



**DIAGNOSTIC ET AMELIORATION DES STATIONS DE POMPAGE D'EAU
BRUTE ET D'EAU TRAITEE DE LA MEFOU (CAMEROUN)**

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

Présenté et soutenu publiquement le 24 Janvier 2017 par

MBIDA NNANGA Berthe Cynthia

Travaux dirigés par :

- M. Moussa FAYE**, Enseignant à 2iE
- M. EKOOLA Gaston**, Chef de l'unité de production de la station de traitement de la MEFOU

Jury d'évaluation du stage :

Président : **M. Bega OUEDRAOGO**

Membres et correcteurs : **Dr Anderson ANDRIANISA**

M. Moussa FAYE

Promotion [2015/2016]

DEDICACES

Je dédie ce travail :

A MES PARENTS : M. et Mme MBIDA

A mes frères et sœurs : Olive, Steve, Reine et Kayliah

REMERCIEMENTS

Dans la réalisation de chaque œuvre de notre vie, le Seigneur sait placer des hommes ressources, et sait nous soutenir pendant les moments difficiles, je lui rends grâce et remercie toutes ces personnes car dire merci est la meilleure des grâces. Qu'il me soit permis au terme de mon stage d'adresser mes sincères remerciements à :

- ❖ Monsieur **BRAHIM RAMDANE**, Directeur Général de la Camerounaise des Eaux (CDE) pour m'avoir accepté comme stagiaire au sein de sa structure
- ❖ Monsieur **EKOOLA GASTON**, chef de l'unité de production de la station de traitement de la MEFOU pour sa disponibilité et l'encadrement au jour le jour tout au long du stage
- ❖ Monsieur **TEYOU MAXIME**, chef de section maintenance de la station de traitement de la MEFOU pour sa disponibilité et ses conseils
- ❖ Monsieur **MOUSSA DIAGNE FAYE**, enseignant au 2iE pour son encadrement
- ❖ Tout le personnel de la station de traitement de la MEFOU pour leur accueil et leur disponibilité
- ❖ Tous mes frères et sœurs ainsi que mes camarades de promotion
- ❖ A tous ceux qui m'ont été d'un quelconque soutien pour ce stage, je vous prie de recevoir ici l'expression de ma gratitude

RESUME

La station de traitement de la Mefou est adossée au cours d'eau de la Mefou, sur lequel a été réalisé le barrage dont la retenue alimente la station en eau brute. La capacité de production nominale en eau traitée de la station est de $2\,500\text{ m}^3/\text{h}$, soit $50\,000\text{ m}^3/\text{j}$ si on considère un fonctionnement pendant 20 heures par jour. Le dimensionnement de la station de traitement permet de produire $2\,500\text{ m}^3/\text{h}$ d'eau traitée. Dans ces conditions, le débit d'eau brute nominal provenant de la retenue de la Mefou devrait être de $2\,625\text{ m}^3/\text{h}$, soit $52\,500\text{ m}^3/\text{j}$. Mais, nous constatons que les débits d'eau brute et d'eau traitée dans la station de traitement de la Mefou n'atteignent pas les débits nominaux attendus. Le diagnostic de la station nous a permis de relever un certain nombre de défaillance à savoir : l'absence de ventouses ou de purge au niveau du réseau d'adduction d'eau brute, les conditions de pose du débitmètre d'eau traitée non respectées, le problème de dimensionnement du groupe de pompage d'eau traitée. Des mesures d'optimisation ont été proposées afin de contribuer à l'amélioration du rendement de la station de traitement de la Mefou et, par la suite nous avons procédé à un redimensionnement des stations de pompage d'eau traitée et d'eau brute avec des conduites en PEHD DN800 et DN900 respectivement.

