



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering



Formation Post-Universitaire de spécialisation en Eau pour l'Agriculture et l'Approvisionnement des Communautés (EAC)

Option : **MOBILISATION DES EAUX SOUTERRAINES ET
APPROVISIONNEMENT DES COMMUNAUTES (M.E.S.A.C)**

Année académique : 2005-2006

Rapport de stage

ÉTUDE DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE
DE LA VILLE DE KAYA A PARTIR DU LAC DEM

Présenté par : NGARDOUMI Emmanuel
OUEDRAOGO

EIER/ETSHER

Encadrement : Bèga U.

Enseignant au groupe

Jackatey Komla E.
Ingénieur équipement rural

Plan de reliure

Page de garde

Mémoire explicatif

Note de calcul

Les plans

Plan 1 : courbe d'exploitation de la retenue,

Plan 2 : schéma fonctionnel de la prise et de la station de traitement,

Plan 3 : prise d'eau,

Plan 4 : flocculateur et décanteur statique,

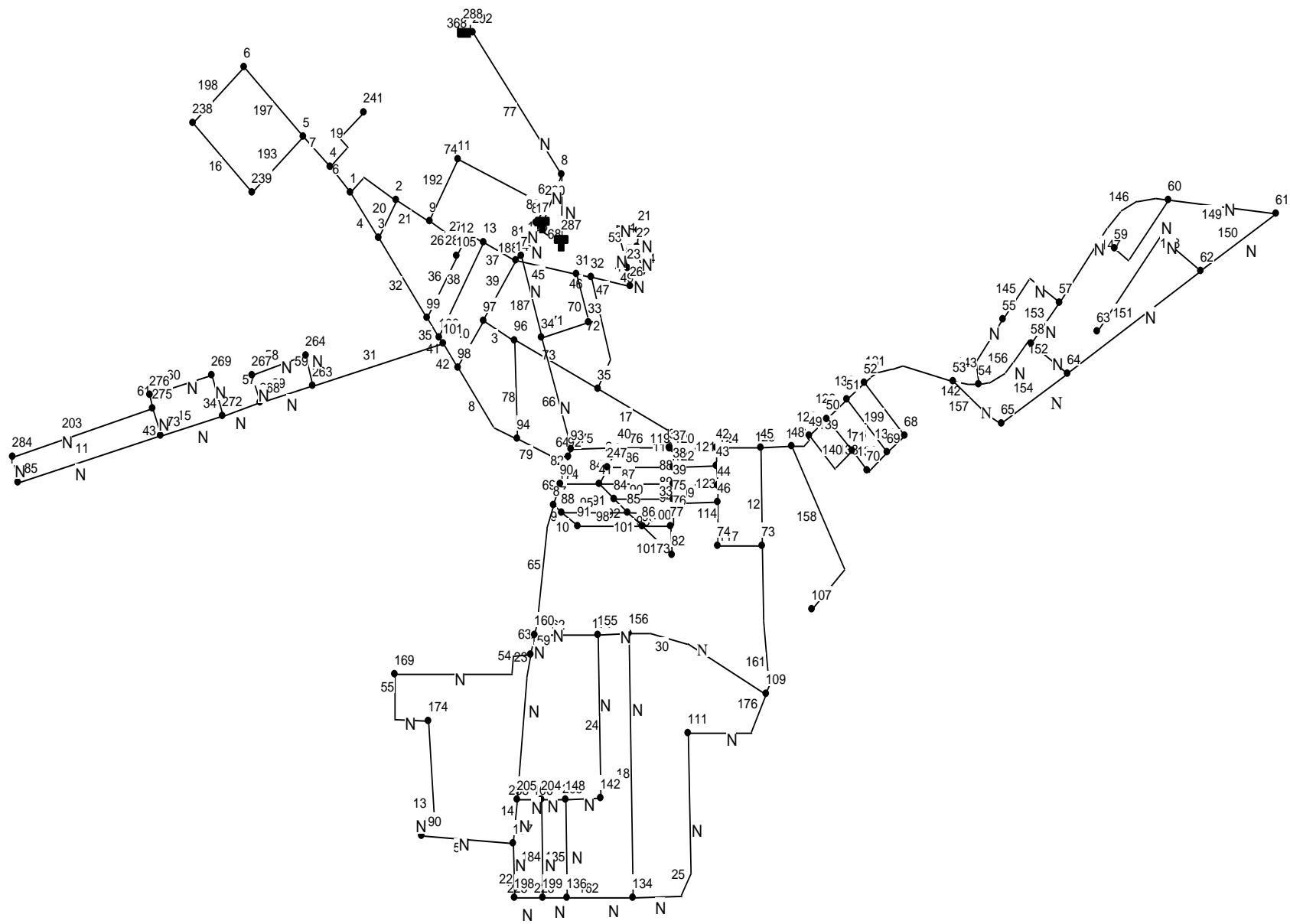
Plan 5 : décanteur pulsator et filtres

Plan 6 : château d'eau

Plan 7 : schéma du réseau

Les annexes

Les plans 2, 3, 4 et 5 se trouvent dans le fichier ouvrages



THEME : études de l'approvisionnement en eau potable de la ville de Kaya à partir du lac Dem

RESUME

L'étude de l'approvisionnement en eau potable de la ville de Kaya à partir du lac Dem comprend essentiellement deux parties.

La première est consacrée à la synthèse des études socio-économiques et à un inventaire diagnostic du système existant. Il ressort de l'analyse de ces études qu'en 2002, les besoins en eau potable de la ville étaient estimés à 1348 m³/j contre une production de 819 m³/j. Les deux champs de captage sont surexploités par rapport aux prélèvements recommandés par les études hydrologiques. Le système n'arrive donc plus à satisfaire les besoins en eau de la ville.

L'AEP de la ville de Kaya est constitué de deux champs de captage qui alimente un château d'eau de 200m³ par le biais de 16 puits et forages. Le refoulement mixte est long de 976 mètres en conduites PVC de diamètres 200mm. Le réseau de distribution est long d'environ 54 kilomètres. L'alimentation en énergie électrique est assurée par la SONABEL.

Les objectifs de l'étude précisés dans les Termes de Référence visent la réalisation des études techniques de l'approvisionnement en eau potable de la ville de Kaya sur la base des résultats de l'étude de faisabilité de 2004.

Après une évaluation des apports du lac Dem et une prévision de la demande en l'an 2020, la seconde partie est consacrée à la conception et au dimensionnement des différents ouvrages pour renforcer le réseau de Kaya. Les principales composantes retenues sont les suivantes :

- une prise d'eau brute par puits sur le lac de 3700 m³/j fonctionnant pendant 20 heures/j,
- une chaîne de traitement, située à côté du lac et comprenant un flocculateur, un décanteur et trois filtres, et une installation de traitement des eaux de lavage et des boues ;
- un ouvrage de transport de l'eau traitée depuis la station jusqu'à la ville ;
- un stockage d'eau traitée composé d'une bache au sol de 700 m³ située à côté de la station de traitement, d'un château d'eau de 800m³ à côté de l'ancien château d'eau de 200 m³,
- une extension du réseau de 25,5 Km tous diamètres confondus.

Le relief assez accidenté de la ville de Kaya occasionnera des fortes pressions par endroits. Il est prévu d'installer des réducteurs de pression à ces endroits.

Le coût des travaux s'élève à trois milliards cent soixante neuf millions neuf cent soixante sept mille huit cent dix neuf FCFA soit un prix de revient on actualisé du mètre cube d'eau produit de **408 FCFA**.

Mots clés : Eau potable, traitement des eaux, besoins en eau, forages, lac Dem, Kaya, château d'eau, réseau, prise.

THEME: studies of drinking water supply of Kaya from lake Dem

Abstract

The study of drinking water supply of Kaya from lake Dem comprises two parts.

The first is devoted to the synthesis of socioeconomics studies and the diagnosis of the capacity of water supply of the existing system. In 2002, the drinking water requirement of Kaya was estimated to 1348 m³/d and the production of the system is only of 819 m³/d. At the present time, the water table is overexploited. So the system can not satisfy the requirement of the town.

After water availability evaluation of lake Dem and water requirement of water in 2020 estimated, the second part is devoted to the water system design procedure to improve the network of Kaya. The main components of the system are the follows:

- an intake of raw water by well of 3700 m³/d;
- a water treatment station near the lake and comprises flocculator, decantor and for filters and an unity of wastewater treatment;
- A transport network of treated water from the station to the town of 13 km ;
- a storage of treated water with ground storage of 700 m³ near the water treatment station, an elevated storage of 800 m³ near the old elevated storage of 200 m³, both located in Kaya;
- an extension of network of 25,5 kilometers all diameters.

The relief of Kaya is broken enough. That causes high variation of pressure in some places. It is necessary to put the pressure redactors in these places

The cost of project is tree billions, one hundred sixty nine millions, nine hundred sixty seven thousand, eight hundred and nineteen (3 169 967 819) FCFA. The cost price of the m³ is four hundred and eighth (309) FCFA.

Key words: water treatment, storage, lake Dem, network, Kaya, intake, water requirement.

Fiche technique

Nom : études de l'approvisionnement en eau potable de la ville de Kaya à partir du lac Dem

Caractéristique de la ressource

- Type : lac
- Coordonnées GPS : 01°09'50" W et 13°10'38"N
- Superficie du BV : 400 Km²
- Superficie maximale du plan d'eau : 7.520.000 m²
- Volume d'eau maximale cote déversoir : 13.200.000m³

Ouvrage de retenue d'eau

- Type : barrage en béton,
- Longueur de déversement : 58 m
- Longueur digue : 400 m
- Débit de projet $Q_p = 240 \text{ m}^3/\text{s}$

Les ouvrages

- Ouvrage de prise gravitaire de 3700 m³/j comprenant un canal et un puits à deux compartiments de 2(2,5x2,5x6,5)
- Stationnement de traitement constitué :
 - d'un flocculateur de 10x8 ;
 - d'un décanteur statique de 24x8x3 ;
 - de trois filtres rapides à sable de 3,60x3,50 ;
 - et d'une unité de traitement des eaux de lavage et de boues comprenant : deux bassins de recyclage de 40 m³ chacun, deux épaisseurs de 45 m³ chacun et de lits de séchage de 60m².
- Trois pompes de refoulement en parallèle d'eau traitée de 100 m³/h sous une HMT de 100m
- Un réseau d'adduction de diamètre 350 mm en fonte ductile depuis la bache d'eau traitée jusqu'aux châteaux soit 13 Km.
- Un stockage composé de :
 - une bache d'eau traitée au sol de 700 m³ (13x10x5,5 m)
 - un château de 800 m³ (diamètre 14,5, hauteur 5,5m hauteur sous radier 15 m)
 - un ancien château d'eau de 200 m³
- Extension du réseau de 25,5 Km tous diamètres confondus.
- Coût du projet : 3 169 967 819 FCFA soit un prix de revient non actualisé de 408 FCFA par mètre cube.

Bénéficiaire : ONEA

REMERCIEMENT

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier sincèrement :

Monsieur Bèga Urbain OUEDRAOGO, pour avoir consacré son temps à l'encadrement du stage ;

Monsieur M.L. COMPAORE, Responsable de la formation FPU/EAC pour son encadrement et tous les enseignants du groupe EIER/ETSHER pour le savoir qu'ils ont bien voulu partager.

Monsieur Jackatey Komla E. pour l'encadrement en entreprise du stage ;

Le Directeur Général de CINTECH pour avoir accepté d'accueillir ce stage ;

Le personnel du cabinet CINTECH pour sa collaboration ;

Enfin les collègues de la promotion pour les moments de joies et de tristesse ;

Que tous ceux qui ont contribué à l'achèvement de ce stage trouvent l'expression de notre profonde reconnaissance.

Liste des abréviations

AEP	Approvisionnement en Eau Potable
BF	Borne Fontaine
BP	Branchement Particulier
CINTECH	Cabinet d'Investigation Technique d'Expertise et de Contrôle
DGAEP	Direction Générale de l'Approvisionnement en Eau Potable
DGIRH	Direction Générale de l'Inventaire des Ressources Halieutiques
EAC	Eau pour l'Agriculture et l'Approvisionnement des Communautés
EIER	Ecole Inter Etats d'Ingénieurs de l'Équipement Rural
ETSHER	Ecole de Techniciens Supérieurs de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural
HMT	Hauteur Manométrique Totale
IGN	Institut Géographique National
INSD	Institut National de la Statistique et de la Démographie
KVA	Kilo Volt Ampère
mCE	Mètre de Colonne d'Eau
MEG	Médicaments Essentiels et Génériques
MES	Matières En Suspension
ONATEL	Office National de Télécommunication
ONEA	Office National de l'Eau et de l'Assainissement
PAGIRE	Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau
pH	Potentiel d'Hydrogène
PHU	Programme d'Hydraulique Urbaine
PVC	Polychlorure de Vinyle
TN	Terrain Naturel
SIG	Système d'Information Géographique
SONABEL	Société Nationale Burkinabé d'Électricité
UBT	Unité de Bétail Tropical

Liste des figures

Figure 1 : carte de localisation de la ville.....	14
Figure 2 : répartition spatiale des formations géologiques	15
Figure 3 : situation hydrographique	16
Figure 4 : prélèvement d'eau dans les différents forages.....	24
Figure 5 : dépassement de prélèvement observé dans les forages	25
Figure 6 : évolution de la production de 1983 à 2003.....	25
Figure 7 : courbe hauteur-volume-surface	28
Figure 8 : profil de consommation	33
Figure 9 : débits simulés des pompes.....	50
Figure 10 : distribution de vitesse	51
Figure 11 : distribution de pressions	52
Figure 12 : charge au niveau des châteaux d'eau.....	52
Figure 13 : débits simulés en phase 2.....	53
Figure 14 : distribution de vitesse en phase 2	54
Figure 15 : distribution de pression en phase 2.....	54
Figure 16 : charge au niveau des châteaux en phase 2.....	55

Liste des tableaux

Tableau 1 : pourcentage des formations géologique.....	15
Tableau 2 : répartition de la population par secteur en 2002.	16
Tableau 3 : les infrastructures éducatives de la commune	17
Tableau 4 : exportation du bétail.....	19
Tableau 5 : les champs de captage pour l'AEP de Kaya.....	21
Tableau 6 : comparaison débits recommandés et prélevés.....	21
Tableau 7 : les points d'eau de la ville	21
Tableau 8 : le réseau de la ville	22
Tableau 9 : consommation annuelle selon la facturation en 2003 (m3).....	23
Tableau 10 : Production et consommation du système d'AEP	26
Tableau 11 : caractéristiques du lac Dem.....	27
Tableau 12 : caractéristiques de l'ouvrage de retenue d'eau.....	28
Tableau 13 : paramètres de la distribution	29
Tableau 14 : accroissement de la population	30
Tableau 15 : répartition de la population s'approvisionnant au réseau ONEA et autres	31
Tableau 16 : évolution de la consommation annuelle au niveau des BP et BF.....	32
Tableau 17 : Consommation annuelle selon la facturation des abonnés en 2002 et 2003 (m3)	32
Tableau 18 : données de base	33
Tableau 19 : évaluation de la demande	34
Tableau 20 : débits de dimensionnement	36
Tableau 21 : les pompes doseuses et les bacs de mélange retenus	39
Tableau 22 : les longueurs des extensions prévues	56
Tableau 23 : prix de revient actualisé.....	56

SOMMAIRE

Introduction générale.....	9
1 : Contexte de l'étude	10
Introduction	10
1.1 Cadre institutionnel de l'AEP au Burkina Faso.....	10
1.2 : Problématique de l'alimentation en eau potable.....	10
1.3 : Objectifs de l'étude	11
1.4 : Approche méthodologique	12
1.4.1 : Synthèse socio-économique	12
1.4.2 : Méthodologie d'inventaire du système existant.....	12
1.4.3 : Evaluation de la ressource et de la demande.....	13
1.4.4 : Etude technique	13
1.5 : Présentation générale de la zone d'étude.....	13
1.5.1 : Situation géographique et accessibilité de la ville de Kaya	13
1.5.2 : Milieu physique.....	14
1.5.3 : Synthèse socio-économique	17
2 : Diagnostic de l'existant.....	20
Introduction	20
2.1 Description du système d'AEP existant	20
2.1.1 : Les aquifères exploités	20
2.1.2 : Les composantes du système	22
2.2 : Analyse de fonctionnement	24
2.2.1 : Evaluation de la recharge et prélèvement d'eau.....	24
2.2.2 : Rendement du réseau	26
Conclusion partielle.....	26
3 : Evaluation de la ressource et de la demande.....	27
3.1 : Etude de ressource en eau de surface.....	27
3.1.1 : Caractéristiques du bassin versant et du lac Dem	27
3.1.2 : Evaluation des apports au lac Dem	29
3.1.3 : Bilan d'eau du lac Dem.....	29
3.1.4. Etude de l'exploitation de la retenue.....	29
3.2 : Planification du système	30
3.2.1 : Evaluation des besoins	30
3.2.2 : Données de base	33
3.2.3 : Evaluation des débits de dimensionnement des installations.....	35
4 : Etude d'ingénierie	37
Introduction	37
4.1 : Conception et dimensionnement de la prise d'eau.....	37
4.1.1 : Le dégrillage.....	38
4.1.2 : Le canal	38
4.1.3 : Le puits de prise	38
4.1.3 : Le relevage	38
4.2 : Les unités de traitement	38
4.2.1 : La coagulation floculation.....	39
4.2.3 : La décantation	40
4.2.4 : La filtration.....	41
4.2.5 : Bâche d'eau traitée (réserve de production).....	42
4.2.6 : Désinfection	42
4.2.7 : Gestion des eaux de lavage des filtres et des boues	43

4.3 : Le refoulement station de traitement vers le réservoir d'eau	43
4.3.1 : Les pompes.....	43
4.3.2 : Choix du diamètre et du matériau	44
4.3.4 : Tracé du réseau d'adduction, pose et protection de la conduite	44
4.3.5 : Protection contre le coup de bélier.....	45
4.4 : Le stockage	45
4.4.1 : Capacité utile du réservoir	45
4.4.2 : Prise en compte de la réserve incendie	45
4.4.3 : Analyse de la capacité de stockage	46
4.4.4 : Equipement du réservoir	46
4.5 : La distribution.....	47
4.5.1 : Le réseau de distribution	47
4.5.2 : La simulation sous EPANET	48
4.6 : Résultats des simulations.....	49
4.6.1 : Simulation pendant la première phase 2006-2015	49
4.6.2 : Simulation pendant la seconde phase 2016-2020	53
4.7 Interprétations	55
Conclusion générale	57

Introduction générale

Pays sahélien d'Afrique de l'ouest, le Burkina Faso compte plus de douze millions d'habitants en 2004. Seulement 17,8% de la population habitent dans les villes ; principalement Ouagadougou et Bobo Dioulasso. D'après le rapport Mondial sur le développement humain de 2005, 51% de la population disposent d'un accès facile à une source d'eau de qualité, et 12% de celle-ci disposent d'installation sanitaire de qualité en 2002. En milieu urbain, le taux de desserte en eau potable est estimé à 70% avec une connexion relativement faible (un branchement pour 36 habitants).

