



Projet de renforcement en eau des villes de SINFRA et de GAGNOA et des centres environnants à partir du fleuve Bandama.

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

Option : Génie Civil, Infrastructures et Réseaux Hydrauliques

Présenté et soutenu publiquement le [27/07/2016] par

Boris Géraud Babatoundé KOFFI

Travaux dirigés par :

- **M. Khomdeth RATSAVONG**, *Chef de département Coordination aux grands projets SADE-CGTH*
- **M. Alexis PONS**, *Chef de département Hydraulique à SADE-CGTH*
- **Dr Lawani MOUNIROU**, *Enseignant-chercheur à 2iE*

Jury d'évaluation du stage :

- **Dr. Mamadou KOÏTA (P)**, *Enseignant-chercheur à 2iE*
- **M. Bega OUEDRAOGO**, *Enseignant à 2iE*
- **M. Roland YONABA**, *Assistant d'Enseignement et de Recherche, 2iE*

Promotion 2014/2015

DEDICACE

A mes parents pour les efforts consentis, leur soutien indéfectible et tous les sacrifices qu'ils ne cessent de faire à mon égard. Puisse DIEU leur accorder longévité afin qu'ils puissent recevoir en retour la plus-value de leur innombrables efforts ;

- ♠ A mon cousin Elysée KOMBIENI et sa femme pour tous leurs efforts et leur soutien à mon égard.
- ♠ A mes sœurs pour leur soutien

REMERCIEMENTS

Au vue de l'intérêt et du niveau technique du travail réalisé ; un travail comme celui-ci exige, certes, beaucoup de travail personnel de la part de l'auteur mais c'est aussi le fruit de différentes collaborations. Ainsi je voudrais adresser mes remerciements à toute la direction de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), son personnel, à l'ensemble du corps enseignant qu'ils trouvent ici toute ma gratitude pour les connaissances techniques, scientifiques et morales dont nous avons bénéficié.

J'adresse particulièrement mes sincères remerciements à tous ceux qui ont joué leur partition dans l'élaboration de ce document :

- ♣ Monsieur **CURTARELLO David** Directeur Général de SADE Burkina Faso dont le soutien a été indéfectible, au siège SADE-CGTH Paris.
- ♣ Monsieur **N'GUYEN Minh-Tuan** Directeur du bureau des études SADE CGTH qui a bien voulu m'accepter dans son équipe au sein de la direction des études ;
- ♣ Monsieur **MOUNIROU Lawani**, mon encadreur à 2iE pour son orientation et son apport pour l'élaboration des différentes parties de ce mémoire ;
- ♣ Monsieur **FONTAINE Laurent** Directeur Adjoint du bureau d'études SADE CGTH pour son attention et son apport dans la réalisation de ce mémoire ;
- ♣ Monsieur **RATSAVONG Khomdeth**, mon encadreur, Chef de département coordination aux grands projets pour son soutien, son apport et ses explications dans l'élaboration de ce mémoire ;
- ♣ Monsieur **PONS Alexis**, pour toutes ses explications son assistance, sa pédagogie et son orientation auprès de qui j'ai énormément appris durant la réalisation de ce travail ;
- ♣ Monsieur **KUDLA Sébastien**, le responsable des services supports pour son soutien à la Direction Internationale ;
- ♣ Monsieur **ALLIANCE Marc**, le responsable des projeteurs Génie-civil qui m'a prodigué d'énormes conseils tout au long de ce stage ;
- ♣ Tout le personnel SADE qui m'a réservé un accueil chaleureux au sein de leurs différents services tout au long de mon stage qu'il trouve ici ma profonde gratitude.

Avant-Propos : présentation de la structure d'accueil, SADE

La SADE, originellement Société Auxiliaire des Distributions d'Eau, a été créée en 1918 par la Compagnie Générale des Eaux dans le cadre de la reconstruction du territoire français pour apporter son concours aux services et entreprises de distribution d'eau. Ce groupe est spécialiste en maîtrise de réseau et de respect de l'environnement. La conception, la construction et la maintenance de réseaux d'eau constituent le métier historique de la SADE. Spécialisée notamment dans la pose de conduites de grand diamètre, la SADE réalise tous les travaux, simples ou complexes, depuis les ouvrages de prélèvement d'eau dans le milieu naturel jusqu'aux branchements des abonnés.

En effet avec son bureau d'études intégré, SADE Ingénierie réalise, en France et à l'international, toutes les études techniques et plans d'exécution des chantiers qui lui sont confiés. Elle mobilise, au siège et dans les entités opérationnelles, plus de 50 collaborateurs ; les ingénieurs spécialisés représentent la moitié de cet effectif. Les études réalisées font appel à la technique de l'ingénieur et à des moyens informatiques de calcul, de DAO et CAO toujours plus performants et en évolution permanente.

Les logiciels les plus appropriés sont utilisés pour l'aide à la résolution des multiples problèmes associés aux métiers de l'eau : calculs de coups de bélier, de réseaux d'eau sous pression, de réseaux d'assainissement à surface libre avec simulations éventuelles de la qualité de l'eau, de l'effluent, calculs de structures aux éléments finis, de béton armé, de tuyauteries... Chaque année, SADE Ingénierie réalise plus de 400 études et plus de 2 000 plans (y compris en 3D)

Résumé

Cette étude a porté sur le renforcement en eau en potable des villes de Sinfra, Gagnoa et centres environnants en Côte d'Ivoire. Ces deux villes situées dans la région du centre ouest disposent actuellement d'un système d'alimentation en eau potable ne permettant pas de satisfaire pleinement les besoins de leurs 600 000 habitants (2014). Les principaux objectifs assignés à cette étude étaient : (1) la sélection d'une stratégie de desserte (2) la définition et la configuration du système de pompage des deux villes, (3) l'étude de la protection de ces installations de pompage et la vérification des critères de fonctionnement hydraulique du système d'AEP, (4) l'étude de la stabilité des conduites, (5) l'analyse économique pour la sélection du diamètre de l'adduction principale du projet, (6) et l'étude d'impact environnementale du projet. La conception finale proposée se compose d'une prise d'eau sur le fleuve Bandama, d'une usine de traitement de capacité 20 000 m³/jour, une ligne d'adduction de 113 km en DN 600, 500, 400 et 2 réservoirs principaux de 2 000 et 3 000 m³ respectivement à Sinfra et à Gagnoa en entrée des zones de distribution. Les réseaux de distribution seront renforcés ultérieurement. Les conclusions tirées de cette étude pourront servir de base à la réalisation des travaux de renforcement du système d'adduction d'eau potable des villes de Gagnoa, Sinfra et des villes environnantes.

Mots clés :

1. Amélioration
2. Besoins en eau potable
3. Dimensionnement
4. AEP
5. Côte d'Ivoire

Abstract

The purpose of this work , was focused on water strengthening the study of drinking cities Sinfra and Gagnoa and surrounding centers. These two towns in west central Ivory Coast currently have a drinking water supply system does not allow to fully meet the needs of their sixty thousands inhabitants.

The main objectives of this study were: (1) the selection of a service strategy (2) the definition and configuration of the pumping system of the two cities, (3) study of the protection of these pumping systems and verification criteria hydraulic operation of the water supply system, (4) the study of the stability of pipes (5) economic analysis for the selection of the diameter of the main supply project, (6) and the environmental impact study of the project. The proposed final design consists of a water intake on the Bandama river, with a capacity of processing plant 20,000 m³ / day, a supply line of 113 km in DN 600, 500, 400 and 2 tanks main 2 000 and 3 000 m³ respectively at Sinfra and Gagnoa input distribution zones. Distribution networks will subsequently be strengthened. Findings from this study will be the basis for the realization of reinforcement works of the drinking water supply system of the towns of Gagnoa, Sinfra and surrounding towns.

Keywords :

Improvement

Water Needs

AEP system

Ivory Coast

Sigles et abréviations

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

AEP : Alimentation en Eau Potable

AGERROUTE : Agence de Gestion des Routes

CAO: Conception Assisté par ordinateur

C2D : Contrat de Désendettement et de Développement

DAO: Dessin Assisté par ordinateur

DTHH : Direction Territoriale de l'Hydraulique Humaine

EPI : Equipements de Protection Individuelle

EIES : Etude d'Impact Environnemental et Social

HVA : Hydraulique Villageoise Améliorée

HV : Hydraulique Villageoise

MIE : Ministère des Infrastructures Economiques

MINESUDD : Ministère de l'Environnement, de la Salubrité Urbaine et du Développement

ONEP : Office National de l'Eau Potable

RPE : Réserve des Pays Emergents

SODECI : Société de Distribution d'Eau de la Côte d'Ivoire

Symboles et notations

m/s: mètre par seconde

mcE: mètre colonne d'eau

m: mètre

m³/h: mètre cube par heure

Table des matières

DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS	iii
Résumé.....	v
Abstract	vi
Sigles et abréviations.....	vii
Symboles	vii
Introduction générale.....	1
PREMIERE PARTIE - Contexte, Justification du projet et problématique.....	2
I- Contexte et justification du projet	2
I.1. Conditions d'accès actuelle à l'eau potable dans les villes de SINFRA et GAGNOA.....	2
I.2 Objectif principal et objectifs spécifiques du projet.....	2
II- Présentation de la zone d'étude, de la structure d'accueil et méthodologie générale adoptée ...	2
II.1 Description de l'état initial de la zone d'étude	2
II.1.1 Localisation géographique périmètre de la zone d'étude	4
II.1.2. Milieu biophysique	4
II.1.3 Milieu socio-économique et démographique.....	7
II .2. Méthodologie générale adoptée	7
III- Caractérisation du système d'adduction d'eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA	8
III.1 Département SINFRA	8
III.2 Département GAGNOA.....	9
IV- Rappel des besoins en eau actuels et futurs.....	10
IV.1 Hypothèses d'évaluation des besoins.....	10
IV.1.1 Population de la zone d'étude : zone RPE et zone périphérique.....	10
IV.1.2 Hypothèses	11
IV.1.3 Résultats	12
V- Description du système projeté.....	12
VI- Stratégies de dessertes	13
VI.1. Avantages et inconvénients.....	14
VI.1.1 Option 1.....	14
VI.1.2 Option 2.....	15
VI.2 Stratégie retenue.....	15
VI.3. Identification et définition des sous-systèmes.....	16
DEUXIEME PARTIE - Dimensionnement du projet	17
I- Plan synoptique des ouvrages et/ou équipements du projet	17
II- Conduites de refoulement d'eau traitée	17
II.1. Ligne d'adduction principale.....	17
II.1.1 Descriptif du refoulement – Débit de projet	17

II.2. Profils et charges piézométriques	19
II.3. Ligne d'adduction secondaire.....	22
III- Station de pompage eau traitée.....	23
III.1. Station de pompage et de reprise eau traitée	23
III.1.1 Calcul des Hauteurs manométriques totales et le choix des pompes.....	23
III.1.2 Régulation du pompage.....	24
III.1.3. Notion de NPSH.....	24
III.1.4. Choix des pompes et courbes caractéristiques	25
III.2. Protection anti-bélier-Modélisation CEBELMAIL.....	27
III.2.1 Schéma et hypothèses de modélisation	27
III.2.2. Objectif et scénario de la modélisation	28
III.2.3. Analyse et choix du type de protection.	29
IV- Etude de la stabilité des conduites.....	32
IV.1 Verrouiller les canalisations, pourquoi ?.....	32
IV.2 Sur quelle longueur faut-il verrouiller les canalisations ?.....	33
IV.3 Gamme de solution de verrouillage	33
V- Fonctionnement hydraulique du système	34
V.1 Modélisation EPANET.....	34
V.1.1 Schéma et hypothèses de modélisation	34
V.1.2 Objectif et scénario de la modélisation.....	36
V.1.3 Analyse et propositions techniques.	38
TROISIEME PARTIE – Analyse économique, environnementale et social du projet	44
I- Analyse économique du système d'adduction principale.....	44
I.1 Calcul des consommations d'énergie.....	44
I.2 Analyses Cout- Bénéfices	44
II- Analyse environnementale et sociale	46
II.1 Impact environnementale et sociale du projet	46
II.1.1 Objectif et nécessité de l'étude d'impact environnementale et sociale	46
II.1.2 Impact potentiels du projet	46
II.2 Mesures d'atténuation des impacts potentiels du projet	47
Conclusion et recommandations	48
Bibliographie.....	Erreur ! Signet non défini.
ANNEXES.....	50

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: CARTE ADMINISTRATIVE DES VILLES DE SINFRA ET GAGNOA	4
FIGURE 2: CARTE HYDROGRAPHIQUE DE LA ZONE DU PROJET	6
FIGURE 4: OPTION DE DESSERTE 1	13
FIGURE 5: OPTION DE DESSERTE 2	14
FIGURE 6: SCHEMA SYNOPTIQUE DE L'AMENAGEMENT DU PROJET	16
FIGURE 7: PLAN SYNOPTIQUE DES OUVRAGES ET EQUIPEMENTS DU PROJET	17
FIGURE 8: PROFIL PIEZOMETRIQUE ZAMBAKRO-SINFRA-HORIZON 2025	20
FIGURE 9: PROFIL PIEZOMETRIQUE SINFRA-GAGNOA-HORIZON 2025	20
FIGURE 11: PROFIL PIEZOMETRIQUE ZAMBAKRO-SINFRA SANS PROTECTION	29
FIGURE 12: PROFIL PIEZOMETRIQUE SINFRA-GAGNOA SANS PROTECTION	30
FIGURE 13: PROFIL PIEZOMETRIQUE ZAMBAKRO-SINFRA-AVEC PROTECTION ANTI-BELIER	31
FIGURE 14: PROFIL PIEZOMETRIQUE SINFRA-GAGNOA -AVEC PROTECTION ANTI-BELIER.	32
FIGURE 16: GRAPHES D'EVOLUTION DU POMPAGE DE LA STATION DE POMPAGE DE ZAMBAKRO	39
FIGURE 17: GRAPHES D'EVOLUTION DU POMPAGE DE LA STATION REPRISE DE SINFRA	40
FIGURE 18: GRAPHES D'EVOLUTION DU MARNAGE DES RESERVOIRS PRINCIPAUX DE SINFRA ET GAGNOA	40
FIGURE 19: GRAPHES D'EVOLUTION DU MARNAGE DES RESERVOIRS SECONDAIRES-TRONÇON ZAMBAKRO-SINFRA	41
FIGURE 20: GRAPHES D'EVOLUTION DU MARNAGE DES RESERVOIRS SECONDAIRES- TRONÇON SINFRA-GAGNOA	41
FIGURE 21: PROFIL PIEZOMETRIQUE ZAMBAKRO-SINFRA DES HORIZONS 2025, 2030, 2035 AVEC OU SANS STATION DE REPRISE	42
FIGURE 22: PROFIL PIEZOMETRIQUE SINFRA-GAGNOA DES HORIZONS 2025, 2030, 2035 AVEC OU SANS STATION DE REPRISE	42

Liste des tableaux

TABLEAU 1: CARACTERISTIQUES DES UNITES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE DE BOUNAFILA ET KONONFLA	9
TABLEAU 2: CAPACITE DE PRODUCTION DES CENTRES AU 22/04/2015	10
TABLEAU 3 : PROJECTION DE LA POPULATION JUSQU'EN 2035	10
TABLEAU 4: DEBITS DE PROJET D'EAU TRAITEE A LA STATION DE REFOULEMENT DE ZAMBAKRO	17
TABLEAU 5: CHARGES PIEZOMETRIQUE AUX POINTS CARACTERISTIQUES DU RESEAU DE REFOULEMENT	22
TABLEAU 6: RESULTAT CALCUL DIAMETRE ADDUCTION SECONDAIRE	23
TABLEAU 7: CARACTERISTIQUES DES POMPES DES STATIONS DE REFOULEMENT	23
TABLEAU 8: CARACTERISTIQUES DES POMPES DE STATION DE REFOULEMENT	25
TABLEAU 9: TABLEAU RECAPITULATIF DU CHOIX DES POMPES	25
TABLEAU 10: FLUCTUATIONS DES DEMANDES DANS UNE JOURNEE (SOURCE SODECI)	34
TABLEAU 11: TABLEAU RECAPITULATIF DES CAPACITES DES RESERVOIRS PRINCIPAUX	37
TABLEAU 12: TABLEAU RECAPITULATIF DES CAPACITES DES RESERVOIRS SECONDAIRES	38
TABLEAU 13: CONSOMMATION D'ENERGIE EN KWH/JR	44
TABLEAU 14: CALCUL DE LA VAN	45

Introduction générale

Le secteur de l'eau souffre aujourd'hui en Côte d'Ivoire d'un important déficit d'investissements lié aux événements de la dernière décennie. Pour pallier ce déficit de production d'eau potable, le Ministère des Infrastructures Économiques (MIE) a conçu un programme d'investissement prioritaire de 1 170 M€ sur la période 2013-2017 qui a été présenté aux principaux bailleurs de fonds impliqués dans le financement du secteur en juin 2013. Ce programme comporte plusieurs projets ayant fait l'objet d'accords ou d'intentions de financements par des bailleurs.

Dans le cadre de ce programme global, le Ministère des Infrastructures Économiques à travers l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) a obtenu un financement d'un montant total de 47 M€ (phase 1) constitué par des fonds de la Réserve des Pays Emergents (RPE) mixé à un Crédit Acheteur, et du Contrat de Désendettement et de Développement (C2D) passé entre la France et la Côte d'Ivoire, afin de financer le projet d'alimentation en eau potable des localités de Sinfra et Gagnoa et des Centres environnants dans le Centre-Ouest. Le projet est scindé en deux phases. La phase 1 est constituée du réseau principal et des amorces des réseaux secondaires. La phase 2, quant à elle, est constituée des réseaux secondaires et tertiaires.

Le projet sur lequel nous avons effectué ce stage consiste à la construction d'un réseau principal d'adduction en eau potable dans la région du Centre Ouest. Ce réseau ira du fleuve Bandama à Zambakro (Yamoussoukro) jusqu'à la ville de Gagnoa en passant par celle de Sinfra et diverses localités qui souffrent toutes d'un important déficit de production en eau. Après raccordement aux principaux réseaux de distribution situés le long du nouveau réseau d'adduction, le projet permettrait d'améliorer l'accès à l'eau potable d'environ 280 000 habitants (estimation actuelle) à plus de 350 000 habitants en 2025.

Le présent projet qui a fait l'objet de notre étude dont le thème est : « Renforcement de l'alimentation en eau potable des localités de Sinfra et Gagnoa à partir du fleuve Bandama » a été initiée dans cette perspective et pourrait constituer une solution palliative pour de meilleures conditions d'approvisionnement en eau potable de ces localités. L'étude porte sur la conception des infrastructures à réaliser en phase 1 et plus particulièrement l'adduction et les ouvrages associés. Le mémoire est structuré de la manière suivante :

- ✓ Présentation et la description de l'état actuel de la zone d'étude
- ✓ Evaluation des besoins de la ville de SINFRA et GAGNOA et ses centres environnants
- ✓ Modalités de la stratégie de déserte des localités
- ✓ Dimensionnement du réseau hydraulique et les équipements et/ou ouvrages annexes du système
- ✓ Analyse économique, environnementale et social du projet.

PREMIERE PARTIE - Contexte, Justification du projet et problématique

I- Contexte et justification du projet

I.2 Objectif principal et objectifs spécifiques du projet

L'objectif est de résorber le déficit de production d'eau potable par la création d'un réseau primaire structurant et pérenne avec le captage du fleuve Bandama à Zambakro. Ainsi, l'ONEP souhaite, à travers le projet d'alimentation en eau potable des villes de Sinfra et de Gagnoa et des centres environnants, (i) accroître la capacité de pompage d'eau et de traitement, (ii) améliorer la qualité du service et (iii) garantir la desserte en eau potable des zones loties ainsi que des quartiers périurbains et des localités du Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire pour atteindre 75% en 2020, 80% en 2025, 90% en 2030 et 95% en 2035 en zone RPE et engager à compter de 2020 le déploiement du système d'AEP dans la zone périphérique pour atteindre un taux de raccordement de 45% en 2025, 80% en 2030 et 90% en 2035. Pour atteindre ces objectifs notre étude vise à :

- ✓ Actualiser la connaissance sur la demande en eau des villes de Sinfra et Gagnoa ;
- ✓ Proposer un système d'adduction à mettre en place ;
- ✓ Faire une analyse économique du projet ;
- ✓ Identifier et proposer des mesures d'atténuation des impacts du projet sur composantes environnementales et sociales.

Dans cette optique, ce projet doit non seulement renforcer et améliorer l'alimentation en eau potable, mais aussi poser les bases d'un réseau flexible et qui sera, dans l'avenir interconnecté.

II- Présentation de la zone d'étude, de la structure d'accueil et méthodologie générale adoptée

I.1. Conditions d'accès actuelle à l'eau potable dans les villes de SINFRA et GAGNOA

Hormis les villes d'Abidjan et de Yamoussoukro, les systèmes d'alimentation en eau potable restent limités et organisés autour d'une ville principale qui est susceptible d'alimenter des localités satellites. Les ressources mobilisées sur les systèmes Alimentation en eau Potable (AEP) actuels (systèmes étudiés) sont essentiellement des ressources de proximité (superficielles et/ou souterraines).

Le ralentissement des investissements (notamment durant la période de crise) et le manque d'entretien des infrastructures hydrauliques existantes ont impacté la qualité du service de fourniture d'eau potable en Côte d'Ivoire. Des mesures d'urgences ont été menées afin de remédier aux situations les plus critiques mais elles ne permettent pas de répondre

durablement à la demande en eau potable en constante augmentation.

La situation AEP reste très variable d'une localité à l'autre : le ratio de production peut varier de 5 à 60 l/j/habitant sur le territoire national. Cependant, la production en eau potable reste déficitaire sur une majorité de localités et ces déficits sont appelés à s'accroître au regard de l'accroissement de la population. Ces déficits sont tels que, sur certaines localités, l'exploitant ne peut alimenter en continu tous les quartiers et à recours de plus en plus fréquemment à des opérations de délestage.

Les villes de Sinfra et Gagnoa et les centres environnants ne sont pas en marge des difficultés (déficit de production) rencontrées en matière d'approvisionnement en eau potable dues à deux phénomènes majeurs à savoir : l'instabilité de la ressource en eau et de l'urbanisation avec son corolaire d'essor démographique. Plusieurs localités sur l'axe Yamoussoukro / Gagnoa en passant par Sinfra présentent de forts déficits de production supérieure parfois à 50%.

Pour pallier ces forts déficits, des projets ont été identifiés pour la sécurisation de la production en eau potable à partir de ressources en eau pérenne. Des Avant-Projet Sommaire (APS) ont été réalisés pour tous les projets identifiés et ont permis de retenir celui de l'alimentation en eau potable des localités de Sinfra et Gagnoa et centres environnants dont la réalisation permettra de satisfaire la desserte en eau potable de cette partie du Centre- Ouest. Vu les déficits importants dus à la recharge lente des nappes souterraines exploitées, la solution envisagée et retenue par l'ONEP est basée sur le pompage de l'eau de surface, après des pré-études réalisées.

L'eau de surface mobilisable tant en termes de quantité que de qualité identifiée est celle du fleuve Bandama. Le point de prise d'eau le plus proche se situe à 58 km au nord de Sinfra d'après les APS réalisés. Ainsi, nous ne sommes pas sans savoir que lors de la réalisation du projet nous ferons face à des contraintes techniques, socio-économiques et environnementales. A ce titre on peut citer comme contraintes : le relief du terrain, la géologie, la pédologie des sols, la destruction de biens immobiliers, les perturbations des activités économiques proches de la zone de tracé de la conduite, les risques d'envasement d'eau de surface et des zones marécageuses, les risques de pollution des sols et des eaux de surface, les risques d'altération et d'érosion du sol etc....

Il est donc légitime de se poser la question à savoir : comment peut-on mettre en place un système d'adduction d'eau techniquement, économiquement et environnementalement viable afin de satisfaire aux besoins en eau des populations des villes de SINFRA et GAGNOA ?

II.1 Description de l'état initial de la zone d'étude

II.1.1 Localisation géographique périmètre de la zone d'étude

La zone d'étude du projet est localisée au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire.

Elle regroupe deux parties :

- ❖ Les départements de Sinfra et Gagnoa concernés pour la phase 1 du projet dite « **zone RPE** ». De façon détaillée, les sous-préfectures bénéficiaires sont celles de : Bazré, Kononfla, Sinfra (département de Sinfra), Bayota, Ouragahio, Gagnoa, Guibéroua (département de Gagnoa).
- ❖ Les départements Oumé et Lakota pour la phase 2 du projet dite « **zone périphérique** ».
- ❖ De même les sous-préfectures bénéficiaires sont celles de : Tonla (département d'Oumé) et Zikisso (département de Lakota).

La figure 1 présente la zone d'étude du projet.

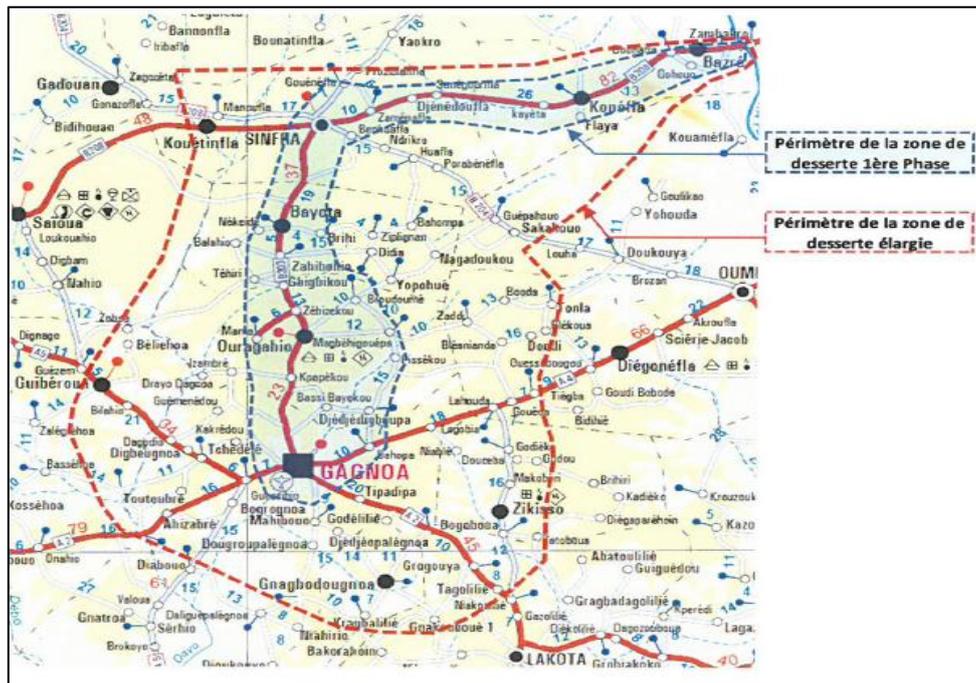


Figure 1: Carte administrative des villes de Sinfra et Gagnoa.

II.1.2. Milieu biophysique

II.1.2.1 Climat

Le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire est situé en zone tropicale humide. Le climat est de type attiéen qui se caractérise par une pluviométrie moyenne annuelle de 1 511 mm et quatre saisons dont deux saisons de pluie et deux saisons sèches qui se réparties comme suit :

La grande saison des pluies s'étend du mois d'avril au mois de juillet avec une pointe en mai

– juin. La petite saison des pluies va de la mi-septembre au mois d'octobre. La grande saison sèche s'étend de novembre à mars alors que la petite saison va du mois d'août à la mi-septembre.

II.1.2.2 Géologie, pédologie et relief

Géologie

Le contexte géologique de la zone du projet est constitué principalement du Précambrien moyen, du Birimien et de l'Anté-birimien.

Pédologie

Les sols sont du type ferralitique moyennement dénaturés, formés sous l'action du climat tropical chaud et humide. Ces sols ont subi une altération poussée sur une épaisseur importante, avec une concentration importante des argiles, oxydes de fer et d'aluminium, silice et bases solubilisées

La caractérisation des sols s'est faite à travers les prélèvements de J.M. Rieffel (ORSTOM, 1971).

Relief

Le relief est constitué par une pénéplaine et de bas plateaux ayant une altitude moyenne de 200 m. De manière générale, la pénéplaine constituée par un socle descend en pente douce vers le sud. Le modelé ondulé et monotone est le résultat d'une reprise d'érosion d'anciennes surfaces plus ou moins planes et indurées qui ont laissé des reliques, telles que les collines et les buttes témoins.

II.1.2.3 Hydrogéologie, hydrographie.

Hydrogéologie

Les terrains qui constituent le substratum géologique de la zone du projet ont un certain nombre de caractéristiques fondamentales communes sur le plan des ressources en eau souterraine. L'existence d'aquifère au niveau de cette zone est conditionnée par la présence de fractures et de niveaux altérés. En effet, la fracture est le berceau de l'altération. L'épaisseur d'altération augmente avec le taux de fracturation et constitue un niveau de réserves potentielles pour la recharge des aquifères inférieurs. Les eaux souterraines se trouvent dans les aquifères du socle qui sont de trois types que sont :

- ✓ les aquifères des altérites,
- ✓ les aquifères des séries volcano-sédimentaires,
- ✓ les aquifères fissurés ou fracturés.

Le modèle conceptuel simple d'aquifère de socle en général et en particulier dans la zone du projet, est constitué d'un recouvrement semi-perméable capacitif alimenté directement par les

précipitations et surmontant l'aquifère de fractures captif, drainant la couverture à fonction essentiellement conductrice.

Hydrographie

Le réseau hydrographique de la zone du projet est alimenté par deux importants fleuves qui sont le Sassandra à l'ouest et le Bandama à l'est. Les principaux sous-bassins versants drainant la zone du projet sont constitués par la Marahoué et le Davo (Lévêque, Dejoux, & Iltis, 1983). En plus de ces cours d'eau qui sont les plus importants, d'autres cours d'eaux existent dans leurs bassins versant. Ces cours d'eaux peuvent être temporaires ou permanents et leur régime est étroitement lié au régime des pluies. Les fortes crues surviennent en général en septembre ou octobre alors que les étiages s'observent en février ou mars.

Le fleuve Bandama sur lequel sera effectuée la prise d'eau prend sa source dans la région de Boundiali. Son cours s'étend sur une longueur de 1050 km et son bassin versant sur 97 000 km². Il se rejette dans le Golfe de Guinée à l'ouest d'Abidjan comme l'indique la figure 2.

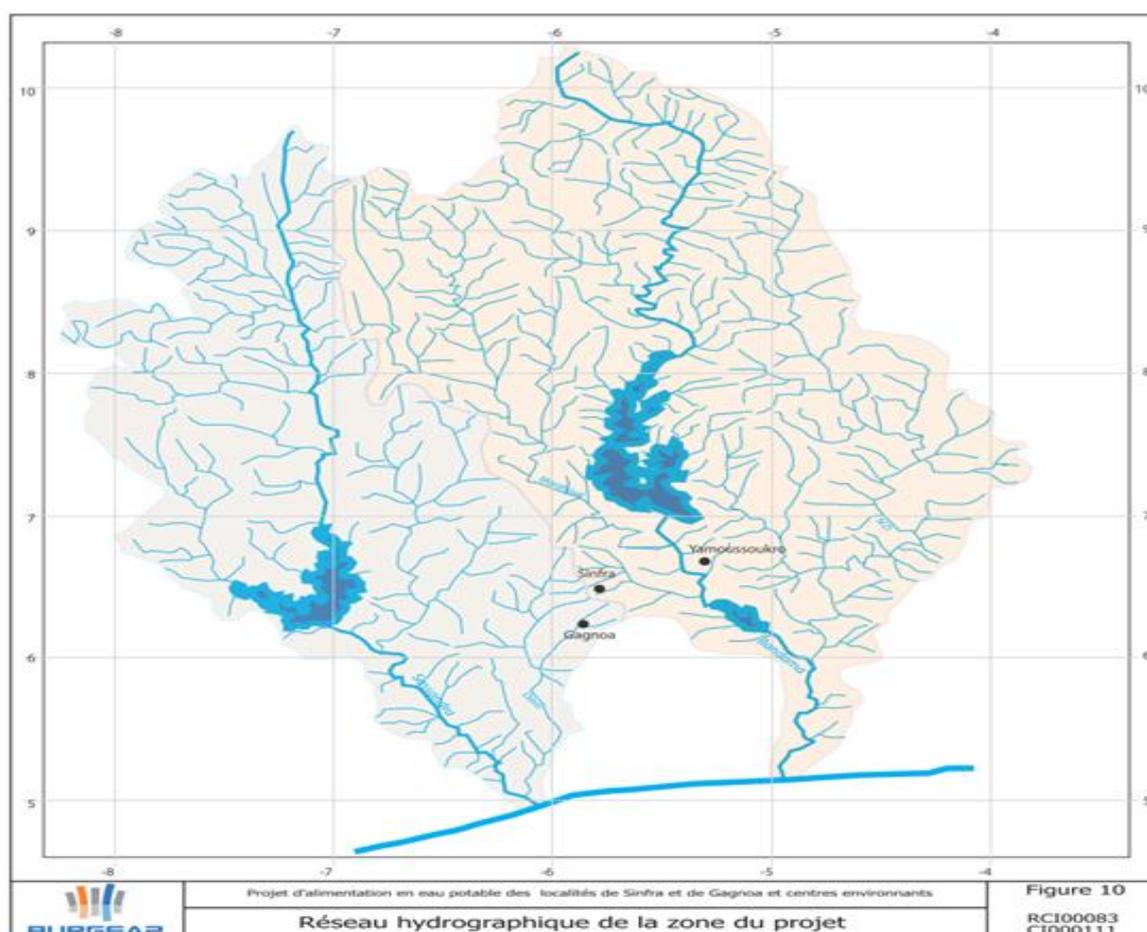


Figure 2: Carte hydrographique de la zone du projet

II.1.3 Milieu socio-économique et démographique.