Mots Clés :

-
- 1. Station de traitement,**
 - 2. Mefou,**
 - 3. Débit,**
 - 4. Diagnostic,**
 - 5. Optimisation**

ABSTRACT

The treatment plant of the Mefou is leaned against the river Mefou, on which was made the dam whose reservoir feeds the station with raw water. The station's nominal treated water production capacity is $2,500 \text{ m}^3 / \text{h}$, i.e. $50000 \text{ m}^3 / \text{d}$ if operating for 20 hours per day. The sizing of the treatment plant produces $2,500 \text{ m}^3 / \text{h}$ of treated water. Under these conditions, the nominal gross flow of water from the Mefou reservoir should be $2,625 \text{ m}^3 / \text{h}$, i.e. $52,500 \text{ m}^3 / \text{d}$. However, we note that the raw water and treated water flows in the Mefou treatment plant do not reach the nominal flows expected. The diagnosis of the station enabled us to note a number of failures, namely: the absence of suction cups or purging in the raw water supply system, the installation conditions of the treated water flow meter not respected the problem of dimensioning of the pumping group of treated water. Optimization measures were proposed to help improve the efficiency of the Mefou treatment plant and subsequently resized the pumping stations of treated water and raw water with of HDPE pipes DN 800 and DN 900 respectively.

Key words:

- 1. Treatment station,**
- 2. Mefou,**
- 3. Flow,**
- 4. Diagnosis,**
- 5. Optimization**

LISTE DES ABREVIATIONS

CAMWATER : Cameroon Water Utilities Corporation

CDE : Camerounaise Des Eaux

PEHD : Polyéthylène Haute Densité

PN:PressionNominal

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Caractéristiques des conduites d'adduction d'eau traitée	15
Tableau II: Caractéristiques des conduites d'adduction d'eau brute.....	18
Tableau III : Débit d'eau transité en gravitaire	21
Tableau IV: Matière pour les conduites d'adduction d'eau potable	26
Tableau V: Caractéristiques du réseau d'eau traitée redimensionné.....	28
Tableau VI: Caractéristiques du réseau d'eau brute redimensionné	33
Tableau VII : Débit d'eau transité en gravitaire pour le redimensionnement	37

LISTE DES FIGURES

Figure 1:Organigramme CDE	5
Figure 2:Schéma synoptique de l'adduction d'eau traitée	6
Figure 3:Schéma synoptique de l'adduction d'eau brute	7
Figure 2: courbes caractéristiques du point de fonctionnement de l'adduction d'eau traitée ..	16
Figure 3 : Courbes caractéristiques du point de fonctionnement de l'adduction d'eau brute ..	19
Figure 4:Modélisation de l'écoulement gravitaire sur le logiciel Epanet	21
Figure 5 : Courbes caractéristiques du point de fonctionnement de l'adduction d'eau brute proposées pour l'optimisation	24
Figure 6: Courbes caractéristiques du point de fonctionnement de l'adduction d'eau traitée redimensionnée.....	30
Figure 7 : Courbes caractéristiques du point de fonctionnement de l'adduction d'eau brute redimensionnée.....	35
Figure 8: Modélisation sur le logiciel Epanet de l'écoulement gravitaire redimensionné.....	36

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Barrage de la MEFOU	40
Annexe 2 : station de pompage d'eau brute	40
Annexe 3 : Courbe caractéristique de la pompe d'eau traitée proposée pour l'optimisation...	41
Annexe 4 : Courbe caractéristique de la pompe d'eau traitée proposée pour le redimensionnement	41
Annexe 5 : courbe caractéristique de la pompe d'eau brute proposée pour le redimensionnement	45
Annexe 7 : Débitmètre d'eau traitée	47
Annexe 8 : Conduite d'eau brute DN 600 sur laquelle installer le purgeur	48

TABLE DES MATIERES

<i>DEDICACES</i>	<i>I</i>
<i>REMERCIEMENTS</i>	<i>II</i>
<i>RESUME</i>	<i>III</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>IV</i>
<i>LISTE DES ABREVIATIONS</i>	<i>V</i>
<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	<i>VI</i>
<i>LISTE DES FIGURES</i>	<i>VII</i>
<i>LISTE DES ANNEXES</i>	<i>VIII</i>
<i>TABLE DES MATIERES</i>	<i>IX</i>
<i>I. INTRODUCTION</i>	<i>1</i>
<i>I.1. Contexte et problématique</i>	<i>1</i>
<i>I.2. Justificatif et objectifs de l'étude</i>	<i>2</i>
I.2.1. Justificatif.....	2
I.2.2. Objectifs de l'étude	2
a) Objectif général.....	2
b) Objectifs spécifiques :	2
<i>I.3. Méthodologie et résultats attendus</i>	<i>2</i>
<i>II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA STATION DE TRAITEMENT DE LA MEFOU</i>	<i>4</i>
<i>II.1. Présentation de la structure d'accueil</i>	<i>4</i>
II.1.1 Contexte	4
II.1.2 Missions et engagements de la CDE	4
II.1.3 Organisation et fonctionnement de la CDE.....	5
<i>III. présentation générale de la station de traitement de la mefou</i>	<i>6</i>
III.1. présentation	6
.....	6
III.2. Description du réseau d'adduction d'eau brute	7
III.3. Description du réseau de l'adduction d'eau traitée.....	8