La ville de Kaya est confrontée depuis quelques années à des difficultés d'approvisionnement en eau potable. La situation est plus accentuée dans les quartiers périphériques. En effet, à l'image des autres villes africaines, celle de Kaya connaît un essor démographique assez prodigieux. Face aux moyens limités de la ville, l'occupation de l'espace précède la mise en place des équipements sociaux.

L'hydrogéologie de la ville de Kaya ne permettant pas une mobilisation durable des eaux souterraines, l'objet de notre stage est d'étudier les possibilités d'approvisionner la ville en eau potable à partir du lac Dem. Le stage a été accueilli par le cabinet d'études CINTECH.

Le rapport comporte un mémoire technique, une note de calcul, un estimatif des coûts, les plans et les annexes.

Le mémoire technique commence par une description de la méthodologie utilisée pour réaliser les études, une présentation générale du contexte de l'étude et une synthèse bibliographique des études socio-économiques réalisées.

La deuxième partie porte sur la compréhension complète du système existant et de sa capacité à satisfaire les besoins actuels. Il s'agit d'évaluer les ressources disponibles et de les comparer à la demande actuelle. L'étude résidera principalement au niveau de l'efficacité des installations de traitement, de refoulement, de stockage et de distribution des eaux traitées.

Une évaluation de la demande et des possibilités d'exploitation du lac Dem ressource en eau constitue la substance de l'avant dernière partie.

La dernière partie est consacrée à l'étude technique d'approvisionnement en eau potable de la ville à partir du lac Dem. Après une estimation des consommations à l'horizon du projet, cette partie consistera à l'étude de la prise d'eau, des unités de traitement, du transport, du stockage et de la distribution d'eau. Une évaluation du coût des travaux achèvera cette étude.

1 : CONTEXTE DE L'ETUDE

Introduction

Après un aperçu du cadre institutionnel de l'eau au Burkina Faso, cette partie pose la problématique de l'approvisionnement en eau de la ville de Kaya, surtout dans les quartiers périphériques, pauvres et non desservis par le réseau. Ensuite elle présente la méthodologie utilisée et le contexte de l'étude. Une synthèse bibliographique des études socio-économiques réalisées sur la zone permettra de comprendre les habitudes de consommation des habitants, de comprendre le circuit de l'eau de la production à la consommation à travers les acteurs formels et informels.

1.1 Cadre institutionnel de l'AEP au Burkina Faso

Le secteur de l'eau au Burkina Faso est placé sous la responsabilité de deux entités, toutes situées sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques depuis 2002.

En milieu urbain, c'est l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA), une entreprise publique qui assure ce rôle en plus de celui de l'assainissement.

En milieu rural, c'est la Direction Générale de l'Approvisionnement en Eau Potable (DGAEP) qui met en œuvre la politique du Gouvernement et coordonne le secteur. Cette direction est en charge des petites villes et des zones rurales. Dans ces zones, les associations et groupements d'usagers de l'eau jouent un rôle capital en assurant dans la plupart des cas la gestion du service de l'eau. Enfin, les ONG nationales et internationales interviennent également dans la réalisation des points d'eau et d'appui aux comités de gestion.

Le processus de décentralisation est en cours. D'après les textes d'Orientation de la Décentralisation de 1998, les communes sont des nouveaux maîtres d'ouvrages compétents pour l'eau et l'assainissement au niveau local. Le code de collectivités est venu préciser les responsabilités dans la gestion de l'eau au niveau des collectivités.

En février 2001, le Burkina Faso s'est doté d'un cadre institutionnel très ambitieux en matière de gestion de ressources en eau qui s'est concrétisé sous la forme du Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PAGIRE).

1.2 : Problématique de l'alimentation en eau potable

Le plan de développement AEP de cette ville montre que le centre de Kaya est actuellement déficitaire en ressources en eau. D'après les résultats des études de faisabilité réalisées par COWI, les prévisions de besoin de production d'eau potable de la ville de Kaya sont estimées

à 1348 m³/j en 2002 pour une population de 38193 habitants. La production réelle était de 819 m³/j pour la même année ; soit un déficit de plus de 500 m³/j. Cette situation de déficit ira de façon croissante et atteindra en 2015 plus de 2200m³/j si aucune intervention n'est faite.

La recherche d'une solution durable a conduit à explorer la possibilité d'approvisionnement de la ville en eau potable à partir des eaux de surface. Cette option a donné lieu à une étude de faisabilité financée par le Danemark et dont le rapport date de 1998. Une actualisation de l'étude de faisabilité de 1998 a été réalisée en 2004. Il a été retenu donc d'alimenter le centre en eau potable à partir du lac Dem situé à une quinzaine de kilomètres de la ville.

Quelle sera la contribution du projet à l'amélioration de l'accès à l'eau potable dans un contexte de pauvreté de la population ?

Quelle offre solvable le présent projet apportera t-il à la demande actuelle en eau potable notamment pour les populations des quartiers périphériques ?

D'après les résultats de l'étude de faisabilité, 72,6% de la population déclarent être prêtes et capables de payer l'eau potable. Cependant plusieurs études ont montré la prégnance des points d'eau traditionnels sur le mode d'approvisionnement en eau des populations. Celles-ci ont leur mode de classement de la qualité de l'eau en fonction de ses usages. Ainsi, l'eau du réseau sera préférée à la boisson qu'elle soit achetée à un prix élevé ou à parcourir de grandes distances pour se la procurer. Une mauvaise estimation de la demande individuelle et du nombre d'habitant à desservir conduirait à un surdimensionnement du système d'approvisionnement en eau.

La problématique est donc d'apporter une réponse à la mesure des populations (surtout habitant les zones périphériques qui payent l'eau le plus cher) afin d'améliorer de façon durable leur accès à l'eau potable.

1.3 : Objectifs de l'étude

L'étude a pour but la réalisation des études techniques de l'approvisionnement en eau potable de la ville de Kaya sur la base des résultats de l'étude de faisabilité de 2004. Plus précisément elle consistera :

- ⇒ à la planification du système d'AEP (approche, critères de conception, évaluation des besoins, débits de dimensionnement, phasage et échéance du projet, etc.) conformément aux résultats de l'étude de faisabilité ;
- ⇒ au dimensionnement technique du système (note descriptive, note de calculs, plans, etc.) ;
- ⇒ à l'évaluation économique du coût du projet.

1.4 : Approche méthodologique

L'ossature de notre démarche méthodologique s'articule autour des parties suivantes :

1.4.1 : Synthèse socio-économique

Les enquêtes socio-économiques ont pour objectif de connaître le nombre actuel d'habitants du centre et d'estimer l'évolution de la population dans les années à venir. Nous avons fait la synthèse des études d'enquête de la ville. Certaines données ont été actualisées conformément aux coefficients d'actualisation adoptés dans l'étude de faisabilité.

Quelques sondages ont été effectués pour vérifier la cohérence des informations. Ils ont consisté en des enquêtes ménages simplifiés et des entretiens de groupes focaux afin d'obtenir les informations indispensables pour s'assurer de la viabilité des équipements et orienter les choix techniques.

1.4.2 : Méthodologie d'inventaire du système existant

Le système existant a fait l'objet d'un inventaire. Cet inventaire a concerné les différentes composantes du système d'adduction d'eau. Le but est de recueillir et d'organiser les données sur le système pour :

- ⇒ connaître les éléments de l'infrastructure et l'environnement d'exploitation du système ;
- ⇒ déterminer l'état actuel du système, son niveau de détérioration et celui de service (performance).

Les tâches réalisées sont les suivantes :

Composantes principales du système

- Ressources en eau : définition de la zone de captage, caractérisation des eaux, quantification, etc.... ;
- usine de traitement : nature, état de fonctionnement, capacité, rendement, qualité de l'eau traitée, fréquence de contrôle de qualité, types d'analyses réalisées, etc. ;
- réseau de distribution ;
- stockage : emplacement, forme, nature, capacité, fonction, état de fonctionnement, etc.... ;
- conduites maîtresses : longueur, nature, état de fonctionnement, rendement, etc. ;
- pompes, vannes ;
- bornes fontaines : nombres, état de fonctionnement, mode de fonctionnement, etc. ;
- branchements particuliers : nombres d'abonnés, profils, etc.

Informations sur les compteurs, données opérationnelles, tarification, etc.

1.4.3 : Evaluation de la ressource et de la demande

Il s'agira d'évaluer qualitativement et quantitativement les eaux du lac. Une vérification de la capacité de l'ouvrage de retenue à évacuer les crues de projet sera effectuée. Une actualisation des besoins en eau de la ville sur la base de l'étude de faisabilité servira au dimensionnement des ouvrages. Enfin un bilan des eaux achèvera cette partie.

1.4.4 : Etude technique

L'étude s'est déroulée conformément aux résultats de l'étude de faisabilité. Elle a consisté :

- à la planification du système d'AEP (approche, critères de conception, évaluation des besoins, débits de dimensionnement, phasage et échéance du projet, etc.) ;
- au dimensionnement de l'ouvrage de prise (emplacement, type, sécurité, etc.) ;
- au dimensionnement des unités de traitement de production d'eau ;
- au dimensionnement du réseau de refoulement (nature, tracé, calculs hydraulique, etc.) ;
- au dimensionnement du stockage (nombre, nature, capacité et emplacement des réservoirs, mode de fonctionnement, équipement de commande, etc.) ;
- au calcul du réseau de distribution (analyse de l'existant, structure, extension et/ou renforcement, tracé, calculs hydraulique, etc.) ;
- à l'évaluation du coût du projet.

1.5 : Présentation générale de la zone d'étude

1.5.1 : Situation géographique et accessibilité de la ville de Kaya

La ville de Kaya est le Chef lieu de la province du Sanmatenga. Elle est située à 105 Km de Ouagadougou sur la route nationale N°3 (Ouagadougou-Dori). Ses coordonnées géographiques sont :

- 13°06' de latitude Nord
- 1°05' de longitude Ouest

Elle couvre une superficie de 78,5 Km² et comprend sept secteurs. La carte ci-dessous situe la ville de Kaya.

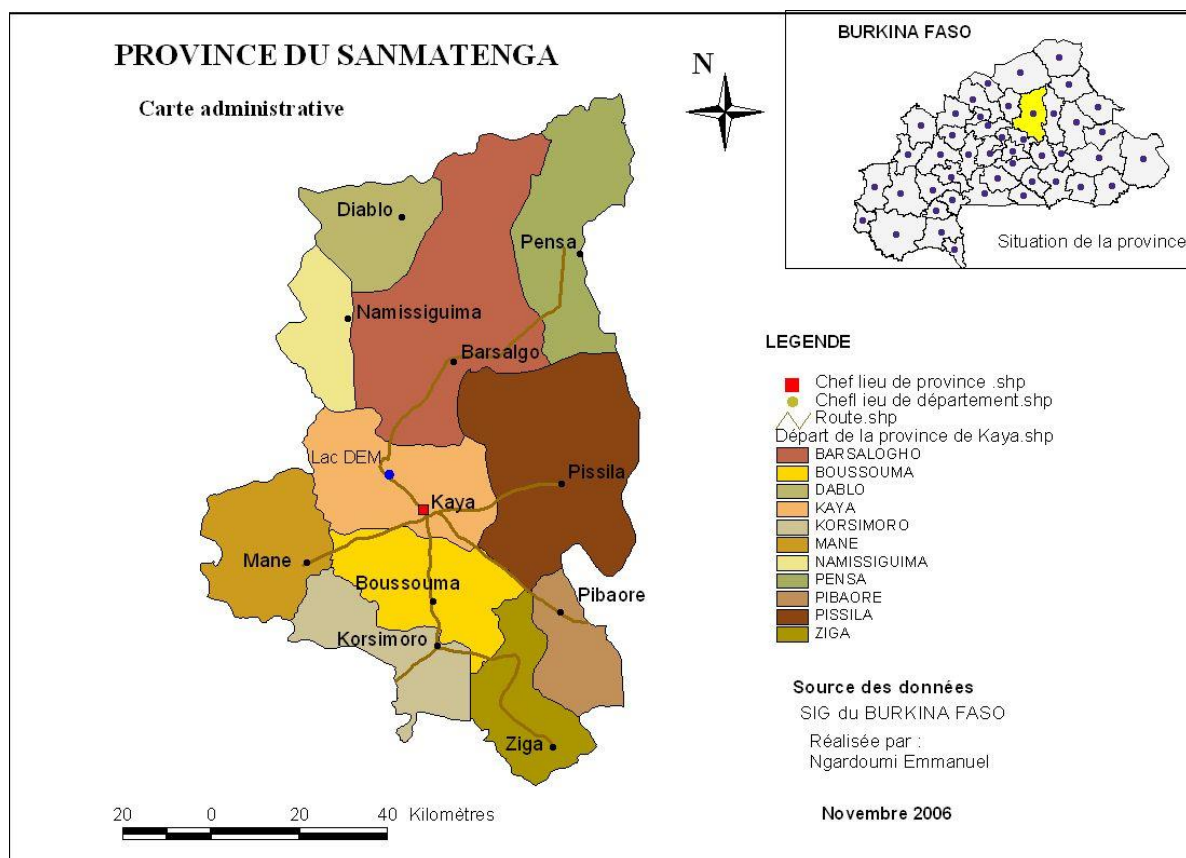


Figure 1 : carte de localisation de la ville

1.5.2 : Milieu physique

1.5.2.1 Le climat

La ville de Kaya est située en zone sahélienne caractérisée par deux saisons bien contrastées : une longue saison sèche de novembre à mai et une courte saison de pluie de juin à octobre. La pluviométrie moyenne annuelle est de 690 mm et les températures moyennes journalières varient entre 25°C (décembre-janvier) et 32 °C (mars-avril). Les températures maximales atteignent 40°C.

1.5.2.2 : Géologie et géomorphologie

La géologie générale de la ville de Kaya est caractérisée par un socle sous-jacent de roches volcano-sédimentaires. On note du côté ouest de la ville des méta-volcanites neutres à basiques, du côté nord des roches magmatiques et de granitiques indifférenciés. Enfin du côté est et sud-est des roches plutoniques constituées de granites à biotites et amphiboles dont les parties saines s'observent sous forme d'affleurements.

La zonation géologique a été réalisée à l'aide du logiciel Arcview avec les données sources de la carte géologique du Burkina Faso. Le tableau suivant résume les superficies de différentes formations géologiques.

Tableau 1 : pourcentage des formations géologique

Nature de formation	Superficie (Km2)	Pourcentage
Facies grenus basiques (sils, laccolites) associés aux méta-volcanites: diorite, gabbros, diorites quartziques	8,19	1%
Granites a biotite amphibole	111,30	12%
Meta-volcanites neutres a basiques	269,86	30%
Migmatites et granites indifférenciés	253,26	28%
Secteurs à prédominance de méta-volcanites et pyroclastites acides	90,41	10%
Volcano sédimentaire : tufs, laves et sédiments associés	173,61	19%
Total	906,63	100%

La ville se trouve dans une vallée d'une chaîne de collines à calottes cuirassées entrecoupées de nombreuses ravines. La carte suivante illustre la répartition des formations géologiques de Kaya.

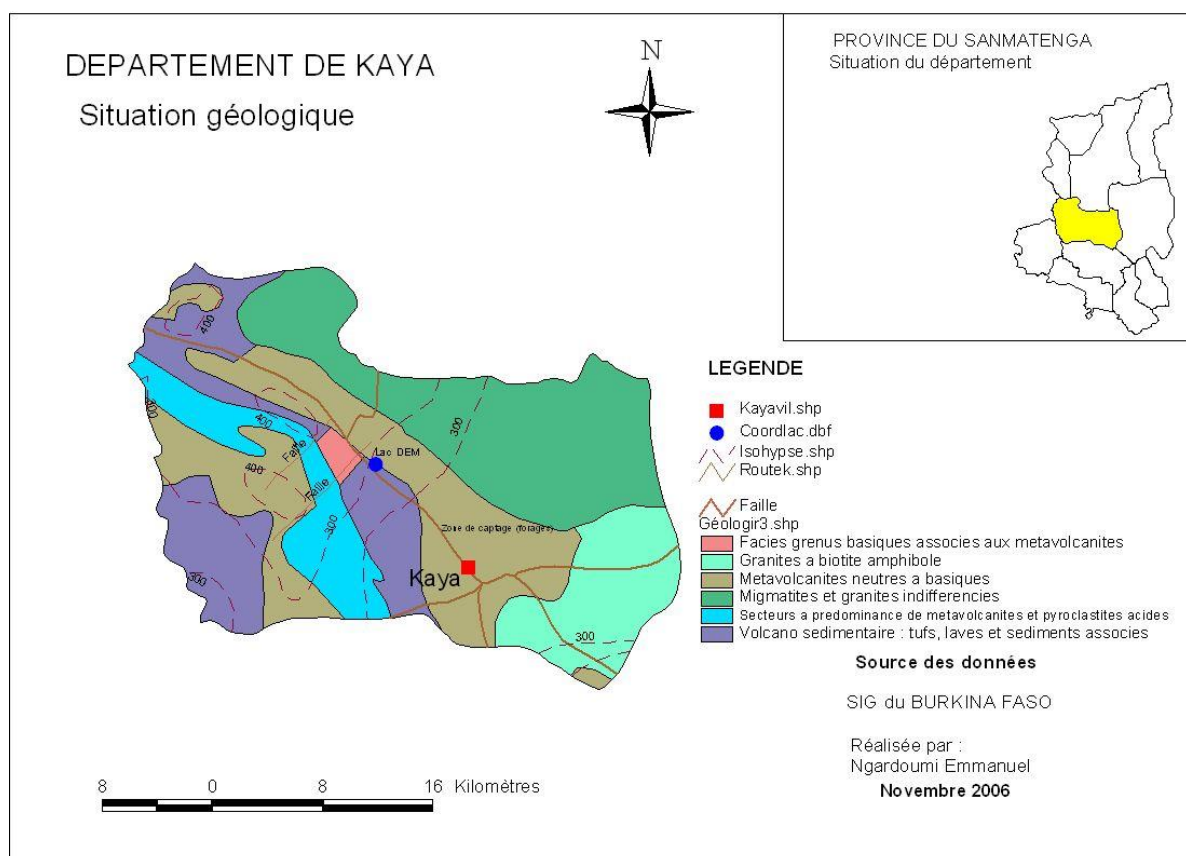


Figure 2 : répartition spatiale des formations géologiques

1.5.2.3 : Hydrographie

Le réseau hydrographique de la province du Sanmatenga est constitué de quelques cours d'eau à régimes intermittent. Le Nakambé (plus de 95 % de la superficie) et ses affluents constituent les cours d'eau les plus importants. Les autres réserves en eau de surface de la ville sont constituées de lacs naturels (Dem et Sian) et de barrages et retenues d'eau.