Département de Sinfra

Selon le rapport FASEP Egis 2013, la population du département de Sinfra était estimée en 2013 à 74 570 habitants. Avec un taux de croissance de 2,3%, cette population est estimée en 2014 à environ 78 040 habitants. A cause de l'existence de la forêt propice à l'activité agricole, le Département a connu une forte immigration. La population autochtone est constituée de Gouro.

A l'instar de la Côte – d'Ivoire, l'économie du Département est essentiellement agricole qui constitue la principale source de revenu des populations. Ce secteur est dominé par les activités de production des cultures industrielles d'exportation telles que le cacao et le café et, dans de moindres proportions le palmier à huile, l'hévéa et l'anacarde.

Département de GAGNOA

La population du Département de Gagnoa est d'environ 602097 habitants (RGPH 2014). Les populations autochtones (bété) du Département appartiennent au sous - groupe ethnique des Krou. Elles sont organisées socialement et politiquement en villages, et en groupes de familles, quelquefois en quartiers.

Le Département de Gagnoa est subdivisé en trois (3) Sous-préfectures situées sur l'axe du tracé de pose de la conduite principale. Ce sont : Bayota ; Ouragahio, et enfin Gagnoa.

Chef-lieu de département, Gagnoa, concentre l'essentiel de l'activité économique. La région est essentiellement agricole ; le cacao et le café demeurent les cultures dominantes dans cette région.

Dans le cadre du projet, l'ONEP apporte tout son appui technique et institutionnel aux sociétés SADE et RAZEL-BEC mandataire de la supervision du projet de conception-réalisation du système de production et d'adduction. En effet j'ai participé à l'étude préalable aux travaux du projet au sein de la Direction des Etudes de la SADE à travers la méthodologie suivantes.

II .2. Méthodologie générale adoptée

Pour mener à bien cette étude, les différentes étapes que nous avons pu suivre sont les suivantes :

- Recherche documentaire, collecte et l'analyse des données : cela à consister à prendre connaissance de la réel problématique de l'approvisionnement en eau potable de la zone du projet en vue d'établir les hypothèses d'évaluation du déficit et de la demande en eau des populations aux différents horizons ;
- La Proposition de la stratégie de desserte : cette étape a consisté à définir le système de

dessertes le mieux adapté techniquement et économiquement en se basant sur les critères essentiels tels que ; le choix des diamètres économiques, l'optimisation des pentes minimales de pose de la canalisation, la stabilité des conduites (verrouillage et/ou butée), le mode de régulation des pompes (configuration des pompes), la maintenance des équipements, les futurs extensions, les exigences d'exploitation etc ;

- L'analyse du fonctionnement hydraulique du système proposé dans le but de confirmer l'exploitation technico-économique du système proposé à l'aide des logiciels EPANET et CEBELMAIL ;
- L'analyse économique du système d'adduction principale notamment par rapport au choix des diamètres.
- Analyse et proposition des mesures d'atténuations des impacts environnementales du projet : cette étape a consisté à faire ressortir la problématique environnementale du projet et d'en proposer des mesures d'atténuation.

III-Characterisation du système d'adduction d'eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA

III.1 Département SINFRA

La ville de Sinfra est équipée d'un système urbain de production et de distribution d'eau potable depuis 1976. Le système de production repose sur les eaux souterraines à travers des forages. Trois (3) forages sont exploités actuellement par la SODECI pour desservir les populations. Deux des forages (F7 et F8) sont des anciens forages qui ont connus des baisses de production considérables aux cours du temps (F7 : 14 m³/h en 2002 et 7 m³/h en 2014 ; F8 : 14 m³/h en 2004 à 6 m³/h en 2014). Les eaux produites par ces forages sont traitées par une unité de désinfection hors de la ville. Au vu de l'insuffisance de la production, un nouveau forage ayant un débit de production de 26 m³/h a été réalisé à l'entrée de la ville sur l'axe routier Zambakro-Sinfra. L'eau de ce forage est traitée par une unité de désinfection réalisée dans l'enceinte du centre de la SODECI de Sinfra. Un réservoir d'eau d'une capacité de 100 m³ existe pour le stockage de l'eau traitée avec un réseau linéaire de sur l'axe routier Zambakro-Sinfra distribution de 44,2 km (de type distributif).

Le déficit de production actuel est estimé à 81% sur la base des hypothèses retenues. La situation d'AEP de Sinfra est qualifiée de mauvaise (en termes de production et de desserte, le taux est estimé à 15%). La capacité de stockage actuelle couvre moins de 2% du besoin de production actuel.

Sur l'axe routier Zambakro-Sinfra il existe deux unités de production exploitées par la SODECI (une unité de production à Bazré et une unité de production à Kononfla) sur l'axe routier. Sur cet axe, il est dénombré plus d'une quinzaine de localités (sous-préfecture, villages et campements). Ces unités de production desservent principalement les populations

des zones de production que sont Bazré et Kononfla à partir de forages (Sinfra, 2014).

Les caractéristiques de chaque unité de production sont indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1:Caractéristiques des unités de production d'eau potable de Bounafla et Kononfla

Unité de production (de)	Nombre de forage	Débit de pompage (m ³ /heure)	Capacité de production journalière (m ³)	Capacité des réservoirs (châteaux d'eau) en m ³
Kononfla	1	04	96	100
Bazré	1	12	108	100

Cette production s'avère insuffisante pour ces deux (02) chefs-lieux de Sous-préfecture. La desserte des populations peut se faire en moyenne une à deux fois par semaine. Dans cette zone, certains villages situés sur l'axe du projet sont alimentés en eau potable par des pompes à motricité humaine dont la majorité est défectueuse (non fonctionnelle) à cause des difficultés de maintenance. Dans ces villages, certaines personnes ont recours à des puits et même des marigots pour la satisfaction de leur besoin en eau.

III.2 Département GAGNOA

Il existe des unités de production d'eau potable dans les trois villes du Département situées sur l'axe du projet Sinfra-Gagnoa. Ces villes sont : Bayota, Ouragahio et Gagnoa. La distribution de l'eau potable dans la ville de Gagnoa est assurée par la SODECI. Gagnoa dispose d'un château d'eau. Le besoin en eau potable de la ville est estimé à ce jour à 9 866 m³/j.

La production est de 3 861 m³/j avec une capacité de 3000 m³/j installée. La quasi-totalité de la production d'eau de la ville se fait à partir de l'eau de surface traitée d'environ 3 700 m³/j. La longueur totale du réseau avoisine les 130 km (Gagnoa, 2014).

Le nombre d'abonnés actuels est de 9 652 personnes au 31/12/2014 (pour 11 534 branchements) au niveau du centre de Gagnoa, selon les données fournies par la Direction Territoriale de l'Hydraulique Humaine (DTHH) et la Direction Régionale de la SODECI de Gagnoa.

Il y a un déficit de production tant pour les localités équipées de systèmes d'Hydraulique Humaine (HU), d'Hydraulique Villageoise Améliorée (HVA), que pour les systèmes d'Hydraulique Villageoise (HV). Il existe un véritable besoin d'extension du réseau et une restauration des centres de production existants afin de satisfaire à la forte demande des populations.

Les déficits entraînent aujourd'hui des baisses de pressions allant jusqu'au manque d'eau total dans tous les quartiers, malgré la sollicitation en continue (24h/24, 7j/7) des ouvrages de production et de distribution existants.

En plus de ces déficits importants, il est constaté des taux élevés en fer, manganèse, phosphore, nitrites et matières organiques qui témoignent d'une qualité d'eau non

satisfaisante (Rapport FASEP Egis 2013).

Quant à la sous-préfecture de Bayota elle est dotée d'un château d'eau depuis 2007 et dispose d'un forage. Les 21 villages de la Sous-préfecture se sont longtemps approvisionnés pour la plupart par des puits et des pompes à motricité humaine.

La situation actuelle de la desserte en eau potable des localités situées sur l'axe principale de la conduite d'eau et prises en compte par le projet (Gagnoa, Ouragahio, Kpapekou, Bayota) est présentée dans le tableau 2.

Tableau 2: Capacité de production des centres au 22/04/2015

N°	Centres	Populations bénéficiaires actualisées (2015)	Capacité installée	Production en m ³
1	Gagnoa	164 431	3 000	3 861
2	Ouragahio	63 928	1 100	1 012
3	Kpapekou	3 692	230	148
4	Bayota	25 661	276	331

Source : Direction Territoriale de l'Hydraulique de Gagnoa, 2015

IV-Rappel des besoins en eau actuels et futurs

Une définition des besoins en eau potable a été proposée dans le rapport de définition des ressources et des besoins » transmis par le cabinet Egis Eau en Décembre 2015. Il établit une estimation des besoins pour les localités desservies par le nouveau système de production-adduction et précise également les besoins de transfert d'eau du Bandama en complément des ressources existantes. Les paragraphes suivants rappellent les hypothèses et résultats principaux.

IV.1 Hypothèses d'évaluation des besoins

IV.1.1 Population de la zone d'étude : zone RPE et zone périphérique

La projection globale et par localité des populations aux horizons 2025, 2030, 2035 dans les différentes zones de l'étude est donnée dans les tableaux suivants :

Tableau 3 : Projection de la population jusqu'en 2035

	2014	2020	2025	2030	2035
Zone RPE					
- Population	356 691	410 891	458 122	505 804	552 995
- Taux		2.4%	2.2%	2.0%	1.8%
Zone Périphérique					
- Population	251 084	286 104	315 882	345 354	373 880
- Taux		2.2%	2.0%	1.8%	1.6%
Ensemble					
- Population	607 475	696 996	774 005	851 158	926 875
- Taux		2.32%	2.12%	1.92%	1.72%

IV.1.2 Hypothèses

La consommation moyenne spécifique dans les localités de GAGNOA et de SINFRA est essentiellement domestique. Ainsi la consommation spécifique est déterminée par la méthode globale forfaitaire qui consiste à retenir un besoin global forfaitaire que l'on applique à toute la population.

✓ Consommations domestiques

D'après la Direction territoriale de l'hydraulique Humaine (DTHH) on relève ainsi que le niveau moyen des consommations domestiques de la population desservie s'établit à :

- Abidjan : 52 l/jour/hab.
- Intérieur du pays : 34 l/jour/hab.

Quant aux centres de distribution de la zone d'étude, ces niveaux sont les suivants :

- Gagnoa : 31 l/jour/hab.
- Sinfra : 32 l/jour/hab.
- Ouragahio : 21 l/jour/hab.
- Kononfla : 17 l/jour/hab.
- Bazré : 18 l/jour/hab.

On relève que les niveaux de consommation spécifique observés pour la population desservie semblent assez bien corrélés avec la taille des centres. Ils sont nettement plus élevés pour les grands centres, Gagnoa (163 000 hab.) et Sinfra (81 000hab.), que pour les autres centres dont la population est comprise entre 12 000 et 25 000 hab.

Quoiqu'il en soit, ces niveaux de consommation restent faibles et traduisent la situation de pénurie et de déficit par rapport à la demande.

C'est pourquoi, ils ne peuvent servir de référence pour l'établissement de prévisions de besoins dans le cadre du projet ; l'objectif du projet étant de résorber rapidement la situation de pénurie et d'élargir la desserte.

Dans ces conditions, il est logique de s'attendre à une augmentation des niveaux de consommations domestiques dans des limites qui dépendent entre autres de la politique d'accès au service (tarif, subvention des branchements), du standing des logements (type d'habitat, équipement en installations sanitaires), niveau de vie des populations (capacité/volonté de paiement), etc.

Ces considérations ont conduit à retenir des demandes spécifiques domestiques, basées sur l'incrémentation du nombre de personnes en fonction de la taille et des réalités socio-économiques des localités. Quant à la demande non domestique elle est évaluée en pourcentage de la demande domestique en fonction de la taille la localité.

Ainsi les ratios de consommation moyens en fonction de taille de la localité sont les suivants :

✓ Demande domestique : fonction de la taille de la localité

- Supérieure à 100 000 hab. 45 l/J/hab.

- Entre 50 000 et 100 000 hab. 40 l/J/hab.
- Entre 10 000 et 50 000 hab. 30 l/J/hab.
- Inférieure à 10 000 hab. 20 l/J/hab.

Les pertes ont été prises égales à 15% par rapport au besoin moyen de production ; c'est en réalité les pertes générées sur l'ensemble du réseau à partir de l'adduction.

En ce qui concerne la demande non domestique l'approche a consisté à calculer celle-ci comme un pourcentage de la demande domestique en se basant sur les données commerciales des centres concernés et en s'appuyant également sur les études menées en 2013 dans le cadre du FASEP.

✓ **Demande non domestique : évaluée en pourcentage de la demande domestique en fonction de la taille de la localité**

- Supérieure à 50 000 hab. 25%
- Entre 20 000 et 50 000 hab. 20%
- Entre 5 000 et 20 000 hab. 15%
- Inférieure à 5 000 hab. 10%

IV.1.3 Résultats

En sus des paramètres énumérés ci-dessus les demandes en eau par localité pour la 1^{ère} et 2^{ème} phase s'établissent aux horizons 2025, 2030, 2035 comme dans le tableau suivant :

	Demande journalière	Production existante (m³/jr)	Demande projet	Capacité de production Projeté m³/jr
2025	23 610	5 000	24 675	20 000
2030	35 298	5 000	34 415	30 000
2035	42 190	5 000	401 59	37 000

V- Description du système projeté

Le système projeté est constitué de l'amont hydraulique vers l'aval hydraulique par :

- **Les ouvrages de prise et de pompage d'eau brute** en rive droite du fleuve Bandama
- **Une station de traitement** au niveau de la localité de Zambakro avec une capacité de production de 1000 m³/h d'eau traitée (soit 20 000 m³/jour – fonctionnement 20h par jour) pour l'horizon 2025 (Phases1&2) et comprenant un réservoir d'eau traitée
- **Une station de pompage à la station de traitement** pour refoulement vers l'adduction principale Zambakro - Sinfra, de l'eau stockée dans le réservoir d'eau traitée de la station de traitement
- **Une ligne d'adduction principale Zambakro - Sinfra** en fonte ductile entre la station de pompage de la station de traitement et un nouveau réservoir à construire à Sinfra

- **Une station de pompage à Sinfra** pour refoulement vers l'adduction principale Sinfra - Gagnoa de l'eau stockée dans le nouveau réservoir à construire à Sinfra.
- **Une ligne d'adduction principale Sinfra – Gagnoa** en fonte ductile entre le nouveau réservoir à construire à Sinfra et un nouveau réservoir à construire à Gagnoa. Cette ligne est composée de 2 tronçons : un tronçon entre Sinfra et Ouragahio et un tronçon entre Ouragahio et Gagnoa. A noter que les réservoirs de Sinfra et Gagnoa ne font pas partie du présent projet mais seront réalisés dans le cadre d'un autre financement.
- **Des lignes d'adduction secondaires** en fonte ductile pour l'alimentation de châteaux d'eau de distribution.

VI- Stratégies de dessertes

Compte tenu du nombre important de localités le long de l'axe principal d'adduction ou dans son voisinage proche, la question s'est posée de savoir quel est le mode d'alimentation le plus adapté pour assurer la distribution dans ces localités.

Plusieurs options d'aménagement ont été envisagées. Chacune constitue une déclinaison de deux (2) stratégies de dessertes distinctes :

-La première consisterait à raccorder directement les localités traversées sur la conduite d'adduction principale ou sur des dérivations constituées d'adduction secondaires ramifiées ou maillées selon le principe figuré sur le schéma ci-dessous

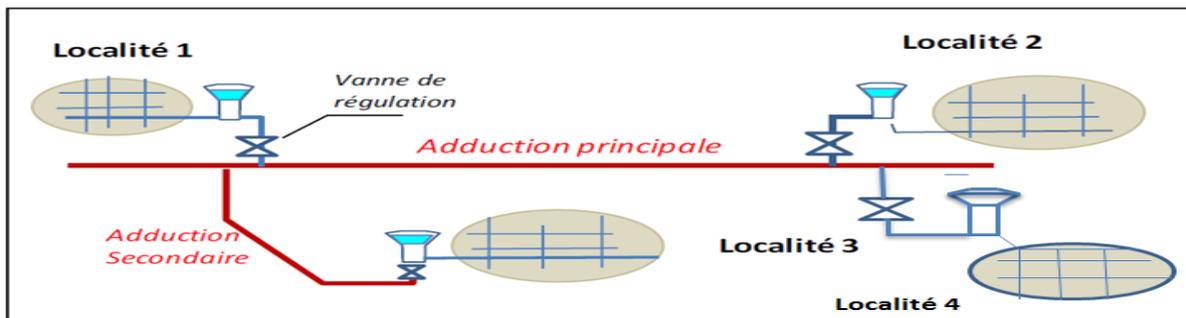


Figure 3: Option de desserte 1

Dans cette option chaque localité est connectée via un piquage contrôlé par une vanne de régulation ou un dispositif d'asservissement, alimentant un réservoir de distribution.

-La deuxième vise à limiter le nombre de piquages sur l'adduction principale en regroupant plusieurs localités au sein d'un même sous-système connecté via un réservoir à l'adduction principale ; ce principe est illustré sur la figure qui suit.

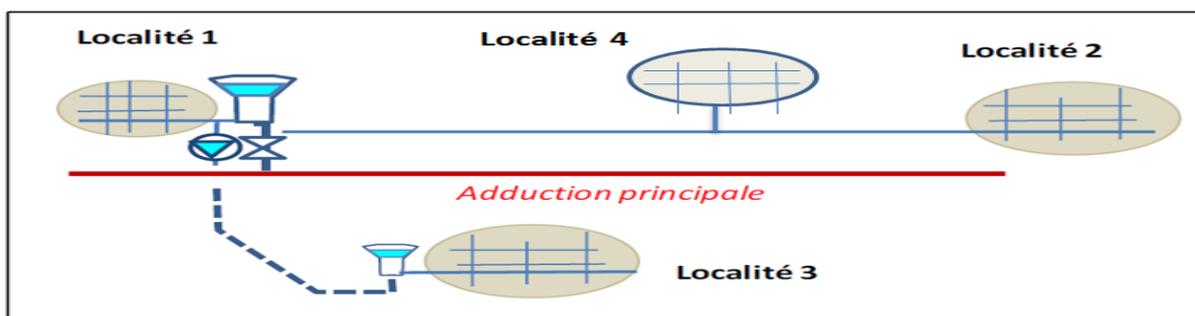


Figure 4: Option de desserte 2

Dans le cas considéré, un sous-système assurant la desserte des 4 localités serait ainsi créé avec : un réservoir de distribution alimenté depuis l'adduction principale sur lequel serait raccordé le réseau de distribution de la localité 1, la localité 2 et la localité 4. La localité 3 située à une altitude plus élevée, serait alimentée par son propre réservoir lui-même alimenté par pompage depuis le réservoir principal.

VI.1. Avantages et inconvénients

VI.1.1 Option 1

+ Avantages

- Limitation du linéaire de distribution et d'interconnexions à créer : cette option, en favorisant le raccordement direct de chaque localité sur l'adduction principale ou secondaire permet de limiter le linéaire du réseau de distribution et du même coup les interconnexions entre localités.
- Indépendance d'exploitation : compte tenu du fait que chaque localité est raccordée via une conduite secondaire alimentant son propre réservoir cela permet une indépendance d'exploitation pour chacune des localités.

+ Inconvénients

- Système de contrôle-commande complexe : elle impose la mise en place d'un système de contrôle-commande complexe intégrant la multiplicité des ouvrages alimentés depuis le système de pompage-adduction principal. Cette complexité est d'autant plus grande que les conditions de fonctionnement de ces ouvrages vont évoluer fortement au fil du temps, ce qui peut poser des problèmes fréquents d'ajustement et de calage des paramètres.
- Durée et cout d'exécution : elle impose non seulement un temps de mise en œuvre relativement plus long, vu la multiplicité des ouvrages de stockages. Mais aussi au plan de l'investissement, elle est sensiblement moins économique car elle ne permet pas l'optimisation des matériaux pour la mise en œuvre des réservoirs et le nombre d'équipements annexes à mettre en place.

- Maintenance difficile : lors d'un incident d'exploitation (panne, casse, etc.), cela peut interférer fortement sur le fonctionnement du système et provoquer une défaillance globale prolongée compte tenu de la multiplicité des ouvrages, des linéaires et du temps nécessaire pour identifier l'origine du problème et mobiliser les équipes d'intervention.
- Vulnérabilité de la conduite à l'étanchéité : plus une conduite possède de points de raccordement, plus son étanchéité diminue. En effet chaque localité étant raccordée par une conduite secondaire dans cette option cela pourrait augmenter les risques de fuite au niveau de la conduite principale d'adduction.

VI.1.2 Option 2

+ Avantages

- Système de contrôle-commande maintenance plus simple : vu la limitation du nombre de piquage sur l'adduction principale en regroupant plusieurs localités au sein d'un même sous-système cela simplifie l'élaboration des commandes de contrôle et d'asservissement du système.
- Il en est de même pour la maintenance qui devient relativement plus simple.
- Durée et cout de la mise en œuvre : la nombre d'ouvrage et d'équipements annexes étant réduit par le regroupement des différentes localités au seins d'un même sous-système du même coup la durée d'exécution des ouvrages mais aussi permet d'optimiser la quantité de matériaux et le nombre d'équipement à mettre en place.

+ Inconvénients

- Augmentation du linéaire de distribution et des interconnexions : la hiérarchisation de l'organisation du système de production-adduction en limitant le nombre de points de raccordement sur le réseau primaire d'adduction, va engendrer des linéaires de conduite de distribution plus importants pour des localités qui sont éloignées de leurs sous-systèmes respectifs.
- Configuration du système et dépendance d'exploitation : cette option jugée beaucoup plus robuste que la 1ere vu sa hiérarchisation, ne permet pas une indépendance d'exploitation des sous-systèmes issus du système principal. En effet lors d'une panne ou d'une casse au niveau du système principal tous les systèmes qui en découlent restent paralysés.

VI.2 Stratégie retenue.

Pour ces raisons de fiabilité technico-économiques du système à mettre en œuvre, il est proposé de retenir l'Option 2 au détriment de l'option 1. Ainsi le choix s'est porté sur la deuxième option ou chaque raccordement alimente un réservoir de distribution, celui-ci étant le point de départ d'un sous-système d'adduction secondaire ou de distribution.

VI.3. Identification et définition des sous-systèmes

On a procédé à une identification des sous-systèmes qu'il est proposé de connecter à l'adduction principale, en examinant la position des réservoirs à alimenter à partir de celle-ci. A ce stade de l'étude, ce travail a été mené à partir de la cartographie et de la topographie disponibles, c'est-à-dire principalement les images satellites Google Earth. Les levés topographiques nous ont permis de préciser la localisation et les cotes d'implantation. La figure suivante nous indique le schéma synoptique de l'aménagement du projet.

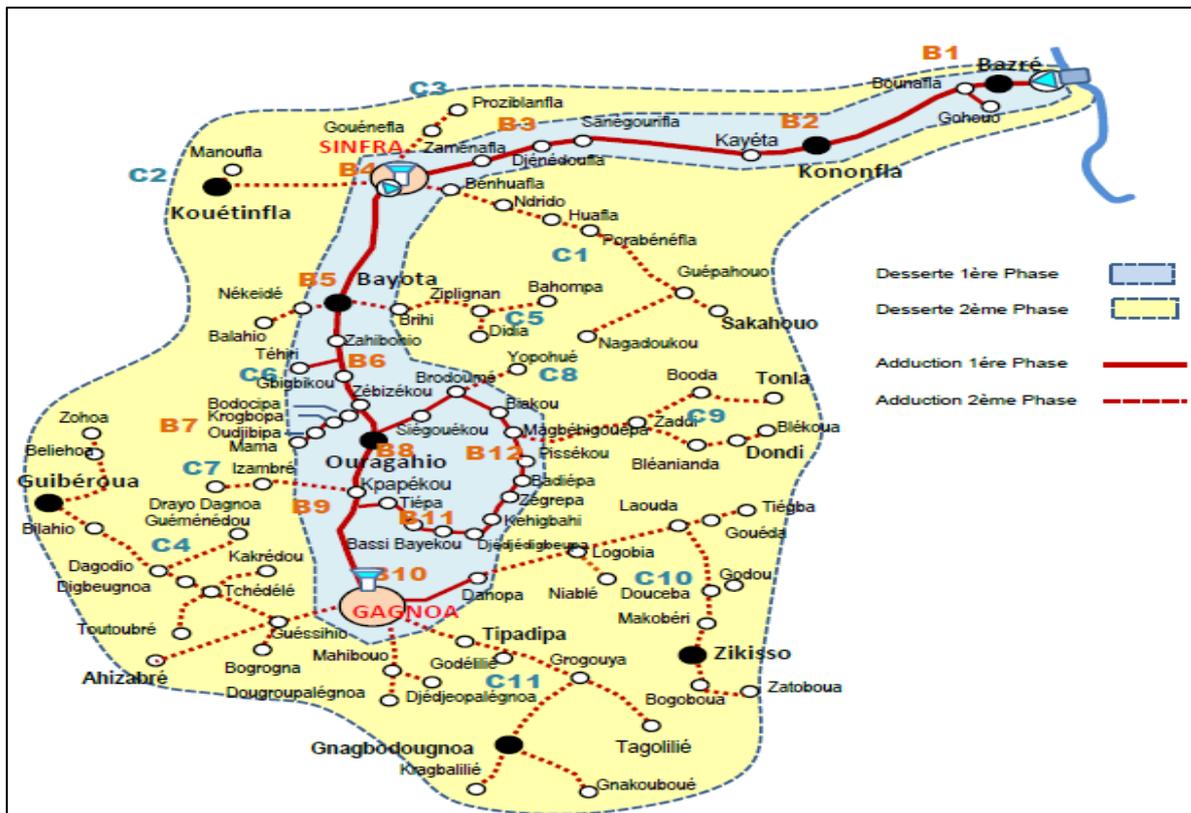


Figure 5: Schéma synoptique de l'aménagement du projet

Chacun des onze (11) sous-systèmes est contrôlé par un réservoir de tête. Ces réservoirs sont les suivants :

- **Réservoirs principaux** : Il s'agit des nouveaux réservoirs à l'arrivée des lignes d'adduction, réservoirs qui jouent un rôle principal de régulation du système de production-adduction : on y retrouve : **réservoirs de Sinfra et de Gagnoa.**
- **Réservoirs secondaires** : Ces réservoirs sont alimentés par piquage sur la conduite d'adduction principale. Leur alimentation sera contrôlé par un dispositif type « vanne de régulation » et éventuellement par des asservissements gérés par le système de contrôles – commandes. On y retrouve : sur l'axe (Zambakro – Sinfra) les réservoirs de Bazré, de Kononfla et de Zaménafla et sur l'axe (Sinfra – Gagnoa) les réservoirs de Bayota, de Zahibohio, d'Ouragahio et de Krapékou.

DEUXIEME PARTIE - Dimensionnement du projet

I- Plan synoptique des ouvrages et/ou équipements du projet

Les ouvrages et équipements du projet dont le dimensionnement est présenté ci-après sont les stations de pompage et les canalisations d'adduction principale et secondaire. La partie prise d'eau et station de traitement on fait l'objet d'une autre étude complémentaire.

La figure ci-dessous nous indique les ouvrages et équipements du projet.

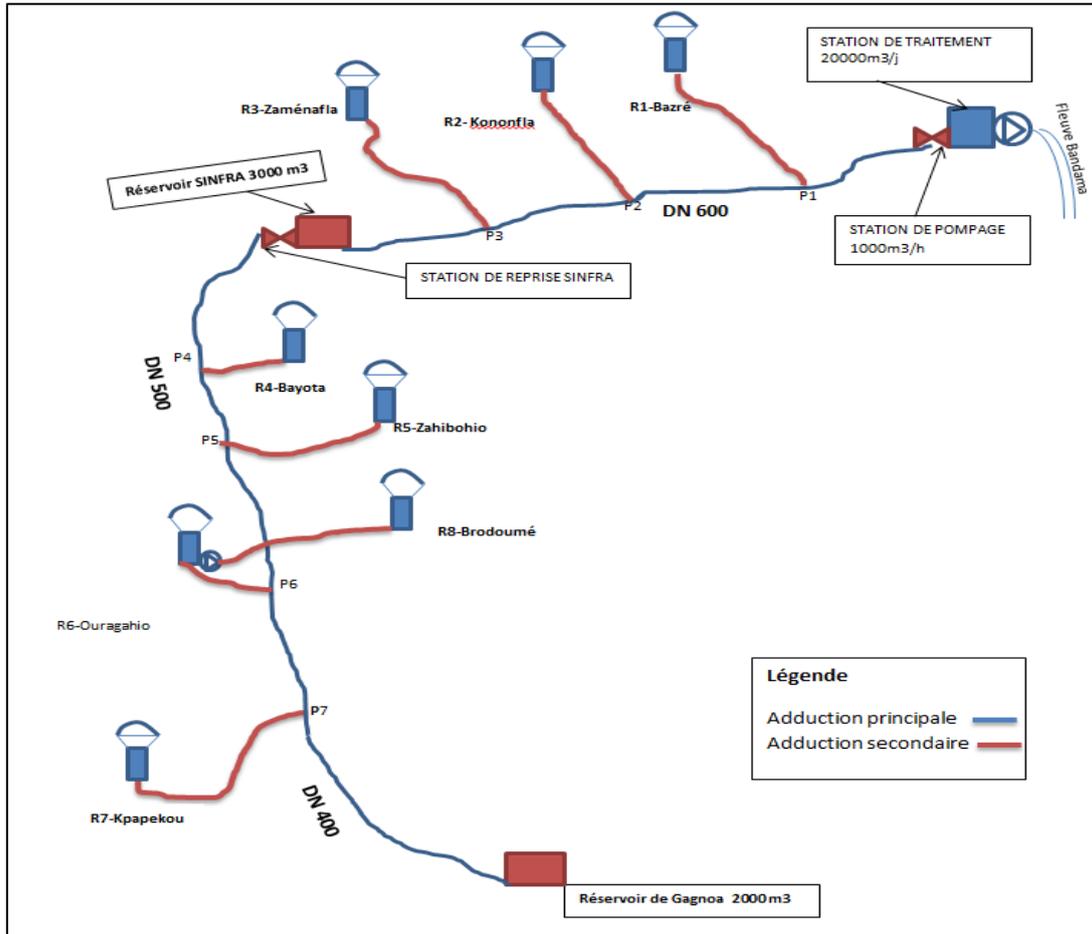


Figure 6: Plan synoptique des ouvrages et équipements du projet

II- Conduites de refoulement d'eau traitée

II.1. Ligne d'adduction principale

II.1.1 Descriptif du refoulement – Débit de projet

✚ Ligne ZAMBAKRO-SINFRA

Les débits de projet d'eau traitée retenus à ce stade du projet sont :

Débits de projet d'eau traitée	Besoins totaux (m ³ /j)	Production existante (m ³ /j)	Besoins du projet (m ³ /j)	Débits de projet (m ³ /h)
Horizon 2025	24 678	5 000	19 678	1 000
Horizon 2030	34 415	5 000	29 415	1 500
Horizon 2035	40 158	5 000	35 158	1 790

Tableau 4: Débits de projet d'eau traitée à la station de refoulement de Zambakro

Pour le dimensionnement des ouvrages les débits maximums de fonctionnement considérés seront les débits à terme de chaque horizon, soit : 1000 m³/h, 1500 m³/h, 1790 m³/h.

Caractéristiques géométriques :

- Cote TN Réservoir Eau traitée à Zambakro 191.96 m
- Cote TP Réservoir Eau traitée à Zambakro 196.96 m
- Cote d'arrivée TN dans le réservoir d'arrivée de Gagnoa 275.73m
- Cote d'arrivée TP dans le réservoir d'arrivée de Gagnoa 281.73m
- Cote d'arrivée TN dans le réservoir d'arrivée de Sinfra 319.06m
- Cote d'arrivée TP dans le réservoir d'arrivée de Sinfra 325.06 m

Caractéristiques des canalisations :

- 58815 ml en fonte PN 25 DN 600 mm-1000m³/h
- Débit horaire distribué en route : 96.15 m³/h
- Hauteur géométrique : 137.1m
- Pertes de charge totales : 77.07 mCE
- **Tronçon1-P0 (Zambakro) - P1 (Bazre/Bounafla)**
 - 9480.042ml en fonte PN25 DN 600mm –1000m³/h- 13.98 mCE - comprenant par hypothèse 2 vannes d'isolement, des coudes pour franchissement points singuliers
- **Tronçon2- P1 (Bazre/Bounafla)-P2 (Konanfla)**
 - 13505ml en fonte PN25 DN 600mm - 971m³/h- 18.82 mCE comprenant par hypothèse 2 vannes d'isolement, des coudes pour franchissement de points singuliers
- **Tronçon 3-P2 (Konanfla) –P3 (Zemanafla)**
 - 24882.42 ml en fonte PN25 DN 600mm- 916m³/h- - 30.98mCE- comprenant par hypothèse 2 vannes d'isolement, des coudes pour franchissement de points singuliers
- **Tronçon4 –P3 (Zemanafla)-SINFRA**
 - 10947 ml en fonte PN25 DN 600mm -903.85m³/h-13.27mcE-comprenant par hypothèse 2 vannes d'isolement, des coudes pour franchissement de points singuliers.