**DIAGNOSTIC ET AMELIORATION DES STATIONS DE POMPAGE D'EAU BRUTE ET D'EAU
TRAITEE DE LA MEFOU (CAMEROUN)**

III.4.	Description de la station de traitement	9
III.4.1.	Filière eau	9
III.4.2.	Filière boues	11
III.4.3.	Filières eaux de lavage.....	11
IV.	DIAGNOSTIC DES STATIONS DE POMPAGE D'EAU BRUTE ET D'EAU TRAITEE DE LA MEFOU	11
IV.1.	Station de pompage d'eau traitée	11
IV.2.	Réseau d'adduction d'eau brute.....	16
a.	Simulation du fonctionnement du réseau	20
b.	Outil de simulation utilisé	20
c.	Méthodologie.....	20
d.	Résultats et interprétations	21
V.	MESURES D'OPTIMISATION.....	22
V.1.	Station de pompage d'eau traitée	22
V.2.	Réseau d'adduction d'eau brute	25
VI.	PROPOSITION DE REDIMENSIONNEMENT DES STATIONS DE POMPAGE D'EAU BRUTE ET D'EAU TRAITEE	26
VI.1.	Station de pompage d'eau traitée	26
a-	Dimensionnement de la conduite de refoulement.....	26
b-	Dimensionnement des électropompes	27
VI.2.	Dimensionnement de la station d'eau brute	32
VII.	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	38
	Bibliographie	39
	ANNEXES	40

I. INTRODUCTION

I.1. Contexte et problématique

L'accès à l'eau et à l'assainissement est l'un des défis majeurs du XXI^e siècle. Selon le rapport de l'OMS de 2015, 663 millions de personnes dans le monde n'ont pas accès à une eau saine, et une personne sur trois n'a pas accès aux infrastructures minimales d'assainissement. En conséquence, plus de 3000 enfants meurent chaque année de maladies liées à l'eau et à des problèmes d'assainissement. L'eau n'est pas seulement importante du point de vue de la santé publique, elle conditionne le développement socio-économique : la production agricole (70 à 80 % de la totalité de l'eau utilisée par l'homme est destinée à l'agriculture), l'élevage, l'industrie, le commerce et la vie quotidienne (coût de l'eau et corvées) dépendent de l'accès à l'eau. Le réseau de distribution d'eau dans plusieurs villes africaines date de la période coloniale. Yaoundé, capitale politique du Cameroun compte environ 1,818 millions d'habitants (organisation des nations unies, 2005). Comme bon nombre de métropoles africaines, elle fait face à une croissance exponentielle des populations et par conséquent des besoins en eau. La mise en eau de la station de traitement d'eau de la Mefou, à Yaoundé, réalisée par Sogea-Satom pour le compte de Cameroon Water Utilities Corporation (Camwater), la réhabilitation et l'extension de cette station apporteront un supplément de 50 000 m³ d'eau par jour aux habitants de la capitale. Mais, nous constatons que seulement 44000 m³ d'eau sont envoyés dans le réseau. La nécessité de mettre en œuvre un plan pour l'amélioration des performances des stations de pompage d'eau brute et d'eau traitée de Mefou s'avère important, compte tenu de l'insuffisance de la production et de la croissance constante des besoins en eau.

I.2. Justificatif et objectifs de l'étude

I.2.1. Justificatif

Suite à la constatation par la CDE que les débits d'eau brute et d'eau traitée dans la station de traitement de la Mefou n'atteignent pas les débits nominaux attendus, mais que le débitmètre d'eau brute enregistre plutôt un débit de 2300 m³/h lorsque l'écoulement se fait par pompage et un débit de 2100 m³/h lorsque l'écoulement est gravitaire, et le débitmètre d'eau traitée enregistre un débit de 2 150 m³/h, celle-ci a commandé une expertise afin de ressortir les organes défaillants et les recommandations pour rétablir le transfert de la production nominale de la station de traitement.