Deux sous bassins drainent les eaux pluviales de la ville de Kaya :

- Le sous bassin du marigot du barrage de Kaya-Dimassa à l'extrême nord et à l'est,
- Le sous bassin du marigot Napagba au nord-ouest et à l'est de la ville.

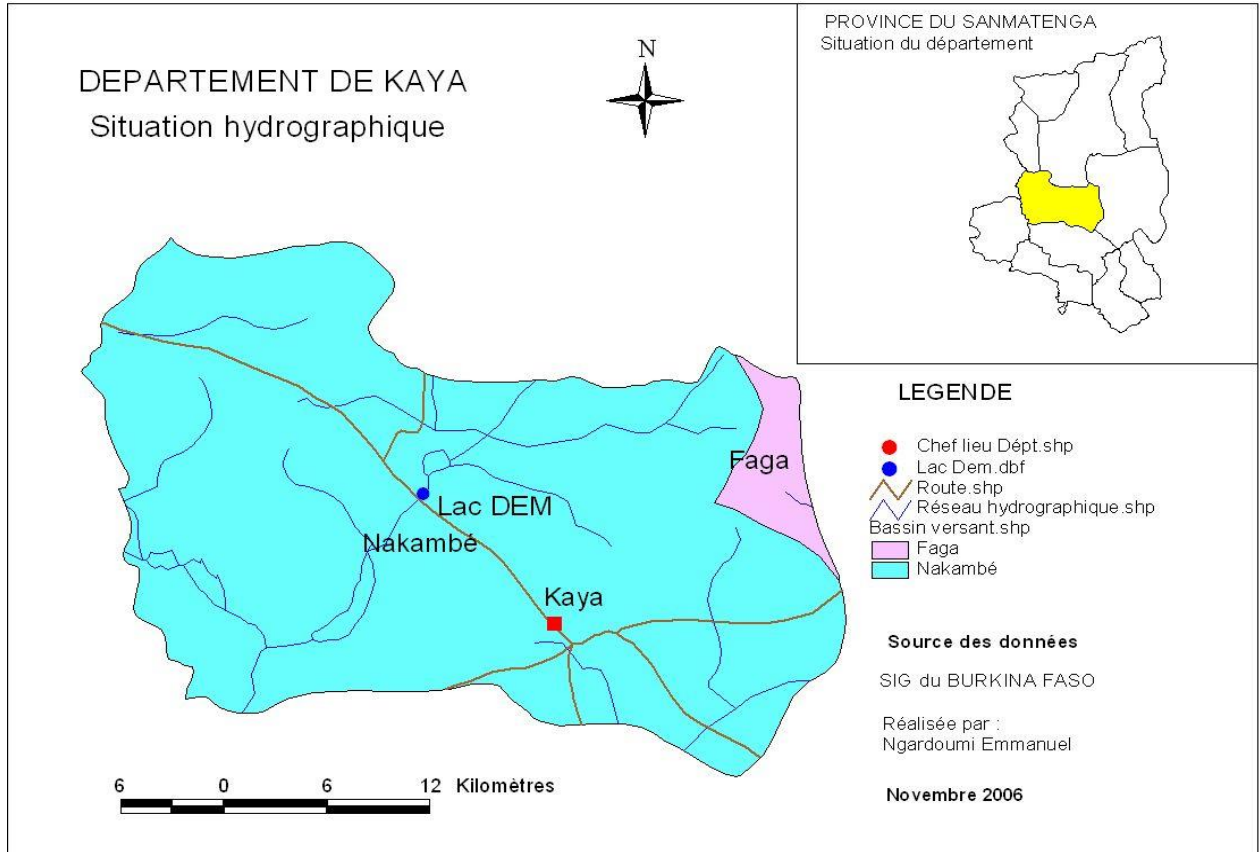


Figure 3 : situation hydrographique

1.5.2.4 : Milieu humain

Selon les résultats du recensement de la population de 1996, la ville de Kaya comptait 33.958 habitants. Avec un taux de croissance de 2,52%, on estime cette population à 39.427 en 2002. Les jeunes de moins de vingt ans représentent 59% de la population totale. La répartition de la population par secteur dans la ville de Kaya en 2002 est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 2 : répartition de la population par secteur en 2002.

Secteurs	Secteur 1	Secteur 2	Secteur 3	Secteur 4	Secteur 5	Secteur 6	Secteur 7	Total
Population	7767	4811	6269	4928	1893	8358	5401	39 427

Source : DRED-Kaya

Selon les enquêtes réalisées dans le cadre du plan de développement communal de février 2004, les mossi sont le groupe ethnique majoritaire à Kaya (88%). Ils sont suivis des peuls (5%). On note la présence des ethnies minoritaires telles les haoussa, les Gourmanché, les San, les Bissa, etc. L'islam est la religion dominante suivi du christianisme et de l'animisme.

En 1996, la province du Sanmatenga comptait 1337 immigrés contre 5.802 émigrés. Le solde migratoire est donc négatif ; la province est donc une zone de départ pour les autres villes du pays ou vers l'étranger.

1.5.3 : Synthèse socio-économique

1.5.3.1 : Infrastructures d'éducation et d'alphabétisation

Les infrastructures d'éducation et d'alphabétisation sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 3 : les infrastructures éducatives de la commune

	Préscolaire		Primaire			Secondaire		alphabétisation
	Public	Privé	Public	Privé	Franco-arabe	Public	Privé	-
Nbre d'écoles.	1	1	13	7	4	3	2	1
Total écoles	2		24			5		1
Salles de classe			94			51		

On dénombrait au primaire pour l'année 2002/2003 5.396 élèves dont 2.821 garçons et 2.575 filles. Le taux de scolarisation brut en 2002 était de 85,08%. Au secondaire pour la même année académique, l'effectif des élèves était de 3.360.

1.5.3.2 : Infrastructures de santé humaine

La ville de Kaya compte un centre hospitalier régional et quatre centres de santé et de promotion sociale. On dénombre en plus deux dispensaires, une pharmacie et des dépôts de médicaments essentiels et génériques (MEG). Les formations sanitaires privées sont au nombre de deux. Nous signalons que le district sanitaire de Kaya couvre les départements de Kaya, Boussouma, Korsimoro, Pibaoré, Mané, et le village Basnéré. Le district compte un médecin pour 203.088 habitants, un infirmier pour 7.003 habitants.

Le paludisme vient en tête des motifs de consultation médicale, les maladies diarrhéiques suivent. Compte tenu de sa position de carrefour, la ville de Kaya connaît un taux de prévalence aux IST/VIH assez élevé.

1.5.3.3 : Urbanisation

D'après les résultats des enquêtes du bureau DBS-Conseils, l'espace communal de Kaya comporte une zone lotie représentant 83% du territoire et une zone non lotie de 17%. Un nouveau lotissement a été effectué en 2002-2003 qui n'est pas entièrement pris en compte dans le calcul des pourcentages. D'après les autorités communales, en 2004, le dernier lotissement a permis de dégager 3700 parcelles supplémentaires.

Les seules voies bitumées sont celles qui relient Ouagadougou à Dori et la bretelle de la voie qui traverse une partie de la ville en contournant le marché central jusqu'à la route cité ci haut. Le reste du réseau routier est en terre.

Le projet de chemin de fer du Sahel joignant Ouagadougou-Tambao et le Niger a permis de construire une gare ferroviaire dans la ville.

On note par ailleurs l'existence du réseau téléphonique à travers l'ONATEL et les opérateurs de la téléphonie mobile : TELECEL et CELTEL. Les stations de radio privées existent également.

Le réseau d'assainissement est quasiment inexistant. L'embryon du réseau est localisé au centre ville et dans les quartiers anciennement lotis. Il comporte 3000 mètres de caniveaux revêtus et 1200 mètres de caniveaux maçonnés.

1.5.3.4 : Principales activités socio-économiques

L'agriculture

L'agriculture est la principale activité de la province du Sanmatenga. Elle est de type extensive. Environ 95% de la population est agro-pasteur. Les surfaces cultivées sont estimées à 75 000 ha (DRED/CN, 2003). Les spéculations culturales concernent les céréales (sorgho, mil, maïs et riz) et les légumineuses. On note également la pratique des cultures de rente et de la cueillette.

L'élevage

On distingue deux types d'élevage dans la province : l'élevage transhumant et l'élevage sédentaire. Un élevage urbain se pratique dans la ville de Kaya. Il concerne les bovins, ovins, caprins, asins, porcins et la volaille. Un ancien abattoir approvisionne la ville et ses environs en viande.

Le commerce

La ville de Kaya fait l'objet d'une activité commerciale relativement intense. Elle implique les provinces du Namentenga, du Sahel, d'Oubritenga et la ville de Ouagadougou. Les échanges se font également avec le Togo, le Ghana, la Côte d'Ivoire, le Nigeria, etc....

Les produits céréaliers proviennent principalement de Ouagadougou et des provinces excédentaires du Sud du Pays. Les autres produits agricoles sont cultivés localement pour l'essentiel au lac Dem et au lac Sian et autour des retenues d'eau de la province.

Les exportations du bétail vers les pays côtiers et la ville de Ouagadougou de 2000 à 2003 sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau 4 : exportation du bétail

Période	Bovins	Ovins
2002	54513	11020
2001	6814	
2000	74955	

La pêche

Elle est une activité secondaire en raison du caractère temporaire des cours et plans d'eau. Elle est surtout pratiquée dans les deux lacs naturels de Dem et Sian.

L'artisanat et le tourisme

Le secteur de l'artisanat est très important dans la ville de Kaya. Il regorge l'artisanat du bois et des produits forestiers non ligneux, la cordonnerie, la vannerie, la poterie, la forge, etc.

La place Naaba Oubri, les palais royaux à Dimassa, la cathédrale, la mosquée centrale, les tombes de Yaoghin, le Tibo dans le village de Gaoua constituent les sites touristiques de la province.

2 : DIAGNOSTIC DE L'EXISTANT

Introduction

L'étude de tout projet de production et de distribution d'eau nécessite la compréhension globale de l'existant et de l'environnement dans lequel sera réalisé le projet. Ainsi, seront décrits les différents éléments structurels du réseau, leur agencement, leur géométrie et leur localisation sur un plan. Ce support constituera l'information de base à laquelle seront rattachées toutes les autres informations. Celles qui nécessiteront une référence spatiale géoréférenciée seront gérées dans une base de données à référentiel géodésique national.

Une analyse de la ressource en eau, du réseau, des unités de traitement, du stockage et des points de desserte sera réalisée.

Les informations de comportement telles que les contraintes d'exploitation, le comportement des éléments du système, etc. ; au cas où elles sont disponibles permettront de simuler le comportement du système. Enfin les informations de projet ou de gestion administratives comme les interventions réalisées sur l'ouvrage, les contraintes à respecter, les projets en cours, etc. qui sont des informations d'opération ou de planification opérationnelle serviront à orienter le projet.

Une analyse synthèse de l'état de fonctionnement actuel du système d'adduction apportera des éléments aux choix d'options technologiques et à la conception du futur système d'approvisionnement en eau.

2.1 Description du système d'AEP existant

Le système d'approvisionnement en eau potable de la ville de Kaya existe depuis 1964. Il a connu des importants travaux de réhabilitation dans le cadre du Programme d'Hydraulique Urbaine (PHU)4B.

2.1.1 : Les aquifères exploités

La géologie de la ville de Kaya est caractérisée par des formations volcano-sédimentaires birrimiennes d'orientation générale NO-SE. A proximité nord est de la ville, on rencontre des formations granitiques et gneissiques plus anciennes.

Les nappes d'eau sont localisées dans les zones fracturés/fissurées du socle cristallin et dans les altérations argilo-sableuses.

La recharge des nappes se fait en saison pluvieuse par infiltration de l'eau de pluie. Il se produit également une recharge locale par infiltration dans le fond des retenues d'eau existantes.

2.1.1.1 : Les champs de captage

L'approvisionnement en eau de la ville de Kaya se fait à partir de deux champs de captage, situés à proximité de la ville. Les champs de captage sont équipés de 16 ouvrages d'exploitation dont 14 forages et 2 puits. Le rapport hydrogéologie du Plan de Développement (2003) identifie deux sous bassins d'une superficie totale de 70 Km².

Tableau 5 : les champs de captage pour l'AEP de Kaya

Champs captage	Emplacement	Superficie en Km ²	Nbre. de forages	Nbre. de puits	N° d'ouvrage
1	Est de la ville	50	11	2	FK12, FK14, FK16, FK17, FK20, FK21, FK27, FK28, FK33, FK34, P3, P4
2	Sud-est de la ville	20	3	0	FKa30, FKa31, FKa35
Total		70	14	2	

Les débits recommandés pour les forages sont indiqués dans le tableau suivant.

Tableau 6 : comparaison débits recommandés et prélevés.

Ouvrages	FK12	FK14	FK16	FK17	FK20	FK21	FK27	FK28	FK29	FK30	FK31	FK33	FK34	FK35	P3	P4	Total
Débits m ³ /h	3	8	6	4	5	4	3	3	7	4	7	4	5	5	5	6	79
Prélèvement Recommandé (m ³ /j)	14	60	41	29	34	29	39	49	49	22	30	12	25	35	17	40	525

Source : synthèse hydrogéologique

2.1.1.2 : Les autres points d'eau

La ville de Kaya compte assez de pompes manuelles et de puits modernes et traditionnels. Le dénombrement de ces points d'eau réalisé par l'étude de faisabilité du projet d'hydraulique urbaine de la ville de Kaya réalisée en 1996 donne :

Tableau 7 : les points d'eau de la ville

	Forage à pompe manuelle	Puits busés	Puits traditionnels
Nombre	49	5	186
Profondeur maximale	–	28,4	26
Profondeur minimale	–	11,2	9,2
Profondeur moyenne	–	16,7	14,9
Niveau moyen de l'eau	–	13,9	13

La vente de l'eau au niveau des pompes manuelles se fait soit au volume ou par cotisation mensuelle. Les prix varient de 5 FCFA à 15 FCFA pour les bidons de 50 litres. En général, la gestion des pompes est assurée par un comité de gestion de points d'eau.

2.1.2 : Les composantes du système

Exhaure

L'exhaure se fait à travers un réseau de 9.334 m de canalisation PVC de diamètre variant de 75 à 160 mm.

Traitement

Le traitement par injection de chlore à l'aide de pompes doseuses a été abandonné. Il consiste désormais en une simple dissolution des pastilles de chlore dans une bache avant refoulement.

Qualité de l'eau distribuée et conformité aux normes

Les analyses physico-chimiques réalisées par l'ONEA sur les prélèvements faits sur de branchements particuliers présentent une eau moyennement minéralisée ($C=450 \mu\text{S}/\text{cm}$) avec un pH légèrement supérieur à 7.

Refoulement

Le refoulement est en partie mixte (refoulement distribution) et en partie direct (vers le château d'eau). La conduite de refoulement est en PVC $\Phi 200$ et mesure 976 m.

Stockage

Le stockage est assuré par un château d'eau en béton armé de 200 m³. Il a été réhabilité dans le cadre du projet (PHU)4B. Le centre dispose aussi d'une bache de 45 m³ qui sert de transition entre l'exhaure (à partir des forages) et le refoulement vers le château. C'est dans cette bache que se fait la dissolution des pastilles de chlore.

Distribution

Le réseau de distribution comprend 54.782 mètres de canalisation tous diamètres confondus, 751 BP et 32 BF fonctionnelles en 2003. Les caractéristiques des conduites se trouvent en annexe 4.

Tableau 8 : le réseau de la ville

		PVC	PVC	PVC	PVC	Fonte	PVC	Fonte	PVC	Fonte	PVC	Fonte	PVC	Fonte	PVC	Total
Φ (mm)		63	75	90	110	150	160	200	200			300	315	400	400	
Long. (m)	Ref.								976							976
	Ex.		88	2082	2911		4253									9.334

	Dist.	20.807	2.660	15.373	1670	22	9886	43	662	13	2590	9	412	14	746	54.907
Total (m)		20.807	2.748	17.455	4.581	22	14.139	43	662	13	2.590	9	412	14	746	65.217

Source : centre ONEA de Kaya (les longueurs n'incluent pas les extensions faites dans le cadre du projet PHU 4B) Ref. Refoulement, Ex=exhaure, Dist. = distribution

Profil des abonnés

Les gros consommateurs sont le centre ONEA, le Budget national, l'Administration et les grandes maisons et industries. Le Budget national apparaît comme le plus gros consommateurs avec plus de 37000 m³/an

Quantitativement, les différents types de consommateurs se répartissent comme suit :

Tableau 9 : consommation annuelle selon la facturation en 2003 (m3)

Consommation domestique		Grosse consommation				Total
Branchements particuliers	Bornes fontaines	Grandes maisons et industries	Administration	Budget national	Centre ONEA	
105 508	152 027	3 572	3 111	37 804	720	302 742

- consommation domestique : 85 %
- grosse consommation : 15 %

Les branchements au réseau

Les branchements au réseau sont effectués par les particuliers conformément aux procédures de l'ONEA. En effet, pour avoir un BP, les conditions suivantes doivent être remplies :

- Parcelle à environ 50 m du réseau,
- Conduite de dérivation (vers la parcelle) inférieure ou égale à 160 mm
- Coût de branchement 50 000FCFA.