🚦 Ligne SINFRA- GAGNOA

Les débits de projet d'eau traitée retenus à ce stade du projet sont :

<i>Débits de projet</i>	<i>Besoins totaux (m3/j)</i>	<i>Production existante (m3/j)</i>	<i>Besoins du projet (m3/j)</i>	<i>Débits de projet (m3/h)</i>
Horizon 2025	16 062	5 000	11 062	560
Horizon 2030	22 726	5 000	17 726	900
Horizon 2035	26 565	5 000	21 565	1 080

Tableau 7: Débits d'eau traitée à la station de refoulement de refoulement de Sinfra

Pour le dimensionnement des ouvrages les débits maximums de fonctionnement considérés seront les débits à terme de chaque horizon, soit : 560 m³/h, 900 m³/h, 1080 m³/h.

Caractéristiques des canalisations :

- Linéaire : DN 500mm (37100ml) + DN400mm (17700ml) soit 54800ml-629.4m³/h
- Débit horaire distribué en route : 100.05m³/h
- Hauteur géométrique : 5 m avec prise en compte du stabilisateur amont.
- Pertes de charge totales : 78.67 mcE
- **Tronçon 1-SINFRA- P4 (Bayota)**
 - 18450 ml en fonte PN16 DN 500mm- 569.35m³/h- 28.08mcE- comprenant par hypothèse 2 vannes d'isolement, des coudes pour franchissement points singuliers
- **Tronçon 2-P4 (Bayota)- P5 (Zahibohio)**
 - 4700 ml en fonte PN16 - DN 500mm – 520.25 m³/h - - 6.59mcE- comprenant par hypothèse 2 vannes d'isolement, des coudes pour franchissement points singuliers
- **Tronçon 3- P5 (Zahibohio) - P6 (Ouragahio)**
 - 13950 ml en fonte PN16 -DN500mm- 419.5m³/h - -19.30 mcE- comprenant par hypothèse 2 vannes d'isolement, des coudes pour franchissement points singuliers
- **Tronçon 4-P6 (Ouragahio)- P7 (Kpapekou)**
 - 6800ml en fonte PN16 DN400mm- 538.9m³/h- 0.92m/s - 23.93 mcE- comprenant par hypothèse 2 vannes d'isolement, des coudes pour franchissement points singuliers
- **Tronçon 4- P7(Kpapekou)- (Gagnoa)**
 - 10900 ml en fonte PN25 - DN 400 mm- 529.35m³/h- 0.89m/s- 37.053mcE- comprenant par hypothèse 2 vannes d'isolement, des coudes pour franchissement points singuliers

II.2. Profils et charges piézométriques

Une vérification du pré-dimensionnement de la ligne d'adduction principale faite dans les avant-projets sommaires a été effectuée à travers le tracé des lignes piézométriques et des charges aux points caractéristiques. En effet, elle a consisté à faire une analyse des pressions de service minimale et maximale admissibles ainsi que les charges piézométriques minimale et maximale aux points caractéristiques à l'horizon 2025.

A titre indicatif, les conditions de pressions sont comprises entre [0;25bars] sur le tronçon Zambakro –Sinfra et [0 ; 16 bars] sur le tronçon Sinfra et Gagnoa. Par ailleurs, il faut se rappeler que nous sommes dans l'hypothèse dans laquelle tous les réservoirs sont en demande.

Les pertes de charge ont été calculées avec la formule de Darcy-Weisbach qui prend en compte le coefficient de résistance de la conduite (λ) donné par Coolebrook-White .

L'expression du coefficient de résistance (λ) s'écrit comme suit : $\frac{1}{\lambda} = -2\log \left[\frac{k}{3.71} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right]$.

Nous avons considéré un coefficient de rugosité $k = 0.2\text{mm}$ (rugosité à terme des équipements) pour les conduites en fonte ductile.

Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

A l'aide d'un organigramme de calcul de pertes de charges (cf. annexes n°5 et 6), nous avons calculé les différents débits transités dans la conduite principale en tenant compte des prélèvements vers les châteaux d'eau/et ou réservoirs.

Ainsi sur la base des levés topographiques réalisées sur le terrain et les pertes de charges de cumulées sur toute ligne ZAMBAKRO-SINFRA on obtient le profil piézométrique suivante :

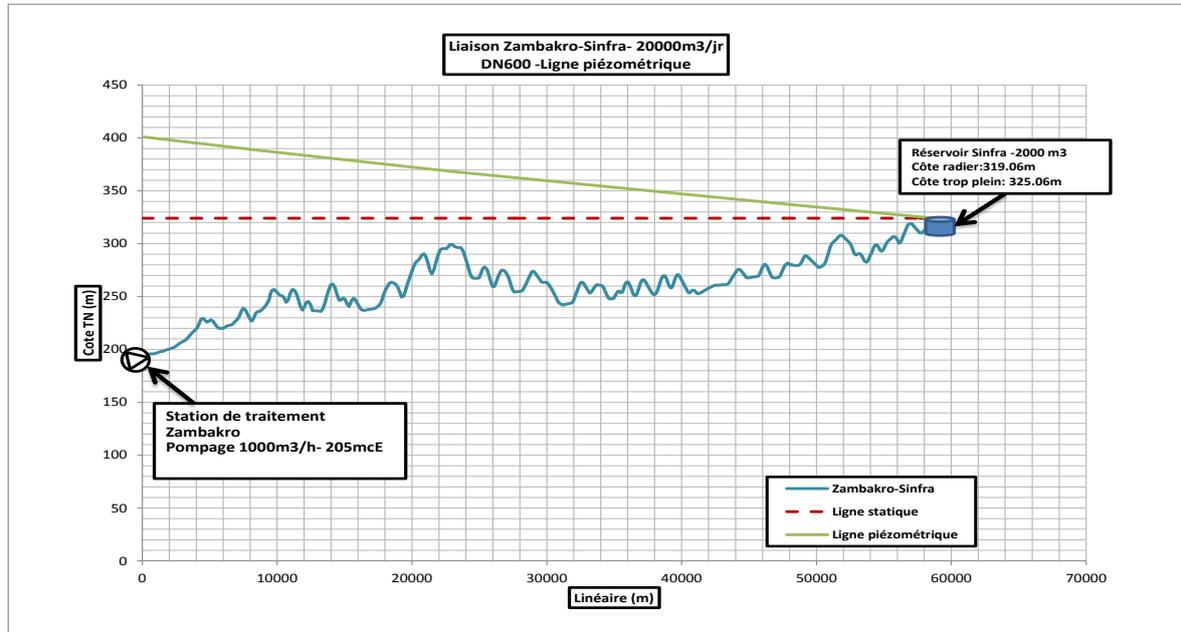


Figure 7: Profil piézométrique Zambakro-Sinfra-Horizon 2025

L'analyse de la ligne piézométrique du 1^{er} tronçon nous indique la pression sur la conduite de refoulement est acceptable le long du profil. Ces pressions sont en conformité avec la classe de pression des conduites.

De même on obtient le profil piézométrique suivant :

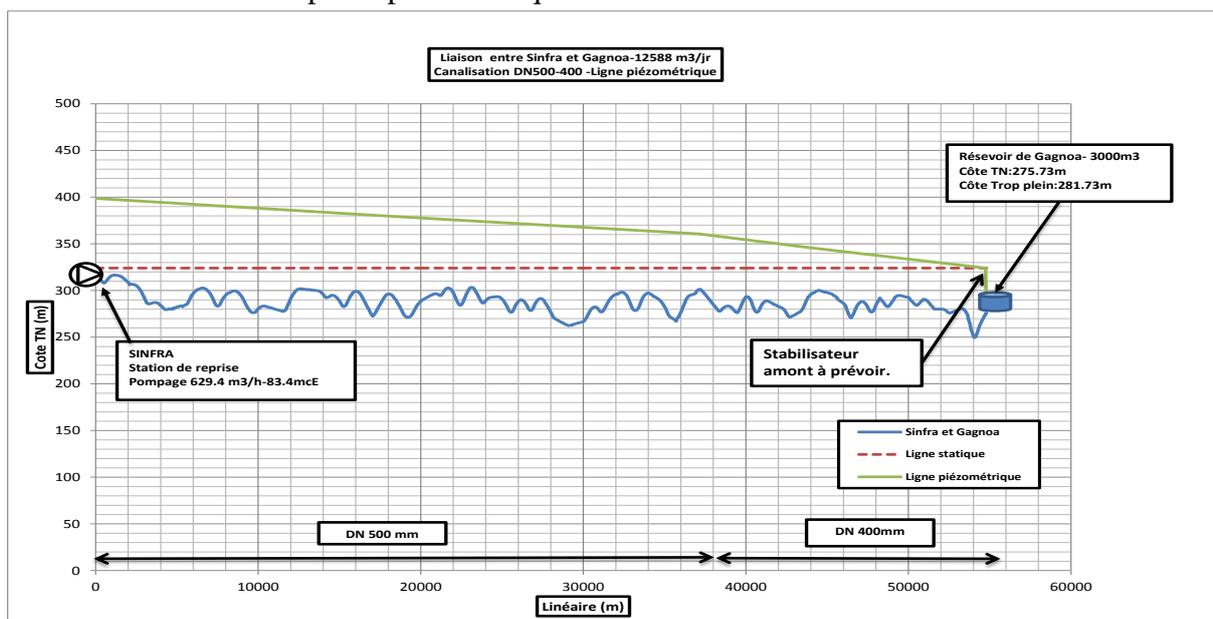


Figure 8: Profil piézométrique Sinfra-Gagnoa-Horizon 2025

Sur ce tronçon, la cote d'implantation du réservoir de Gagnoa prévue à ce stade à une valeur inférieure à celle de la station de pompage de Sinfra. Ainsi la conduite pourrait se vider à chaque arrêt des pompes ; lors d'une casse ou d'un coup de bélier entraînant de fortes dépressions qui seraient préjudiciable pour la conduite. D'autre part, pour alimenter le réservoir de Kpapekou un peu plus en élévation, il serait nécessaire de relever la ligne piézométrique. (Confère schéma d'étagement en annexe)

De ce fait un régulateur de débit/stabilisateur de pression amont serait nécessaire afin de maintenir la pression à un certain niveau permettant l'alimentation du château de Kpapékou et éviter la vidange de la conduite principale sur l'axe Sinfra-Gagnoa. En raison des contraintes d'exploitation inhérentes à ce type d'équipement, un autre positionnement du réservoir (plus en hauteur) est en cours d'analyse. L'alimentation de chaque réservoir desservi par la canalisation de refoulement y compris le réservoir de Gagnoa sera équipée d'un régulateur de débit/pression pour pouvoir limiter le débit d'adduction de chaque réservoir.

Les consignes des régulateurs de débits d'adduction des châteaux d'eau alimentés en route devront être ajustées de manière à pouvoir assurer leur remplissage pendant les temps de pompage qui seront fixés par l'alimentation du réservoir de Sinfra et Gagnoa. Chaque régulateur de débit d'adduction des réservoirs châteaux d'eau pourra également être équipé d'un by-pass pour autoriser si nécessaire un remplissage rapide exceptionnel du château d'eau.

Compte tenu de ces éléments le tableau ci-dessous récapitule les charges piézométriques attendues aux différents points caractéristiques des canalisations de refoulement pour les débits d'adduction de l'horizon 2025.

Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

PROJET ADDUCTION AEP SINFRA-GAGNOA (DEBITS HORIZON 2025 - PHASES 1&2)									
HYPOTHESE D'ALIMENTATION SIMULTANEE DE TOUS LES RESERVOIRS									
CHARGES PIEZOMETRIQUES AUX POINTS CARACTERISTIQUES									
POINTS CARACTERISTIQUES	Débit adduction (m ³ /h)	NOM DU RESERVOIR A ALIMENTER	COTE D'ALIM DU RESERVOIR (TP) (m NGCI)	PERTE DE CHARGE MAXI BRANCHE ADDUCTION SECONDAIRE DU RESERVOIR (m)	CHARGE PIEZO MAXI NECESSAIRE AU POINT DE PIQUAGE BRANCHE PRINCIPALE (m NGCI)	CHARGE PIEZO MINI CALCULEE AU POINT DE PIQUAGE SUR L'ADDUCTION PRINCIPALE (m NGCI)	CHARGE PIEZO MAXI CALCULEE AU POINT DE PIQUAGE SUR L'ADDUCTION PRINCIPALE (m NGCI)	CHARGE MINI A DISSIPER DANS LE REGULATEUR PRESSION/DEBIT D'ALIM. DU RESERVOIR (m)	CHARGE MAXI A DISSIPER DANS LE REGULATEUR PRESSION/DEBIT D'ALIM. DU RESERVOIR (m)
AVAL POMPES ST. TRAITEMENT		-	-		-			-	-
Débits d'adduction Phase (1+2)	1000	-	-		-	347.66	360.24	-	-
POINT PIQUAGE BRANCHE B1									
Débits d'adduction Phase (1+2)	28.75	BOUNAFLA	235.57	5.51	241.08	336.61	346.85	95.53	105.77
POINT PIQUAGE BRANCHE B2									
Débits d'adduction Phase (1+2)	54.9	KONONFLA	286.49	7.76	294.25	321.73	328.86	27.48	34.61
POINT PIQUAGE BRANCHE B3									
Débits d'adduction Phase (1+2)	12.5	ZEMANEFLA	258.92	5.02	263.94	297.13	299.26	33.19	35.32
RESERVOIR SINFRA									
Débits d'adduction Phase (1+2)	903.85	SINFRA	275.18	0.088	275.27	286.50	286.50	11.23	11.23
AVAL POMPES STATION SINFRA		-	-		-			-	-
Débits d'adduction Phase (1+2)	553.1	-	-		-	348.51	360.30	-	-
POINT PIQUAGE BRANCHE B5									
Débits d'adduction Phase (1+2)	49.1	BAYOTA	276.27	5.57	281.84	331.04	339.40	49.20	57.56
POINT PIQUAGE BRANCHE B6									
Débits d'adduction Phase (1+2)	14.8	ZAHIBOHIO	280.41	5.03	285.44	327.29	334.95	41.85	49.51
POINT PIQUAGE BRANCHE B8									
Débits d'adduction Phase (1+2)	85.95	OURAGAHIO	290.1	5.31	295.41	316.77	322.49	21.36	27.08
POINT PIQUAGE BRANCHE B9									
Débits d'adduction Phase (1+2)	14.9	KPAPEKOU	289.32	5.17	294.49	306.07	309.47	11.58	14.98
RESERVOIR GAGNOA									
Débits d'adduction Phase (1+2)	388.35	GAGNOA	231.85	0.083	231.933	290.00	290.00	58.07	58.07

Tableau 5: Charges piézométrique aux points caractéristiques du réseau de refoulement

On notera que ces lignes piézométriques fournissent les valeurs des charges à dissiper dans les régulateurs pression/débit à placer sur l'ouvrage d'alimentation de chaque réservoir. En outre la plus forte charge à dissiper dans un régulateur pression/débit se situe sur l'adduction du réservoir Bounafla avec une charge à dissiper comprise entre 9.5 bar et 10.5 bar. Une attention particulière sera apportée à la gestion de l'alimentation des réservoirs afin que l'adduction du château d'eau de Kononfla (voir Schéma étagement hydraulique en annexe n°3) ne se vide pas lors des périodes d'arrêt des pompes.

On notera que les calculs ci-dessus tiennent compte également de la mise en place d'un stabilisateur amont sur l'alimentation des réservoirs de Sinfra et de Gagnoa pour maintenir un niveau dans les canalisations de refoulement lors des périodes d'arrêt des pompes.

II.3. Ligne d'adduction secondaire

- Dimensionnement des conduites

L'adduction se faisant par gravité, les conduites ont été dimensionnées en tenant compte du débit souhaité, de la charge au niveau du piquage, de la cote du trop-plein du réservoir à alimenter. L'excédent de charge est dissipé par le régulateur de pression. Les résultats sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tronçon	Q [m ³ /h]	Hamont	Haval	ΔH [m]	Long [m]	Φ _{th} [m]	Φ _{ret} [m]	Φ _{pro} [m]
P1 - R1	29	241.08	235.57	5.51	275.5	0.093	0.150	0.150
P2 - R2	55	294.25	286.49	7.76	437.5	0.121	0.150	0.150
P3 - R3	12.5	263.94	258.92	5.02	50	0.049	0.100	0.1 / 0.150
P4 - R4	49.1	281.84	276.27	5.57	1606	0.159	0.200	0.15 / 0.25
P5 - R5	14.8	285.44	280.41	5.03	50	0.052	0.100	0.100
P6 - R6	85.95	295.41	290.1	5.31	258.45	0.139	0.200	0.250
P7 - R7	14.9	294.49	289.32	5.17	326.27	0.075	0.100	0.150

Tableau 6: Résultat calcul diamètre adduction secondaire

$$\Delta H = \frac{1.1610^{-3} \times Q^{1.93} \times L}{\Phi^{5.11}} \Rightarrow \Phi = \left(\frac{1.1610^{-3} \times Q^{1.93} \times L}{\Delta H} \right)^{1/5.11}$$

Au regard de ce tableau on constate que nos diamètres retenus sont proches de ceux retenus par le projet.

III-Station de pompage eau traitée.

III.1. Station de pompage et de reprise eau traitée

Pour une nouvelle station de pompage ou pour le renforcement d'une station existante, le dimensionnement consiste à définir les caractéristiques hydrauliques requises et le mode de fonctionnement du pompage. Il convient pour cela de déterminer :

- les débits à assurer par la station (ici 1000 m³/h et 569 m³/h) ;
- les hauteurs totales de refoulement de (charge) correspondantes ;
- le nombre de pompes et les conditions de régulation des groupes de la station ;
- les vitesses de rotation et le point de fonctionnement des groupes « électropompes » ;

Et enfin les types de pompes envisageables.

III.1.1 Calcul des Hauteurs manométriques totales et le choix des pompes

Connaissant les débits à assurer par nos deux stations de pompage on peut ainsi déterminer leurs HMT.

$$\text{HMT} = \text{Hg} + \Delta H \text{ où } \text{Hg} = \text{Zaval} - \text{Zamont}$$

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques des pompes de chaque station de pompage :

Tableau 7: Caractéristiques des pompes des stations de refoulement.

	Q [m ³ /h]	Zamont (m)	Zaval (m)	Hg [m]	Pdc(m)	HMT (m)
Pompage Zambakro	1 000	196.96	325.06	128.1	77	205.1
Pompage Sinfra	569	325.06	330.06	5	78.67	83.67

III.1.2 Régulation du pompage

Nombre de pompes et types d'installation

Pour assurer le débit Q_{max} requis pour les stations de pompage, nous avons opté pour l'option de 4 pompes identiques dont une de secours fournissant un débit unitaire de **33% Q_{max} (330m³/h)** pour la station de pompage de Zambakro et l'option de 3 pompes identiques dont une en secours débitant **50% Q_{max} (280 m³/h)** chacune pour la reprise de Sinfra. Ce choix est justifié surtout pour pallier aux défaillances et les arrêts pour maintenance des groupes, la nécessité d'assurer les débits requis dans le temps, en minimisant les dépenses d'énergie.

Par ailleurs les pompes seront installées en fosse sèche c'est-à-dire à l'air libre dans une salle accolée au réservoir. Dans ce cas l'axe de la roue des pompes sera au-dessous du niveau minimal du plan d'eau à l'aspiration.

Cette disposition permet de noyer la roue en toute circonstance ce qui évite le risque de désamorçage. Ainsi, nous avons considéré un niveau minimal du plan d'eau à l'aspiration de 1.5m au-dessus de l'axe de la roue entre l'axe de la roue et le niveau minimal à l'aspiration ((ASTEE), 2006).

Mode de régulation

Dans le cas présent, les pompages alimentent des réservoirs de volumes importants. Nous avons opté pour une alimentation de ces réservoirs asservie au niveau d'eau dans les réservoirs. Le débit d'alimentation des réservoirs suit indirectement le débit de sortie des réservoirs et peut donc être discontinu.

En effet cette régulation consiste à asservir automatiquement les groupes de pompage en fonction du niveau d'un réservoir ou d'une bache à l'aide de capteur de niveau. Il s'agit de démarrer et d'arrêter les pompes à des niveaux bien déterminés. Vous aurez les détails du principe du fonctionnement du pompage dans le paragraphe IV. Nous avons retenu une régulation des groupes de pompage en tout-ou-rien sur seuils de niveau dans le réservoir. Pour délivrer les volumes journaliers, on peut faire fonctionner les groupes de pompage, dimensionnés à l'horizon 2025 :

- à 50 hz et leur temps de fonctionnement va augmenter avec l'augmentation du besoin, jusqu'à atteindre 20 heures par jour,
- A une fréquence à ajuster au fil du temps pour obtenir un fonctionnement 20 heures par jour dès la mise en service de l'installation.

III.1.3. Notion de NPSH

Notion de NPSH

Le débit et la hauteur de refoulement des pompes ayant été préalablement définis, il convient de déterminer la NPSH disponible. Les pompes étant en charge on peut dire en première approximation que la NPSH requis est suffisant pour éviter le phénomène de cavitation. En effet, la NPSH disponible à l'entrée de la pompe est calculée par la formule ci-après.

$$(NPSH) \text{ dispo} = \frac{P_{ATM}}{\rho g} - tv + Z_{asp} - \Delta H$$

Avec :

- (NPSH) dispo : en mètre de colonne d'eau (mcE)
- $\frac{P_{ATM}}{\rho g}$: Valeur de la pression atmosphérique sur le site de pompage (exprimée en mcE)
- tv : Valeur de la tension de vapeur de l'eau à la température considérée (exprimée en mcE). A 20°C elle est à 0.24mCe
- Z : Hauteur géométrique algébrique à l'aspiration; positif lorsque le plan d'eau est au-dessus de l'axe de la roue de la pompe et négatif lorsque le plan d'eau est au-dessous de l'axe de la roue de la pompe.
- ΔH : la somme des pertes de charge (exprimée en mcE) entre le bassin d'aspiration et l'entrée de la pompe, pour le débit considéré dans la conduite d'aspiration.

Le choix de nos pompes est conditionné par ce paramètre afin d'éviter le phénomène de cavitation. Pour ce faire le NSPH disponible doit être toujours supérieur à la NSPH requis qui dépend de la pompe et qui est une donnée du constructeur.

III.1.4. Choix des pompes et courbes caractéristiques

Une fois les valeurs nominales de débit et NPSH déterminées, il est possible de faire le choix des pompes les mieux adaptés aux besoins.

Le tableau ci-après résume les paramètres de calcul de choix de nos pompes.

Tableau 8: Caractéristiques des pompes de station de refoulement

	Débit (m³/h) 33% de Q_{max}	HMT(mcE)	Tv (mcE)	DH(m)	Hc (m)	NPSH disponible(m)
Pompage Zambakro	330	205.2	0.24	0.5	1.5	11.09
Pompage Sinfra	290	83.67	0.24	0.3	1.5	11.29

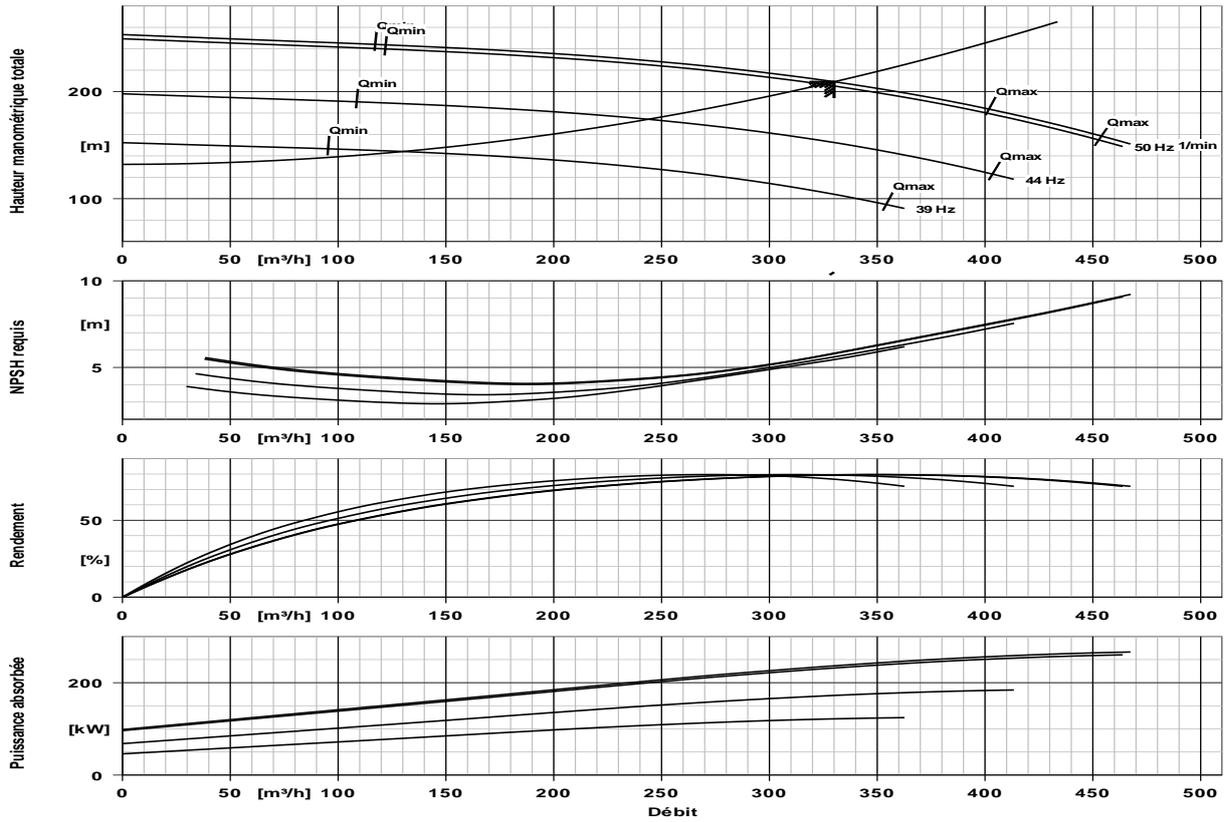
Le catalogue (KSB, 2016) nous a permis de faire un premier choix des pompes résumé dans le tableau suivant :

Tableau 9: Tableau récapitulatif du choix des pompes

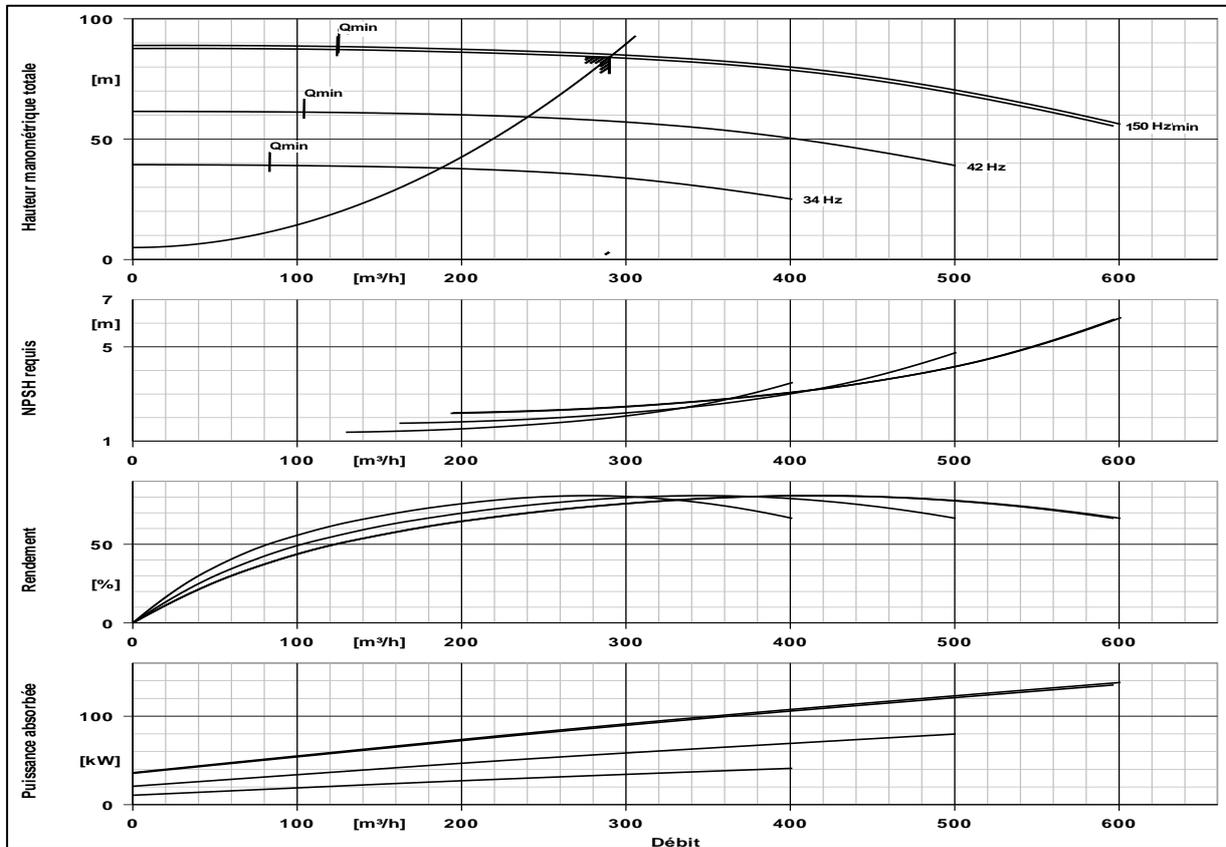
	Type de Pompe
Station de pompage Zambakro	Multitec A 125/ 2-10.1 10.67
Station de pompage Sinfra	Etanorm RG 150-500.1

Les pompes choisies fournissent les débits et HMT souhaités et ont des NPSH requis compatibles

● Station de Pompage Zambakro



● Station de reprise Sinfra



III.2. Protection anti-bélier-Modélisation CEBELMAIL

Les modifications d'état des dispositifs de pompage (marche/arrêt des pompes, par exemple) ou des équipements de contrôle ou de régulation sur les réseaux (ouvertures/ fermeture d'une vanne sur un réseau, par exemple) se propagent dans le système par un phénomène d'ondes, et modifient le régime de débits et pression à l'intérieur de celui-ci. Ces modifications d'état des équipements provoquent de la détente/compression de l'eau pouvant aboutir dans certaines conditions à des dépressions ou surpressions préjudiciables pour les installations. Dans le langage courant, ces phénomènes transitoires sont désignés par le terme « coup de bélier » et l'ensemble des dispositions et équipements mis en œuvre pour protéger le système contre ces conséquences potentiellement dommageables est désigné par le vocable « protection anti-bélier ».

III.2.1 Schéma et hypothèses de modélisation

- **Logiciel CEBELMAIL**

Le schéma de modélisation a été construit à l'aide du logiciel CEBELMAIL. CEBELMAIL est un logiciel de simulation du comportement des phénomènes permanents et transitoires, sur de longues durées dans les réseaux sous pression.

CEBELMAIL calcul les dépressions et les surpressions alternatives qui se produisent lors de la modification rapide du régime d'écoulement dans une conduite au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes.

- **Architecture du réseau**

La saisie du schéma dans le logiciel reprend la structure du système de production – adduction de première phase incluant les sous-systèmes d'adduction secondaire du périmètre de 1ère et 2ème phase. Voir schéma du réseau correspondant en annexe 6.

- **Hypothèses de modélisation**

Le moteur de calcul du logiciel est basé sur les équations de Saint-Venant avec une résolution par la méthode des caractéristiques de Bergeron. Les pertes de charges dans les conduites sont calculées à partir de la formule de Colebrook White et discrétisées selon le pas de temps et les célérités choisies.

La protection anti-bélier a été dimensionnée pour le cas de fonctionnement le plus défavorable. En toute rigueur, l'arrêt du pompage alors que les réservoirs de Sinfra et Gagnoa sont alimentés génèrent les transitoires les plus préjudiciables pour nos conduites. De ce fait, le phénomène dimensionnant pour déterminer les protections anti-bélier est l'arrêt brusque du pompage lorsqu'il fonctionne à pleine capacité. L'arrêt brusque du pompage ne se produira qu'en cas de disjonction électrique car les variateurs seront programmés pour permettre des arrêts progressifs.

Ainsi la protection anti-bélier devra garantir que la ligne de pression minimale ne descende pas en dessous de la ligne du terrain (pas de passage en pression négative).

Les données d'entrées du modèle sont :

Les caractéristiques du réseau d'adduction à partir des tronçons de conduites qui le constitue : longueur, diamètre, altitudes, la célérité, les extrémités de chaque tronçon (nœuds), rugosité des conduites caractérisée par le coefficient k de COOLEBROOK WHITE.

La **célérité des ondes** pour les conduites en fonte a été prise égale à 1200m/s pour la conduite en fonte.

Les unités : Le débit en m^3/s , diamètre en mm et vitesse d'écoulement en m/s, la vitesse spécifiques des pompes en tr/mn et la pression en bar.

Les nœuds : qui sont caractérisés soit par un point de consommation ou par un point d'injection de débit.

Les caractéristiques des installations : réservoirs et/ou châteaux. Les réservoirs et châteaux d'eau sont définis par leur cote au sol, les niveaux maxi sont représentés par des bornes d'irrigations.

Les caractéristiques des pompes : elles sont définies par le débit nominal, la vitesse de rotation, le rendement nominal et l'inertie du moteur.