I.2.2. Objectifs de l'étude

a) Objectif général

L'objectif de base de cette étude est de contribuer à l'amélioration du rendement des stations de pompage d'eau brute et d'eau traitée de la Mefou.

b) Objectifs spécifiques :

Spécifiquement, cette étude cherche à :

- ✓ Etablir un diagnostic des conduites et de la station de pompage d'eau brute ;
- ✓ Etablir un diagnostic des conduites et de la station de pompage d'eau traitée ;
- ✓ Identifier les mesures d'optimisation des stations de pompage.

I.3. Méthodologie et résultats attendus

L'étude a été réalisée en adoptant les trois étapes suivantes :

- ✓ Phase de recherche documentaire ;
- ✓ Visite et travaux sur le terrain ;
- ✓ traitement des données ;

❖ recherche documentaire

Elle a constitué la première prise de contact avec le sujet de mémoire et le contexte dans lequel il s'inscrit. Cela nous a permis de faire la collecte des informations indispensables. Au cours de cette phase, nous avons axé notre recherche sur les points à savoir :

- Les documents abordant des thèmes similaires ou ayant certains points communs avec notre sujet de mémoire.

- Les documents mis à notre disposition par la CDE à savoir le plan de toute la station ainsi que les données en rapport avec la réhabilitation et le fonctionnement de la station

❖ Visite de terrain

Suite à l'étude documentaire, une visite de reconnaissance est effectuée sur la zone d'étude afin de compléter les informations acquises précédemment et de bien s'imprégner du contexte du projet. Elle nous a permis de recenser les différentes anomalies dans les stations ainsi que les singularités.

❖ Le traitement des données

Cette phase a consisté à l'exploitation de l'ensemble de la documentation obtenue au cours de la recherche documentaire et des observations sur le terrain. Ce travail nous a permis de dégager les tendances et des informations utiles à l'élaboration du présent mémoire de fin d'étude.

RESULTAT ATTENDUS

Les résultats attendus à la fin du stage sont entre autres :

- Le rapport du diagnostic des stations de pompage d'eau brute et d'eau traitée.
- Les méthodes d'optimisation des stations de pompage d'eau brute et d'eau traitée en vues de résoudre les anomalies et produire les débits attendus.

II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA STATION DE TRAITEMENT DE LA MEFOU

II.1. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

II.1.1 Contexte

Dans le cadre de sa politique de restructuration de l'économie nationale, le gouvernement de la République du Cameroun a mis en œuvre une réforme de l'hydraulique urbaine par décret N°2005/493 du 31 décembre 2005 fixant les modalités des services publics de l'eau potable et de l'assainissement liquide en milieu urbain et périurbain. Ce processus a abouti :

- A la création d'un acteur public en occurrence la CAMWATER, société de patrimoine chargée par les pouvoirs publics du développement, de la réhabilitation et la gestion des infrastructures de l'eau potable.
- A la mise en affermage, par voie d'appel d'offre international, de l'exploitation des installations pour assurer le service public de l'eau potable et de la désignation de la Camerounaise Des Eaux pour s'acquitter de cette mission pour une période de 10 ans à compter du 02 Mai 2008

II.1.2 Missions et engagements de la CDE

La Camerounaise Des Eaux est une société de droit camerounais, créée par un groupement d'entreprises marocaines : l'Office de l'Eau Potable du Maroc (ONEP), Delta Holding, INGEMA et MEDZ, filiales de la Caisse de Dépôt et de Gestion. Ses missions sont les suivantes :

