0153	185.405	160	145.4	14.6	0.920	335	30.796	120	0.00485	196	0.951	0.095	1.046					
Collecteur - Station	70	0.0194	209.165	160	145.4	14.6	1.171	335	39.195	120	0.00786	611	4.800	0.480	5.280					

ANNEXE 9 : Pièces de Robinetteries

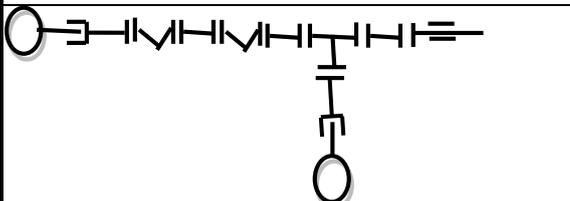
- Tronçon SP2 – Station

Schéma	Pièces constitutives	
	quantité	Dénomination / Références
	1 6 2	Bride Emboîtement en PEHD DN 200 Brides uni en PEHD DN 200 Coudes à 90° à emboîtement DN 200

- Tronçon SP3 – Stade

Schéma	Pièces constitutives	
	quantité	Dénomination / Références
	1 7 4	Bride Emboîtement en PEHD DN 125 Brides uni en PEHD DN 125 Coudes à 90° à emboîtement DN 125

- Tronçon SP5 – A ; SP4 – A ; A – Collecteur

Schéma	Pièces constitutives	
	quantité	Dénomination / Références
	1 7 1 2	Bride Emboîtement en PEHD DN 125 Brides uni en PEHD DN 125 Té réducteur Coudes à 90° à emboîtement DN 125

ANNEXE 10 : Schéma d'exhaure