Il y aussi la loi de manœuvre de la pompe qui intègre 4 manœuvres types que sont ; pompe en marche, pompe arrêtée, pompe au démarrage et disjonction de pompe.

Les équipements spéciaux comme : vannes de sectionnement, clapets, vannes régulatrices (stabilisateurs de pression amont, aval ; vanne limitatrice de débit, etc.) ;

III.2.2. Objectif et scénario de la modélisation

- **Objectif**

L'objectif de cette modélisation c'est de se poser la question : « faut-il une protection anti-bélier ? ». Cela revient à comparer les enveloppes minimales et maximales de la piézométrie avec leurs équivalents en pression admissible. Si oui dimensionner les équipements de protection anti-bélier nécessaire à la protection des équipements.

- **Scénarios de modélisation.**

Une modélisation du fonctionnement hydraulique en régime permanent et transitoire a été effectuée à l'horizon 2025. Le but de la modélisation en régime permanent est de vérifier que le modèle est correcte et que les résultats sont bien ceux attendus.

Par ailleurs, la modélisation en régime transitoire sans protection anti-bélier à divers arrêt instantanés du pompage (disjonction $t=1s$), nous permettra d'évaluer les extrema des dépressions et surpressions intervalles de temps prédéterminés.

Après cette étape une modélisation itérative pour déterminer la protection anti bélier requise pour le réseau.

Pour caractériser un composant de canalisation d'eau 5 pressions sont définies par les normes EN 805 et EN 545 :

- **PMS- Pression maximale de service** : Pression la plus élevée existant dans une canalisation bien déterminée pour un régime de fonctionnement permanent. Elle de 22 bars sur l'axe Zambakro-Sinfra et de 12 bars sur l'axe Sinfra-Gagnoa.

- **PFA – Pression de Fonctionnement Admissible** : Pression hydrostatique maximale à laquelle un composant est capable de résister de façon permanente en service. C'est la pression jusqu'à laquelle le réseau peut fonctionner en continu. Elle est de 25 bars dans le cas présent.
- **PMA – Pression Maximale Admissible** : Pression maximale, y compris le coup de bélier, à laquelle un composant est capable de résister lorsqu'il y est soumis de temps à autre en service. C'est la pression jusqu'à laquelle le réseau peut fonctionner en continu en tenant compte des coups de bélier.
Elle correspond à la pression maximale pour laquelle l'élément est commercialisé. On l'obtient en majorant de 20% la PFA afin de tenir compte des surpressions transitoires. Ainsi on obtient une PMA de 30bars.
- **PEA – Pression d'Épreuve Admissible** : Pression hydrostatique maximale à laquelle un composant nouvellement mis en œuvre est capable de résister. Elle est obtenue en majorant de 50% la PFA afin de réaliser l'essai sur le chantier. On obtient donc une PEA de 37.5bars.
- **Pma- pression minimale Admissible** : correspond à la pression minimale en dessous de laquelle, la pression ne doit pas descendre. A titre indicatif elle a été considéré égale à 0bars.

III.2.3. Analyse et choix du type de protection.

- **Calcul sans protection anti-bélier**

Le graphe ci-après indique les enveloppes de dépressions et surpressions théoriques que l'on obtiendrait en cas de disjonction électrique alors que le pompage à pleine capacité, en l'absence de protection anti- bélier. Il concerne le pompage Zambakro- Sinfra.

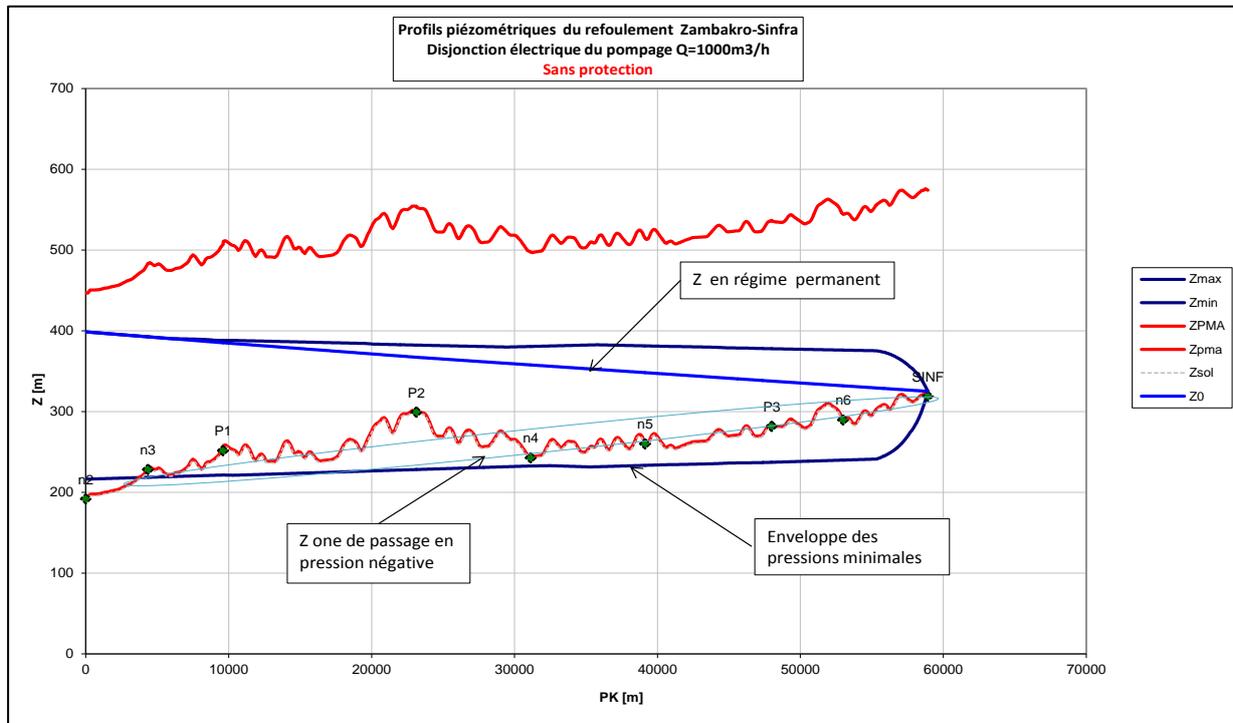


Figure 9: Profil piézométrique Zambakro-Sinfra Sans protection

Ce graphique montre que la ligne dépression théorique descend bien en dessous du profil terrain sur toute la longueur de la conduite. La dépression théorique maximale est d'environ 80mCE. Elle n'est donc pas acceptable (risque d'aspiration des joints d'étanchéité et de polluants extérieurs et de casse). Une protection anti-bélier est donc obligatoire pour ce refoulement.

De même le graphe suivant est relatif au tronçon de pompage Sinfra-Gagnoa.

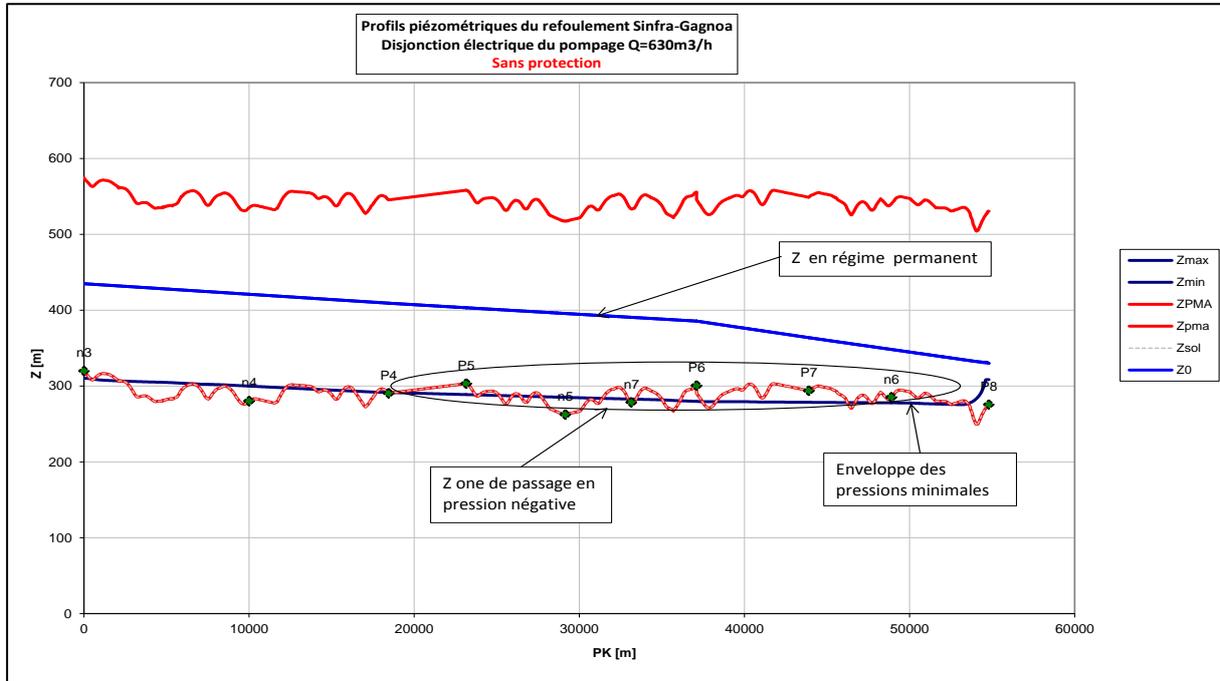


Figure 10: Profil piézométrique Sinfra-Gagnoa Sans protection

Il en est de même pour ce graphe où l'on observe des zones de pression négative. Malgré la présence du stabilisateur amont qui limite le passage en dépression, nous voyons donc qu'une protection anti-bélier est obligatoire pour cette conduite.

- **Calcul avec protection anti-bélier**

Le principe de dimensionnement du ballon anti-bélier est le suivant :

- Optimiser le volume de gaz dans le ballon : la quantité de gaz contenue dans un ballon anti-bélier (généralement de l'air) se représente par un couple pression-volume. En fixant la pression de ce couple à la pression atmosphérique (« Ppréglonflage = 0 » dans Cebelmail), on peut itérer sur le volume (appelé alors volume normal) pour obtenir une tangence de la ligne piézométrique minimale avec celle des pressions minimales accessibles.
- Vérifier que le réseau est protégé et que la marge entre le volume maximum du gaz et la capacité choisie est suffisante. Il faut se rappeler que c'est la pression dans le réseau qui fixe la pression dans le ballon. Lors de cette phase, on vérifie que le minimum piézométrique a bien été atteint. Le cas échéant on augmente le temps final de la simulation.

Il faut aussi noter que durant la phase transitoire l'équation qui régit les gaz est $PV^\gamma = \text{constante}$. La valeur de gamma varie entre 1 et 1.4 la valeur couramment utilisé est 1.2.

▪ **Axe Zambakro- Sinfra**

Ainsi le niveau piézométrique minimum a été atteint pour une capacité de 70 m³ pour une pression de pré gonflage de 7 bar.

Le graphe suivant présente les dépressions et surpressions théorique que l'on obtiendrait en cas de disjonction électrique sur l'axe Zambakro- Sinfra, alors que le pompage fonctionne à pleine capacité, en équipant le refoulement de deux ballon anti-bélier à vessie spéciale eau potable, de 35 m3 chacun PFA 25 bars, pré-gonflé à 7 bars, et raccordé en DN 300.

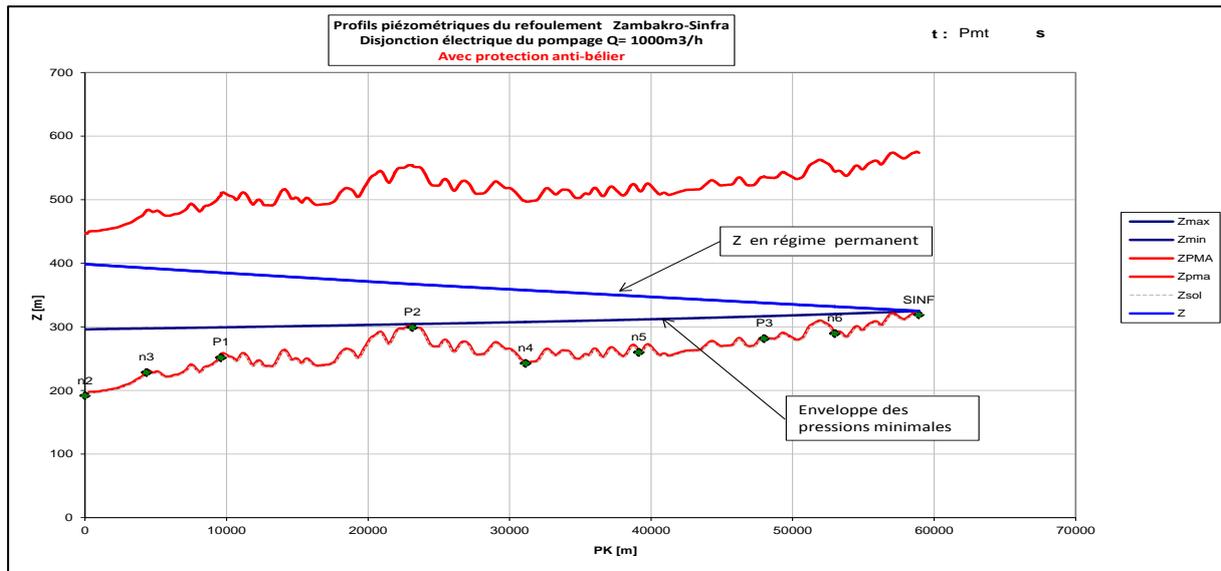


Figure 11: Profil piézométrique Zambakro-Sinfra-Avec protection anti-bélier

L'analyse de ce graphe montre que l'enveloppe des pressions minimales a été très nettement relevée et qu'on observe plus de passage en pression négative. On peut en déduire que les ballons proposé apportent une protection suffisante pour résister au coup de bélier.

▪ **Axe Sinfra-Gagnoa**

Dans le cas présent le niveau piézométrique minimum a été atteint pour une capacité de 24 m3 et une pression de pré-gonflage à la pression atmosphérique c'est dire de 0bar en pression relative. En règle générale dans ce type de configuration de pompage à faible hauteur géométrique il n'est pas nécessaire de pré-gonfler le ballon de sorte minimiser le volume d'air dans le ballon.

Le graphe suivant nous montre l'évolution de l'enveloppe des pressions minimales relatives au pompage Sinfra-Gagnoa en équipant le refoulement de deux ballons anti-bélier de 12m3 à vessie spéciale eau potable, raccordé en DN300.

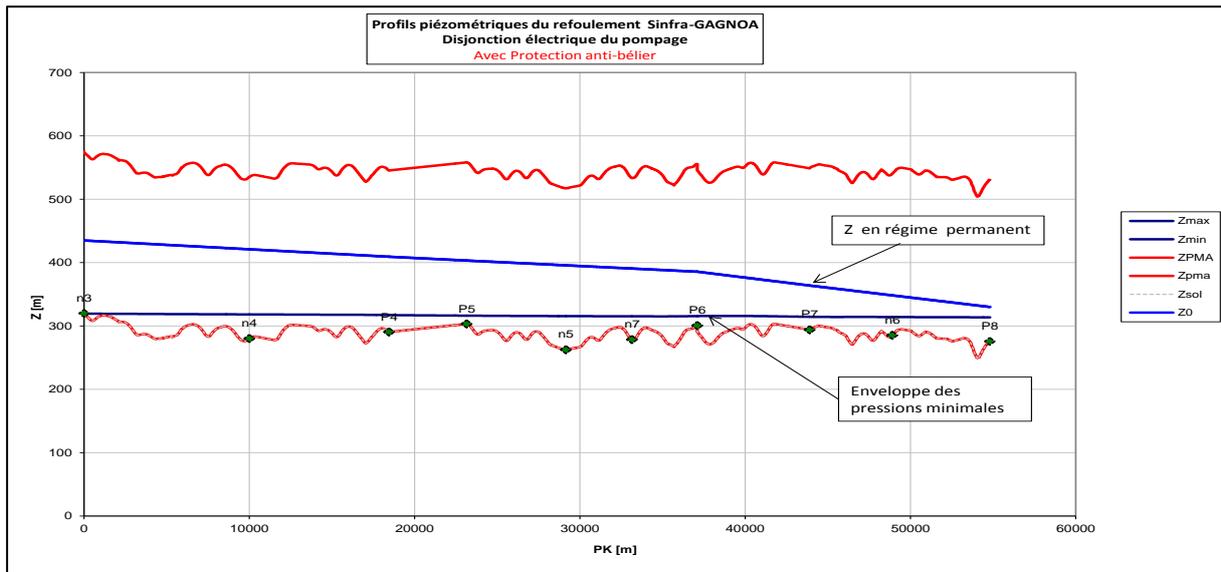


Figure 12: Profil piézométrique Sinfra-Gagnoa -Avec protection Anti-bélier.

De même ce graphe montre que l'enveloppe des pressions minimales a été très nettement relevée et qu'on observe plus de passage en pression négative. On peut en déduire que les ballons proposés apportent une protection suffisante pour résister au coup de bélier.

Les graphes ci-après nous indiquent l'évolution du volume d'air dans les ballons anti-bélier dans nos deux stations de pompage.

- Conclusion

Une protection anti-bélier est obligatoire pour le refoulement au niveau de Zambakro et de Sinfra.

A Zambakro deux ballons à vessie spéciale eau potable de 35 m³-PFA à une PFA de 25bars, pré-gonflé à 7bars et raccordé au refoulement en DN 300 conviendrait. De même à Sinfra deux ballons à vessie de 12m³ chacun, pré-gonflé à la pression atmosphérique et raccordé au refoulement en DN 300 sont nécessaires pour protéger la conduite.

Par ailleurs le volume d'air dans les ballons se détend pour amortir la dépression initiale puis oscille en dessous de la capacité maximale du ballon (Voir l'évolution des volumes d'air dans les ballons anti-bélier en annexe 7).

IV-Etude de la stabilité des conduites

IV.1 Verrouiller les canalisations, pourquoi ?

Des forces de poussée hydraulique apparaissent aux changements de direction, aux réductions de diamètre (coudes, tés, cônes) et aux extrémités d'une canalisation véhiculant un fluide sous pression. Ces forces peuvent conduire à un déboîtement des conduites lorsqu'elles ne sont pas compensées par des massifs de butée en béton ou des dispositifs de verrouillage.

Le verrouillage, ou auto buttage, des joints à emboîtement est une technique alternative aux massifs en béton pour reprendre les effets de poussée hydraulique. Cette technologie permet donc de remplacer les lourds et encombrants massifs en béton.

En ce qui concerne le 1^{er} tronçon nous avons une PMS de 22bars avec des PEA qui varient entre 25 bars et 10bars en fonction de la pression de service le long de la canalisation. Quant au second tronçon la PMS est de 12 bars avec des pressions d'épreuve qui varient entre 19 et 10 bars.

IV.2 Sur quelle longueur faut-il verrouiller les canalisations ?

Le principe de la technique consiste à verrouiller les joints sur une longueur suffisante de part et d'autre d'une zone de poussée hydraulique, un coude par exemple, afin de mobiliser les forces de frottement sol/tuyau permettant d'équilibrer la force de poussée.

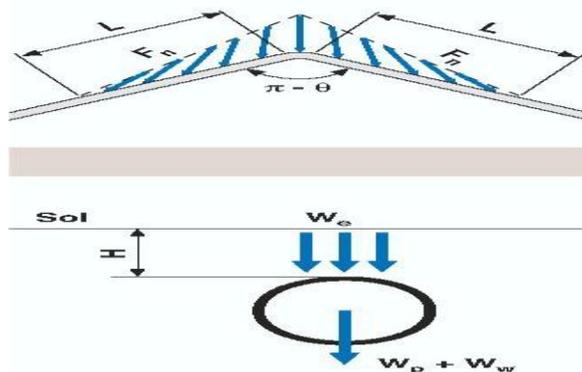
Le calcul de la longueur à verrouiller est indépendant du système de verrouillage utilisé. Le calcul de la longueur à verrouiller dépend de la pression d'essai, du diamètre de la conduite, ainsi que des paramètres de force de frottement sol/tuyau et du poids métrique du remblai. (Voir en annexe 5 les détails du calcul de longueur de verrouillage).

Les longueurs de verrouillage, à prévoir en supposant que nous sommes hors nappe avec un revêtement standard sont de :

DN600 :2600m

DN500 :1160 m

DN400 :1900m



IV.3 Gamme de solution de verrouillage

Pont- A-Mousson a développé une gamme complète des solutions de verrouillage adaptée à chaque condition d'utilisation et à chaque situation de pose. La gamme étendue Pont-A-Mousson comprend les verrouillages suivants les classes de pressionn:

- **Standard Vi** : dans la gamme de DN 60 à 300
- **Express Vi** : dans la gamme de DN 60 à 300
- **Standard Ve** : dans la gamme de DN 80 à 1200
- **Pamlock** : dans la gamme de DN 1400 à 1800

L'utilisation des verrouillages est la façon moderne de mettre en œuvre les canalisations en fonte ductile, en tirant avantage de ses propriétés mécaniques exceptionnelles.

Ainsi les détails des performances des joints et raccords sont indiquées dans le tableau ci-dessous issu du catalogue (PAM SAINT GOBAIN, 2004)) « solution de verrouillage ». Au regard des pressions fonctionnement admissibles dans le tableau ci-dessus nous voyons que les joints UNIVERSAL VI et UNIVERSAL Ve sont appropriées pour le verrouillage de la

conduite principale ZAMBAKRO-SINFRA compte tenu de la PMS dans ce tronçon. Par contre sur le tronçon Sinfra-Gagnoa avec des PMS beaucoup plus faibles que dans le tronçon précédent, les joints STANDARD Vi seront adaptés. En réalité le choix de nos joints se fait par comparaison des PMS dans les deux tronçons principaux à la PFA des composants indiqués en annexe n° 8.

V- Fonctionnement hydraulique du système

V.1 Modélisation EPANET

V.1.1 Schéma et hypothèses de modélisation

Après avoir identifié les sous-systèmes et défini la position des réservoirs de la première phase, il a été établi un schéma de modélisation hydraulique.

- **Logiciel EPANET**

Le schéma de modélisation a été construit à l'aide du logiciel EPANET. EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression.

EPANET calcule le débit dans chaque tuyau, la pression à chaque nœud, le niveau de l'eau dans les réservoirs, au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes.

- **Architecture du réseau**

La saisie du schéma dans le logiciel reprend la structure du système de production – adduction de première phase incluant les sous-systèmes d'adduction secondaire et distribution partielle du périmètre de 1ère phase. Voir le schéma du réseau correspondant en annexe 9.

- **Profil de consommation**

Pour les localités faisant partie du périmètre de première phase, les demandes de ces localités résultant de l'étude des besoins ont été introduites aux nœuds correspondants avec leur profil de variation horaire. Dans le logiciel EPANET, cette donnée est prise en compte grâce à une courbe de modulation assignée à chaque nœud de demande.

Temps(h)	Fluctuations demandes	Temps(h)	Fluctuations demandes
1	0.3	13	1.5
2	0.3	14	1.2
3	0.2	15	1.1
4	0.2	16	1
5	0.5	17	1
6	0.9	18	1.2
7	1.7	19	1.3
8	1.75	20	1.3
9	1.6	21	1
10	1.25	22	0.6
11	1.5	23	0.5
12	1.7	24	0.4

Tableau 10: Fluctuations des demandes dans une journée (source SODECI)

Une interprétation de ce tableau nous permet de d'attester que les heures de fortes consommations ont comprises entre 07h et 09h, 12h et 14h, et entre 19h et 20h.

- **Hypothèses de modélisation**

Les données d'entrée du modèle sont :

- Les caractéristiques du réseau d'adduction et distribution à partir des tronçons de conduites qui le constitue : longueur, diamètre, altitudes des extrémités de chaque tronçon (nœuds), rugosité des conduites caractérisée par le coefficient k . Dans le cas présent le coefficient de rugosité k a été pris égal à 0.2 mm pour des conduites en fonte en service. Les pertes de charge ont été calculées avec la formule de COOLEBROOK WHITE qui prend en compte le coefficient de résistance de la conduite (λ).
- Les unités : celles utilisés dans le système international à savoir débit en L/s, diamètre en mm et vitesse en m/s.
- La demande aux nœuds : un nœud est caractérisé par sa cote au sol du point représenté, sa demande de base et sa courbe de de modulation.
- Les caractéristiques des installations (réservoirs, châteaux d'eau, stations de pompage). Les réservoirs et châteaux d'eau sont définis par leur cote au sol, les niveaux maxi et mini par rapport à cette dernière, leur volume calculé à partir du diamètre ou de courbes hauteur – volume. Dans la simulation on considère que tous les réservoirs ont une forme cylindrique.

Pour les stations de pompage ont été introduites des courbes débits – HMT.

- Les équipements spéciaux comme : vannes de sectionnement, clapets, vannes régulatrices (stabilisateurs de pression amont, aval ; vanne limitatrice de débit, etc.) ;
- Les consignes de fonctionnement hydraulique et de commande : ces consignes permettent de simuler les commandes, automatismes et différents type d'asservissement : marche arrêt des pompes en fonction du remplissage des réservoirs par exemple.

Principe de fonctionnement hydraulique : différents types de commande ont été élaborées (simple et/ou élaborées) pour un fonctionnement optimal du système. En effet le fonctionnement des pompes de la station de refoulement d'eau de Sinfra a été analysé pour le débit de pompage retenu pour l'horizon 2025. Trois cas de fonctionnement d'adduction ont été analysés :

- Une alimentation du réservoir de Sinfra ou de Gagnoa avec une alimentation simultanée de tous les châteaux d'eau intermédiaires placés sur la canalisation de refoulement.

- Une alimentation seule du réservoir de Sinfra ou de Gagnoa alors que tous les châteaux d'eau
- intermédiaires sont pleins.
- Une alimentation des châteaux d'eau intermédiaires alors que les réservoirs de Sinfra ou de Gagnoa sont pleins.

On retiendra que l'hypothèse de fonctionnement la plus probable est celle où l'alimentation du réservoir terminal de Sinfra ou de Gagnoa et des châteaux intermédiaires se fait simultanément.

Comme décrit sommairement dans le paragraphe « station de pompage » au niveau de la station de pompage de Zambakro nous donc avons opté pour une configuration (3+1) pompes et une configuration (2+1) pompes au niveau de SINFRA.

En effet dans le 1^{er} tronçon le démarrage des 3 pompes se fait simultanément. A un niveau de remplissage 2 pompes s'arrêtent simultanément et la 3^{ème} pompe continue le pompage jusqu'au trop plein du réservoir. Quant au second tronçon le principe de fonctionnement reste le même. On notera que le remplissage des différents châteaux d'eau se fait par surverse.

Cependant une station de surpression a été mise en place pour alimenter les réservoirs de R8 de Brodoumé et R9 de Tiepa à partir des réservoirs respectifs R8 d'Ourahio et R9 de Kpapékou.

(Voir en annexe l'ensemble des commandes simples et/ou élaborées relatives au fonctionnement hydraulique du système d'adduction d'eau des villes de Sinfra et Gagnoa)

V.1.2 Objectif et scénario de la modélisation

Objectif

L'objectif de la modélisation est de rechercher par approches successives et tests un dimensionnement des ouvrages qui correspondent à des conditions de fonctionnement optimales au regard d'une série de critères, parmi lesquels :

▪ Conduite de distribution

Vitesse maximale : de l'ordre de 1,5 m/s

Pression minimale : 1 bar (exceptionnellement 0.5 bars)

Pression de confort : entre 2 et 3 bars

Pression Maximale : 5 bars

▪ Lignes d'adduction

Pour les lignes d'adduction principales et secondaires en fonte ductile (qui ne font pas de distribution en route) : vérification de la pression de fonctionnement admissible au regard de la classe de la conduite.

Vitesse maxi : inférieure à 2 m/s

▪ **Réservoirs – châteaux d'eau**

Vérification du marnage des réservoirs. Il convient de s'assurer que les réservoirs restent toujours en eau et que le niveau minimum observé laisse une réserve de sécurité acceptable.

▪ **Pompes**

Vérification du temps d'arrêt des pompes et du débit fournis tout au long de la simulation. Les données d'entrée relatives aux aspects de localisation ont été tirées des images satellites Google Earth. Quant aux données topographiques elles ont été tirées des levés topographiques menés dans le cadre des études de conception détaillé dont fait l'objet ce mémoire.

Il faut noter que notre analyse est spécifiquement basée sur le comportement hydraulique de l'adduction principale et secondaire et non sur la distribution.

▪ **Réservoirs**

Il a été recherché un dimensionnement des réservoirs permettant d'assurer une régulation correcte du système au plan hydraulique, c'est-à-dire à vérifier que les réservoirs restent en eau quelle que soit l'heure de la journée.

Ce travail a été effectué à l'aide du modèle EPANET aux horizons 2025, sur la base des prévisions de besoins.

Pour un réservoir qui idéalement ferait de la distribution pure et serait alimenté à débit constant H24 avec un équilibre journalier des volumes entrants et sortants, la capacité nécessaire pour satisfaire à la courbe de variation horaire considérée s'établit dans une fourchette de 15 à 20% des besoins journaliers. De manière générale l'alimentation d'un réservoir est tributaire des conditions hydrauliques amont de la chaîne de production-adduction, ce qui entraîne des variations de débit dans la ligne d'adduction

Cette capacité est généralement majorée pour intégrer des marges de sécurité vis-à-vis des données de calcul mais aussi pour tenir compte d'aléas d'exploitation (incidents de fonctionnement, casses, ruptures de conduites, etc.). Ainsi on a deux réservoirs principaux à construire à SINFRA et à GAGNOA à l'arrivée des lignes d'adduction et les réservoirs secondaires à construire le long de la conduite principale. Leur capacité a été calculée pour ce même horizon :

Localité	Type	Volume (m3)	Cote radier (m)
SINFRA	Réservoir au sol	2000	319.06
GAGNOA	Réservoir au sol	3000	275.73

Tableau 11:Tableau récapitulatif des capacités des réservoirs principaux

Les réservoirs secondaires sont ceux alimentés à partir de l'adduction principale ou des réservoirs principaux. Ils sont dimensionnés pour les besoins à l'horizon 2025 en intégrant une réserve de sécurité raisonnable de façon de disposer d'une autonomie d'environ 6 heures pour les grands centres et de 8 à 12 heures pour les petits centres.

Localité	Type	Volume (m³)	Cote TN (m)	Cote radier (m)	Cote trop plein (m)
Bazré	Château d'eau	200	258.45	278.45	283.45
Kononfla	Château d'eau	500	307.37	329.37	334.37
Bayota	Château d'eau	500	299.15	321.15	324.15
Zahibohio	Château d'eau	100	303.29	323.29	328.29
Ouragahio	Château d'eau	1000	307.98	332.98	337.98
Kpapékou	Château d'eau	200	312.29	332.29	337.2
Brodoumé	Château d'eau	200	319.98	339.8	344.8

Tableau 12: Tableau récapitulatif des capacités des réservoirs secondaires

Scénario de modélisation

Une modélisation du fonctionnement hydraulique a été effectuée aux horizons 2025. Cette modélisation a pour but de préciser les caractéristiques de dimensionnement du système afin d'obtenir un fonctionnement satisfaisant au plan hydraulique. Le système à construire dans le cadre du projet vise à couvrir les besoins à 10 ans au moins, c'est-à-dire jusqu'à 2025. Au-delà l'étude des besoins a montré la nécessité de programmer l'extension des capacités de production et de pompage. Reste à savoir si l'évolution des besoins va impliquer ou non un renforcement des lignes d'adduction.

V.1.3 Analyse et propositions techniques.

- **Lignes d'adduction principales**

Les résultats de modélisation hydraulique à l'horizon considéré montrent que le diamètre des lignes d'adduction principale - à savoir DN 600mm entre Zambakro et Sinfra, DN 500mm entre Sinfra et Ouragahio et DN 400mm entre Ouragahio et Gagnoa – est suffisant au plan hydraulique pour répondre à l'évolution des besoins jusqu'à l'horizon 2025. Les vitesses et les pressions restent dans des limites acceptables.

Les critères de fonctionnement optimaux comme la pression et la vitesse d'écoulement sont illustrées dans les graphes suivants :

Jusqu'à l'horizon 2025/2026, le système peut fonctionner avec 2 stations de reprise :

- l'une à la sortie de la bache d'eau traitée de la nouvelle usine de Zambakro refoulant via la conduite DN600 jusqu'au nouveau réservoir à construire à Sinfra ;
- L'autre à la sortie du nouveau réservoir de Sinfra, refoulant jusqu'au nouveau réservoir de Gagnoa via une conduite fonte DN500 jusqu'à Ouragahio, puis DN400 entre Ouragahio et Gagnoa. On remarque aussi dans les graphes ci-après que les pompes ont un temps d'arrêt minimum de 3h pendant une journée de pompage en

Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

fonction de la demande ce qui est conforme au temps de pompage préétablis qui est de 20h/jour.