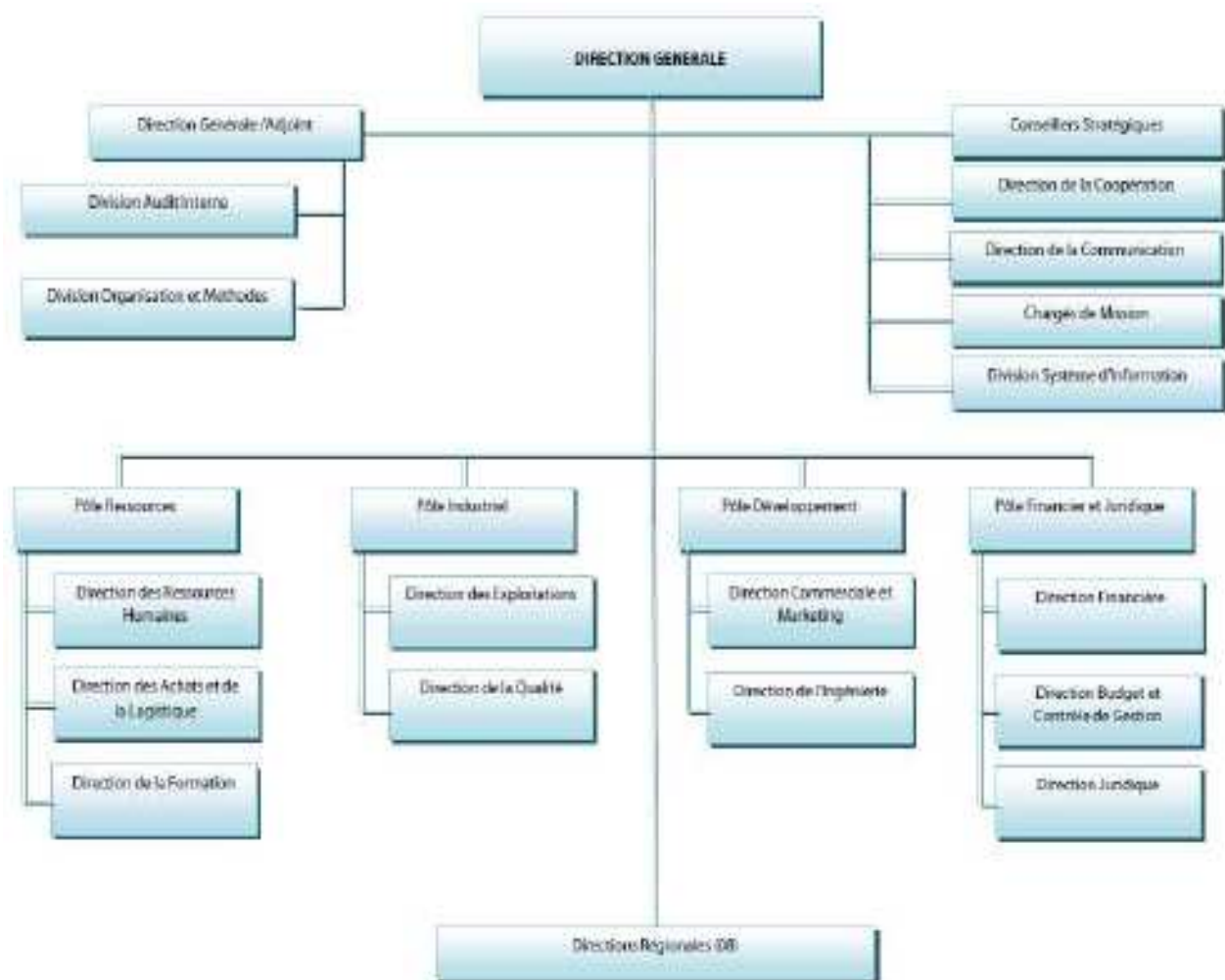
- ✓ La production, le transport et la distribution de l'eau potable sur le périmètre affermé ;
- ✓ La réalisation des travaux d'entretien et de réparation de tous les biens affectés à l'exploitation du service affermé ;
- ✓ La réalisation des travaux de renouvellement des biens d'exploitation du service affermé ;
- ✓ La réalisation conformément aux termes du contrat d'affermage des travaux d'extension ou de réhabilitation ;
- ✓ L'amélioration de l'accès à l'eau potable pour renforcer le taux de desserte.