Les BF sont exploitées par des privés sous contrat de gérance. Ceux-ci s'engagent à respecter les tarifs d'eau fixés par l'ONEA, à assurer un service continu, à respecter les règles de l'hygiène, etc.

Energie

L'alimentation en électricité est assurée par le réseau SONABEL et un groupe électrogène de secours de 95 KVA.

2.2 : Analyse de fonctionnement

2.2.1 : Evaluation de la recharge et prélèvement d'eau.

En zone de socle d'Afrique de l'Ouest, la recharge moyenne annuelle provenant de la pluie est estimée à 2% de la pluie annuelle. La ville de Kaya reçoit une pluie moyenne annuelle de 670 mm. Elle dispose donc d'une ressource renouvelable de $13,410^3 \text{m}^3/\text{an}$ par Km^2 soit 938.000m^3 pour les deux sous bassins.

On observe une tendance générale à la baisse de productivité des forages. Le phénomène de vieillissement des forages (colmatage des crépines, du massif filtrant) ou de l'exhaure serait à l'origine. Les prélèvements annuels par forage varient de 63.151m^3 (Fka14) à 2.855m^3 (Fka17) avec une moyenne de 21.400m^3 soit une moyenne journalière de $59 \text{m}^3/\text{j}$.

La figure suivante donne la variation des volumes prélevés dans quelques forages de l'ONEA de Kaya.

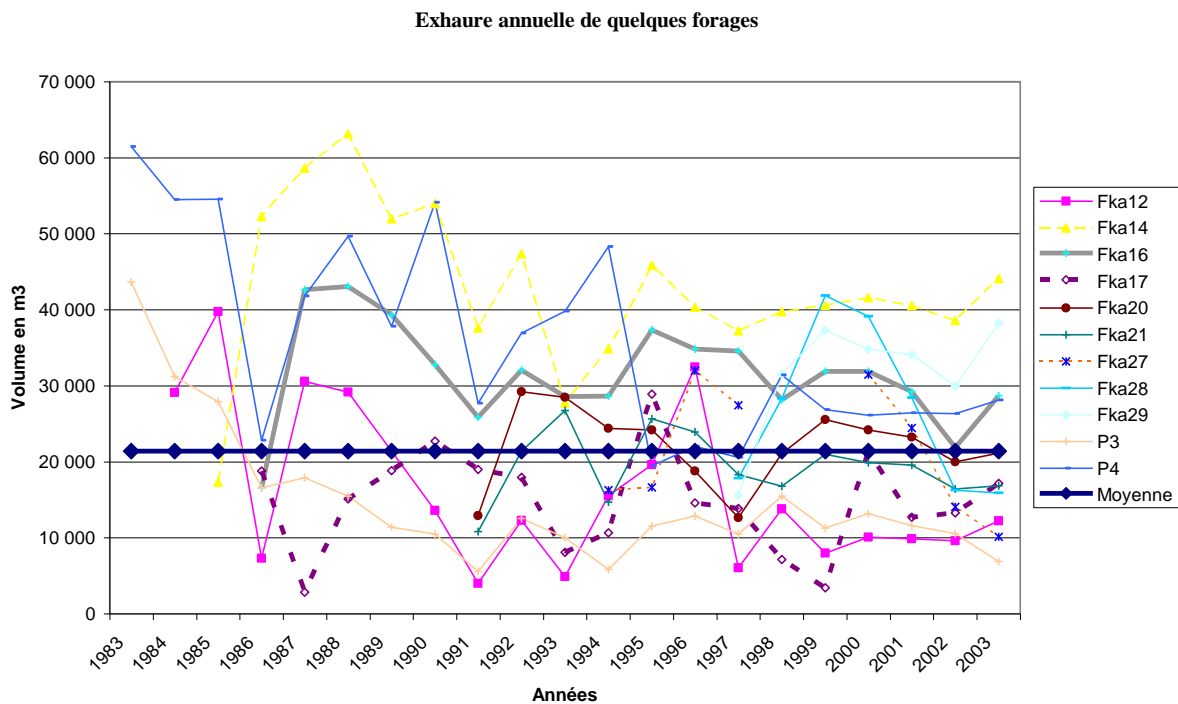


Figure 4 : prélèvement d'eau dans les différents forages

La moyenne des débits effectivement prélevés par forage dépasse largement les débits recommandés par l'étude hydrogéologique. La recharge de la nappe étant limitée, cette exploitation ne respecte donc pas les conditions d'une gestion durable des ressources en eau. La figure suivante illustre les dépassements de débits recommandés de chaque forage.

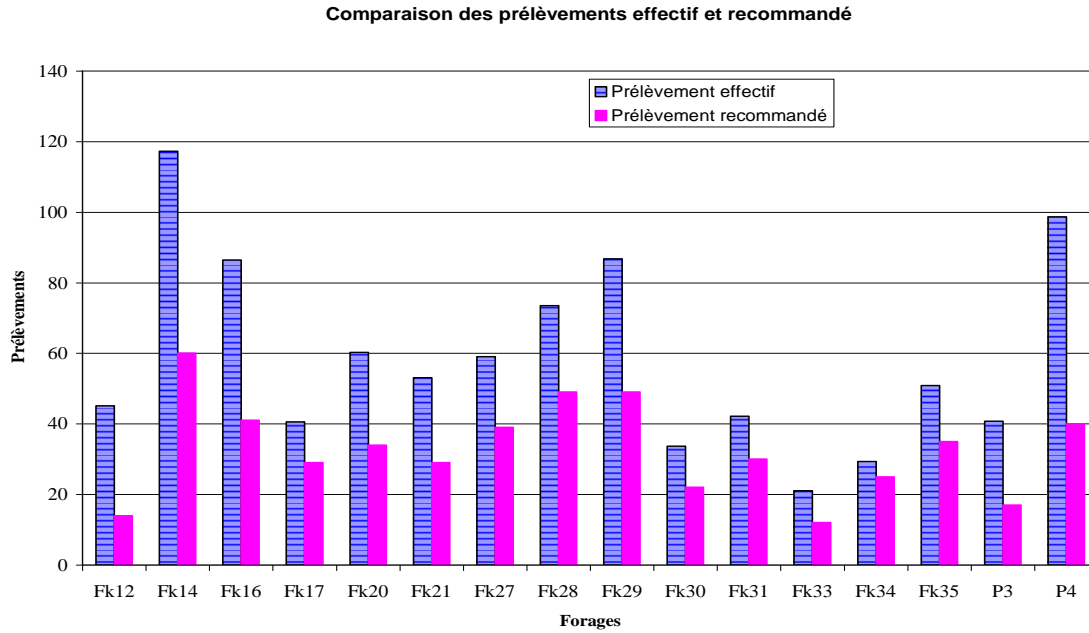


Figure 5 : dépassement de prélèvement observé dans les forages

En 2003, les prélèvements par les forages de l'ONEA sont estimés à environ 318.000 m³ soit 34% de la ressource renouvelable. Les autres prélèvements sont estimés à 50.000m³/an. Les champs de captage sont en état de surexploitation. Ils ne peuvent donc constituer une ressource durable pour l'alimentation en eau de la ville. La figure suivante illustre l'évolution de la production sur vingt années.

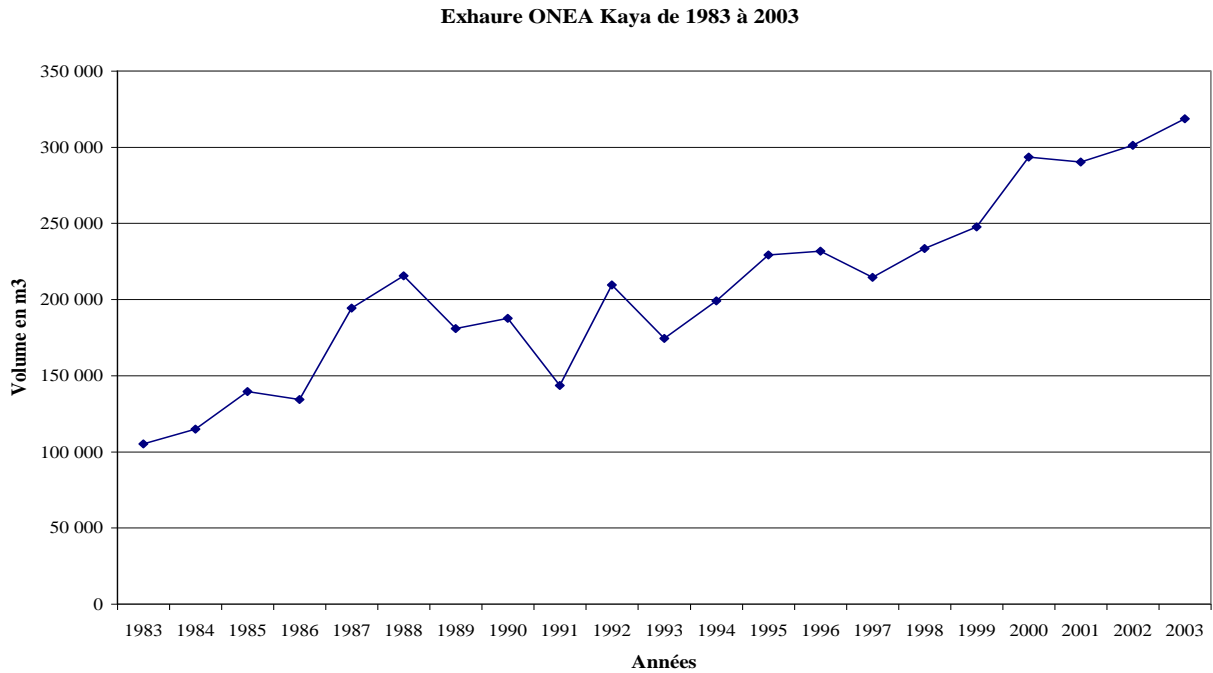


Figure 6 : évolution de la production de 1983 à 2003

2.2.2 : Rendement du réseau

Le rendement technique du réseau s'établit selon la formule suivante :

$$\text{Rendement technique} = (\text{volume vendu comptabilisé} / \text{Volume produit}) \times 100$$

Les rendements observés chaque année sont résumés dans le tableau suivant. Le rendement technique moyen est de 93,20 %. A partir de 2002, les rendements sont meilleurs, certainement dus aux travaux de réhabilitation.

Tableau 10 : Production et consommation du système d'AEP

Années	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Production en m3/an	241519	257953	266405	280082	293835	289126	298835	314536
Consommation en m3/an	219327	228634	237251	263594	273325	266935	298668	307195
Rendement	90,81	88,63	89,06	94,11	93,02	92,32	99,94	97,67

Source : Rapports techniques d'exploitation ; exercices 2000, 2002, et 2003 ; ONEA, Direction de l'exploitation et Etudes socio-économiques et plans de développement de Kaya

Le calcul du rendement fournit une première approche de l'état des réseaux, en indiquant le pourcentage d'eau effectivement consommé par les usagers.

Pour une année donnée, les mesures des volumes consommés (relevés des compteurs des abonnés) et des volumes mis en distribution ne sont pas tout à fait simultanées. Il est donc important d'évaluer le rendement sur plusieurs années successives pour éviter le biais dû à un éventuel décalage des relevés.

La perte d'eau correspondante comprend (liste non exhaustive) :

- le défaut de comptage (inexactitude des compteurs, erreur de lecture des index) ;
- les besoins de traitement (purge du réseau, traitement) ;
- volumes détournés (falsification d'index et volumes détournés) ;
- les fuites (défaut d'étanchéité du réseau et réservoir, cassures)

Conclusion partielle

Le réseau actuel de la ville de Kaya n'arrive plus à satisfaire les besoins de la ville tant au niveau de service que sur celui de la qualité du produit. Les nappes souterraines sont exploitées au delà du prélèvement recommandé. Ceci conduit à un épuisement de la ressource. Cet inventaire non exhaustif compte tenu des moyens dont nous disposons nous a permis de mieux connaître le fonctionnement du système dans son environnement. Les données à jour ou actualisées aideront à la conception et au dimensionnement des composantes du nouveau système d'adduction.

3 : EVALUATION DE LA RESSOURCE ET DE LA DEMANDE

3.1 : Etude de ressource en eau de surface

L'objectif de cette étude est d'évaluer les possibilités d'exploiter l'eau du lac Dem pour l'approvisionnement en eau potable de la ville de Kaya.

3.1.1 : Caractéristiques du bassin versant et du lac Dem

Nous reprenons ici l'essentiel des résultats du volet hydrologie de l'étude de faisabilité. Les caractéristiques principales du bassin versant et du lac Dem sont les suivantes :

Tableau 11 : caractéristiques du lac Dem

Type et localisation	Nom	Lac Dem
	Type	Lac
	Département	Sanmatenga
	Région	Centre Nord
	Coordonnées géographiques	01°09'50" W et 13°10'38"N
Morphologie	Superficie maximale du plan d'eau (cote déversoir)	7.520.000 m ²
	Longueur orientée N-E, S-O	6,5 Km
	Largeur	1,1Km
	Volume d'eau maximale (cote déversoir)	13.200.000 m ³
	Bathymétrie	Oui
Bassin versant	Superficie	400 Km ²
	Périmètre	90 Km
	Longueur équivalente	33 Km
	Largeur équivalente	12 Km
	Indice global de pente	3m/Km
	Coefficient de compacité	1,26
	In filtrabilité	Ig3I

3.1.1.1 : Courbe Hauteur surface volume

Ces courbes tracées sur la base du plan topographique permettent d'évaluer facilement les surfaces noyées et les volumes correspondants pour différentes cotes. Elles sont tracées point par point. Le pas de dénivelée considérée entre les courbes est 0,50 m. En partant du fond, on calcule les volumes correspondants.

On trace les graphiques $H = f(V)$ et $H = f(S)$ qui sont respectivement les courbes hauteur-volume et hauteur- surface de la retenue.

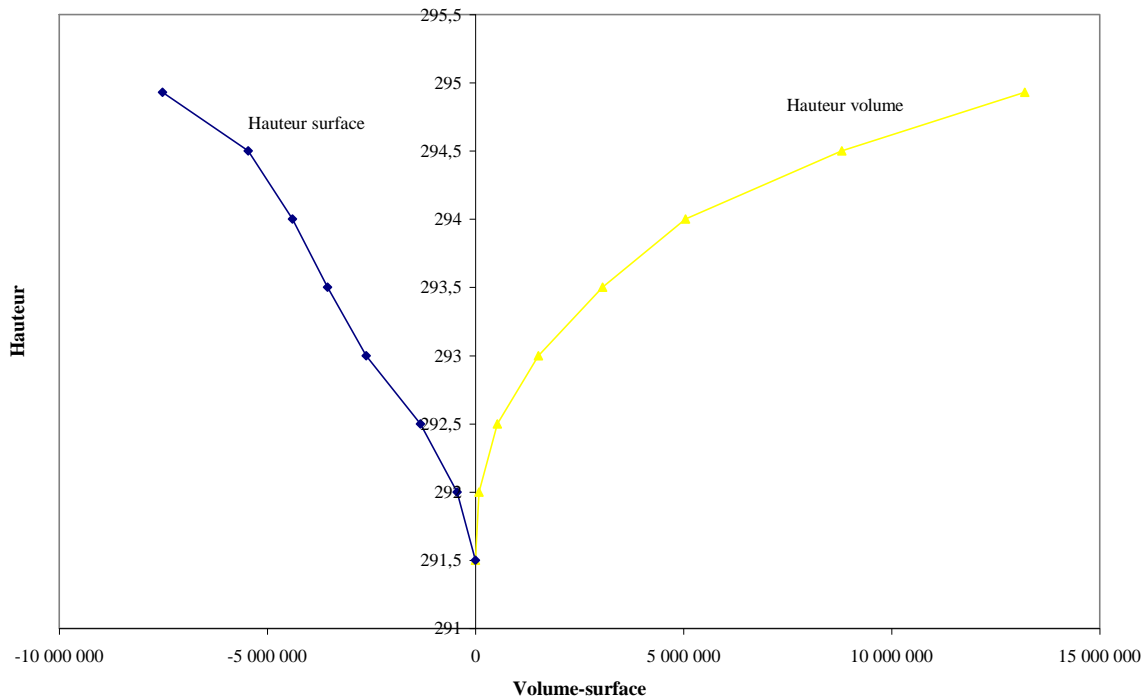


Figure 7 : courbe hauteur-volume-surface

Les caractéristiques de l’ouvrage de retenue sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 12 : caractéristiques de l’ouvrage de retenue d’eau

Déversoir type	Radier en béton
Longueur déversante	58 m
Longueur de la digue	400 m
Hauteur de la lame d’eau	1,3 m
Revanche	1,75 m
Coefficient de débit	0,40

3.1.1.2 : Caractéristiques de l’eau du lac Dem

La connaissance des caractéristiques initiales d’une eau brute est nécessaire dans la filière de traitement de potabilisation. La complexité d’une unité de traitement est intimement liée à la qualité de la ressource. Les caractéristiques de l’eau du lac Dem se trouvent en annexe 2.

D’après le mémento de la Lyonnaise des eaux, l’eau du lac Dem appartient à la classe 3 en fonction de ses principaux paramètres de potabilité. La filière de traitement la plus adaptée consistera à :

- une préoxydation dont le rôle est d’oxyder l’azote ammoniacal, d’éliminer les algues et d’améliorer la coagulation floculation ;
- un traitement par coagulation floculation, décantation, filtration puis désinfection.

3.1.2 : Evaluation des apports au lac Dem

Le lac Dem est alimenté par les eaux de ruissellement d'un sous bassin versant du Nakambé de 400 Km² situé en amont du lac. Les apports utilisés ont été estimés par la DGIRH. Les données constituent une série de volumes mensuels ruisselés couvrant la période de 1961 à 2003. La série a été élaborée sur la base de la série de débit spécifique de la station de Ramsa. L'apport annuel dans l'année sèche décennale est estimé à 11,4 millions de m³. L'analyse statistique donne les paramètres suivants :

Tableau 13 : paramètres de la distribution

Quantile	Valeurs
Maximum	88.3 millions de m ³
Moyenne	29.9 millions de m ³
Médiane	22.6 millions de m ³
10%	11.4 millions de m ³
Minimum	9.1 millions de m ³

3.1.3 : Bilan d'eau du lac Dem

Il a été fait sur la base des éléments suivants :

- l'apport d'eau mensuel ;
- la pluie directe sur la retenue ;
- l'évaporation à partir de la surface du lac ;
- les pertes par infiltration dans le fond du réservoir ;
- les prélèvements pour l'AEP ;
- les prélèvements pour l'irrigation et le bétail.