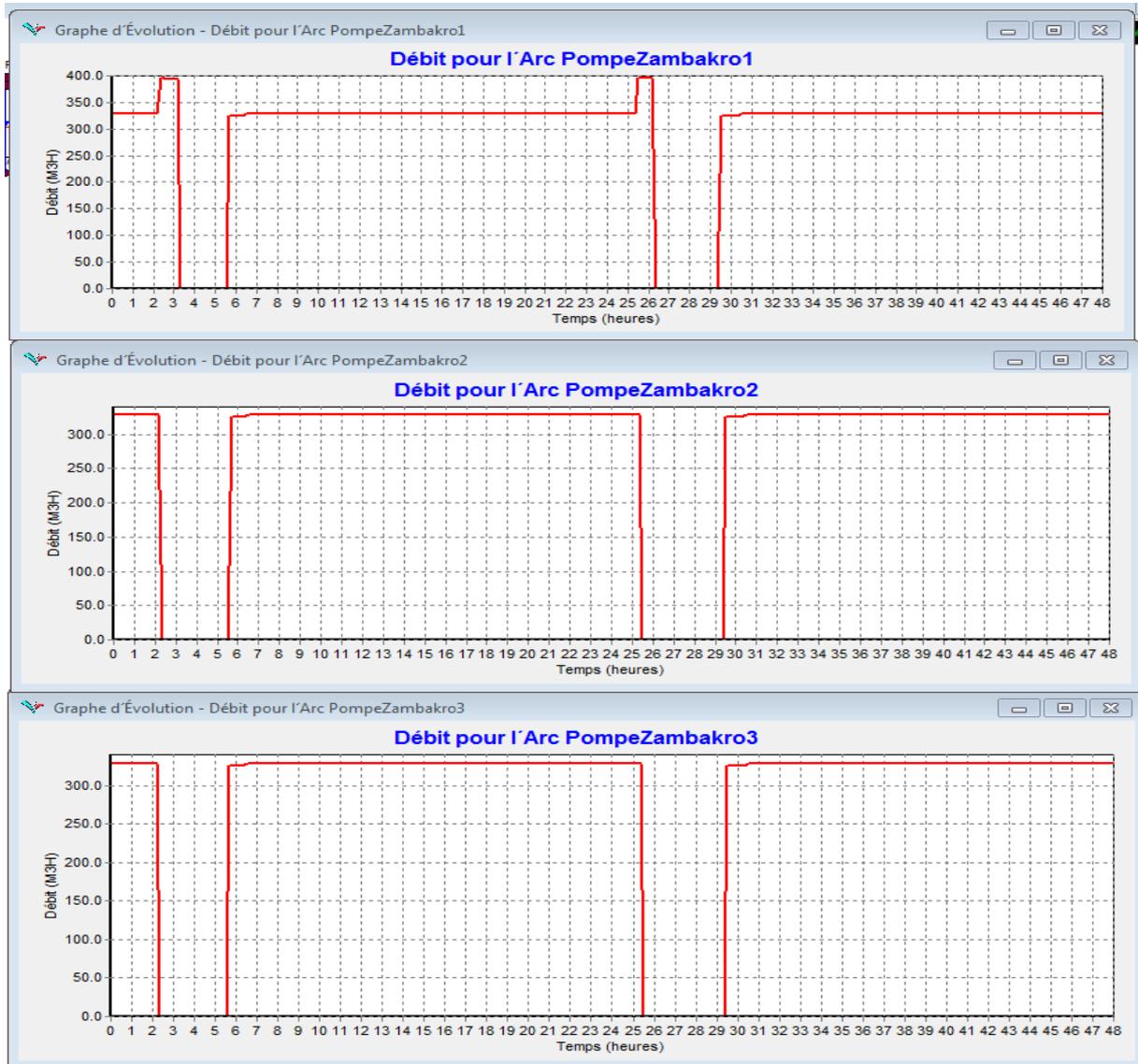


Figure 13: Graphes d'évolution du pompage de la station de pompage de Zambakro

Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

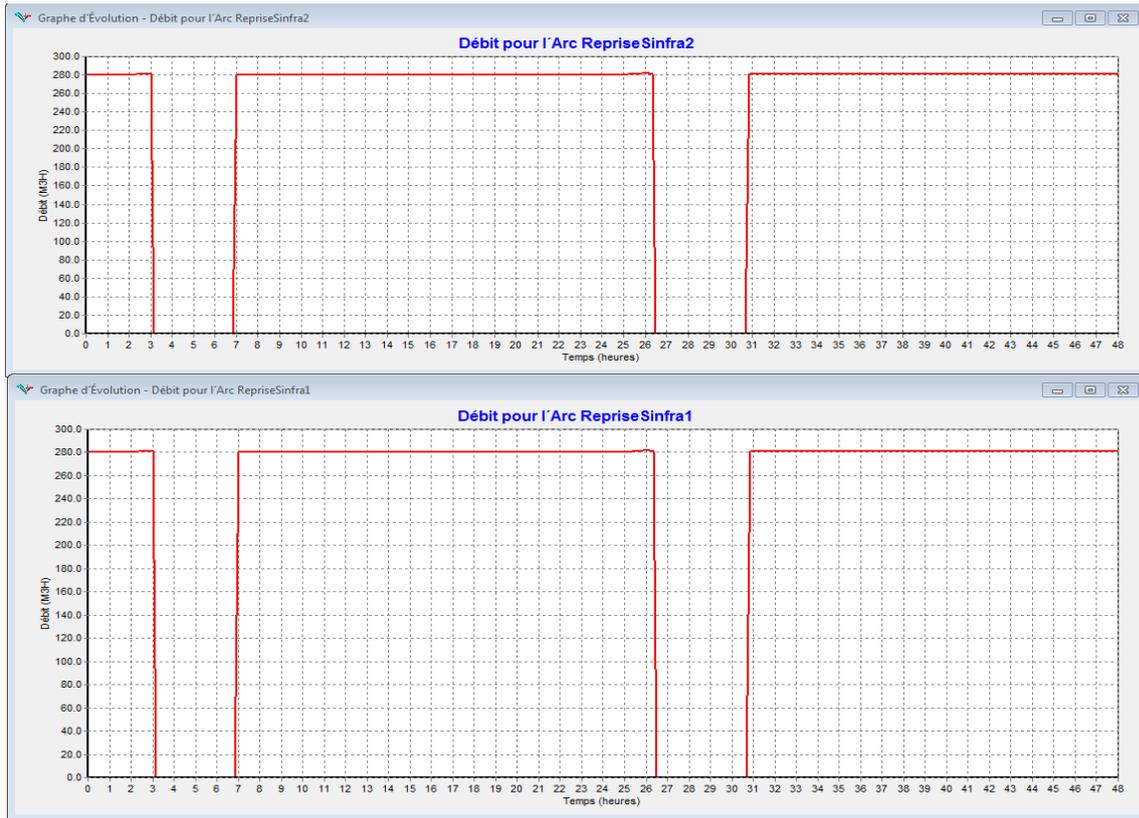


Figure 14: Graphes d'évolution du pompage de la station reprise de Sinfra

Par ailleurs les graphes ci-après montrent les conditions de remplissage des réservoirs principaux et secondaires à ce même horizon en jour moyen et en jour de pointe. On notera que la cote d'alimentation (trop plein) des réservoirs la plus élevée n'est pas celle du réservoir terminal de l'adduction principale de Gagnoa mais celle d'un réservoir château d'eau intermédiaire (Ouragahio) alimenté par l'adduction principale.

Une attention particulière sera apportée à la gestion de l'alimentation des châteaux d'eau et réservoirs afin que certaines canalisations d'adduction (voire des châteaux d'eau) ne se vident pas lors des périodes d'arrêt des pompes.

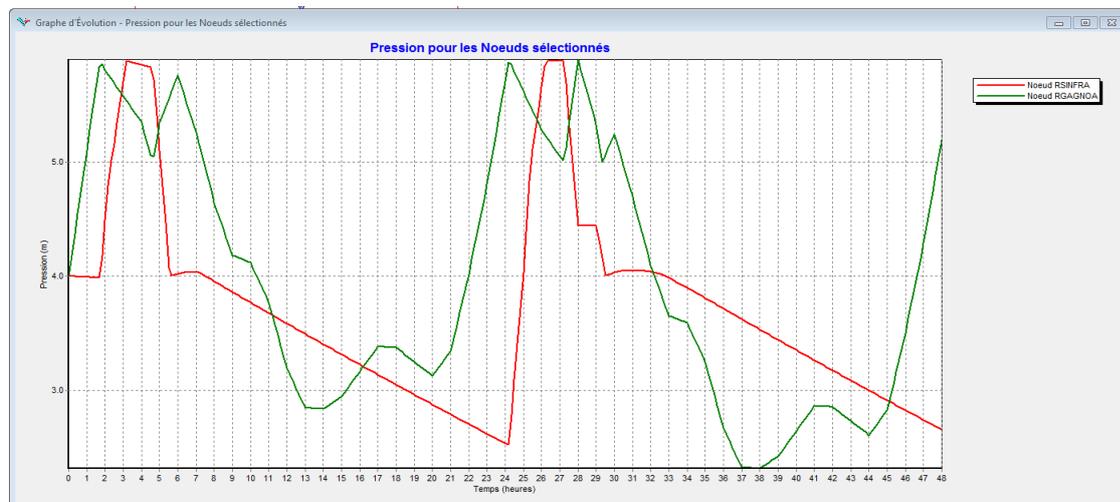


Figure 15: Graphes d'évolution du marnage des réservoirs principaux de Sinfra et Gagnoa

Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

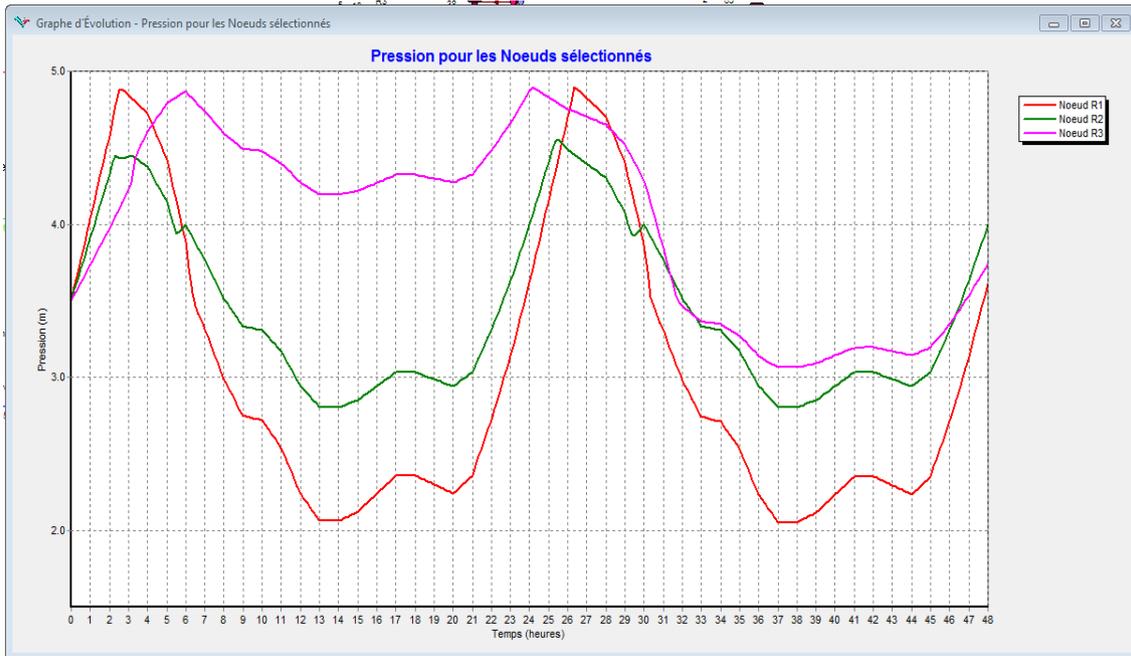


Figure 16: Graphes d'évolution du marnage des réservoirs secondaires- Tronçon Zambakro-Sinfra

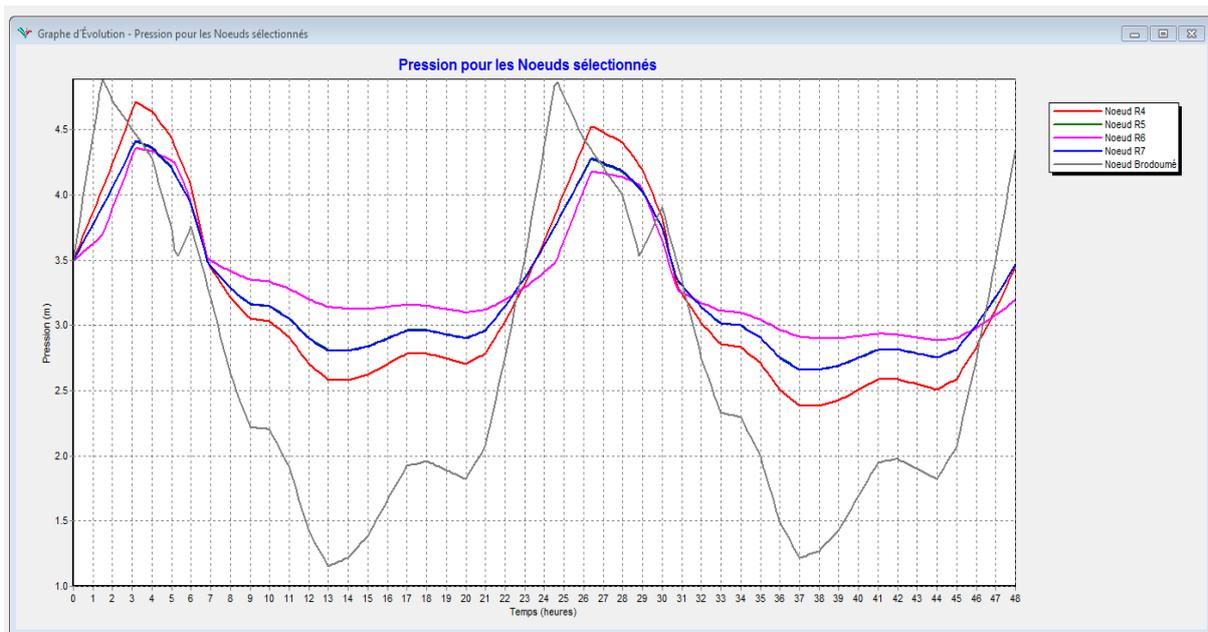


Figure 17: Graphes d'évolution du marnage des réservoirs secondaires- Tronçon Sinfra-Gagnoa

L'analyse des graphes que nos réservoirs se vident en heure de pointe (8h-13h) et se remplissent en heure creuse (21h-24h). On notera que leur autonomie est de 6h minimum. En revanche au-delà de 2025/2026 il sera nécessaire de programmer la construction d'une station de reprise intermédiaire sur chacun des 2 axes, Zambakro– Sinfra et Sinfra-Gagnoa, ceci en raison de l'accroissement des débits et des pertes de charge qui en résultent, afin de limiter la pression sur plusieurs sections à des valeurs compatibles avec la classe résistance des conduites. Ces dispositions sont illustrées par les 2 figures qui suivent qui montrent l'évolution de la ligne piézométrique aux horizons 2025, 2030 et 2035 sur chacun des axes considérés.

Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

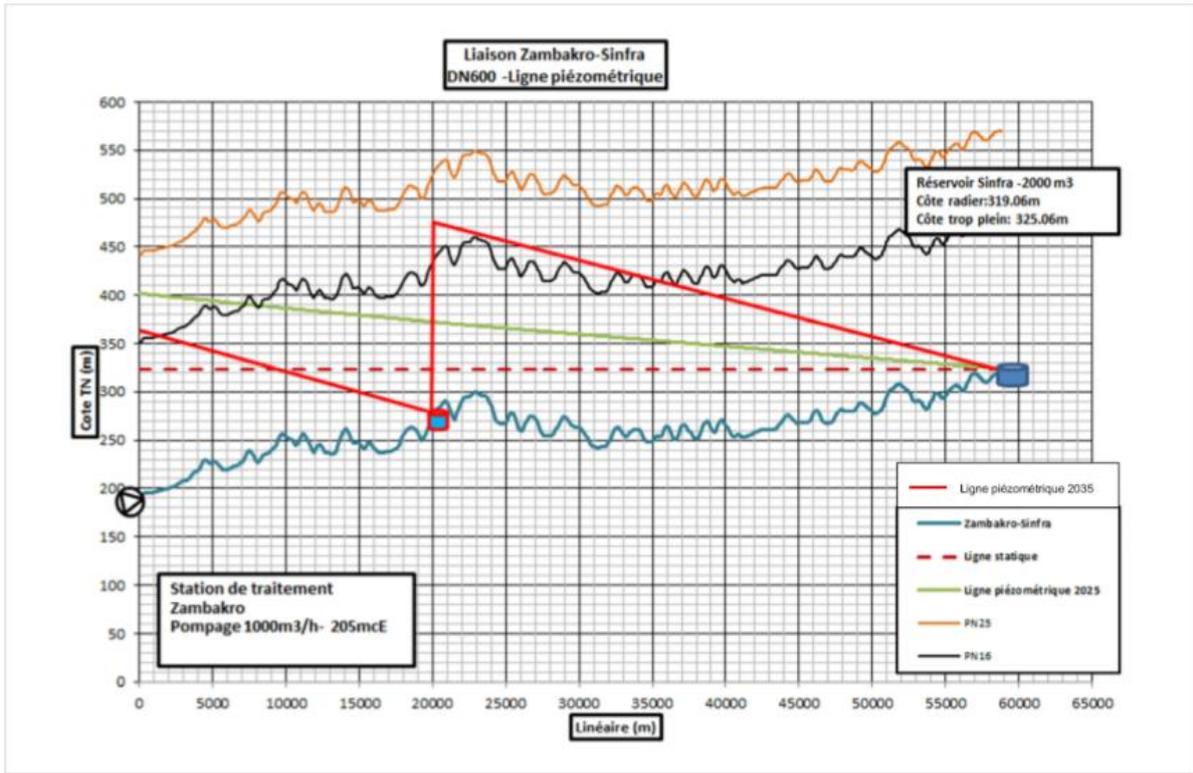


Figure 18: Profil piézométrique Zambakro-Sinfra des horizons 2025, 2030, 2035 avec ou sans station de reprise

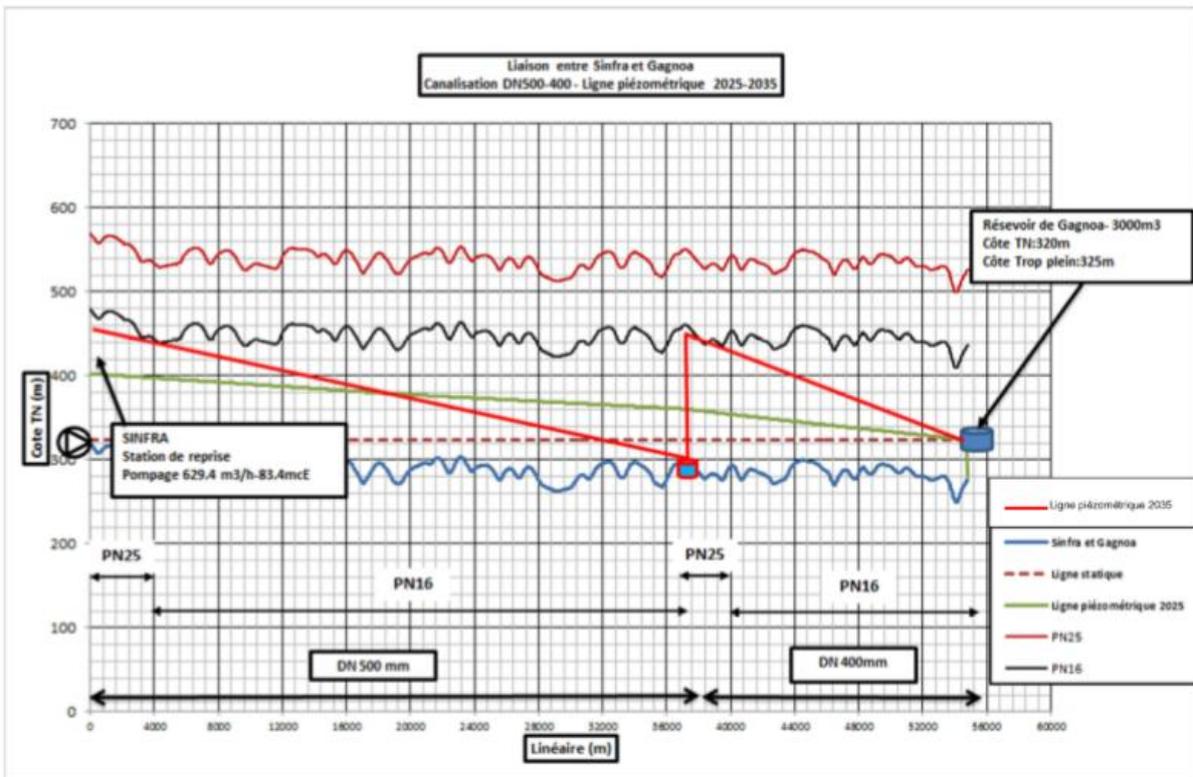


Figure 19: Profil piézométrique Sinfra-Gagnoa des horizons 2025, 2030, 2035 avec ou sans station de reprise

Les considérations précédentes amènent à s'interroger sur l'intérêt éventuel d'une construction de l'une ou l'autre des stations de reprise intermédiaires (ou des deux) dès la première phase. En programmant dès le départ la construction d'une station de reprise intermédiaire, l'évolution des capacités de pompage pourrait être assurée de façon flexible par ajout de groupes électropompes combinés éventuellement avec des dispositifs de variation de vitesse. En revanche, une réalisation différée de la station de reprise intermédiaire pourrait poser des problèmes plus complexes en matière d'adaptation/modification des équipements électromécaniques existants impliquant par exemple la nécessité d'un remplacement des groupes.

TROISIEME PARTIE – Analyse économique, environnementale et social du projet.

I- Analyse économique du système d'adduction principale

Il est légitime de se poser la question de savoir si un dimensionnement des lignes dans un diamètre supérieur n'aurait pas été plus avantageux au plan économique. Cette hypothèse a été testée à l'aide du modèle EPANET en examinant différentes options : DN700 au lieu de DN600 entre Zambakro et Sinfra, DN600 + DN500 au lieu de DN500 + DN400 entre Sinfra et Gagnoa. Un accroissement de diamètre induit une réduction de pertes de charges et par conséquent des économies d'énergie. Le calcul des consommations d'énergie et l'analyse des coûts et bénéfices à travers le calcul d'actualisation nous confirmerons laquelle des solutions est la plus avantageuse économiquement.

Cette note examine l'impact en termes économiques d'un accroissement de diamètre des lignes d'adduction principales, sous les cas de figure ci-après :

- Cas 1 : Ligne ZAMBAKRO – SINFRA en DN700 au lieu de DN600
- Cas 2 : Ligne SINFRA – GAGNOA en DN600 + DN500 au lieu de DN500 + DN400
- Cas 1 + 2 : correspond à la combinaison des 2 cas précédents.

Une augmentation de diamètre entraîne une réduction des pertes de charges et par conséquent des économies d'énergie de pompage.

La question est donc de savoir si ces économies d'énergie valent la peine au regard de l'investissement additionnel dû à l'accroissement de diamètre. La réponse peut être apportée par un calcul d'actualisation des coûts et bénéfices sur la période du schéma directeur

I.1 Calcul des consommations d'énergie

Les consommations d'énergie pour le fonctionnement des lignes d'adduction principales peuvent être calculées à l'aide du modèle EPANET en fonction du temps de pompage et de la puissance des pompes. Les résultats sont fournis à différentes échéances dans le tableau ci-après.

Année	Solution de base	Cas 1	Cas 2	Cas 1 + 2
2018	15 740	13 178	14 346	11 783
2025	19 718	16 607	17 750	14 639
2030	49 291	36 587	41 557	29 053
2035	76 146	56 249	58 084	42 587

Tableau 13: Consommation d'énergie en kwh/jr

I.2 .Analyses Cout- Bénéfices

Cette analyse est menée en comparant chaque cas à la solution de base. Il convient donc de déterminer l'investissement additionnel qu'il représente et les économies qu'il génère sur la

période du schéma directeur. L'investissement additionnel résulte du coût supplémentaire causé par le changement de diamètre. Il est estimé à

- 62 K FCFA/ml pour passage d'un DN600 à un DN700 ;
- 54 K FCFA/ml pour passage d'un DN500 à un DN600 ;
- 51 K FCFA/ml pour passage d'un DN400 à un DN500

Compte tenu des linéaires constituant la solution de base : 60 km de DN600, 37km de DN500 et 19 km de DN400 ; l'investissement additionnel est le suivant :

- Cas 1 : 3 720 M FCFA
- Cas 2 : 2 967 M FCFA
- Cas (1+2) : 6 687 M FCFA

Les économies d'énergie sont calculées pour chaque cas à partir des données de consommation du tableau ci-dessus par différence avec la solution de base. Elles sont valorisées par application du tarif du kWh pris égal à 74 FCFA.

Le tableau ci-après présente le flux des dépenses (investissement additionnel) et recettes (ici les économies d'énergie) pour chaque cas de figure avec calcul de la VAN pour des taux d'actualisation de 6% et 8%.

ANNEE	CAS 1 / SB	CAS 2 / SB	CAS (1+2) / S
2018	-3 720	-2 967	-6 687
2019	69	38	107
2020	72	40	112
2021	74	43	117
2022	77	45	122
2023	79	48	127
2024	82	51	132
2025	84	53	137
2026	136	83	219
2027	188	113	301
2028	239	143	383
2029	291	173	465
2030	343	203	547
2031	358	237	595
2032	373	270	643
2033	388	303	691
2034	403	336	739
2035	419	369	788
VAN 6%	-1 728	-1 603	-3 331
VAN 8%	-2 012	-1 796	-3 808

Tableau 14: Calcul de la VAN

Il ressort clairement du calcul ci-dessus qu'une augmentation de diamètre ne serait pas rentable au plan économique quel que soit le cas de figure considéré

II- Analyse environnementale et sociale

II.1 Impact environnementale et sociale du projet

II.1.1 Objectif et nécessité de l'étude d'impact environnementale et sociale

La réalisation du projet se fera dans un environnement physique et socio-économique présentant des enjeux tant positifs que négatifs. Pour tenir compte de ses enjeux dans la réalisation du projet, la présente étude environnementale a été réalisée, avec pour principales attentes, la minimisation des enjeux et impacts négatifs et l'optimisation/bonification des enjeux et impacts positifs.

De manière spécifique, l'EIES du projet a pour objectifs :

- ✓ l'identification et l'analyse des impacts (négatifs et positifs) du projet sur les composantes environnementales (biophysiques et socio-économiques) ;
- ✓ la proposition de mesures d'atténuation des impacts négatifs, et de bonification (optimisation) des impacts positifs ;

II.1.2 Impact potentiels du projet

Les principaux risques liés au projet sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

Caractérisation des impacts	Description de l'impact	Importance		
		Min	Moy	Maj
Phase de construction				
Positifs	les opportunités d'emplois pour les populations locales			x
	le développement des activités économiques à proximité des zones des travaux			x
Négatifs	la destruction de cultures et la mobilisation de parcelles foncières		x	
	La destruction de biens immobiliers et le démantèlement d'équipements souterrains		x	
	la perturbation du trafic, sur les axes routiers et des activités économiques	x		
	le risque d'altération du sol et de pollutions du sol et des eaux de surface	x		
	le risque d'envasement d'eau de surface et de zones marécageuses	x		
	l'altération de l'aspect visuel des zones des travaux	x		
	les nuisances liées aux bruits et aux poussières générées par les travaux	x		
	le risque d'atteinte des tombes des cimetières		x	
Phase d'exploitation				

Positif	l'amélioration des conditions de vie des populations liées à l'usage de l'eau potable			x
Négatif	la vulnérabilité quantitative d'eau à capter dans le fleuve Bandama au niveau de Zambakro		x	
	le risque de frustration des populations locales non couvertes par le projet	x		
	le risque potentiel de pollutions liées aux rejets (solides, liquides et atmosphériques) de la station de traitement		x	

Dans l'ensemble, ces impacts sont d'importance variant de mineure à majeur en passant par moyenne. Cependant, une attention particulière devra être accordée aux destructions de biens (cultures et biens immobiliers) et à la mobilisation du foncier afin de les traiter de manière adéquate et d'éviter toute déconvenue avec les populations locales.

II.2 Mesures d'atténuation des impacts potentiels du projet

L'atténuation et la bonification des aspects et impacts environnementaux liés au projet s'articuleront autour de cinq (05) principales mesures que sont :

- l'indemnisation des personnes dont les biens seront affectés par le projet ;
- l'organisation des travaux sur les chantiers et les sites du projet :
 - les compétences requises pour le traitement des aspects et impacts environnementaux (responsable Environnement – Hygiène - Sécurité et spécialiste en Génie Civil-Voirie) ;
 - l'exécution des travaux en tenant compte des aspects et impacts environnementaux :
 - balisage des périmètres des travaux avec des dispositifs de sécurité et d'information ;
 - emploi dans la mesure du possible des populations des zones des travaux pour la réalisation des tranchées (rendre effectif l'impact positif) ;
- la gestion des principaux rejets (solides, liquides et atmosphériques) de la station de traitement ;
- le contrôle de l'exploitation du fleuve Bandama ;
- lors de la phase 2 (réseau secondaire et tertiaire), la prise des mesures nécessaires par les autorités compétentes pour faire face au risque d'altération des conditions d'assainissement dans les zones qui seront desservies par le projet. (BURGEAP Côte d'Ivoire, 2010 ; Ministère du plan et du développement 2009).

La mise en œuvre de l'ensemble de ces mesures rendra mineurs voire négligeables les impacts négatifs et facilitera l'insertion du projet au niveau environnemental.

Conclusion et recommandations

Le but principal de cette étude a été de proposer un système d'adduction potable en prenant en compte les critères techniques économiques et socio-environnementaux. Dans les conditions retenues (de consommations spécifiques, d'augmentation du nombre de raccordements, de densification des quartiers et d'évolution démographique), le système d'adduction Zambakro-Sinfra-Gagnoa tel que prévu dans le cadre du projet RPE répond aux besoins en eau potable pour un horizon 2025 voire 2035. Les résultats de modélisation hydraulique montrent même que le diamètre des lignes d'adduction principale - à savoir DN600mm entre Zambakro et Sinfra, DN500mm entre Sinfra et Ouragahio et DN400mm entre Ouragahio et Gagnoa - est suffisant au plan hydraulique et économique pour répondre à l'évolution des besoins jusqu'à l'horizon 2035. Les vitesses restent dans des limites acceptables.

En revanche, au-delà de 2025, les pressions auxquelles sera soumise l'adduction deviennent trop importantes, dépassant 30 bars sur certains tronçons. Si jusqu'à l'horizon 2025/2026, le système peut fonctionner avec seulement 2 stations de reprise (l'une à la sortie de la bache d'eau traitée de la nouvelle usine de Zambakro et l'autre à la sortie du nouveau réservoir de Sinfra), il sera nécessaire après 2025 de programmer la construction de deux (2) stations de reprise intermédiaire sur les deux axes principaux, tout en prévoyant le remplacement des pompes proposées par des pompes de puissance plus élevée.

D'autre part une attention particulière sera apportée à la gestion de l'alimentation des réservoirs afin que certaines canalisations d'adduction ou réservoirs ne se vident pas dans d'autres lors des périodes d'arrêt des pompes sur les deux axes du projet. On notera également la proposition de modification de l'implantation du réservoir de Gagnoa à 3,10 km en amont de Gagnoa à la cote 272.25m permettant d'optimiser les coûts d'exploitation du futur système et de distribuer gravitairement la ville et les localités environnantes. Cependant le dimensionnement des distributions secondaires fait partie intégrante de la structure régionale du système elle fera l'objet d'une étude complémentaire où il s'agira d'améliorer le réseau de distribution au sein même des centres principaux alimentés.

Par ailleurs le projet dans son ensemble, certes présente des impacts négatifs potentiels et des risques, cependant, a un important impact majeur, celui de bonifier les productions actuelles d'eau potable et d'améliorer les conditions socio-économiques des populations bénéficiaires. Aussi, la totalité des impacts est maîtrisable (suivant des recommandations formulées dans la présent étude), d'où l'acceptabilité environnementale du projet.

Bibliographie

- (ASTEE), A. s. (2006). *Les stations de pompage d'eau 6ème édition*. TEC&DOC.
- AFNOR. (2000). *Norme Européenne NF EN 805*. PARIS: AFNOR.
- développement, M. d. (2009). *Document Stratégique de Réduction de la pauvreté (DSRP)*. Abidjan: Ministère du plan et du développement .
- d'Ivoire, B. C. (2010). *Etude d'impact environnemental et social du Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de Sinfra à partir de Yamoussoukro*. Abidjan: BURGEAP Cote d'Ivoire.
- EGIS . (2014). *Rapport Schéma directeur régionale simplifiée*. Abidjan: EGIS.
- Egis. (2013). *Rapport d'activité dans le cadre du FASEP*. Abidjan: Egis.
- Gagnoa, M. d. (2014). *Monographie de la ville Gagnoa*. Gagnoa: Mairie de Gagnoa.
- KSB. (2016, Mars 21). *KSB EasySelect*. Récupéré sur KSB EasySelect: <http://www.ksbeasyselect.fr>
- Lévêque, C., Dejoux, C., & Iltis, A. (1983). Limnologie du fleuve Bandama. *Hydrobiologica*, 113-141.
- Office de la recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer. (1971). *Mileu Naturel de la Cote d'ivoire*.
- PAM SAINT GOBAIN. (2004). *Adduction d'eau potable et l'irrigation tuyaux et raccords en fonte ductile*. Paris: PAM.
- Sinfra, M. d. (2014). *Présentation de la commune de Sinfra*. Sinfra: Mairie de Sinfra.
- SODECI. (2013). *Rapport de définition des ressources et des besoins en eau des villes de Sinfra et Gagnoa*. Abidjan: SODECI.