DIAGNOSTIC ET AMELIORATION DES STATIONS DE POMPAGE D'EAU BRUTE ET D'EAU TRAITEE DE LA MEFOU (CAMEROUN)

Ses engagements sont les suivants :

- ✓ Assurer la mission du service public dans une perspective de développement durable ;
- ✓ Améliorer la continuité et la qualité de l'alimentation en eau potable ;
- ✓ Améliorer la qualité de service rendu au client ;
- ✓ Accroître le taux d'accès à l'eau potable ;
- ✓ Améliorer les performances des ouvrages de production, de transport et de distribution et l'environnement de travail à travers de nouvelles méthodes de travail basées sur le développement technologique ;
- ✓ Accroître le potentiel des ressources humaines à travers la formation et la gestion des carrières.

II.1.3 Organisation et fonctionnement de la CDE



Source : www.la-cde.com

Figure 1: Organigramme CDE

III. PRESENTATION GENERALE DE LA STATION DE TRAITEMENT DE LA MEFOU

III.1. présentation

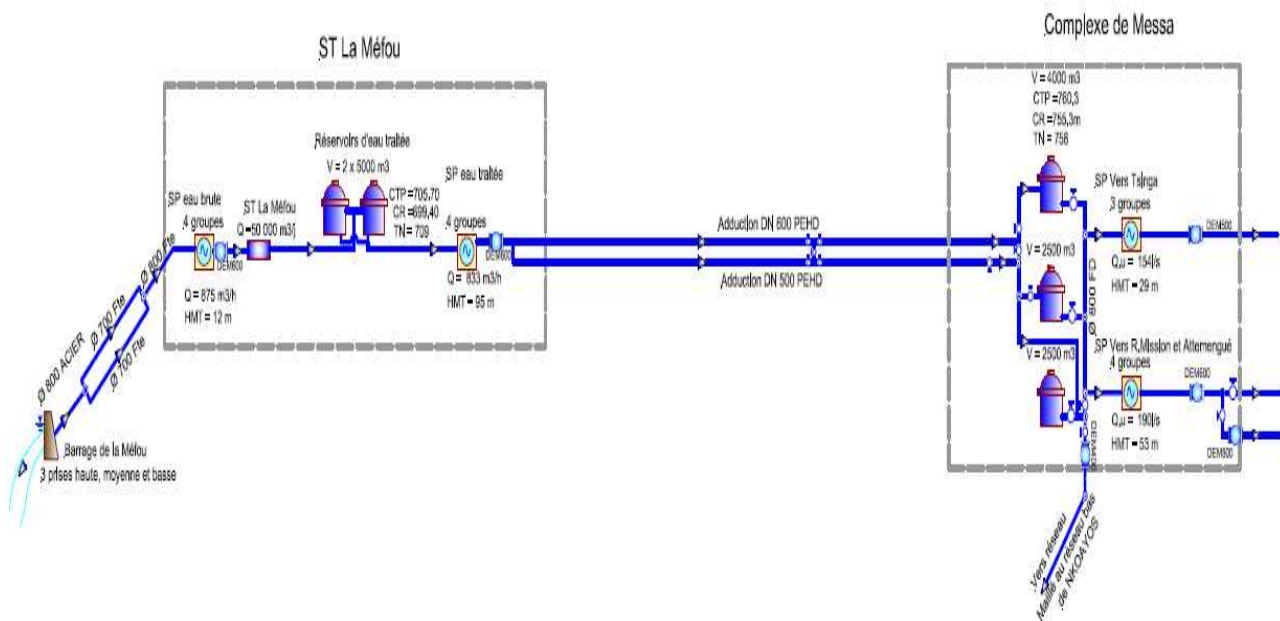


Figure 2: Schéma synoptique de l'adduction d'eau traitée

La station de traitement de la Mefou est située dans la zone de Nkolbisson et est adossée au cours d'eau de la Mefou, sur lequel a été réalisé le barrage dont la retenue alimente la station en eau brute

- Date de mise service de la nouvelle station de la Mefou : le 29/01/2014
- Date de la première production vers le complexe de Messa : le 05/02/2014.