Les prélèvements d'eau correspondent aux prévisions des besoins de l'horizon du projet.

3.1.4. Etude de l'exploitation de la retenue

On suppose que la retenue est pleine en fin octobre. On commence à exploiter la retenue à partir du 1^{er} novembre. Les pertes sont exprimées en mm et déduites en ordonnées, les besoins sont exprimés en volume et sont déduits des abscisses.

On procède par itération :

- on fixe la cote en début de saison sèche, retenue supposée pleine (début novembre) ;
- les besoins humains et pastoraux sont supposés incompressibles compte tenu de la non maîtrise du prélèvement de l'eau dans le barrage ;

- on retranche successivement les besoins totaux (humains, pastoraux et agricoles) et les pertes pour chaque mois ;
- si le volume résiduel est inférieur au volume mort, on diminue les besoins agricoles (superficies des cultures) et éventuellement on change la cote en début de saison sèche. On recommence jusqu'à avoir un volume résiduel supérieur au volume mort.

Le bilan d'eau est résumé dans l'annexe 3.

Les résultats ont été jugés satisfaisants pour la cote du radier du canal 292,50 m.

3.2 : Planification du système

L'horizon du projet est l'année jusqu'à laquelle les ouvrages seront à mesure de satisfaire le service. Les facteurs tels que l'accroissement de la population, l'augmentation de la consommation, l'urbanisation, l'industrialisation, rendent souvent cette exigence difficile. L'horizon du projet est l'année 2020. Il s'exécutera en deux phases :

- une première phase de dix ans de 2006-2015 ;
- et une deuxième phase de cinq ans de 2015-2020.

3.2.1 : Evaluation des besoins

3.2.1.1 : Evaluation du nombre de consommateurs

L'accroissement de la population de la ville de Kaya est récapitulé dans le tableau suivant :

Tableau 14 : accroissement de la population

Année	Population	Taux d'accroissement
1975	19.293	
1985	25.814	2,95%
1996	33.958	2,73%
1998	36.035	2,75%
2002	38.193	2,56%
Moyenne		2,75%

Source : recensement d'INSD de 1975, 1985, 1996, recensement administratif de 1998 et enquêtes socio économiques dans 12 centres secondaires ONEA-lot1 Kaya.

Nous observons sur ce tableau une tendance à la baisse du taux d'accroissement. La moyenne sur 27 ans est de 2,75%. Compte tenu de cette tendance à la baisse, nous retenons un taux d'accroissement réaliste de 2,5%.

Nous utiliserons la méthode de croissance géométrique pour évaluer l'effectif des consommateurs à l'horizon du projet. Cette méthode est adaptée pour une population jeune et en pleine croissance. Malgré la tendance à la baisse du taux de croissance, elle nous semble la mieux indiquée.

$$P_n = P_0(1 + \alpha)^n$$

P_n : population après n années

P_0 : population à l'année de référence

α : Taux d'accroissement de la population

n = nombre d'années pour l'échéance du projet

3.2.1.2 : Analyse de la consommation

Les sources d'eau disponibles dans la ville de Kaya sont outre la station d'eau de l'ONEA, les pompes manuelles, les puits modernes et traditionnel et les eaux de surface : barrages, rivières, eaux de pluies. En 2002, 14195 personnes soit 37% de la population communale étaient desservies en eau de façon exclusive hors du réseau ONEA.

Les branchements privés au réseau de l'ONEA évoluent en dent de scie. De 1996 à 2003, on observe un accroissement quasi nul des branchements particuliers.

La situation de l'ensemble de la population s'approvisionnant au réseau ONEA c'est à dire les branchements privés, les bornes fontaines et les revendeurs d'eau des bornes fontaines en 2002 est représentée dans le tableau suivant :

Tableau 15 : répartition de la population s'approvisionnant au réseau ONEA et autres

BP		BF		Autres	Total
BP unique	BP et autres	BF unique	BF et autres		
4465	895	10324	7805	509	
Total BP : 5 360		Total BF : 18 129		Total : 509	23 998

Source : enquêtes socio-économiques dans 12 centres secondaires ONEA, Lot 1-Kaya

Nous avons un total de 23998 personnes sur un total de 38.193 en 2002 qui ont recours au réseau ONEA. Soit un taux de couverture de l'ordre de 63%. Plus spécifiquement :

- 4465 personnes (12%) s'approvisionnement uniquement aux BP ;
- 10324 personnes (27%) s'alimentent uniquement aux BF ;
- 895 personnes (2%) combinent BP avec les autres sources d'eau ;
- et 7805 personnes (27%) combinent BF et les autres sources.

L'évolution de la consommation annuelle au niveau des branchements particuliers et de bornes fontaines se présente de la manière suivante.

Tableau 16 : évolution de la consommation annuelle au niveau des BP et BF

Années	BP	BF	Total
2002 (m3)	103 189	136 316	239 505
2003 (m3)	105 508	152 027	257 535
Taux d'accrois.	2,2%	11,5%	7,5%

Source : centre ONEA de Kaya, mai 2004

Nous avons un accroissement de la consommation au niveau de BF de 11,5% de 2002 à 2003.

Globalement en 2002, la consommation totale est de 239505 m3 pour 23998 habitants soit une consommation spécifique au niveau du réseau de 27 litres par personne et par jour. Spécifiquement, elle est de 53 litres par personne et par jour au niveau des branchements particuliers et 21 litres par personne et par jour au niveau des bornes fontaines. Bien entendu, ces consommations spécifiques sont sous estimées car plus de 8000 personnes combinent le réseau ONEA avec d'autres sources. D'autre part la pénurie d'eau et les ressources limitées d'un grand nombre de la population contribuent à une faible consommation d'eau du réseau ONEA.

La consommation des autres types d'abonnés est la suivante :

Tableau17 : Consommation annuelle selon la facturation des abonnés en 2002 et 2003 (m3)

Types de consommateurs	2002	2003
Grandes maisons et industries	2 606	3 572
Administrations	3 641	3 111
Budget national	52 206	37 804
Centre ONEA	710	720
Total	59 163	45 207

Source : Rapport technique, ONEA, Direction de l'exploitation, exercice 2002 et 2003

Dans une situation de déficit de ressource, ces chiffres ne traduisent pas tout à fait la réalité de la consommation d'eau dans la ville.

Le profil de consommation de la ville de Kaya se présente de la manière suivante :

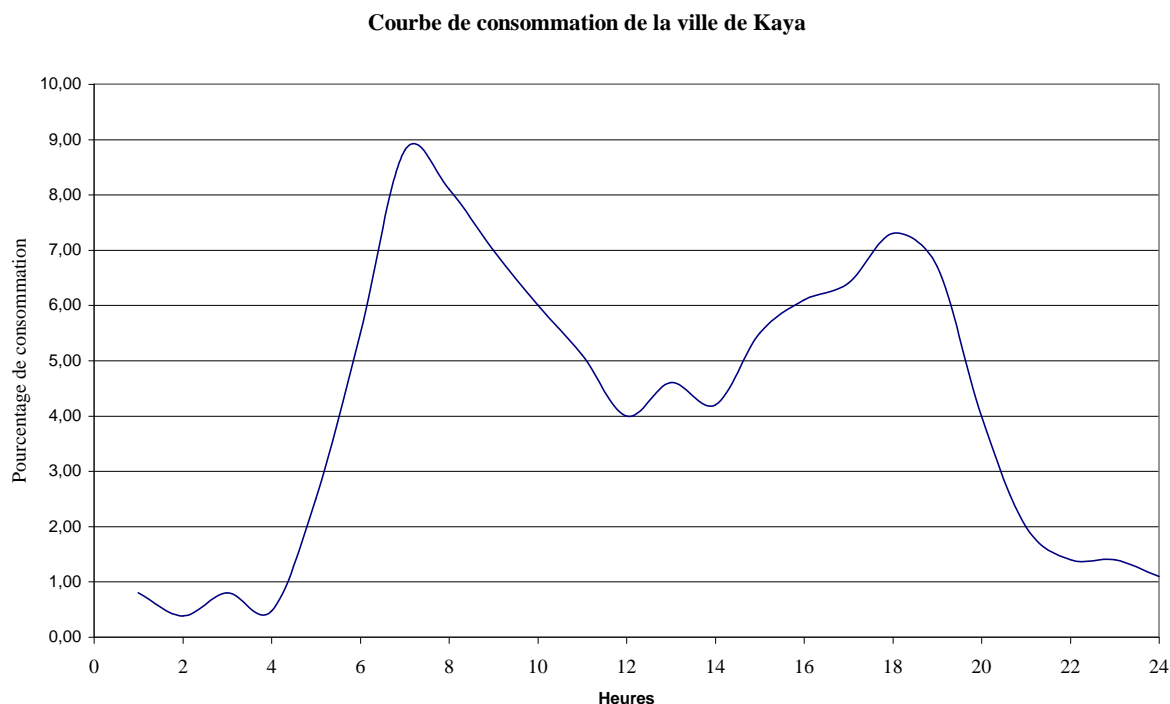


Figure 8 : profil de consommation

3.2.1.3 : Adéquation ressources besoins

Les besoins moyens annuels représentent moins de dix pourcent des apports annuels de l'année décennale sèche qui sont estimés à 11,4 millions de mètres cube. Cette exploitation du lac laisse la possibilité à d'autres activités de s'exercer notamment l'irrigation, l'alimentation du bétail, la pêche, etc.

3.2.2 : Données de base

A partir de l'analyse des données des résultats de l'étude de faisabilité, nous retenons les paramètres suivants pour la planification.

Tableau 18 : données de base

Données de base	Année de référence	2002
	Horizon du projet	2020
	Population agglomération urbaine en 2002	38.193
	Taux d'accroissement de la population %	2,5
	Population desservie	23.998
	Taux de desserte en 2015	90
Branches particuliers	Population desservie	5.360
	Vente actuelle d'eau aux BP en m ³	103.189
	Consommation moyenne spécifique aux BP en 2015 en l/j/h	55

	Taux de croissance des BP	2
Bornes fontaines	Vente annuelle d'eau aux BF en m3	136.316
	Consommation moyenne spécifique aux BP en 2015 en l/j/h	25
Autres consommations	Consommation annuelle grandes maisons en m3	2.606
	Taux de croissance de grandes maisons en %	2
	Consommation annuelle administration en m3	3.641
	Taux de croissance administration en %	2
	Consommation annuelle budget national en m3	52.206
	Taux de croissance budget national en %	2
	Consommation annuelle station ONEA en m3	710
	Taux de croissance station ONEA en %	2
Rendement réseau	2005-2015	85
	2016-2020	82

Source : étude de faisabilité de 4 centres secondaires (Ouahigouya, Kaya, Koupela et Pouytenga) ; COWI-Sahel Consult ; Mars Août 2004.

En fonction des données de base, nous avons évalué la demande moyenne journalière de la ville de Kaya.

NB : La station de traitement se trouvant à coté de la prise à 13 Km de la ville de Kaya ; il est raisonnable d'approvisionnement en eau potable les populations se trouvant autour du lac et celles sur les villages longeant la ville. Par ailleurs, les besoins de ménages représentent plus de 70 % de besoins totaux. Cette quantification est faite sur la base de l'estimation de la population urbaine avec l'incertitude de délimitation des frontières entre la ville et sa périphérie. Nous intégrons ces paramètres en majorant de 15% les besoins quantifiés pour le dimensionnement du système d'adduction.

Cette demande est résumée dans le tableau suivant.

Tableau 19 : évaluation de la demande

Année	2005	2015	2020
Pop, agglomération urbaine	41130	52649	59568
Taux de déserte	69	90	90
Pop desservie	28421	47385	55303
Taux de croissance des BP %	2	2	2
Population desservie par BP	5922	7219	7970
Nombre de BP	713	869	959

Année	2005	2015	2020
Population desservie par BF	22499	40166	47333
Cons, moy, spécifique BP l/j/h	53	55	55
Cons, moy, spécifique BF l/j/h	21	25	25
Cons. moy./jour BP m3	314	397	438
Cons. moy./jour BF m3	474	1004	1183
Cons. moy./jour ménages m3	788	1401	1622
Cons. moy./jour gde maison, m3	8	10	11
Cons. moy./jour administration, m3	11	13	14
Cons. moy./jour budget national, m3	152	185	204
Cons. moy./jour stat. ONEA, m3	2	3	3
Cons. moy./jour totale, m3	960	1611	1854
Cons. moy./jour totale majorée de 15% en m3	1104	1853	2132
Besoin de production par jour en m3	1847	3101	3698

Le récapitulatif de l'évolution de la demande se trouve en annexe 1.

3.2.3 : Evaluation des débits de dimensionnement des installations

L'approche déterministe utilisée pendant l'étude de faisabilité consiste à dimensionner les installations de manière à couvrir toutes les contingences qui peuvent survenir au cours du fonctionnement. La demande solvable des consommateurs est bien souvent inférieure aux consommations spécifiques retenues.

Les variations cycliques de la demande

Les coefficients de variations cycliques de la demande retenus sont basés sur ceux fournis par les services de gestion de la station de l'ONEA de Kaya ajustés avec ceux de centres ONEA comparables au centre de Kaya avec excédent de production d'eau : Koudougou, Banfora.

Les coefficients de variation pour le centre ONEA de Koudougou sont les suivants :

- coefficient de pointe saisonnière : $C_{ps} = 1,2$;
- coefficient de pointe journalière : $C_{pj} = 1,15$;
- coefficient de pointe horaire : $C_{ph} = 2,25$

Les pertes d'eau

Le rendement moyen de traitement des eaux de surface au niveau de certaines stations de l'ONEA est de 97%. Tenant compte des ouvrages de prétraitement en amont, nous retenons ce pourcentage pour le traitement.

Au niveau du réseau, la coexistence de l'ancien réseau avec le nouveau occasionnera des pertes d'eau assez importantes. Les pertes sont estimées à 15%.

Durée de pompage

Pour de raisons de souplesse de gestion et de sécurité (petit système d'adduction), nous retenons les durées de pompages suivantes :

- la durée de pompage de la station de prise T₁: 20 heures
- la durée de pompage de la bêche vers le château d'eau T₂: 18 heures

Le volume journalier sera fractionné dans le temps.

Les différents débits sont calculés de la manière suivante :

$$\text{Débit de production : } Q = \frac{D_{jm} * C_{ps} * C_{pj}}{\eta_t * \eta_r * T_1}$$

$$\text{Débit d'adduction : } Q_{ad} = \frac{D_{jm} * C_{ps} * C_{pj}}{\eta_r * T_2}$$

$$\text{Débit de distribution : } Q_{ph} = \frac{D_{jm} * C_{ps} * C_{pj} * C_{ph}}{24 * \eta_r}$$

Les différents débits sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 20 : débits de dimensionnement

Année	2005	2015	2020
Besoin de production par jour m3	1847	3101	3698
Débit de production en m3/h	92	155	185
Débit d'adduction en m3/h	100	167	199
Débit de distribution en m3/h	168	282	336

4 : ETUDE D'INGENIERIE

Introduction

Après l'analyse diagnostique du réseau et l'estimation de la demande et de la ressource, cette partie est consacrée à l'étude des différentes composantes du système. Elle consistera à la conception et au dimensionnement d'une prise d'eau sur le lac, d'une unité de traitement, des réseaux d'adduction et de distribution et du stockage.

La de traitement sera réalisée à coté du lac hors des hautes eaux à environ 200 mètres. Ce choix est motivé par :

- la disponibilité d'une surface pouvant contenir toutes les unités de traitement et les bureaux administratifs,
- la facilité de gestion des boues (l'effluent de l'étang peut être retourné en tête de réseau ou rejeté dans le lac après caractérisation),
- la possibilité de desservir les populations habitant autour du lac et le long du réseau d'adduction,
- la possibilité de valorisation des boues en matière fertilisantes pour les cultures de contre saison pratiquées autour du lac

Cependant, le choix du site induira un coût supplémentaire au poste d'énergie car la zone n'est pas desservie par le réseau de la SONABEL. Mais vu sous l'angle de développement intégré, ce poste pourra être supporté par un projet d'électrification rurale.

4.1 : Conception et dimensionnement de la prise d'eau

La prise d'eau a été conçue dans le but d'assurer un prétraitement à l'eau brute. L'eau du lac Dem étant moins chargée, nous optons pour un canal qui assurera également la fonction de dessablage. L'eau brute dérivée passe gravitairement dans un canal à ciel ouvert de 1 mètre de large et chute dans un puits de prise. D'après l'étude de la courbe hauteur volume, le radier du canal est calé à la cote 292.50, soit à environ 100 cm au dessus du fonds du lac en années centennale sèche. Le canal comporte un déversoir latéral de sécurité, une grille inclinée et deux batardeaux de prise. Le puits de prise a été dimensionné pour un temps de remplissage de 20 mn. Il est compartimenté en deux pour les besoins de gestion. Le puits de prise se trouve à la cote TN 297.00 c'est-à-dire hors de l'eau en période de haute eau (cote 296.23).

Compte tenu des aménagements en amont, la crépine d'aspiration a été dimensionnée avec une vitesse d'entrée de 0,2m/s. La conduite d'aspiration a été calculée pour une vitesse d'entrée de l'eau de 1,5m/s.

4.1.1 : Le dégrillage

Le dégrillage est la première étape d'une filière de traitement, qui consiste à retenir tous les gros déchets tels que les morceaux de bois, les bouteilles en plastiques, les canettes... Pour ce faire, il est prévu des grilles à nettoyage manuel de 10x50 mm espacées de 25mm. Elles sont inclinées de 60% par rapport à l'horizontal afin de faciliter le nettoyage.

4.1.2 : Le canal

Le canal a été dimensionné pour assurer la fonction de dessablage en lieu et place d'un dessableur car les eaux du lac sont faiblement chargées. Les dimensions retenues sont : largeur 1m, profondeur : 1m. La longueur est celle du canal.