ANNEXES

ANNEXES	50
ANNEXE1 : TABLEAU DE PROJECTION PAR LOCALITE-OBJECTIF DE DESSERTE 1 ^{ERE} ET 2EME PHASE -ZONE RPE.....	51
ANNEXE 2 : TABLEAU ESTIMATION DE LA DEMANDE DE PRODUCTION PHASE 1&2- ZONE RPE	53
ANNEXE3 : SCHEMA D'ETAGEMENT DU SYSTEME D'ADDUCTION EN EAU POTABLE..	56
ANNEXE 4 : TABLEAU RECAPITULATIF DES DIFFERENTS DEBITS TRANSITES	57
ANNEXE 5 : FEUILLE DE CALCUL DE PERTES DE CHARGES ET DE LONGUEURS DE VERROUILLAGES.....	58
ANNEXE 6 : SCHEMA DU RESEAU ZAMBAKRO- SINFRA ET SINFRA-GAGNOA SUR CEBELMAIL	61
ANNEXE 7 : EVOLUTION DES VOLUMES D'AIR DANS LES BALLONS ANTI BELIER ZAMBAKRO ET SINFRA	62
ANNEXE 8 : DETAILS DES PERFORMANCES DES JOINTS EN FONTE DUCTILE.....	63
ANNEXE 9 : SCHEMA DE MODELISATION EPANET HORIZON 2025	64
ANNEXE 10 : TRACE DU RESEAU GOOGLE EARTH ET LOCALISATION DES SOUS-SYSTEMES.....	65
ANNEXES 11 : COMMANDES SIMPLES ET ELABOREES EPANET.....	71
ANNEXE 12 : CHAMBRES TYPES VENTOUSE, VIDANGE, VANNE DE SECTIONNEMENT	72
ANNEXES 13: ORGAGNIGRAMME DE LA DIRECTION DES ETUDES SADE CGTH.....	75

Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

Annexe1 : Tableau de projection par localité-Objectif de desserte 1^{ère} et 2^{ème} Phase -Zone RPE

LOCALITES	Projection de population					Objectif taux de desserte				Projection population desservie			
	2014	2020	2025	2030	2035	2020	2025	2030	2035	2020	2025	2030	2035
Bazre	11 392	13 134	14 644	16 168	17 676	75%	80%	90%	95%	9 851	11 715	14 551	16 793
Bounafla	1 275	1 470	1 639	1 810	1 978	75%	80%	90%	95%	1 102	1 311	1 629	1 879
Gohouo	2 471	2 849	3 176	3 507	3 834	75%	80%	90%	95%	2 137	2 541	3 156	3 642
Kayéta	3 121	3 598	4 012	4 429	4 843	75%	80%	90%	95%	2 699	3 210	3 986	4 601
Kononfla	23 310	26 875	29 964	33 082	36 169	75%	80%	90%	95%	20 156	23 971	29 774	34 361
Djénédoufla	1 707	1 968	2 194	2 423	2 649	75%	80%	90%	95%	1 476	1 755	2 180	2 516
Sanegourifla	4 685	5 401	6 022	6 649	7 269	75%	80%	90%	95%	4 051	4 818	5 984	6 906
Zaménafla	2 803	3 232	3 603	3 978	4 349	75%	80%	90%	95%	2 424	2 882	3 580	4 132
Sinfra	80 658	92 992	103 682	114 473	125 153	75%	80%	90%	95%	69 744	82 945	103 026	118 895
Bayota	12 573	14 496	16 162	17 844	19 509	75%	80%	90%	95%	10 872	12 930	16 060	18 533
Zahibohio	1 665	1 920	2 140	2 363	2 583	75%	80%	90%	95%	1 440	1 712	2 127	2 454
Gbigbikou	1 416	1 633	1 820	2 010	2 197	75%	80%	90%	95%	1 224	1 456	1 809	2 087
Zébizekou	1 118	1 289	1 437	1 587	1 735	75%	80%	90%	95%	967	1 150	1 428	1 648
Bodocipa	896	1 033	1 152	1 272	1 390	75%	80%	90%	95%	775	921	1 144	1 321
Krogbopa	1 564	1 803	2 010	2 220	2 427	75%	80%	90%	95%	1 352	1 608	1 998	2 305
Oundjibipa	1 032	1 190	1 327	1 465	1 601	75%	80%	90%	95%	892	1 061	1 318	1 521
Mama	2 208	2 546	2 838	3 134	3 426	75%	80%	90%	95%	1 909	2 271	2 820	3 255
Ouragahio	11 253	12 974	14 465	15 971	17 461	75%	80%	90%	95%	9 730	11 572	14 374	16 588
Gnalepia	1 014	1 169	1 303	1 439	1 573	75%	80%	90%	95%	877	1 043	1 295	1 495
Kpapékou	3 480	4 013	4 474	4 940	5 400	75%	80%	90%	95%	3 010	3 579	4 446	5 130
Gagnoa	160 465	185 004	206 269	227 738	248 986	75%	80%	90%	95%	138 753	165 015	204 964	236 536
Gnahio dégoué	621	716	798	881	964	75%	80%	90%	95%	537	639	793	915
OnyBabré	747	861	960	1 060	1 159	75%	80%	90%	95%	646	768	954	1 101
OnyTabré	797	919	1 025	1 131	1 237	75%	80%	90%	95%	689	820	1 018	1 175
Daliguepa	206	238	265	292	320	75%	80%	90%	95%	178	212	263	304
Mahidio	717	827	922	1 018	1 113	75%	80%	90%	95%	620	737	916	1 057
Tiepa	1 217	1 403	1 564	1 727	1 888	75%	80%	90%	95%	1 052	1 252	1 554	1 794
Bayekou Bassi	771	889	991	1 094	1 196	75%	80%	90%	95%	667	793	985	1 137
Dobrépa-Koussépa	910	1 049	1 170	1 292	1 412	75%	80%	90%	95%	787	936	1 162	1 341
Djeddigbeupa	786	906	1 010	1 116	1 220	75%	80%	90%	95%	680	808	1 004	1 159
Dahiepa Kehi	1 880	2 167	2 417	2 668	2 917	75%	80%	90%	95%	1 626	1 933	2 401	2 771
Kehi Gbahi	1 719	1 982	2 210	2 440	2 667	75%	80%	90%	95%	1 486	1 768	2 196	2 534

Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

Zegrepa	806	929	1 036	1 144	1 251	75%	80%	90%	95%	697	829	1 030	1 188
Badiepa	1 344	1 550	1 728	1 907	2 085	75%	80%	90%	95%	1 162	1 382	1 717	1 981
Pissekou	4 665	5 378	5 997	6 621	7 238	75%	80%	90%	95%	4 034	4 797	5 959	6 877
Mabehi Gouepa	2 272	2 619	2 921	3 225	3 525	75%	80%	90%	95%	1 965	2 336	2 902	3 349
Biakou	3 020	3 482	3 882	4 286	4 686	75%	80%	90%	95%	2 611	3 106	3 857	4 452
Brodoumé	2 005	2 312	2 577	2 846	3 111	75%	80%	90%	95%	1 734	2 062	2 561	2 956
Siégouékou	1 802	2 078	2 316	2 557	2 796	75%	80%	90%	95%	1 558	1 853	2 302	2 656

Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

Annexe 2 : Tableau estimation de la demande de production phase 1&2-Zone RPE

LOCALITES	Besoins domestiques (m3/J)				Besoins non dom. (m3/J)				Pertes (m3/J)				Besoins totaux (m3/J)			
	2020	2025	2030	2035	2020	2025	2030	2035	2020	2025	2030	2035	2020	2025	2030	2035
BRANCHE B1													484	575	714	825
Bazre	296	351	437	504	44	53	65	76	60	71	89	102	400	475	591	682
Bounafla	22	26	33	38	2	3	3	4	4	5	6	7	29	34	42	49
Gohouo	43	51	63	73	4	5	6	7	8	10	12	14	55	66	82	94
BRANCHE B2													924	1098	1364	1574
Kayéta	54	64	80	92	5	6	8	9	10	12	15	18	70	83	103	119
Kononfla	605	719	893	1 031	121	144	179	206	128	152	189	218	854	1 015	1 261	1 455
BRANCHE B3													211	250	311	359
Djénédoufla	30	35	44	50	3	4	4	5	6	7	8	10	38	45	56	65
Sanegourifla	81	96	120	138	12	14	18	21	16	20	24	28	110	130	162	187
Zaménafla	48	58	72	83	5	6	7	8	9	11	14	16	63	75	93	107
BRANCHE B4/C1,C2,C3													4103	6688	9300	10836
Sinfra	2 790	4609	6446	7516	697	1077	1459	1 694	615	1002	1 396	1634	4 103	6688	9300	10836
BRANCHE B5 /C5													441	985	1721	2225
Bayota	326	729	1276	1649	49	107	186	242	66	149	258	334	441	985	1721	2225
BRANCHE B6 /C6													69	296	544	625
Zahibohio	29	192	370	424	3	27	53	61	6	39	74	86	37	258	497	571
Gbigbikou	24	29	36	42	2	3	4	4	5	6	7	8	32	38	47	54
BRANCHE B7													153	181	225	260
Zébizekou	19	23	29	33	2	2	3	3	4	4	6	6	25	30	37	43
Bodocipa	15	18	23	26	2	2	2	3	3	4	4	5	20	24	30	34

Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

Krogbopa	27	32	40	46	3	3	4	5	5	6	8	9	35	42	52	60
Oundjibipa	18	21	26	30	2	2	3	3	3	4	5	6	23	27	34	39
Mama	38	45	56	65	4	5	6	7	7	9	11	13	49	59	73	84
BRANCHE B8 ,C8,C9													418	1012	1799	2213
Ouragahio	292	731	1309	1598	44	107	181	234	59	147	266	324	395	985	1756	2156
Gnalepia	18	21	26	30	2	2	3	3	3	4	5	6	23	27	34	39
BRANCHE B9,C7													78	200	335	392
Krapékou	60	152	254	293	6	18	31	40	12	30	50	59	78	200	335	392
BRANCHE B10 ,C4,C10,C11													9 251	7767	13666	15 771
Gagnoa	6 244	7 426	9 223	10 644	1 561	1 856	2 306	2 661	1 377	1 638	2 035	2 348	9 182	10920	13 564	15 653
(Prise en compte de la prod. Actuelle)	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Gnahio dégoué	11	13	16	18	1	1	2	2	2	2	3	4	14	17	21	24
OnyBabré	13	15	19	22	1	2	2	2	3	3	4	4	17	20	25	28
OnyTabré	14	16	20	23	1	2	2	2	3	3	4	5	18	21	26	30
Daliguepa	4	690	1422	1631	0	107	223	262	1	141	289	334	5	938	1934	2227
Mahidio	12	650	1326	1520	1	71	165	190	2	128	268	301	16	849	1759	2011
BRANCHE B11													82	98	122	141
Tiepa	21	25	31	36	2	3	3	4	4	5	6	7	27	32	40	46
Bayekou Bassi	13	16	20	23	1	2	2	2	3	3	4	4	17	21	25	29
Dobrépa-Koussépa	16	19	23	27	2	2	2	3	3	4	5	5	20	24	30	35
Djededigbeupa	14	16	20	23	1	2	2	2	3	3	4	4	18	21	26	30
BRANCHE B12													441	525	652	753
Dahiepa Kehi	33	39	48	55	3	4	5	6	6	8	9	11	42	50	62	72

Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

Kehi Gbahi	30	35	44	51	3	4	4	5	6	7	9	10	38	46	57	66
Zegrepa	14	17	21	24	1	2	2	2	3	3	4	5	18	21	27	31
Badiepa	23	28	34	40	2	3	3	4	5	5	7	8	30	36	44	51
Pissekou	81	96	119	138	12	14	18	21	16	19	24	28	109	130	161	186
Mabehi Gouepa	39	47	58	67	4	5	6	7	8	9	11	13	51	60	75	87
Biakou	52	62	77	89	5	6	8	9	10	12	15	17	68	80	100	115
Brodoumé	35	41	51	59	3	4	5	6	7	8	10	11	45	53	66	76
Siégouékou	31	37	46	53	3	4	5	5	6	7	9	10	40	48	60	69
Besoins projet (m3/J) :													16 654	24675	34415	40159

Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

Annexe 4 : Tableau récapitulatif des différents débits transités

Tronçons	Linéaires(m)		Soutirages(m3/h)	Côtes TN points de piquage adduction secondaire et		ZONES DESSERVIES	Besoins projet (m3/jr)	Débit transité (m3/h)	Diamètre (mm) proposé
	Principale	Secondaire		Station de Traitement	191,96				
Station de Traitement-P1	9480			Station de Traitement	191,96	Station de Traitement: ZAMBAKRO	20000	1000	600
P1-R1/Branche B1		275,5	28,75	P1	251,75	BOUNAFILA,BAZRE, GOHOUE	575	28,75	150
P1-P2	13505			R1	258,45			971,25	600
P2-R2/Branche B2		437,37	54,9	P2	299,35	KAYETA,KONONFLA	1098	54,9	150
P2-P3	24882			R2	307,37			916,35	600
P3-R3/Branche B3		50	12,5	P3	281,8	DJENEDOUFLA,SANGOU RIFLA,ZAMENAFILA	250	12,5	100/150
P3-SINFRA	10947			R3	281,8			903,85	600
SINFRA/Branche B4			334,5	SINFRA/Branche B4	319,06; 319,09	SINFRA	6690	334,5	
SINFRA-P4	18450			SINFRA				569,35	500
P4-R4/Branche B5		1606	49,1	P4	290,58	BAYOTA	982	49,1	150/250
P4-P5	4700			R4	299,15			520,25	500
P5-R5/Branche B6		50	14,8	P5	303,29	ZAHIBOHIO,GBIGBIKOU	296	14,8	100
P5-P6	13950			R5	303,29			505,45	500
P6-R6/Branche (B7+B8)		258,45	85,95	P6	300,71	OURAGAHIO,GNALEPIA, ZEBIZEKOU,BODOCIPA, MAMA, BRODOUME,BIAKOU ZEGREPA	1719 (dont 525 refoulement vers R8- BRODOUME)	85,95	250
R6 (Ouragahio) vers BRODOUME- Branche B12		9100	26,25	R8	318,98			26,25	150
P6-P7	6800			R6	307,98			419,5	400
P7-R7/Branche (B9+11)		326,272	14,9	P7	293,97	KPAPEKOU,TIEPA,DJEHE DIGPEUBA	298 (dont 98 refoulement vers R9- TIEPA)	14,9	150
R7 (KPAPEKOU) vers TIEPA - Branche 11		1075	4,9	R9	296,25			4,9	150
P7-GAGNOA	10900			R7	312,29			404,6	400
GAGNOA/Branche B10			388,35	GAGNOA	275,73	GAGNOA,DALIGUEPA, MAHIDIO	7767	388,35	500/400
TOTAL	113614						19675		

Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

Annexe 5 : Feuille de calcul de pertes de charges et de longueurs de verrouillages

		Conduite	DN600		
Pertes de charge totales Zambakro-Sinfra				77.07 mCE	
Rugosité de la conduite		0.20 mm			
Tronçon 1	P0 - P 1				
	Pk amont	0	ml		
	Pk aval	9 480.04	ml		
	Linéaire	9 480.04	ml		
	Débit tronçon N	1 000.00	m3/h		
	Diamètre int. du tuyau	600.0	mm		
	Vitesse du fluide	0.982	m/s		
	V ² /2g	0.049	mCE		
	Pertes de charge linéaires	12.71	mCE		
	Pertes de charge singulières	10	%	pertes de charges linéaires	
	Pertes de charge singulières	1.27	mCE		
	Pertes de charge totales			13.98 mCE	
				0.00148 m/m	
Rugosité de la conduite		0.20 mm			
Tronçon 2	P1- P 2				
	Pk amont	9 480.04	ml		
	Pk aval	22 985.11	ml		
	Linéaire	13 505.07	ml		
	Débit tronçon N	971	m3/h		
	Diamètre int. du tuyau	600	mm		
	Vitesse du fluide	0.954	m/s		
	V ² /2g	0.046	mCE		
	Pertes de charge linéaires	17.11	mCE		
	Pertes de charge singulières	10	%	pertes de charges linéaires	
	Pertes de charge singulières	1.71	mCE		
	Pertes de charge totales			18.82 mCE	
				0.00139 m/m	
Rugosité de la conduite		0.20 mm			
Tronçon 3	P 2 - P3				
	Pk amont	22 985.11	ml		
	Pk aval	47 867.53	ml		
	Linéaire	24 882.42	ml		
	Débit tronçon N	916	m3/h		
	Diamètre int. du tuyau	600	mm		
	Vitesse du fluide	0.900	m/s		
	V ² /2g	0.041	mCE		
	Pertes de charge linéaires	28.17	mCE		
	Pertes de charge singulières	10	%	pertes de charges linéaires	
	Pertes de charge singulières	2.82	mCE		
	Pertes de charge totales			30.98 mCE	
				0.00125 m/m	
Rugosité de la conduite		0.2 mm			
Tronçon 4	P 3 - Sinfra				
	Pk amont	47 867.53	ml		
	Pk aval	58 815.23	ml		
	Linéaire	10 947.70	ml		
	Débit tronçon N	903.85	m3/h		
	Diamètre int. du tuyau	600	mm		
	Vitesse du fluide	0.888	m/s		
	V ² /2g	0.040	mCE		
	Pertes de charge linéaires	12.07	mCE		
	Pertes de charge singulières	10	%	pertes de charges linéaires	
	Pertes de charge singulières	1.21	mCE		
	Pertes de charge totales			13.27 mCE	
				0.00121 m/m	
				Hgéo	127.1 mCe
				HMT	204.17 mCe
				Puissance hydraulique	347.7
				Conso spécifique	0.695

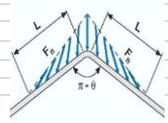
Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

		DN500-400			
Perte de charge totale				78.67 mCE	
Rugosité de la conduite				0.20 mm	
Tronçon 1	Sinfra - P4				
	Pk amont	0	ml		
	Pk aval	18 450.00	ml		
	Linéaire	18 450.00	ml		
	Débit tronçon N	569.35	m3/h		
	Diamètre int. du tuyau	500	mm		
	Vitesse du fluide	0.805	m/s		
	V ² /2g	0.033	mCE		
	Pertes de charge linéaires	21.03	mCE		
	Pertes de charge singulières	10	%	pertes de charges linéaires	
	Pertes de charge singulières	2.10	mCE		
	Pertes de charge totales			23.13	mCE
				0.00125	m/m
Rugosité de la conduite				0.20 mm	
Tronçon 2	P 4 - P 5				
	Pk amont	18 450.00	ml		
	Pk aval	23 150.00	ml		
	Linéaire	4 700.00	ml		
	Débit tronçon N	520.25	m3/h		
	Diamètre int. du tuyau	500	mm		
	Vitesse du fluide	0.736	m/s		
	V ² /2g	0.028	mCE		
	Pertes de charge linéaires	4.50	mCE		
	Pertes de charge singulières	10	%	pertes de charges linéaires	
	Pertes de charge singulières	0.45	mCE		
	Pertes de charge totales			4.95	mCE
				0.00105	m/m
Rugosité de la conduite				0.20 mm	
Tronçon 3	P 5 - P 6				
	Pk amont	23 150.00	ml		
	Pk aval	37 100.00	ml		
	Linéaire	13 950.00	ml		
	Débit tronçon N	505	m3/h		
	Diamètre int. du tuyau	500	mm		
	Vitesse du fluide	0.715	m/s		
	V ² /2g	0.026	mCE		
	Pertes de charge linéaires	12.63	mCE		
	Pertes de charge singulières	10	%	pertes de charges linéaires	
	Pertes de charge singulières	1.26	mCE		
	Pertes de charge totales			13.90	mCE
				0.00100	m/m
Rugosité de la conduite				0.2 mm	
Tronçon 4	P6 - P7				
	Pk amont	37 100.00	ml		
	Pk aval	43900	ml		
	Linéaire	6800	ml		
	Débit tronçon N	419.5	m3/h		
	Diamètre int. du tuyau	400	mm		
	Vitesse du fluide	0.92729938	m/s		
	V ² /2g	0.04382692	mCE		
	Pertes de charge linéaires	13.3722202	mCE		
	Pertes de charge singulières	10	%	pertes de charges linéaires	
	Pertes de charge singulière	1.33722202	mCE		
	Pertes de charge totales			14.7094422	mCE
				0.00216315	m/m
Rugosité de la conduite				0.2 mm	
Tronçon 5	P 7- Gagnoa				
	Pk amont	43 900.00	ml		
	Pk aval	54 800.00	ml		
	Linéaire	10900	ml		
	Débit tronçon N	404.60	m3/h		
	Diamètre int. du tuyau	400.00	mm		
	Vitesse du fluide	0.89436312	m/s		
	V ² /2g	0.04076888	mCE		
	Pertes de charge linéaires	19.9842078	mCE		
	Pertes de charge singulières	10.00	%	pertes de charges linéaires	
	Pertes de charge singulière	1.99842078	mCE		
	Pertes de charge totales			21.9826286	mCE
				0.00201675	m/m
				Hgeo	5.00
				HMT	83.67
				Puissance hydraulique	81.1266833
				Conso spécifique	0.29391457

Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

I - Hypothèses de calcul:

Masse volumique du remblai: $\gamma = 1900.00 \text{ daNm}^3$
 Masse volumique déjaugé du remblai: $\gamma' = 1100.00 \text{ daNm}^3$
 Angle de frottement interne du remblai: $\phi = 30.00 \text{ degrés}$
 Pression d'épreuve: $P = 25.00 \text{ bars}$



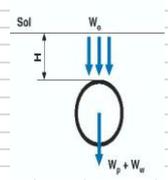
II - Principe du calcul:

Le calcul s'effectue suivant la méthode d'Alabama:

Longueur à verrouiller: $L = \frac{P \times S}{F_n} \times \left(\frac{\pi - \theta}{2} \right) \times \tan \frac{\theta}{2} \times c$

avec:

- L : Longueur à verrouiller
- P : Pression d'épreuve
- S : Section transversale
- θ : Angle du coude
- F_n : Force de frottement par mètre de tuyau
- c : Coefficient de sécurité $c = 1.20$



Force de frottement: $F_n = K \times f \times (2 \times \alpha \times W_e + W_p + W_w)$

avec:

- W_p : Poids métrique du tuyau vide, éventuellement déjaugé
- W_w : Poids métrique de l'eau, éventuellement déjaugé
- W_e : Poids métrique du remblai, éventuellement déjaugé
- f : Coefficient de frottement sol/tuyau
- K : Coefficient suivant compactage (1,1 à 1,5) = 1.25
- α : 2/3 si joints découverts, 1 sinon $\alpha = 1.00$

Frottement sol/tuyau: $f = \alpha \times \tan(0,8 \times \phi)$

avec: type de revêtement **standard**

$\alpha_2 = 1.00$

$K \times f = 0.56$ (maxi 0.3 avec manche PE)

Majoration de L = 1.00

type de revêtement	α_2	K x f	majoration de L
manche PE	0.666666667	0.30	1.86
revêtement PE/PU	0.666666667	0.37	1.5
standard	1	0.56	1

$K \times f = Min \left(K \times \frac{2}{3} \tan(0,8 \times \phi), 0,3 \right)$

III - Tableau de résultats:

SITUATION			TUYAU						ENVIRONNEMENT			RESULTATS	ETAPES CALCUL						
Nb	Obstacle	θ (degrés)	DN (mm)	Diamètre intérieur emboîtement (mm)	Diamètre extérieur DE (mm)	Epaisseur e (mm)	S (cm2)	Poids du tuyau vide (daNm)	$W_p + W_w$ (daNm)	Hauteur de couverture H (m)	Profondeur de la nappe WL (m)	W_e (daNm)	F_n (daNm)	L (m)	L total (ml)	R (m)	d (m)	V(R2-d2)	A (m2)
0	PP/ Tê	180.00	600	638	635	9.90	2972.5	170	467.3	1.00	10.00	1206.5	1603.0	59.83	0.00	0.318	0.318	0.000	0.000
0	coude 1/4	90.00	600	638	635	9.90	2972.5	170	467.3	1.00	10.00	1206.5	1603.0	46.99		0.318	0.318	0.000	0.000
44	coude 1/8	45.00	600	638	635	9.90	2972.5	170	467.3	1.00	10.00	1206.5	1603.0	29.20	2 569.31	0.318	0.318	0.000	0.000
0	coude 1/16	22.50	600	638	635	9.90	2972.5	170	467.3	1.00	10.00	1206.5	1603.0	16.36		0.318	0.318	0.000	0.000
0	coude 1/32	11.25	600	638	635	9.90	2972.5	170	467.3	1.00	10.00	1206.5	1603.0	8.68		0.318	0.318	0.000	0.000
2569.31																			
arrondi															2600.00				

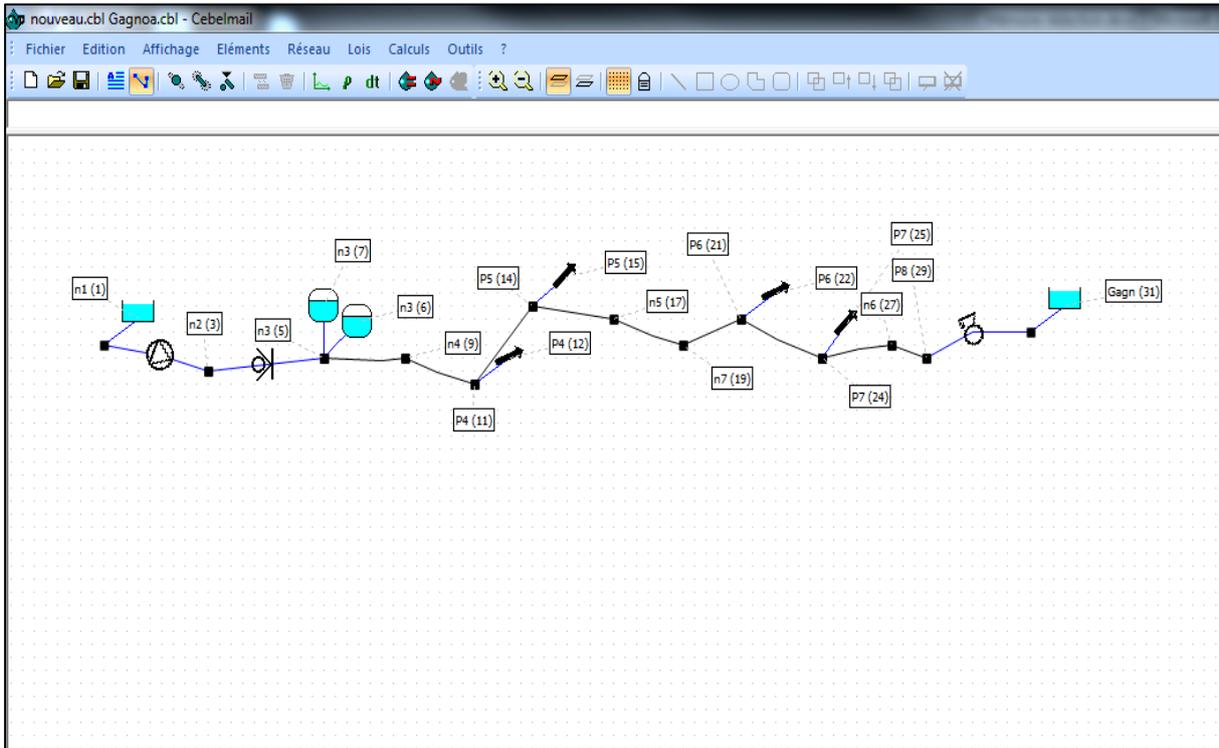
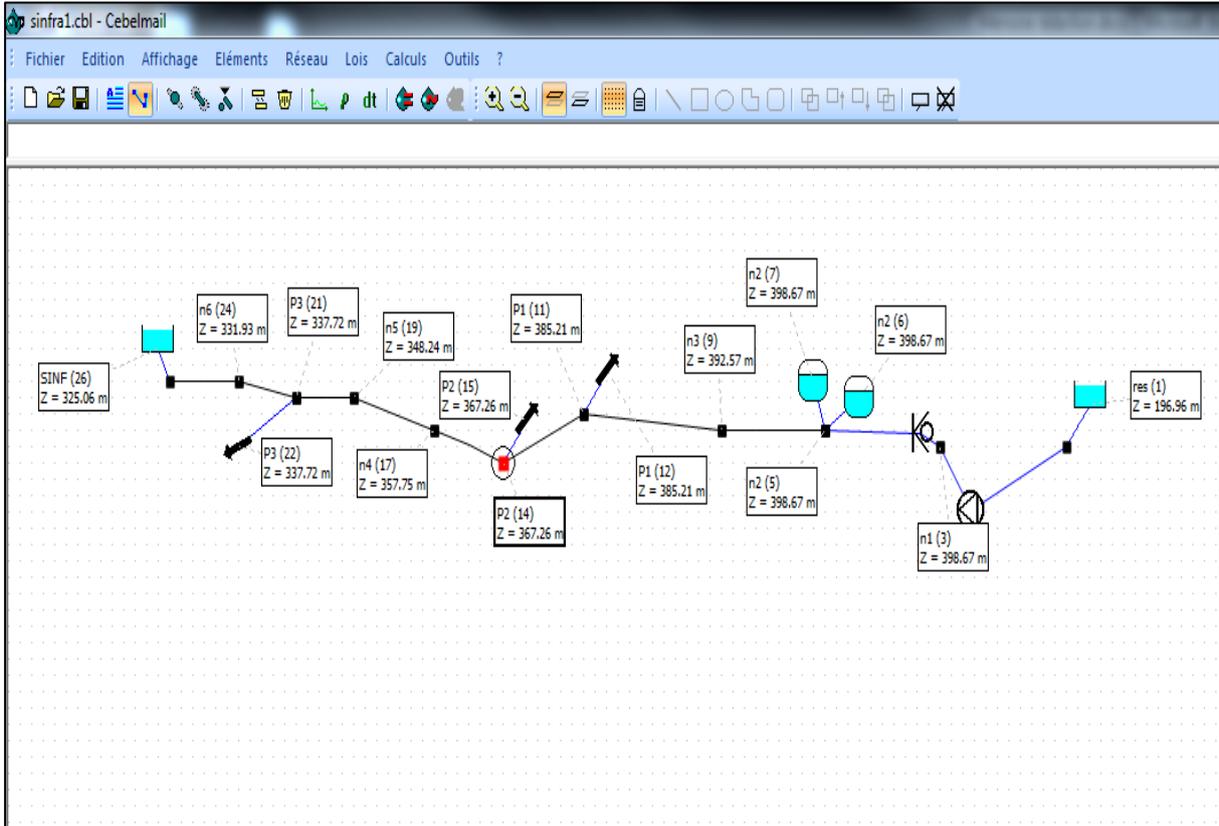
Les coudes correspondent aux traversées de buses ou de dalots **sauf 4 coudes** qui seront implantés en ville (Sinfra).
 Donc 40 coudes pour toutes les traversées, à raison de 4c45/traversée => 10 traversées soit 20 effet plaques pleines

Les coudes correspondent aux traversées de buses ou de dalots **sauf 3 coudes** qui seront implantés sur le tronçon en DN 500 .
 Donc 20 coudes pour toutes les traversées, à raison de 4c45/traversée => 5 traversées soit 10 effet plaques pleines