4.1.3 : Le puits de prise

La prise est dimensionnée pour satisfaire les besoins de la phase I (an 2015, 3100 m³/j) et ceux de la deuxième phase (an 2020, 3700 m³/j) sans extension des ouvrages de prise. Pour un temps de remplissage de vingt minutes, nous avons retenu une prise compartimentée en deux de (2,50x2,50x6,00).

4.1.3 : Le relevage

Le point de captage ayant une cote inférieure à celle du point de traitement, nous aurons recours aux pompes de relevage. Nous installons une pompe submersible qui fournira un débit de 185m³/h sous une HMT de 9 m. Le secours est assuré à 100%. La conduite de refoulement de 170 m de long, a un diamètre de 250 mm. Pour la protection du réseau, il est prévu un ballon anti bélier de 350 litres.

4.2 : Les unités de traitement

La chaîne de traitement d'eau se compose d'une coagulation floculation, d'un décanteur, d'une filtration et d'une désinfection. Le traitement de coagulation se fera avec du sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ associé à la chaux $Ca(OH)_2$ (produits couramment utilisés par l'ONEA). La décantation sera de type statique avec une variante à lit de boues de type pulsator. Pour le décanteur statique, la coagulation floculation comprend les ouvrages suivants : un répartiteur, une zone de mélange rapide et une zone de mélange lent pour la formation des floccs. Quant au type pulsator la zone de coagulation floculation est incorporée dans le décanteur.

4.2.1 : La coagulation floculation

4.2.1.1 : Principe

Les particules colloïdales sont caractérisées par deux points essentiels : d'une part, elles ont un diamètre très faible (de 1 nm à 1 µm) - d'autre part, elles ont la particularité d'être chargées électro-négativement, engendrant des forces de répulsions intercolloïdales. Ces deux points confèrent aux colloïdes une vitesse de sédimentation extrêmement faible.

La coagulation-floculation est un procédé permettant, en deux temps, de s'affranchir de cette absence de sédimentation. Cette technique permet de s'attaquer aux deux caractéristiques - mentionnées précédemment - rendant difficile une élimination naturelle des particules colloïdales.

Dans un premier temps, la coagulation, par un ajout de sels métalliques (d'aluminium), permet de supprimer les répulsions intercolloïdales : les cations métalliques (Al^{3+}) se lient aux colloïdes et les neutralisent. Les particules colloïdales peuvent désormais se rencontrer.

Dans un second temps, la floculation permet de s'attaquer au problème du faible diamètre des colloïdes. La floculation, grâce à l'ajout de floculants, provoque une agglomération des particules colloïdales. Par la suite, cet agglomérat de colloïdes appelé *floc* dispose d'une masse suffisante pour pouvoir se décanter.

Après avoir subi le traitement de coagulation, l'eau va être transférée dans un autre bassin où va commencer véritablement l'accrétion. En effet rien ne s'oppose plus alors au rassemblement des colloïdes neutralisés. Il faut donc maintenir une agitation lente pour favoriser les accrétions. Une régulation d'un pH optimum permet d'obtenir une meilleure précipitation. On se sert d'hydroxyde de calcium $Ca(OH)_2$ appelé aussi du lait de chaux.

4.2.1.2 : Les ouvrages

Les réactifs de coagulation floculation

La dose de traitement obtenue par le Jar Test est de 32 mg/l pour le sulfate d'alumine et de 10mg/l pour la chaux.

Tableau 21 : les pompes doseuses et les bacs de mélange retenus

Réactifs	Pompes doseuses		Bacs		
	Nombre	débits	Nombre	Autonomie	Dimensions
Sulfate d'alumine	2	1,64 litres/mn	2	10 heures	$\Phi=1\text{m}$, $h=1,5\text{m}$
Chaux	2	0,62 litre/mn	2	10 heures	$\Phi=0,8\text{m}$, $h=1\text{m}$

Le répartiteur est dimensionné pour un temps de séjour de 8 secondes. Les dimensions sont : $L \times l \times h = 0,5 \times 0,5 \times 1,5$.

Une vanne murale de hauteur maximale 20 cm permet la communication entre les deux compartiments.

Les ouvrages de floculation coagulation

- Temps de séjour : $T_s = 5$ secondes et une vitesse de 1m/s pour le coagulateur par cascade ;
- Temps de séjour : $T_s = 10$ mn, la vitesse $V=0,3$ m/s et la pente est de 10% pour le flocculateur.

Nous avons retenu :

- un coagulateur par cascade avec une hauteur de chute de 0,5m, une largeur de 1m et cinq marches ;
- un flocculateur horizontal dont les dimensions sont les suivantes :
 - d : largeur d'écoulement = 0,45 m ;
 - h : le tirant d'eau dans les chicanes =0,40 m ;
 - L' : longueur géométrique =10m ;
 - l' : largeur géométrique = 8m.

4.2.3 : La décantation

Elle a pour but d'éliminer les floccs produits pendant la coagulation floculation. Les floccs décantés s'accumulent au fond du bassin de décantation d'où, ils sont extraits périodiquement.

La décantation sera de type statique à flux horizontal avec une variante à lit de boues de type pulsator.

4.2.3.1 : Décanteur statique

La vitesse de décantation retenue U_0 est de 0,4 mm/s soit 1,44 m/h. Les dimensions doivent

vérifier les conditions suivantes : $\frac{L}{h} \cong 10$ et $\frac{L}{l} \cong 4$

Nous obtenu une surface de décantation de 193 m². Les dimensions retenues sont les suivantes :

$L = 24$ m, $l = 8$ m et $h = 3$ m

L'eau sort à travers des orifices de 100 mm de diamètre espacés d'environ 40 cm et situés à 30cm en dessous de la surface de l'eau. Elle est collectée par un canal de 40 cm de largeur. Le tirant d'eau est de 8 cm.

4.2.3.1 : Décanteur pulsator

Zone de décantation

Pour un décanteur pulsator, la vitesse ascensionnelle varie de 3 à 5 m/h et le temps de séjour est de 1 à 2 heures.

Nous retenons une vitesse de 3 m/h et un temps de séjour de 1 heure.

- La surface de décantation est donc de 62 m².
- La hauteur est de 3 mètres.
- La hauteur du lit de boue est de 90 cm.

Zone de floculation

La zone de floculation est dimensionnée pour un temps de remplissage de la cloche de 40 secondes. Le temps de vidange est de 20 secondes. L'aspiration dans la cloche se fait à l'aide d'une pompe à vide.

La surface est de 2,06 m², soit $L \times l = 2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$

4.2.4 : La filtration

L'eau ayant subi une coagulation floculation, filtration ; elle est séparée d'une bonne partie de ses particules en suspension, nous choisissons une filtration rapide, sur lit granulaire bicouche. Les filtres seront de type ouvert d'écoulement gravitaire, lavables à l'air et à l'eau. La vitesse de filtration retenue est de 5m/h. Il a été retenu trois filtres de 12,33m² (3,60m x 3,50m) chacun.

Les matériaux utilisés doivent être insolubles, non friables, et ne doivent relarguer aucune substance susceptible d'altérer les qualités de l'eau.

Le sable utilisé en filtration est un matériau naturel, à base de silice, provenant de rivières, de gisements naturels, de dunes ou obtenu à partir de galets marins. Sa densité réelle est d'environ 2.5. à 2.7.

Lavage des filtres

Au cours de leur utilisation, les filtres perdent leur pouvoir filtrant et nécessitent alors un lavage.

- Le débit d'air de lavage de filtres : 50-60 m³/h/m² ;
- le débit d'eau de rinçage de filtres : 20 m³/h/m² ;
- le débit de lavage d'un filtre est $q = 20 \times 12,33 = 246,6 \text{ m}^3/\text{h}$.

Pour une durée de fonctionnement de 20 heures par jour, chaque filtre est lavé quotidiennement une fois. Le volume d'eau journalier nécessaire pour le lavage des filtres est de 80m³.

4.2.5 : Bâche d'eau traitée (réserve de production)

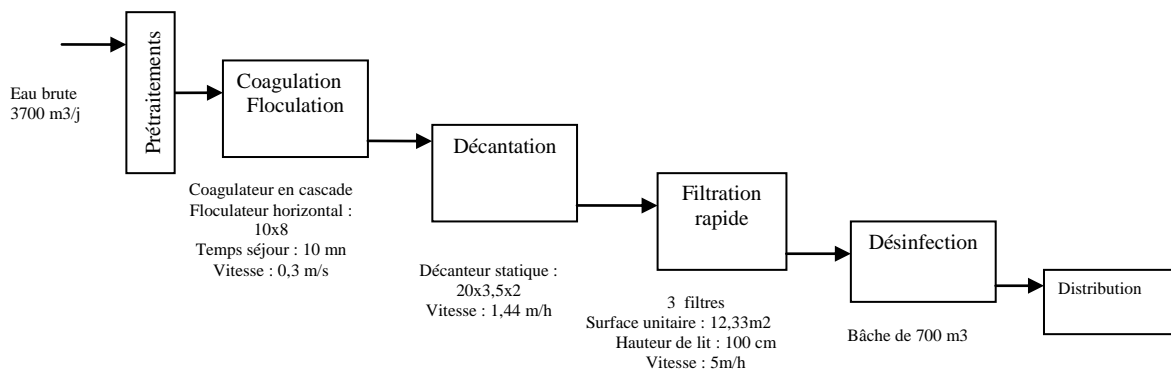
La réserve de production est dimensionnée pour une durée de production de 3 heures de la station. Le recours à ce réservoir assurera une exploitation plus constante de la station de traitement et permettra d'avoir une eau de qualité grâce à un approvisionnement constant en eau brute. La quantité d'eau nécessaire pour le lavage des filtres est de 80 m³ par jour. Nous retenons une bâche de 700m³. La hauteur de la bâche est de 5,5m et la surface au sol de 127 m². Pour les besoins de gestion, la bâche est compartimentée en deux. La bâche d'eau traitée est située à la station de traitement.

4.2.6 : Désinfection

Le réactif utilisé est de l'hypochlorite de calcium Ca(ClO)₂ 60-70% utilisé par l'ONEA. Nous retenons une dose de 3 mg/l titrée à 65% de chlore pour une concentration résiduelle de 0,5mg/l à la sortie de la station. Le débit de pompage de la bâche vers le château d'eau est de 199 m³/h et la concentration de la solution mère est de 5g/l. Le débit de pompes doseuses est de 1,99 litres par minutes

La neutralisation est nécessaire pour protéger les conduites et appareils à base de fer lorsque le pH de l'eau n'est pas à l'équilibre calco-carbonique à la sortie de la station de traitement. Nous utilisons la chaux pour faire la correction du pH.

Le schéma de la chaîne de traitement est le suivant.



4.2.7 : Gestion des eaux de lavage des filtres et des boues

4.2.7.1 : Gestion des eaux de lavage des filtres

Les eaux de lavage des filtres seront traitées par lagunage dans des bassins de recyclage. Une période de décantation de 12 heures permet d'avoir un effluent faible en turbidité. Nous avons retenu deux bassins de 20 m² (5X4) chacun. Les boues seront extraites et traitées par séchage.

4.2.7.2 : Gestion des boues de décantation et des eaux de lavage des filtres

Bassins à boues

Les boues seront épaissies dans des bassins rectangulaires munis de pièges à boues. Elles seront ensuite étalées sur des lits de séchage. Il a été retenu deux épaisseur statiques de 6×5×1,5 chacun.

Lits de séchage

Les boues sont épandues sur la surface du lit en couches et le séchage se fait par évaporation et transpiration. Les eaux contenues dans les boues seront éliminées au maximum par drainage et décantation. Cinq séchoirs de 6 m² ont été dimensionnés.

4.3 : Le refoulement station de traitement vers le réservoir d'eau

4.3.1 : Les pompes

Les installations doivent fonctionner sans perturbation en cas de défaillance des pompes ou de fourniture d'électricité. Concernant l'électricité, les réservoirs ont été dimensionnés en conséquence compte tenu de la taille moyenne de la ville. En cas de défaillance d'une électropompe, il est nécessaire de pouvoir disposer rapidement d'une pompe de secours. Si n est le nombre optimal de pompes à installer pour véhiculer un débit Q , le secours par une pompe identique conduit à installer $(n+1)$ pompes de débit $\frac{Q}{n}$. Le prix d'une pompe peut se

mettre sous la forme de $K\left(\frac{Q}{n}\right)^a$ où $a < 1$. Pour $n+1$ pompes, le prix sera $KQ^a \frac{n+1}{n^a}$. a varie de 1/2 pour les petites pompes à 3/4 pour les grosses pompes.

Pour $a=2/3$, nous avons un nombre optimal de deux pompes. Avec un secours de 50%, le nombre total des pompes à installer est de trois. Chaque pompe fonctionne sous une HMT de 100m et avec un débit de $\frac{199}{2}$ m³/h.

Le calcul de la vitesse spécifique nous a permis d'avoir des pompes centrifuges multicellulaires.

4.3.2 : Choix du diamètre et du matériau

Pour obtenir le diamètre permettant d'écouler le débit souhaité en respectant les conditions de vitesse et de pression, nous avons utilisé les formules de Bresse, de Munier et fait une vérification avec celle de Flamant.

La conduite en fonte de 300 mm de diamètre permet d'avoir une vitesse d'écoulement de 0,78m/s vérifiant ainsi la condition de Flamant. Par souci de minimiser les pertes de charge sur cette conduite d'adduction, nous avons choisi une conduite de diamètre 350mm qui permet d'évacuer le débit à l'horizon du projet avec une vitesse de 0,58m/s. Les pertes de charges représenteront environ 13% de la hauteur géométrique de refoulement à la première phase du projet et 18% à la seconde phase. Ainsi la possibilité de transiter un débit supplémentaire pourra être envisagée avant de penser au dédoublement de la conduite.

4.3.4 : Tracé du réseau d'adduction, pose et protection de la conduite

A partir du lac Dem, le tracé traverse une partie des champs et une plantation d'arbres. Les usagers des champs ont été indemnisés par l'ONEA. Ensuite, il longe la piste Kongossi-Kaya jusqu'à l'entrée de Kaya. L'existence des ravinements assez avancés sur cette piste (à l'entrée de la ville) et des habitations spontanées (le tracé devant traverser les cours d'habitations), nous ont conduit à contourner la ville par le Nord Ouest pour arriver au château d'eau. La longueur totale de la conduite est de 13 Km.

Le tracé en plan s'efforce à épouser au mieux la configuration du TN et en respectant les conditions hydraulique et de facilité de pose de canalisation. Ainsi quand une conduite présente plusieurs points hauts, il est retenu les pentes minimales suivantes :

- 2 à 3 mm/m dans les parties montantes
- 4 à 6 mm/m dans les parties descendantes.

Les appareils assurant l'évacuation de l'air (ventouses, purges) sont installés aux points hauts et les vidanges se font aux points bas à l'aide des robinets de vidanges.

La profondeur et la largeur minimales de tranchées de pose sont :

- profondeur en mètre : $h_{\min} \geq 0,5 + D_{ex}$ soit $h_{\min} \geq 0,85m$;
- et largeur en mètre : $l_{\min} \geq 0,4 + D_{ex}$ soit $l_{\min} \geq 0,75m$

Les angles sont butés à tous les changements de direction pour reprendre les poussées hydrauliques. En pente, les conduites sont posées sur des ancrages afin de prévenir le risque de glissement.

4.3.5 : Protection contre le coup de bélier

Nous avons proposé une protection contre les pressions maximale de 16 bars et minimale de 12 bars. Les abaques de Dubin et Guéneau (A.Lencastre, Hydraulique générale) ont permis de déterminer le volume du ballon d'air avec clapet. Nous avons retenu un ballon avec un volume maximum d'air de 2,5m³. La section d'étranglement est un orifice de 5cm de diamètre.

4.4 : Le stockage

Le débit demandé est variable dans la journée, la semaine ou la saison. Alors que le débit d'adduction est quasi constant. Les réservoirs de stockage ont pour fonctions fondamentales :

- d'assurer un écrêtage des pointes de consommations journalières ;
- de réduire les variations de pressions dans le réseau en assurant une fonction de régulation de pression ;
- de permettre une mise en pression du réseau gravitaire grâce à leur position dominante du réseau de distribution ;
- de sécuriser la station en cas d'incident sur les équipements d'alimentation en eau.

4.4.1 : Capacité utile du réservoir

La capacité d'un réservoir de stockage d'eau potable dépend des régimes de production, de refoulement et de consommation. Ainsi le volume d'eau emmagasiné doit satisfaire à tout instant de la journée les besoins normaux des consommateurs et de la réserve d'incendie.

La détermination de la capacité utile du château d'eau a été faite par la méthode du tableau. Le volume est la différence des cumuls en valeur absolue de volume entré et de volume distribué. La capacité utile est 650 m³.

4.4.2 : Prise en compte de la réserve incendie

L'engin de base de lutte contre les incendies est une motopompe de 60 m³/h. La durée moyenne d'extinction d'un sinistre est de 2 heures. La réserve théorique serait donc de 120m³. Kaya étant un centre moyen et tenant compte du château existant (200m³), nous utiliserons l'approche suivante qui consiste à prendre en compte l'intervention des sapeurs pompiers avant l'épuisement de 60 m³. La réserve d'incendie serait donc :

$60m^3 + (60 - Q_{ad})$ si $Q_{ad} < 60$ m³/h

60 m³ si $Q_{ad} > 60$ m³/h.

Or $Q_{ad} = 185$ m³/h, la réserve d'incendie est donc de 60 m³.

La réserve totale est donc : $650 + 60 = 710$ m³. Nous retenons une capacité de **800 m³**.

4.4.3 : Analyse de la capacité de stockage

La capacité totale de stockage de l'eau potable est la somme des capacités de deux châteaux d'eau et celle de la bâche d'eau traitée soit 1700 m³. Sans la bâche d'eau, la capacité de stockage du réseau sera de 1000 m³. Le réseau a donc une autonomie de $\frac{1000}{2132} \times 24 = 11h16mn$ soit 47% de la consommation moyenne journalière. Cette autonomie nous paraît acceptable compte tenu de la taille moyenne de la ville.

4.4.4 : Equipement du réservoir

Adduction

L'arrivée d'eau dans le réservoir se fait par surverse en chute libre. Cette disposition permet aux pompes d'avoir une HMT constante. L'inconvénient est que la chute de l'eau par l'aération qu'elle produit peut perturber l'équilibre carbonique obtenu lors du traitement et précipiter le calcium.

Distribution

Le départ de la distribution se situe au minimum à 15 cm au dessus du radier afin d'éviter l'introduction dans la distribution des boues et sable qui pourraient éventuellement décanter dans le réservoir. Un robinet vanne est aménagé sur le départ de la conduite. La conduite est en fonte de diamètre de 400 mm. La vitesse moyenne d'écoulement est de $0,74$ m/s.

Trop plein

La conduite est arasée à la cote $370,05$ m. Elle comporte un évasement vers le haut. Elle est en fonte de diamètre 150 mm. Elle débouche sur un exutoire.

Vidange

La conduite part du point bas du réservoir et se raccorde sur la canalisation de trop plein. Elle comporte un robinet vanne.

Dispositions spéciales

By-pass : il y a une communication entre la conduite de distribution et d'adduction pour des besoins d'entretien (réparation, nettoyage) du réservoir.

Réserve d'incendie : pour éviter une tranche d'eau morte dans le réservoir, on adoptera un siphon qui se désamorcera quand le niveau de la réserve d'incendie sera atteinte. Ainsi on a toujours la réserve d'incendie mais constamment renouvelée.

4.5 : La distribution

Il est question d'améliorer le réseau de distribution afin de pouvoir desservir les abonnés dans les conditions optimales. Le réseau de distribution de la ville de Kaya est une combinaison entre le réseau maillé et le réseau ramifié. Le mode de distribution est du type gravitaire. L'eau est distribuée à partir d'un stockage qui domine hydrauliquement tout le réseau.

L'extension du réseau de distribution a été faite sur la base du débit de pointe horaire de l'an 2015. Les vitesses d'écoulement de l'eau dans les canalisations seront faibles dans les premières années de l'exploitation. Pendant la deuxième phase du projet certains secteurs nécessiteront une densification de leur réseau.

La ville de Kaya ayant un relief assez accidenté, l'alimentation en eau de certaines zones à partir du réservoir peut créer des pressions négatives, nulles ou très élevées en divers points. Concernant les pressions élevées (sud-est de la ville), la pose de brises charges ou de réducteurs de pressions en des endroits appropriés résoudrait le problème. Pour les pressions négatives (zones ouest de la ville), l'utilisation de l'ancien réservoir, permettra d'avoir une zone d'influence alimentée par celui-ci.

4.5.1 : Le réseau de distribution

Nous avons utilisé le plan de lotissement de la ville comme fond de carte. Ce fond de carte a été numérisé et exporté sous Autocad. Les courbes de niveau ont été générées à l'aide de Covadis à partir de levés de terrain qui sont rattachés aux bornes IGN. Le schéma du réseau a été réalisé sous EPANET en utilisant le plan de lotissement comme fond d'écran.

Une extension du réseau existant a été réalisée sur le plan de lotissement de la ville. Les quartiers périphériques nouvellement lotis ont nécessité l'établissement de nouveau réseau. Le principe du tracé est d'assurer un service de qualité aux usagers.

4.5.1.1 : Répartition des débits de dimensionnement

Après une évaluation des débits par secteur, nous avons considéré une desserte uniforme sur la longueur de conduites (faible importance de gros consommateurs). Après avoir tracé le réseau, les débits desservis à chaque nœud (consommation ponctuelle, ramification) ou de service en route sont identifiés. Sur la base d'une BF pour 750 personnes, nous avons estimé le nombre de BF à 42 en 2015, soit 10 nouvelles BF. Le débit d'alimentation d'une BF est pris égal à 0,5 l/s.

4.5.1.2 : Le choix des diamètres

Les diamètres ont été choisis en respectant la condition de vitesse minimale. Les diamètres intérieurs retenus sont les diamètres normalisés disponibles dans le commerce. Ceci conduit à avoir de diamètres plutôt grands afin de pouvoir distribuer l'eau avec des vitesses acceptables pendant la deuxième phase du projet. Certains tronçons ont été remplacés par des conduites de diamètres plus grands. Nous avons opté pour ce choix au lieu de pose en parallèle de nouvelles conduites compte tenu de la vétusté de canalisations sur certains tronçons. Les conduites sont de types PVC.

4.5.1.3 : Vitesse de l'eau

Elle sera de l'ordre de 0,3 m/s à 1 m/s. Dans le réseau secondaire, où les vitesses sont faibles, il y a lieu de prévoir de décharge en certains points.

4.5.1.4 : Condition de pression

Les pressions de service varient de 10m à 40m au dessus du sol. Il s'agit de la pression de service à l'heure de pointe. En vue de la protection de canalisation et, notamment de joints, il y a lieu d'éviter de pressions supérieures à 40m qui risquent d'apporter de désordres et certains bruits désagréables dans les installations intérieures des abonnés.

4.5.2 : La simulation sous EPANET

Les composantes suivantes du réseau sont nécessaires à la simulation du réseau : les conduites, les nœuds, les vannes, le château d'eau, les bâches de pompage et les pompes.

Principe et hypothèses de la simulation

La simulation est réalisée pour une durée de 120 heures avec un intervalle de modulation d'une heure, c'est-à-dire que la demande change chaque heure. Les longueurs des conduites sont déterminées à partir du plan numérique du réseau. Les pertes de charge sont calculées avec la formule de Hazen-Williams qui est de la forme suivante :

$J = 10.67C^{-1.852}D^{-4.871}Q^{1.852}$ où J = pertes de charge unitaires (m/m), C = coefficient de rugosité, D = diamètre de la conduite (m), Q = débit (m³/s).

Le réseau de la ville de Kaya étant ancien (pouvant engendrer une rugosité élevée) et la faiblesse de vitesse pendant les premières années d'exploitation nous ont conduits à retenir les coefficients suivants :

- rugosité fonte $C_F = 100$ (essentiellement le refoulement vers château);
- rugosité PVC : $C_{PVC} = 130$.

Les conduites sont supposées être posées à 1 m en dessous du TN. Les nœuds sont affectés d'une cote IGN du terrain naturel. Un modèle numérique du terrain naturel de la ville a permis de trouver les cotes des nœuds qui n'en disposent pas. Les demandes le long des conduites sont concentrées aux nœuds extrêmes. Les nœuds correspondant à des injections sont affectés d'une demande négative.

Les caractéristiques des différentes parties du réseau (diamètres des conduites et vannes, cotes des nœuds, rugosité des conduites, longueurs des conduites, etc.) y sont préalablement définies. La simulation sera exécutée après exportation de l'ensemble des données dans Epanet.

L'analyse du réseau se fait suivant plusieurs cas de scénarios qui prennent en compte les variations de la demande, les niveaux du château d'eau, le nombre de pompes en marche, le type de modulation de la demande, les pertes du réseau, etc. La simulation est réalisée pour une longue durée.

4.6 : Résultats des simulations

4.6.1 : Simulation pendant la première phase 2006-2015

4.6.1.1 Débit

Après une forte demande au début de la simulation, le régime de pompage se stabilise autour d'un débit de 48,9 l/s. Nous observons de forts débits de pompage juste après les heures de pointe (vidange des réservoirs).

En période de pointe horaire, les débits varient entre 51,1l/s et 49,2 l/s avec une moyenne de 50,6 l/s. On observe une forte instabilité du régime de pompage.

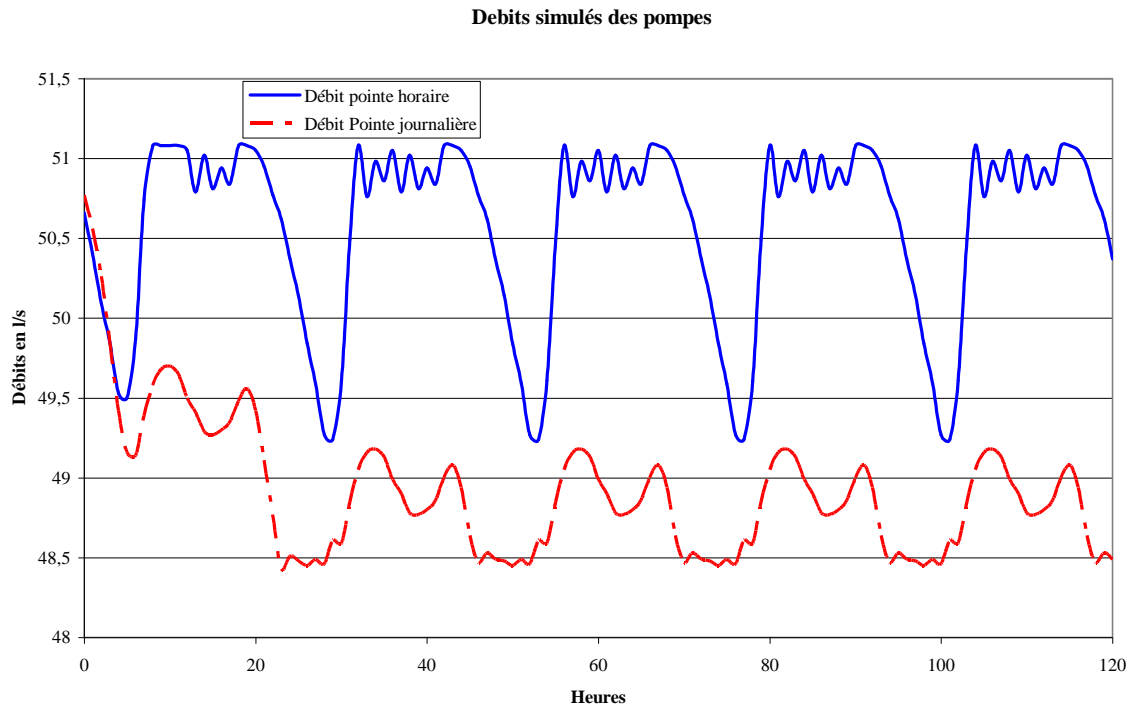


Figure 9 : débits simulés des pompes

4.6.1.2 : Vitesses

Nous enregistrons des vitesses relativement faibles variant de 0,04 m/s à 0,6 m/s avec une moyenne de 0,2 m/s. Environ 80% de conduites ont une vitesse inférieure à 0,3 m/s.

En période de pointe horaire, nous obtenons des vitesses variant entre 0,08 m/s et 1,31 m/s avec une moyenne de 0,44 m/s. La distribution montre que plus de 70% de tronçons ont une vitesse supérieure à 3m/s en période de pointe horaire. Les dépôts seront moins importants qu'en période de pointe journalière. Les vitesses dans les différents tronçons sont à l'annexe 4.

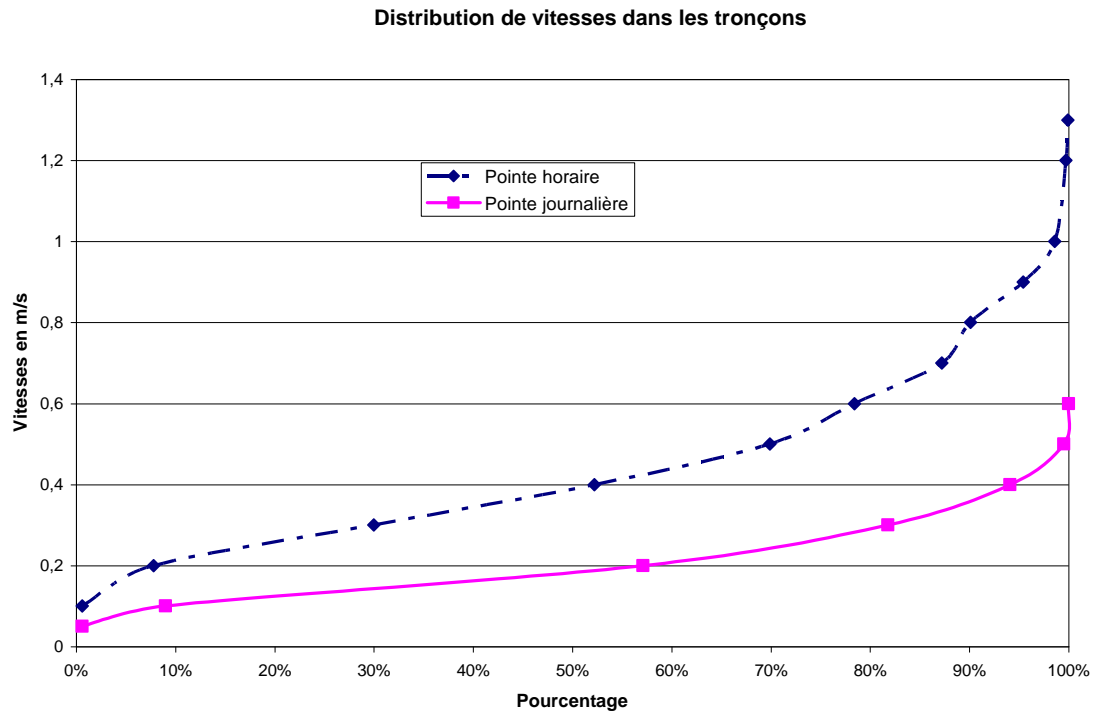


Figure 10 : distribution de vitesse

4.6.1.3 : Pression

Les pressions oscillent entre 10,5 et 44, 2 m CE avec une moyenne autour de 33, 5 m CE. Plus de 50% des nœuds ont de pressions supérieures à 35 m CE. Les pressions obtenues sont satisfaisantes.

Les pressions en période de pointe horaire sont limitées entre 35,53 m CE et 3,47 m CE. La moyenne est de 29 m CE. Les nœuds 284 et 285 situés dans le secteur 5 auront des pressions faibles à certaines heures de la journée. Dans l'ensemble les pressions restent acceptables. Les débits et pressions aux niveaux des nœuds se trouvent à l'annexe 5.

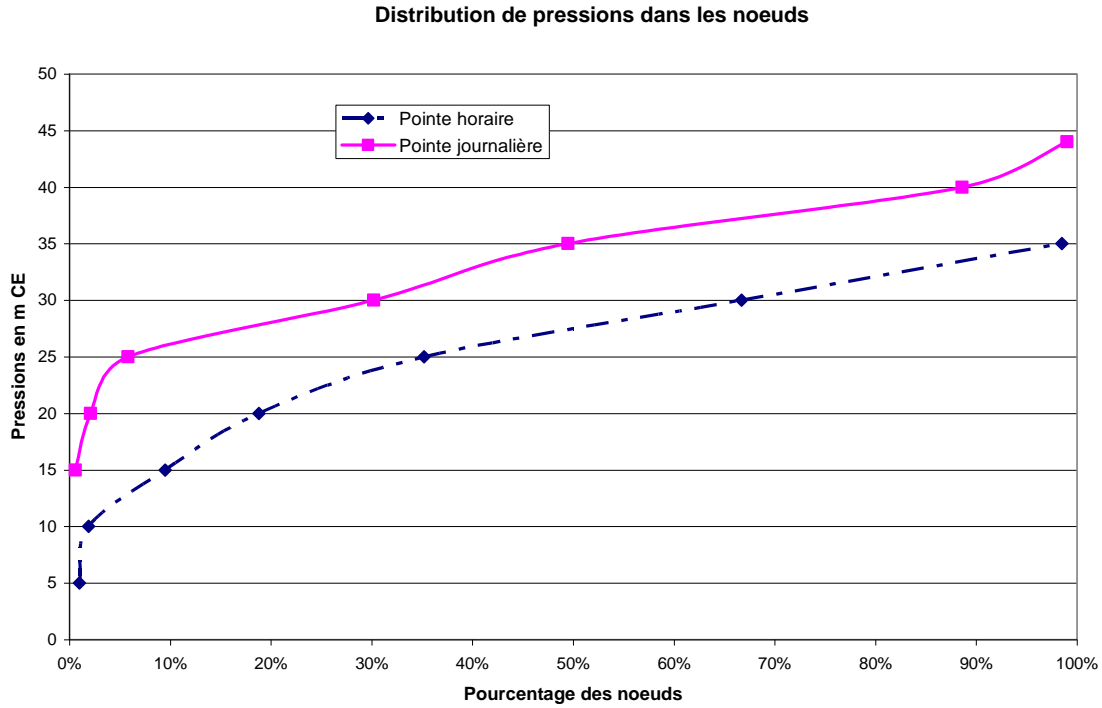


Figure 11 : distribution de pressions

Au niveau des châteaux d'eau, nous observons une évolution périodique des charges avec des fortes variations (surtout pour le nouveau château). La charge dans le nouveau château oscille autour de 370 m.

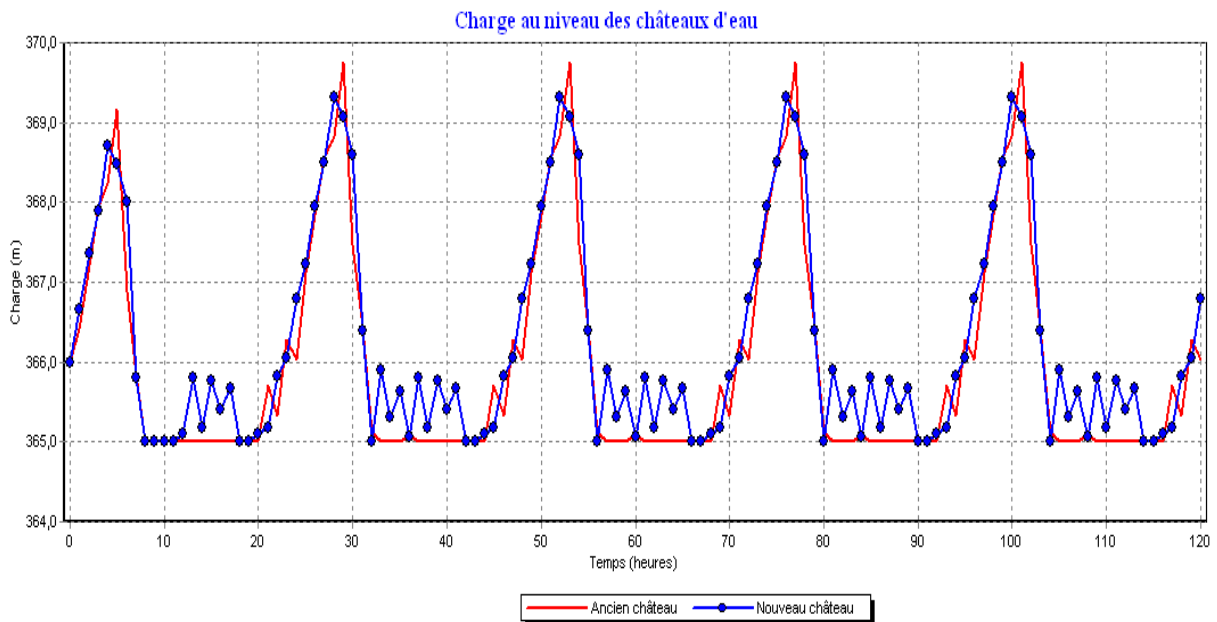


Figure 12 : charge au niveau des châteaux d'eau

4.6.1.4 : Temps de séjour de l’eau

Le temps de séjour de l’eau dans le nouveau château d’eau atteint des comportements périodiques après 45 heures. Par contre dans l’ancien château, le temps de séjour ne présente pas de périodicité pendant la durée de la simulation.