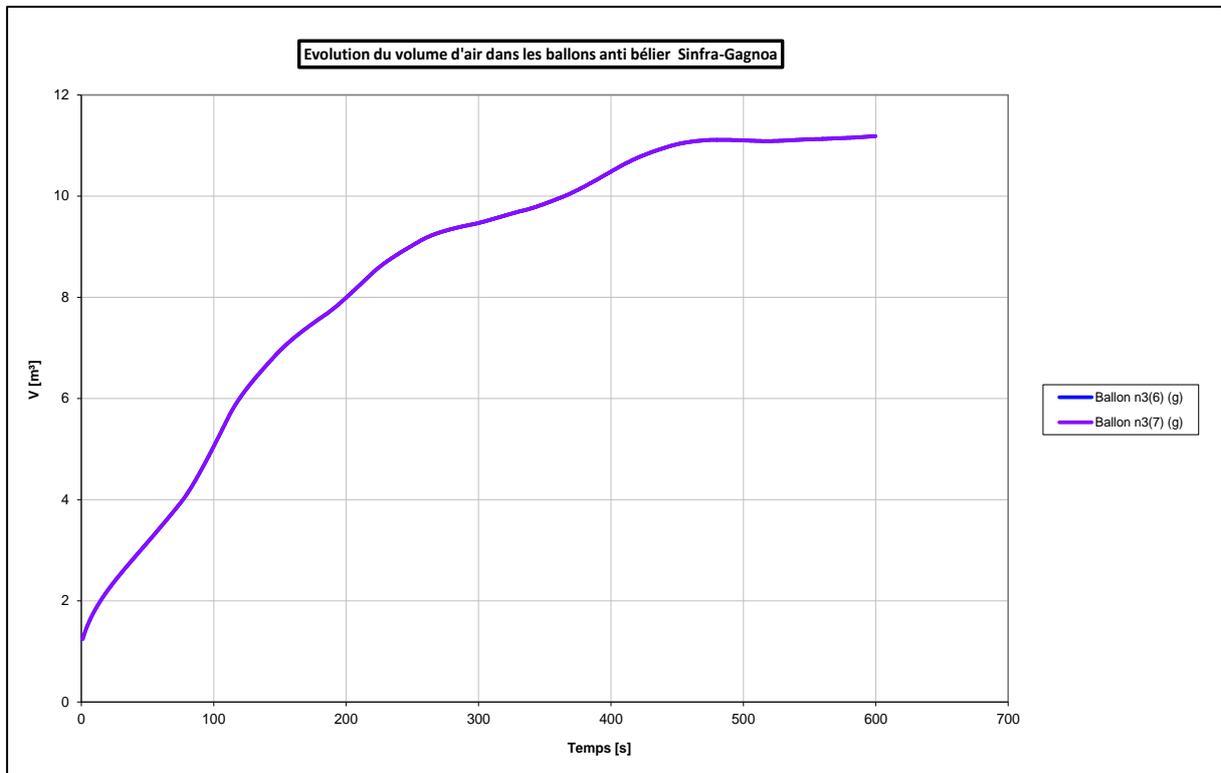
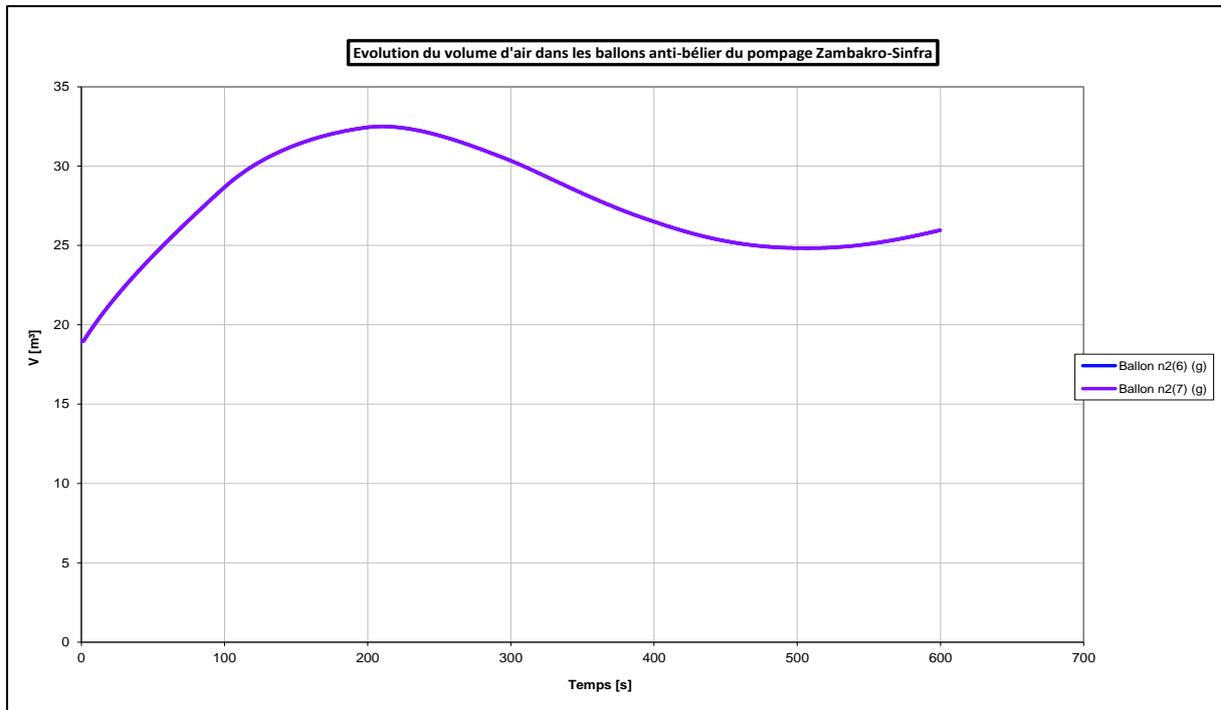
Les coudes correspondent aux traversées de buses ou de dalots **aucun coude ne sera** implanté sur le tronçon en DN 400 en ville (Sinfra).
 Donc 20 coudes pour toutes les traversées, à raison de 4c45/traversée => 10 traversées soit 20 effet plaques pleines

Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

Annexe 6 : Schéma du réseau Zambakro- Sinfra et Sinfra-Gagnoa sur CEBELMAIL



Annexe 7 : Evolution des volumes d'air dans les ballons anti béliers Zambakro et Sinfra



Annexe 8 : Détails des performances des joints en fonte ductile

		STANDARD Vi				EXPRESS Vi				UNIVERSAL Vi				UNIVERSAL Ve					
DN	CLASSE	PFA*	PMA*	PEA*	DÉVIATION**	PFA*	PMA*	PEA*	DÉVIATION**	CLASSE	PFA*	PMA*	PEA*	DÉVIATION**	CLASSE	PFA*	PMA*	PEA*	DÉVIATION**
		Bar	Bar	Bar	°	Bar	Bar	Bar	°		Bar	Bar	Bar	°		Bar	Bar	Bar	°
60	C40	25	30	35	5	25	30	35	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80	C40	23	27	32	5	23	27	32	4	K9	60	72	77	3	-	-	-	-	-
100	C40	23	27	32	5	23	27	32	4	K9	56	67	72	3	K9	64	76	81	3
125	C40	22	26	31	5	22	26	31	4	K9	52	62	67	3	K9	60	72	77	3
150	C40	18	21	26	5	18	21	26	4	K9	48	57	62	3	K9	55	66	71	3
200	C40	16	19	24	4	16	19	24	3	K9	43	51	56	3	K9	50	60	65	3
250	C40	16	19	24	4	16	19	24	3	K9	39	46	51	3	K9	45	54	59	3
300	C40	16	19	24	4	16	19	24	3	K9	34	40	45	3	K9	40	48	53	3
350	C30	16	19	24	3	-	-	-	-	K9	25	30	35	3	K9	38	45	50	3
400	C30	16	19	24	2	-	-	-	-	K9	20	24	29	3	K9	35	42	47	3
450	C30	13	15	20	2	-	-	-	-	K9	16	19	24	3	K9	32	38	43	3
500	C30	11	13	18	2	-	-	-	-	K9	16	19	24	2	K9	30	36	41	2
600	C30	10	12	17	2	-	-	-	-	K9	16	19	24	2	K9	27	32	37	2

* voir page 2 ** déviation angulaire maximale

Annexe 9 : Schéma de Modélisation EPANET horizon 2025

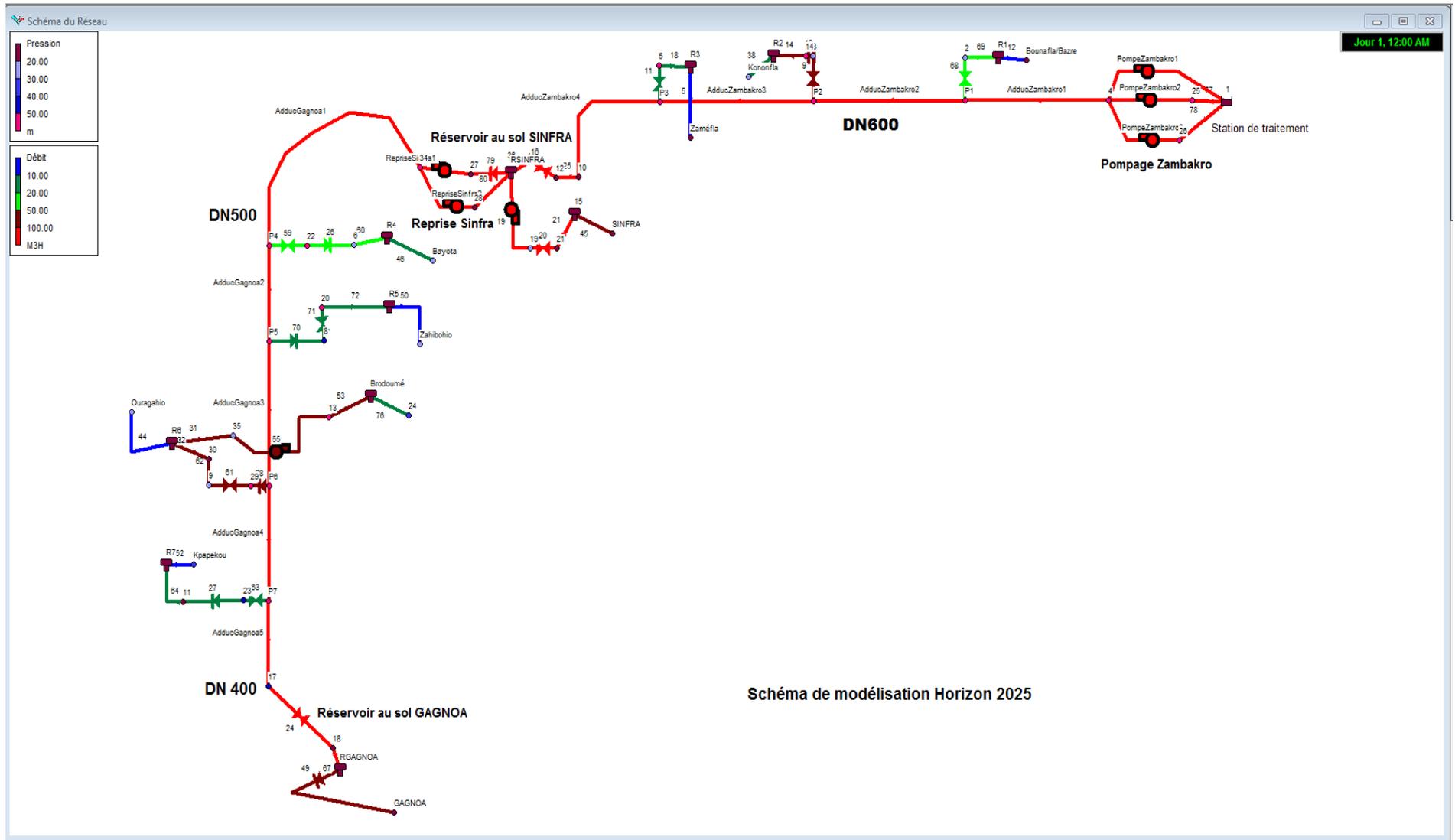
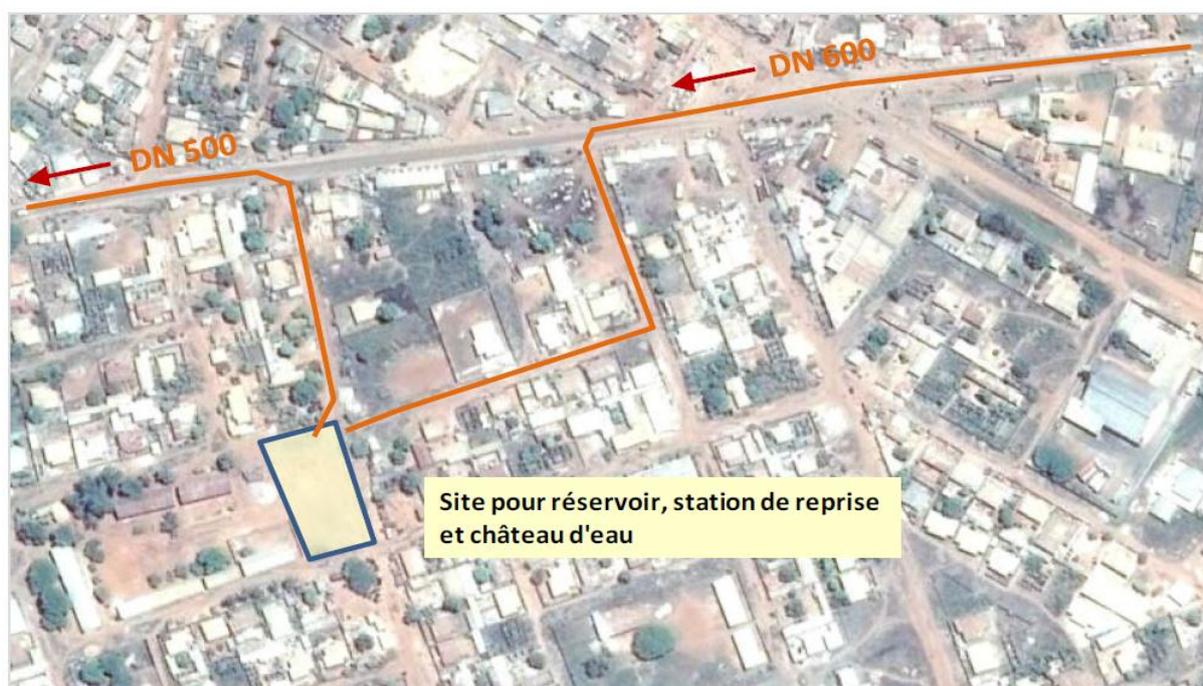
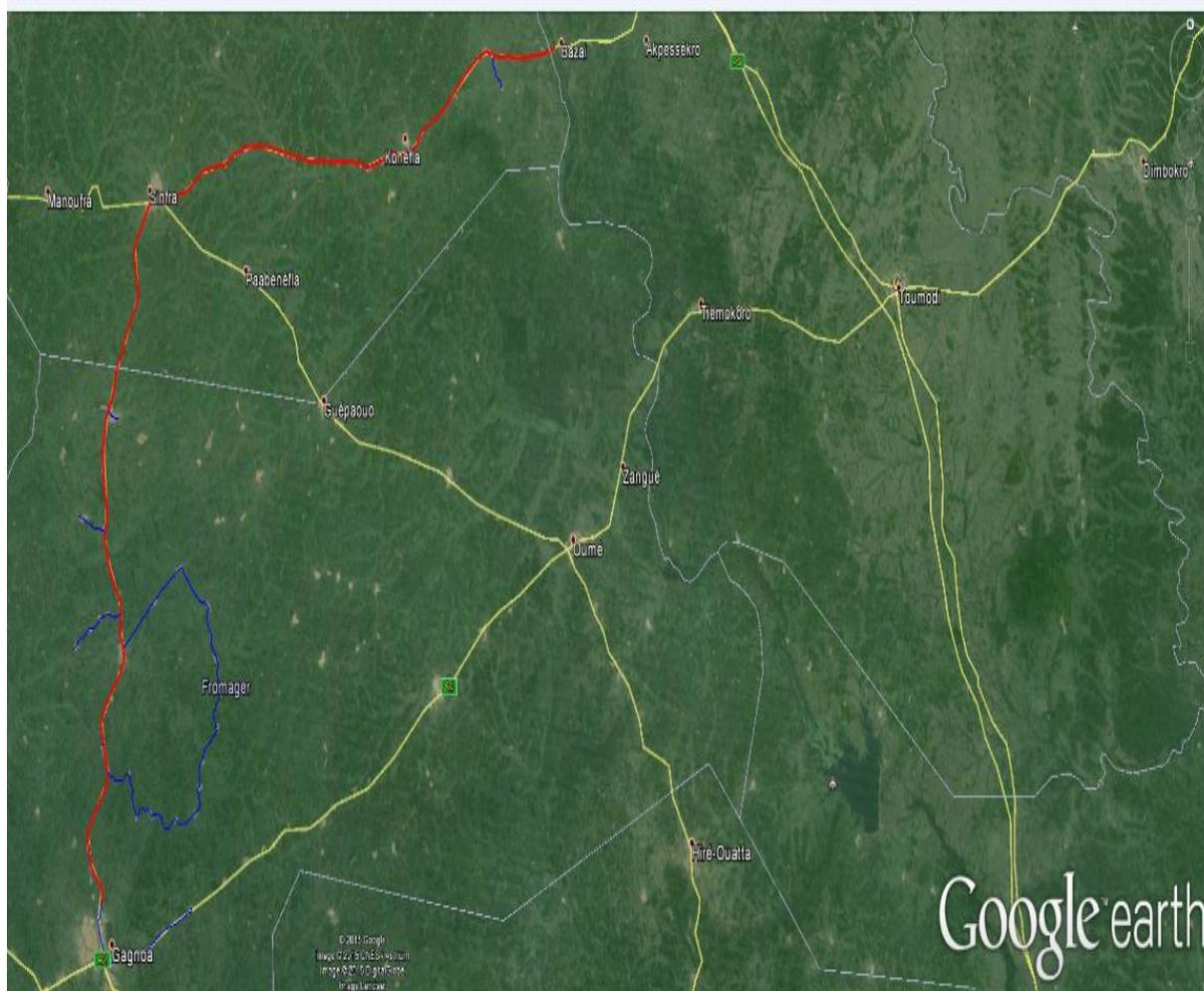
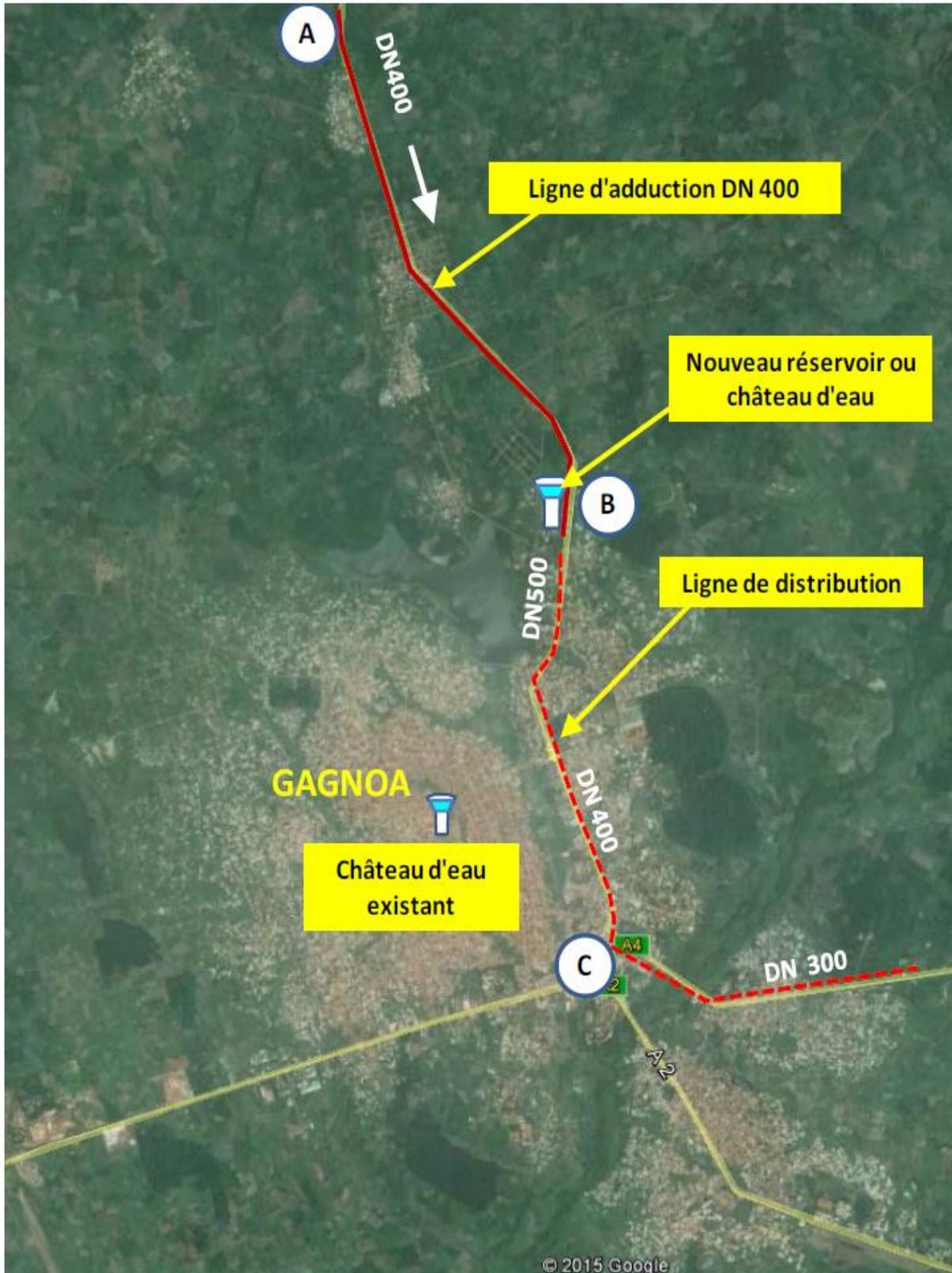


Schéma de modélisation Horizon 2025

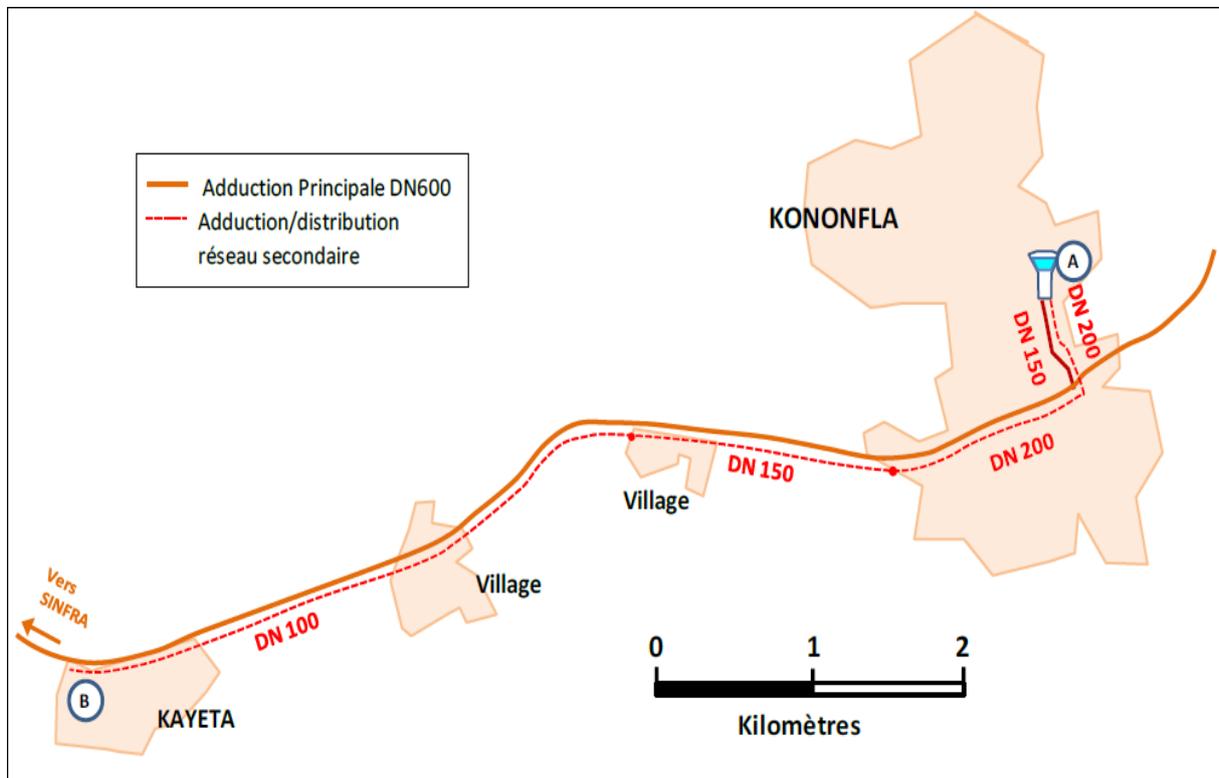
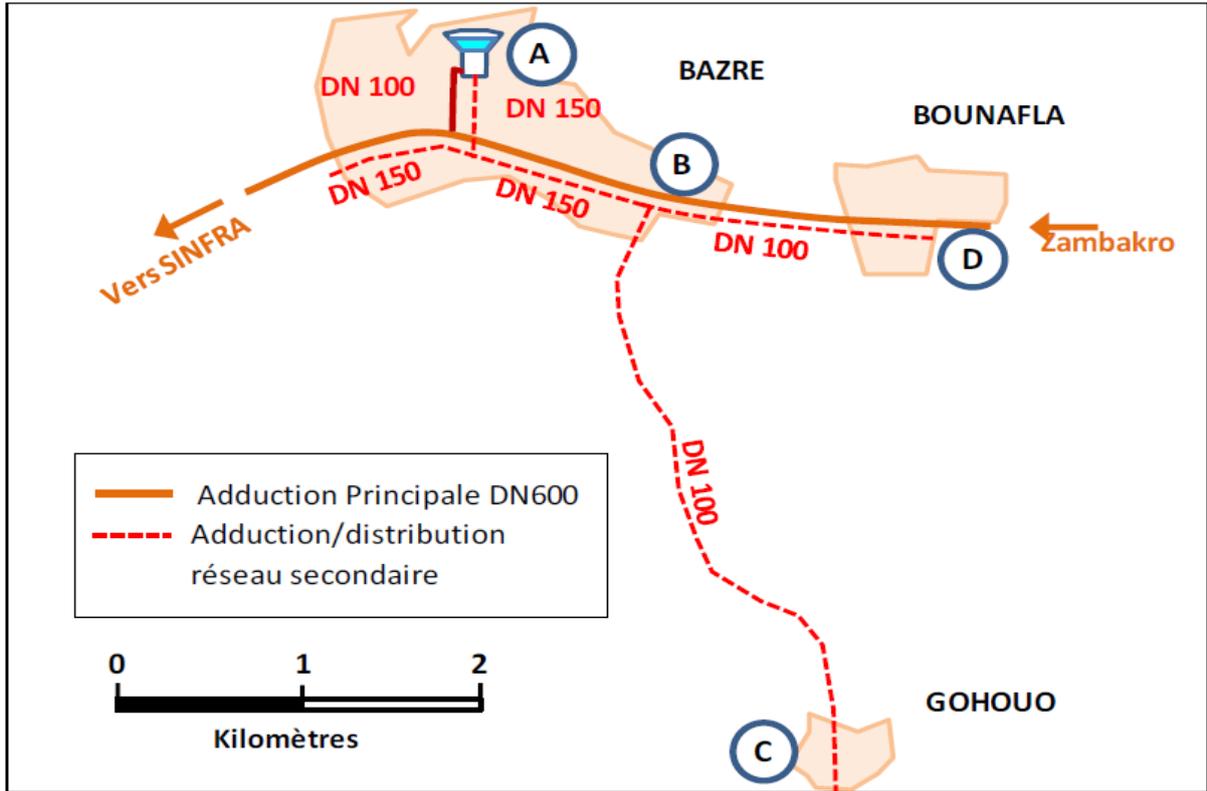
Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

Annexe 10 : Tracé du réseau Google Earth et localisation des sous-systèmes

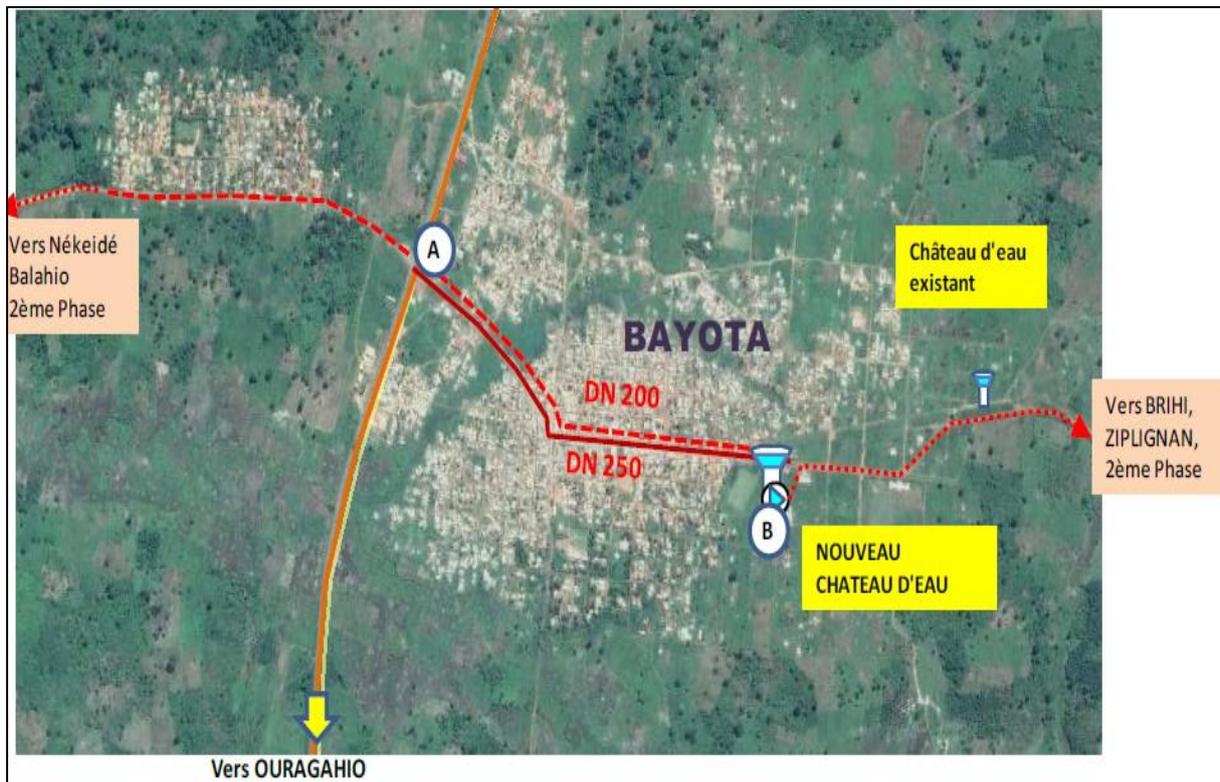
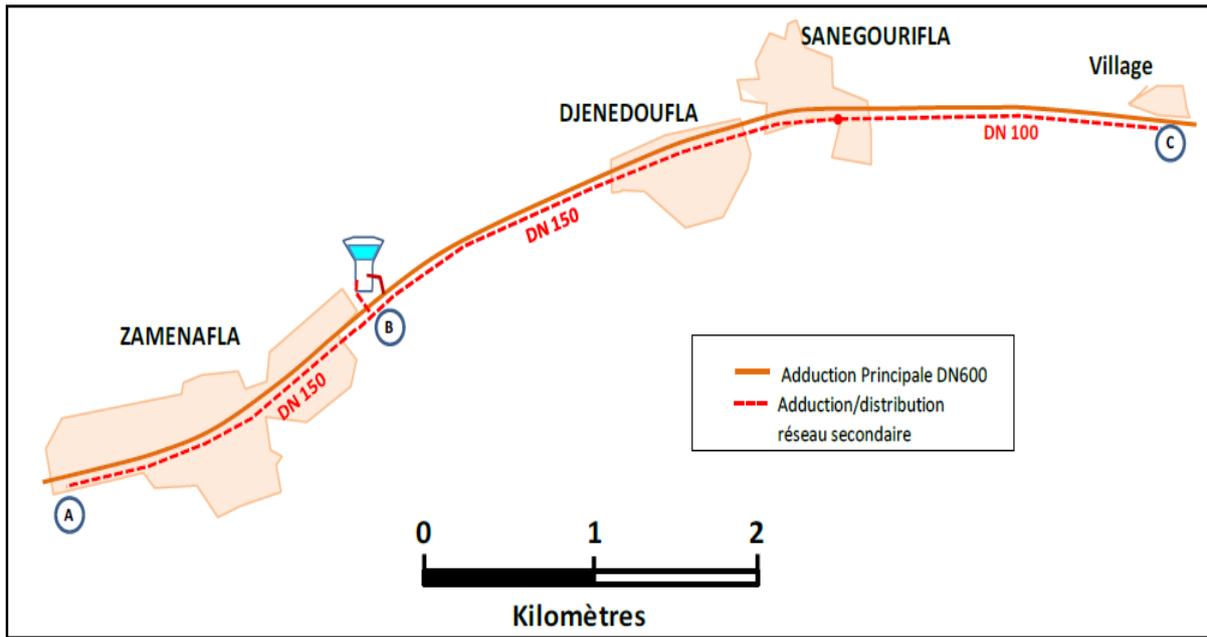




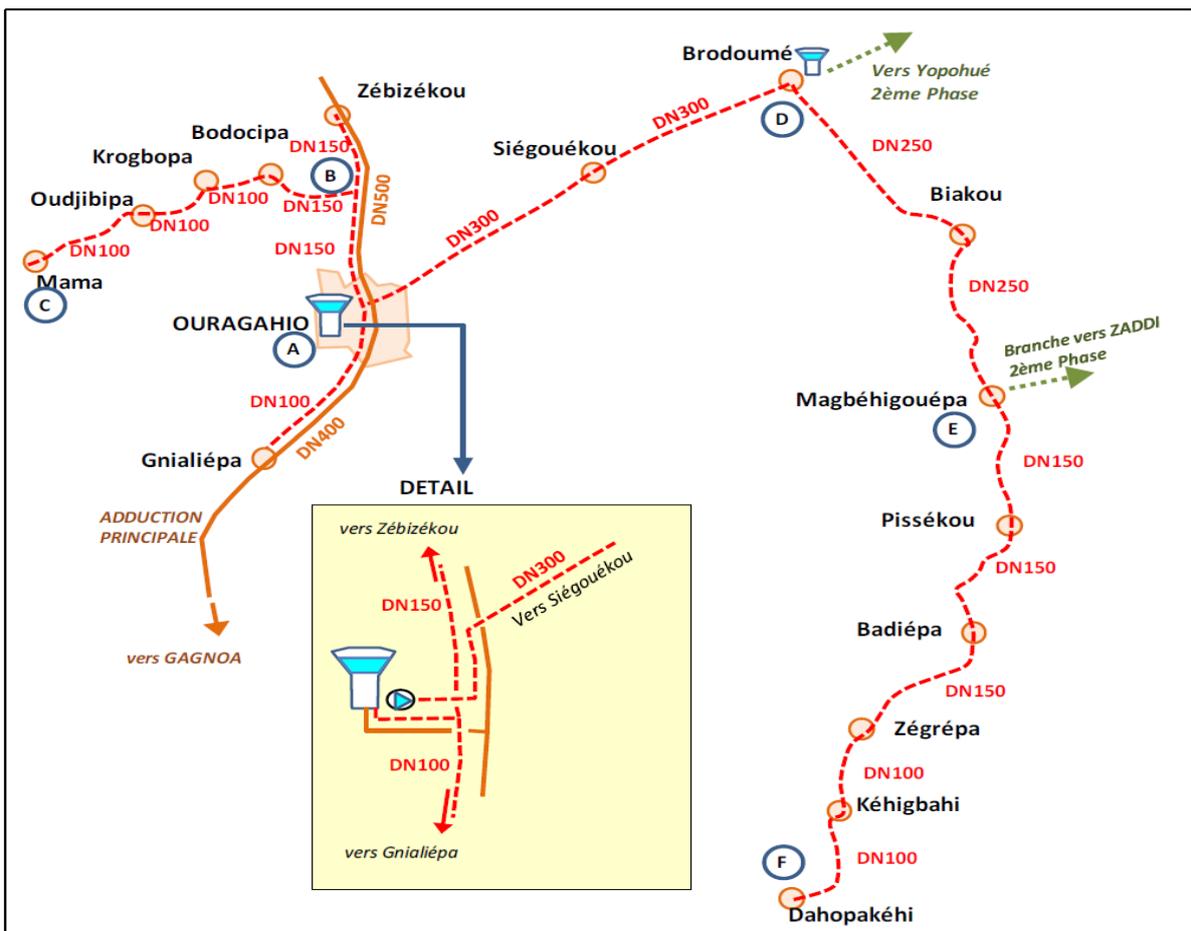
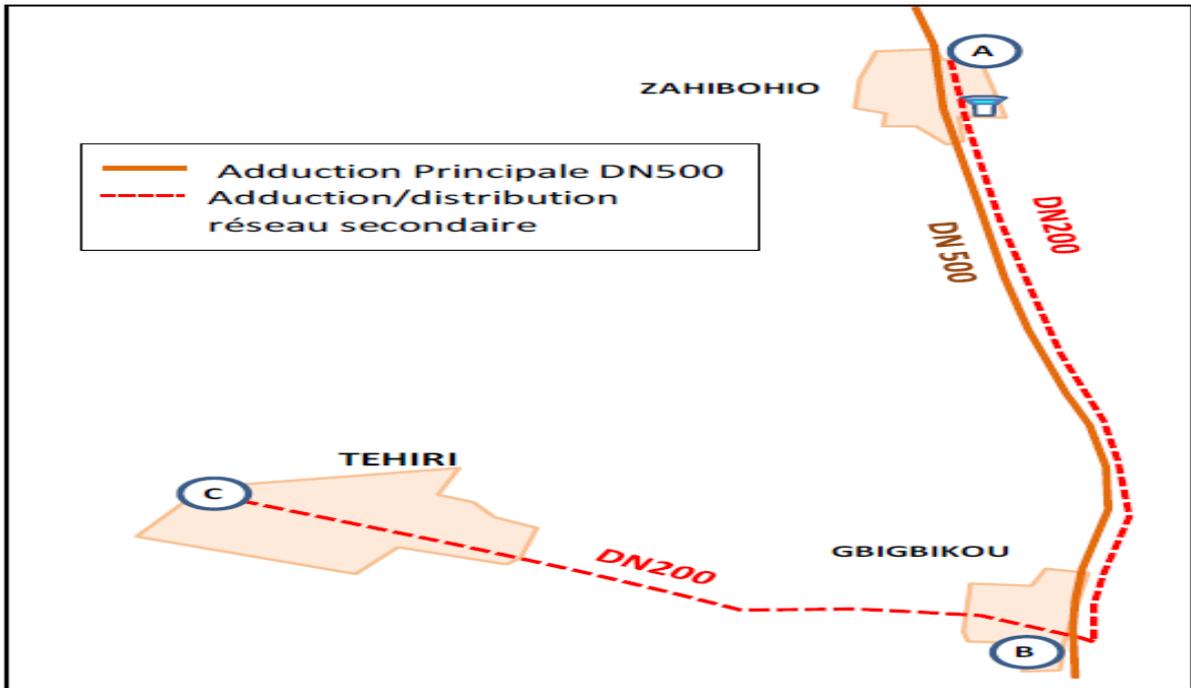
Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

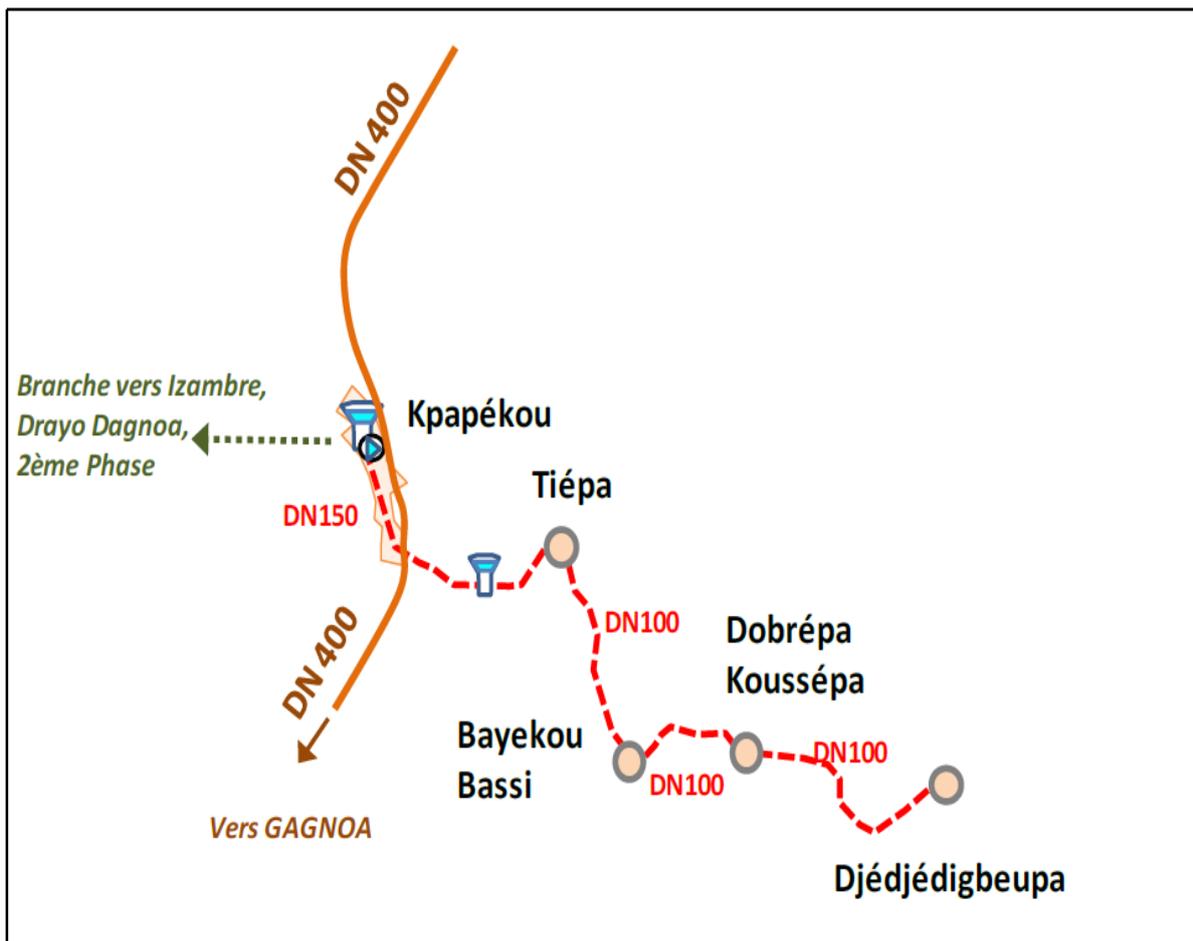


Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

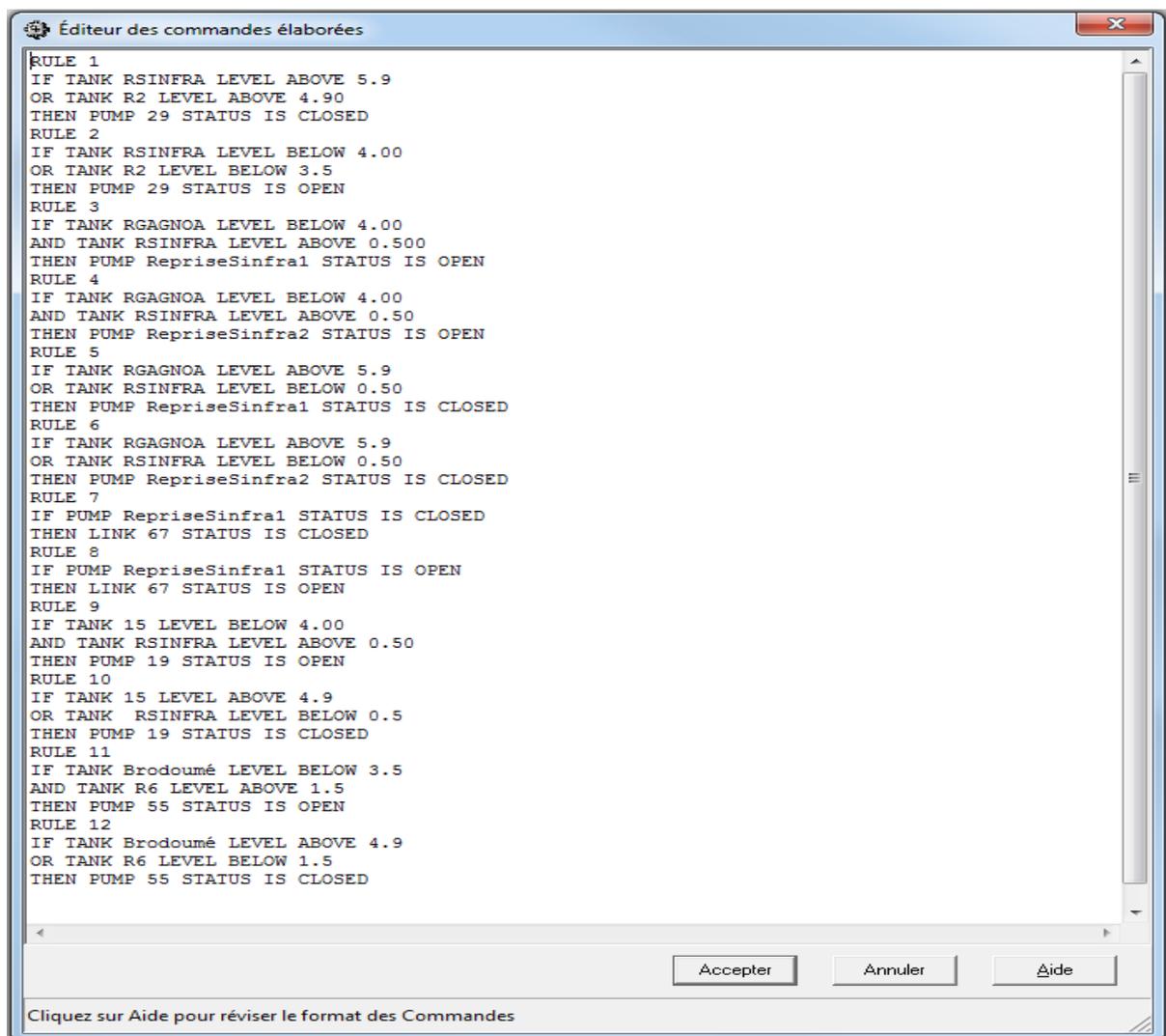
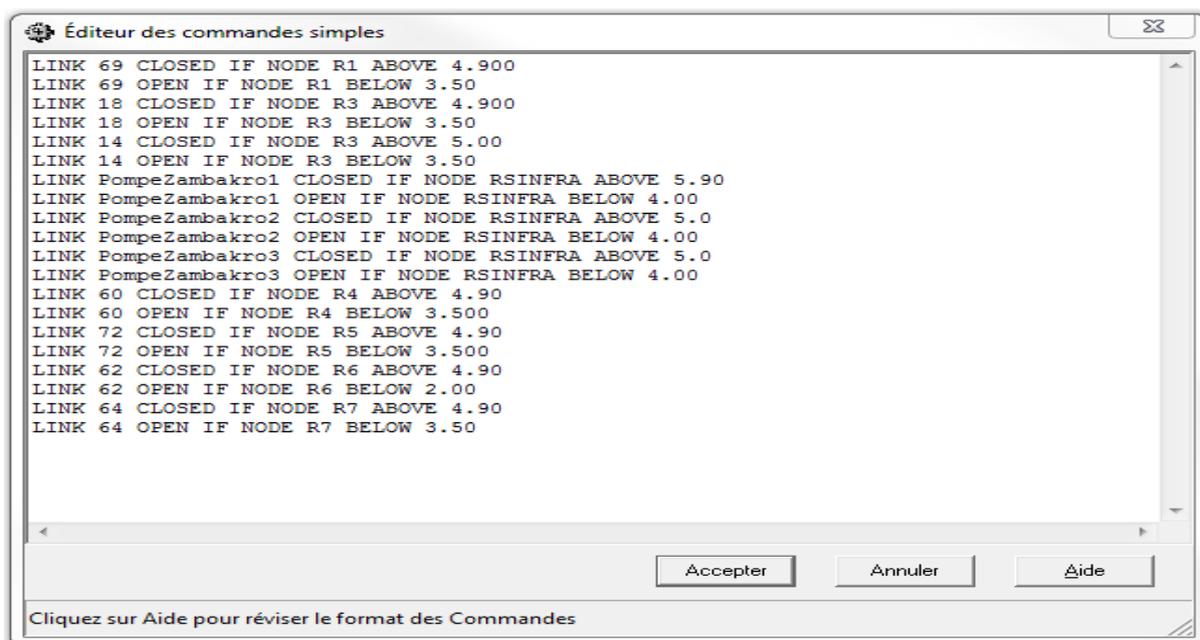


Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama



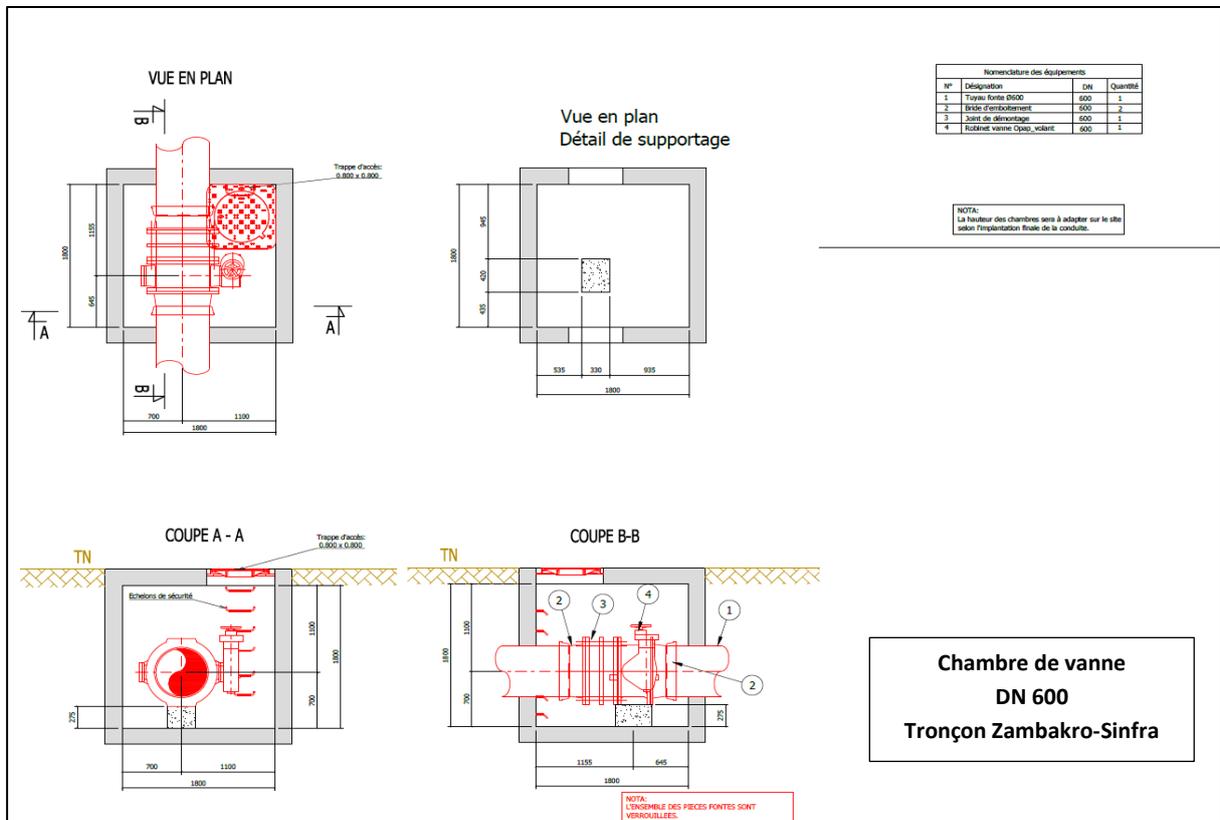
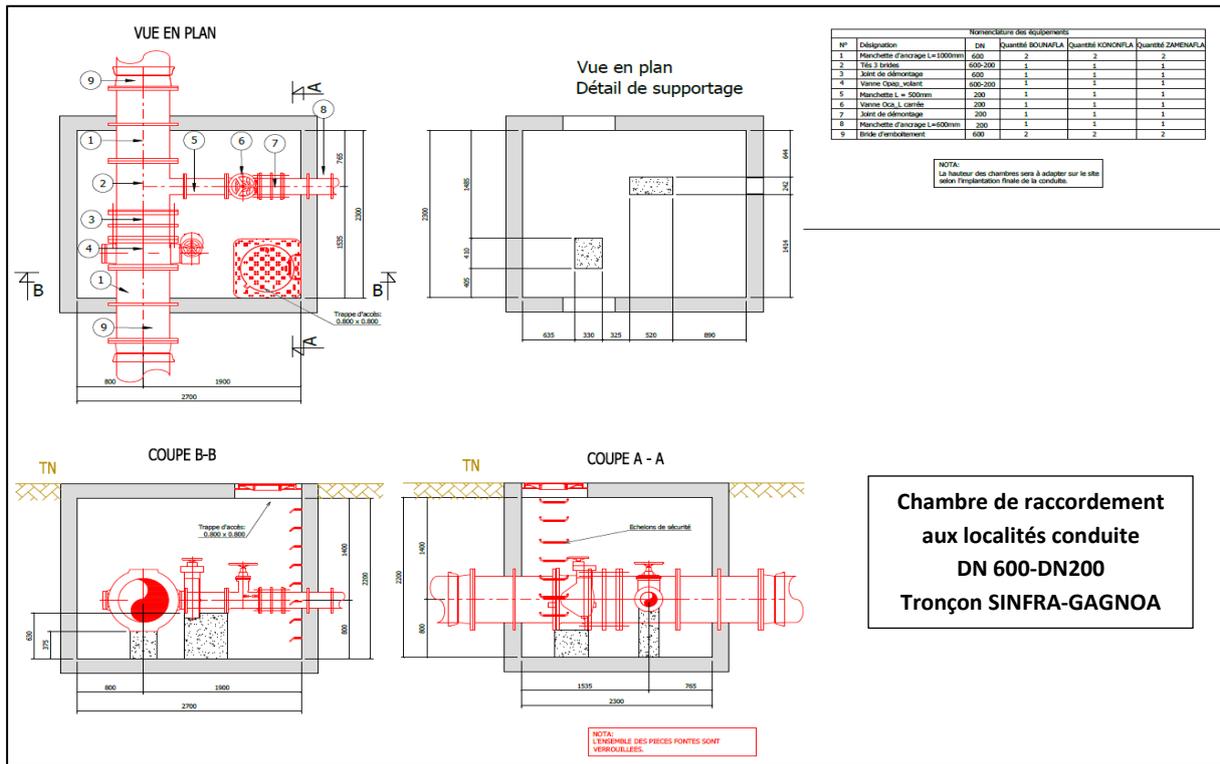


Annexes 11 : Commandes simples et élaborées EPANET

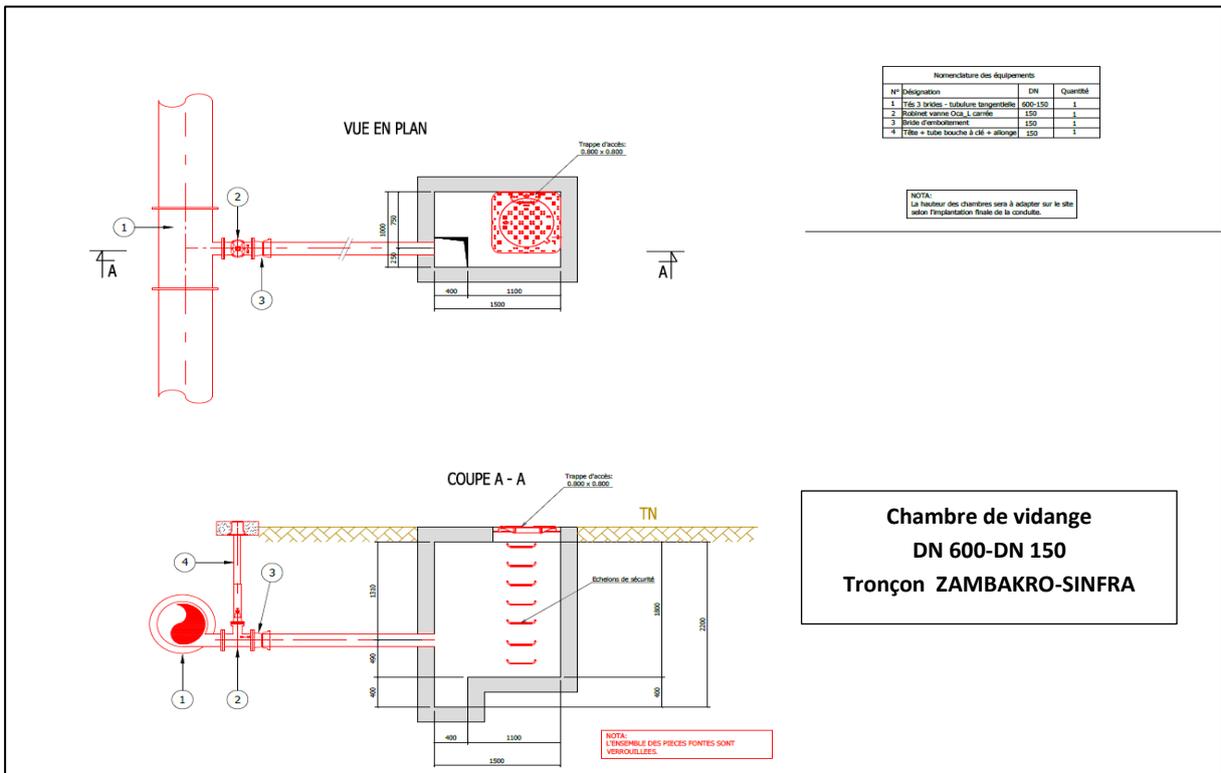
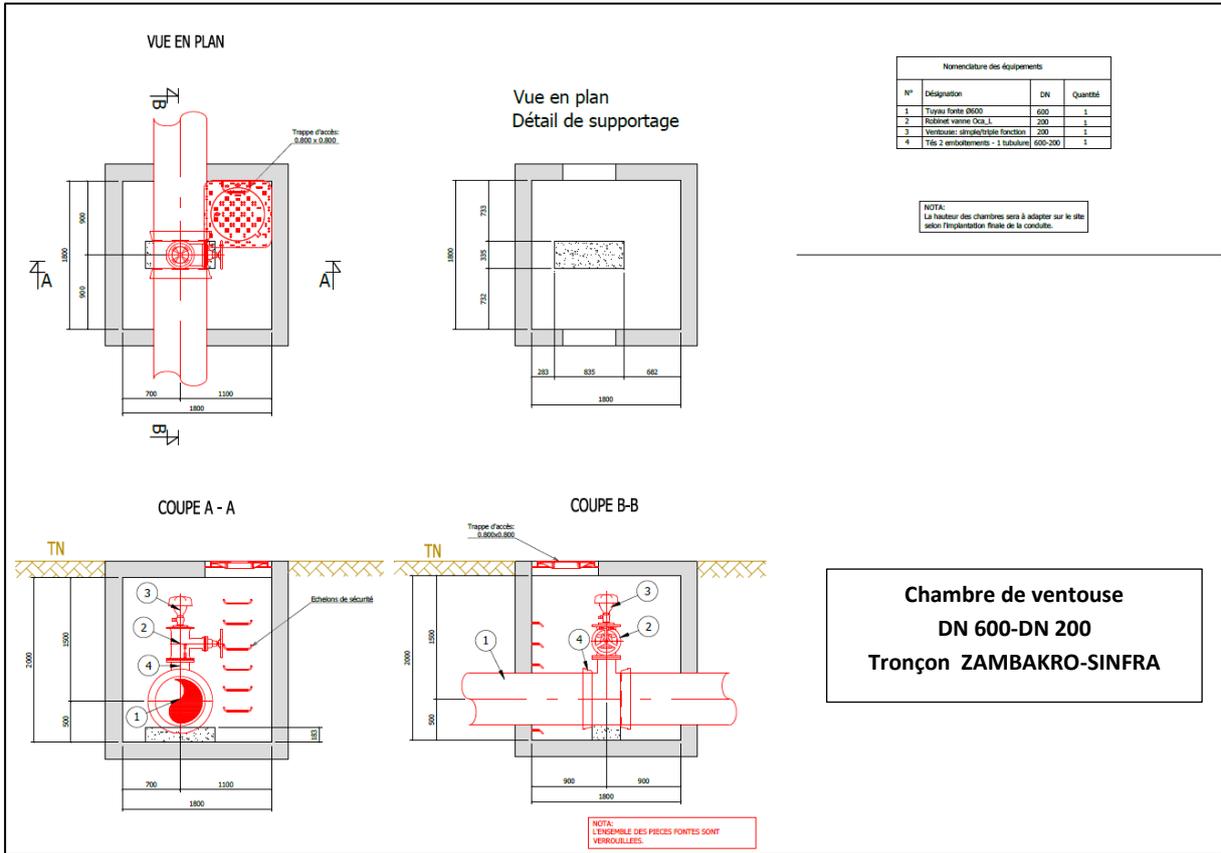


Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama

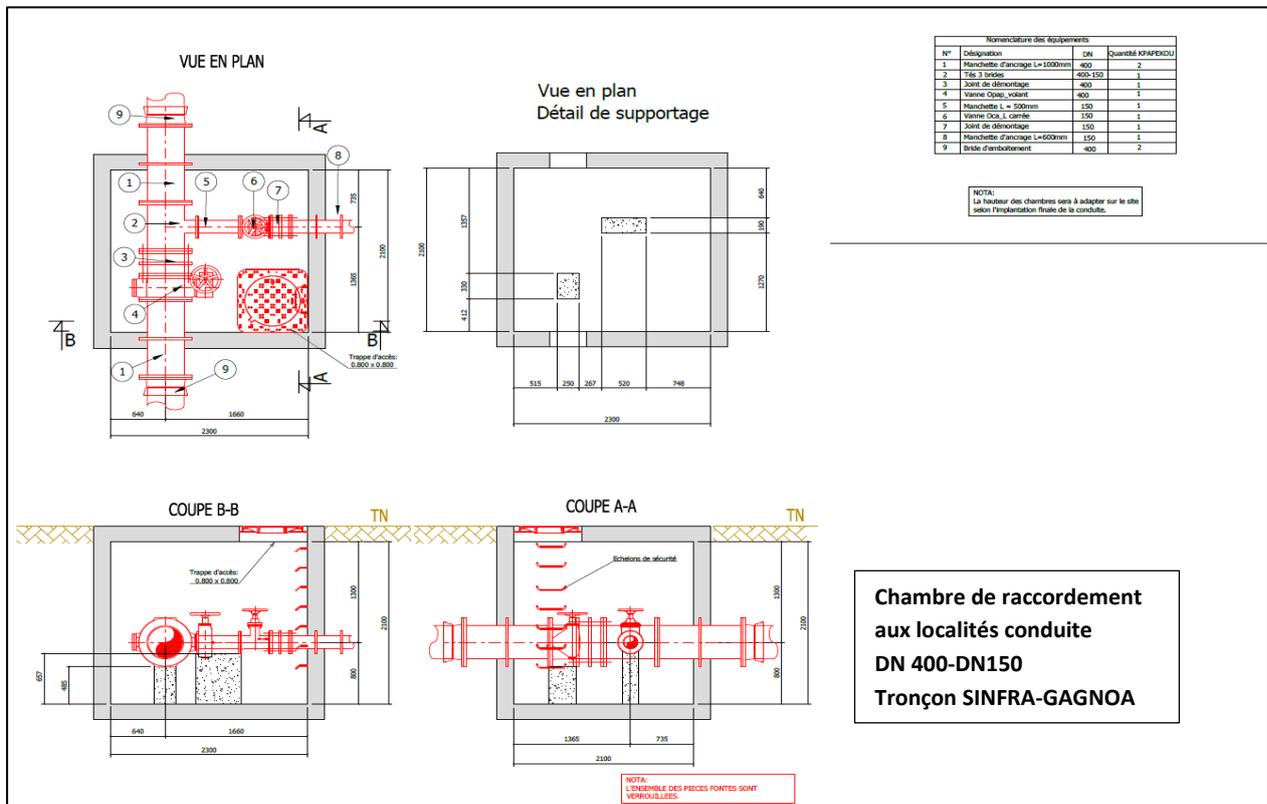
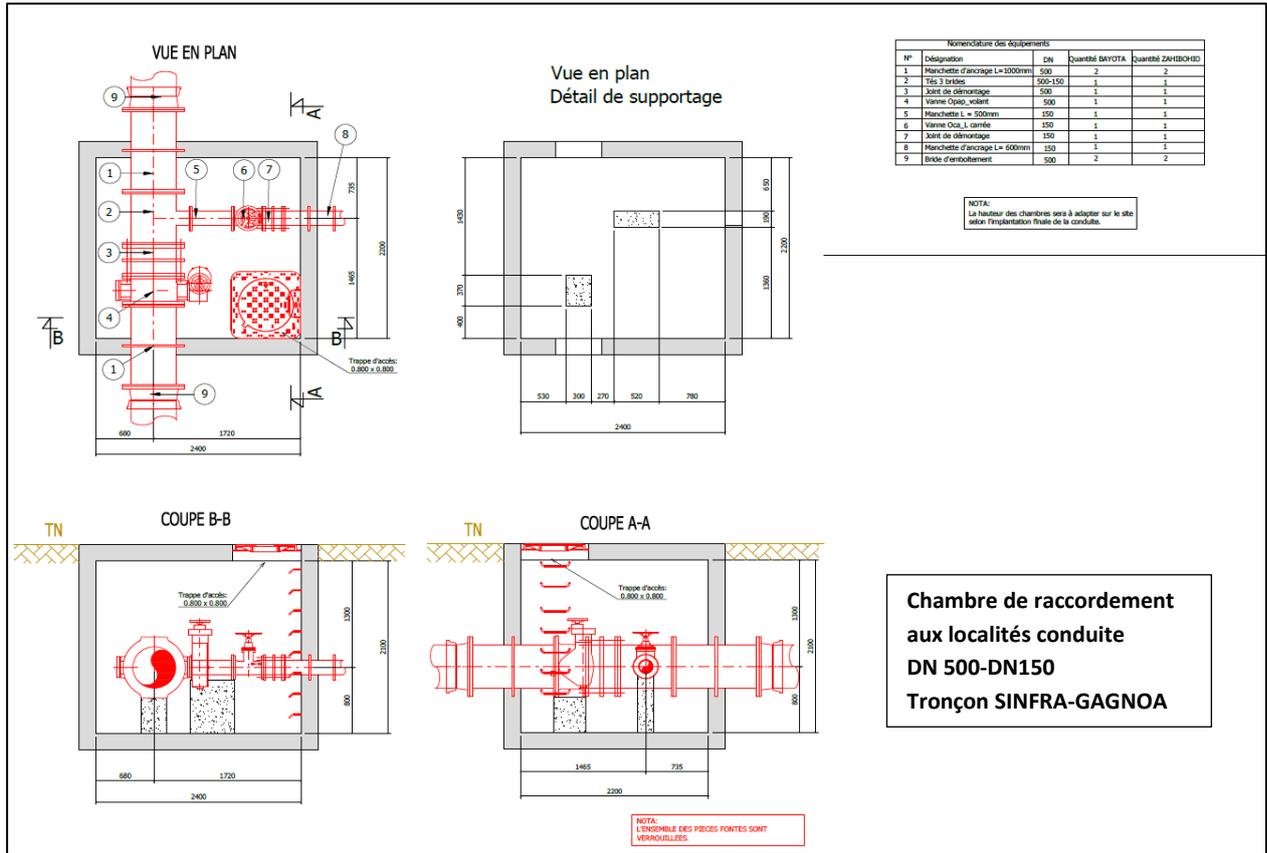
ANNEXE 12 : Chambres types ventouse, vidange, vanne de sectionnement



Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama



Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable des villes de SINFRA et de GAGNOA à partir du fleuve Bandama



Annexes 13: Organnigramme de la direction des Etudes SADE CGTH