4.6.2 : Simulation pendant la seconde phase 2016-2020

4.6.2.1 : Débit

La simulation de débit de pompes en parallèle donne le résultat illustré par la figure suivante. On observe qu’après une durée de pompage de vingt heures, le débit pompé adopte un comportement périodique. Le débit moyen est de 52,69 l/s.

En période de pointe horaire, les débits varient de 54,71 l/s à 52,71 l/s. Le débit moyen de la simulation est de 54,22 l/s. Les débits de pointe ont la même périodicité.

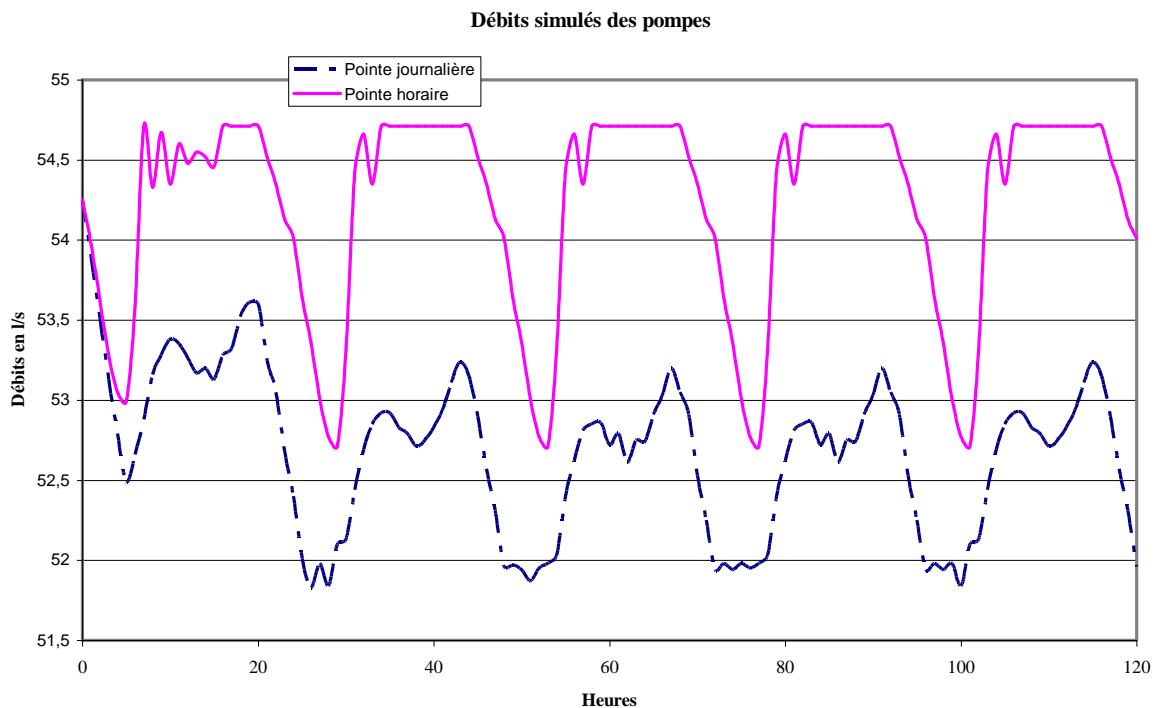


Figure 13 : débits simulés en phase 2

4.6.2.2 : Vitesses

Pendant la demande en pointe journalière, les vitesses varient de 0,03 m/s à 0,67 m/s. La moyenne est de 0,23 m/s. Environ 60% de tronçons véhiculent le débit avec une vitesse inférieure à 0,3 m/s. En période de pointe horaire, les vitesses s’étalent de 0,04 m/s à 1,44 m/s avec une moyenne de 0,47 m/s. On compte 35 % de tronçons avec des vitesses inférieures à 0,3m/s.

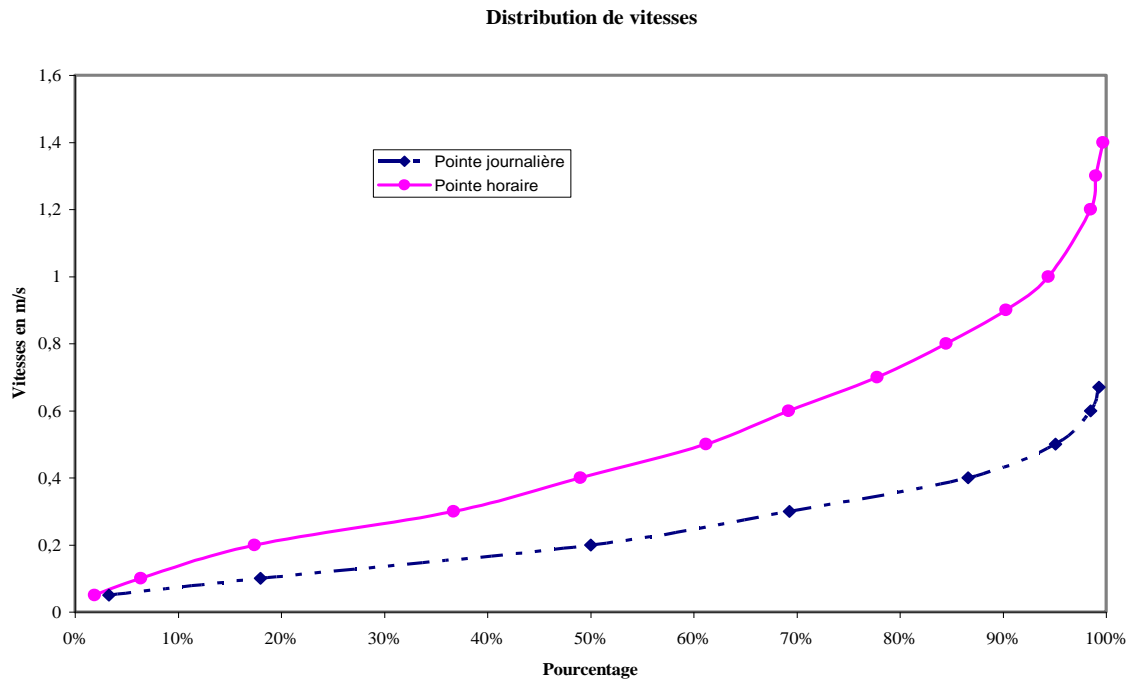


Figure 14 : distribution de vitesse en phase 2

4.6.2.3 : Pression

Les pressions dans les nœuds oscillent entre 43,89 m CE et 10,69 m CE en période de demande de pointe journalière. Pendant les heures de pointes, elles varient de 5,89 m CE à 35,10 m CE. Les moyennes sont respectivement de 33 m CE et de 24,14 m CE.

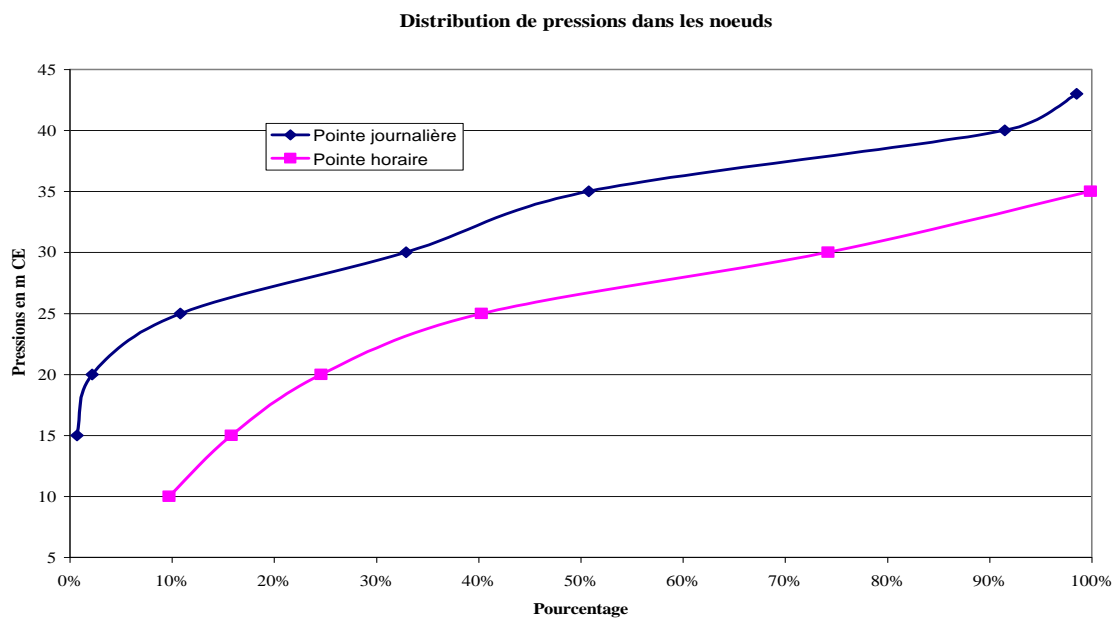


Figure 15 : distribution de pression en phase 2

Les fluctuations de la charge au niveau des châteaux d'eau sont illustrées dans la figure suivante. Après une durée de vingt heures, le niveau de l'eau dans les deux châteaux atteint un comportement périodique. Ce comportement leur permet de jouer leur rôle de stockage et de distribution. Ils se remplissent pendant les heures de faible consommation et arrivent à soutenir les fortes demandes.

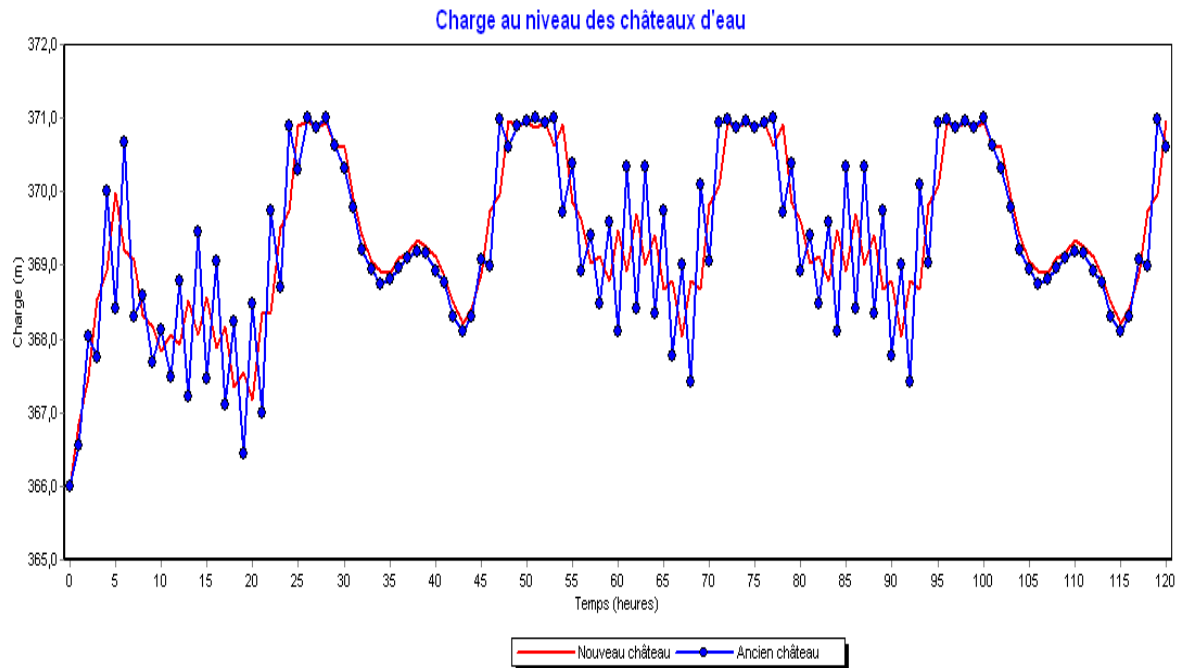


Figure 16 : charge au niveau des châteaux en phase 2

4.7 Interprétations

Le réseau de distribution de la ville de Kaya proposée dans la présente étude s'appuie sur l'ancien réseau existant. Il a été conçu pour satisfaire les besoins de la population en 2020. Le dimensionnement obtenu est satisfaisant. Le réseau assure une bonne distribution de l'eau à l'heure de pointe avec des vitesses et pressions acceptables sauf à quelques endroits. Les tronçons 25, 158, 161, 176 situés dans le secteur 6 dont la cote du TN est basse par rapport à la cote TN des châteaux d'eau nécessiteront l'installation de réducteurs de pression. Par contre, les abonnés situés dans le secteur 5 connaîtront de problème de faible pression aux heures de pointe. Un découpage de cette zone alimentée par l'ancien château permet d'avoir des pressions suffisantes aux heures de pointe. Sur certains tronçons, nous avons des vitesses et des débits faibles. Cette situation serait due aux hypothèses de calcul. La répartition des débits se faisant aux nœuds, les pertes de charges peuvent être soit faibles soit grandes et avoir une incidence aux nœuds et dans les conduites.

Pendant la première phase, certains tronçons connaîtront des problèmes de dépôt et nécessiteront des purges régulières.

Le réseau aura à connaître les extensions suivantes :

Tableau 22 : les longueurs des extensions prévues

Nature	PVC							Fonte		
Diamètre	50	63	90	110	160	200	315	250	350	400
Longueur	670	3 580	5 340	700	210	240	540	430	13 030	700

Soit une extension totale d'environ 25,5 Kilomètres de canalisation tous diamètres confondus. Les nouveaux tronçons sont étiquetés de la lettre N sur le plan du réseau.

Le coût total des travaux s'élève à deux milliards neuf cent cinquante millions cent quatre vingt trois mille neuf cent dix (**3 169 967 819**) FCFA. Le devis, la base de calcul et le calcul du prix de l'eau se trouvent en annexes 6, 7 et 8.

Les prix de revient actualisé à différents taux sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 23 : prix de revient actualisé

Taux	0%	5%	10%
Prix de revient FCFA	408	609	803

Nous n'avons pas pu avoir des informations sur les investissements des installations existantes pour évaluer la valeur résiduelle des installations. La prise en compte de cette valeur résiduelle devrait faire diminuer le prix de l'eau. La valeur résiduelle concernera surtout le réseau de distribution.

Conclusion générale

Depuis quelques années, la population de la ville de Kaya souffre d'un manque crucial d'approvisionnement en eau potable. Les habitants des quartiers périphériques sont les plus défavorisés. Des travaux de réhabilitation du système d'AEP ont été réalisés. Cependant les ressources souterraines exploitées actuellement ne suffisent plus à satisfaire les besoins. Des études de faisabilité ont conclu à l'exploitation des eaux du lac Dem pour alimenter la ville.

Une conception du système en deux phases de réalisation a permis d'évaluer les besoins en eau de la population et d'estimer les capacités du lac à répondre à cette demande.

L'étude technique a été réalisée sur la base de l'étude de faisabilité et des paramètres de conception des systèmes d'adduction d'eau des centres comparables. Elle a retenu la réalisation d'une prise sur le lac, d'une unité de traitement située à côté du lac, d'un réseau de transport de l'eau potable depuis une bache jusqu'au stockage dans deux châteaux situés dans la ville avec la possibilité de desservir les villages traversés. Le réseau connaîtra des travaux d'extension, de renforcement et/ou de densification pendant les deux phases.

Le coût de production de l'eau non actualisé est estimé à 408 FCFA. Ce prix est important par rapport aux revenus d'une grande partie des ménages et aux prix de vente de l'eau pratiqués par l'ONEA. Cependant le caractère social de l'eau et l'atteinte des Objectifs de Développement du Millénaire dans les secteurs de l'eau et de l'assainissement auxquels le Burkina Faso s'est engagé militent en faveur de la réalisation du projet.

Le thème proposé, certes vaste, a été une occasion pour nous de réaliser un important travail de synthèse et de conception rentrant dans le cadre de l'offre de formation des spécialistes en EAC du groupe EIER-ETSHER.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

E. F ; ABADOMA	Renforcement d'un réseau de distribution d'eau potable : analyse et prévision de fonctionnement : cas de Yaoundé, Université de Yaoundé, mémoire d'étudiant, juillet 1988
A. LENCASTRE	Hydraulique générale, Eyrolles-SAFEGE, Paris 1996
A. DUPONT	Hydraulique urbaine, tome 2, ouvrages de transport, élévation et distribution des eaux, Eyrolles, Paris, 1969
SOGREAH	Les pompes et les petites stations de pompage, Ministère de la Coopération Française, Paris, 1977
François G. BRIERE	Distribution et collecte des eaux, Presse internationale polytechnique, 2è édition Montréal, 2000
O. BEGA Urbain	Traitement des eaux de consommation, Cours EIER
Denis Zoungrana	Approvisionnement en eau potable cours EIER, 2004
J. Djoukam	Cours de station de pompage, document EIER, juin 1999
Environnement Québec	Guide de conception des installations de production d'eau potable, Québec 2004
COWI	Feasibility studies of improvement of water supply systems in Ouahigouya, Kaya and Pouytenga/Koupéla in Burkina Faso, T1, Ouagadougou, December 2004
ONEA	Projet d'Hydraulique Urbaine, volet 3 : étude de faisabilité de Kaya, annexes, Ouagadougou, avril 1998
L. MAR	Cours d'hydraulique. T1 : Ecoulement en charge. EIER, 2003.
Jacques BONNIN	Hydraulique urbaine appliquée aux agglomérations de petites et moyennes importance, collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, édition Eyrolles, Paris 1986
CASTANY G.	Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod, Paris, 238 pages, 1982