La capacité de production nominale en eau traitée de la station est de 2 500 m³/h, soit 50000m³/j si on considère un fonctionnement pendant 20 heures par jour. Le dimensionnement de la station de traitement est réalisé sur la base d'une teneur maximum de 2 g/l de matières en suspension dans l'eau brute, pour produire 2 500 m³/h d'eau traitée. Dans ces conditions, le débit d'eau brute nominal provenant de la retenue de la Mefou devrait être de 2 625 m³/h, soit 52 500 m³/j. Trois niveaux de prise (713,57 m NGC, 710,40 m NGC et

DIAGNOSTIC ET AMELIORATION DES STATIONS DE POMPAGE D'EAU BRUTE ET D'EAU TRAITEE DE LA MEFOU (CAMEROUN)

705,78 m NGC) permettent à l'exploitant de prélever l'eau de meilleure qualité dans la retenue.

L'alimentation de la station de traitement se fait selon deux modes de fonctionnement en fonction du niveau d'eau dans la retenue de la Mefou :

- Lorsque le niveau d'eau dans la retenue est relativement élevé, l'alimentation est gravitaire, le débit d'eau brute étant ajusté grâce à une vanne de régulation de type papillon
- Lorsque le niveau d'eau dans la retenue est relativement bas, le pompage d'eau brute est mis en route permettant de maintenir le débit de la station conforme à la consigne rentrée par l'exploitant dans la supervision

III.2. Description du réseau d'adduction d'eau brute

La station de pompage d'eau brute est composée de quatre groupes dont un de secours (CDE, 2015). Les caractéristiques techniques des groupes de pompage sont présentées ci-après :

- Nombre de groupe : 3 + 1 de secours
- Débit nominal de chaque groupe : 875 m³/h
- Hauteur manométrique totale : 12 m

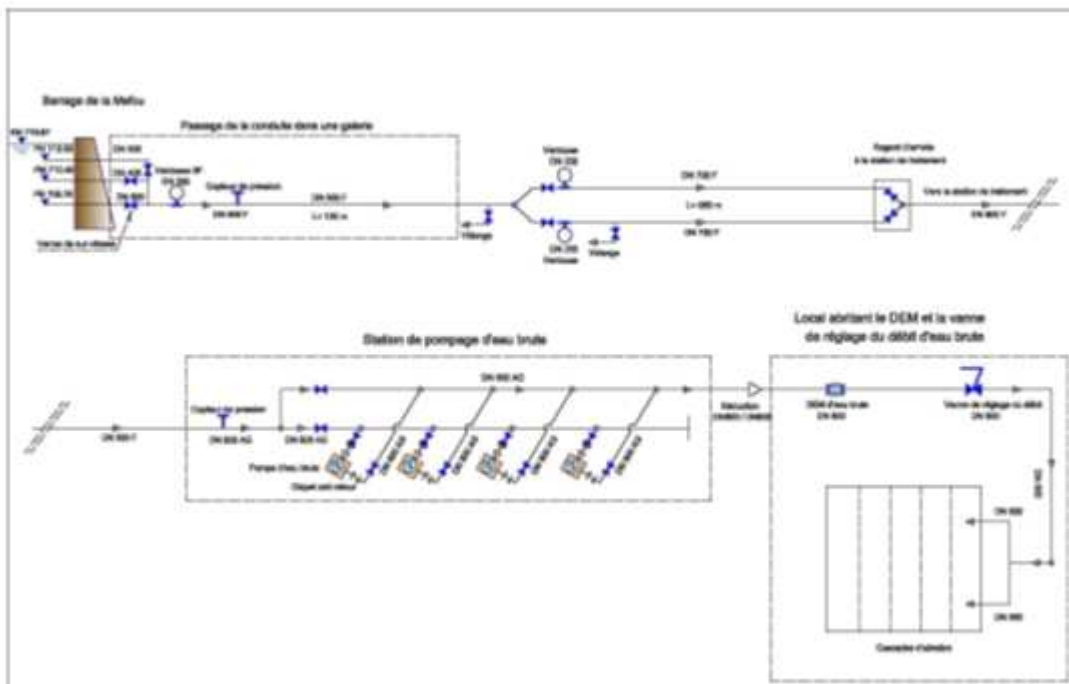


Figure 3:Schéma synoptique de l'adduction d'eau brute

III.3. Description du réseau de l'adduction d'eau traitée

➤ La citerne d'eau traitée

La citerne d'eau traitée de la station de traitement de la Mefou est composée de deux réservoirs enterrés ayant les caractéristiques suivantes :

- Volume : 2 x 5 000 m³
- Côte terrain naturel : 709 m
- Côte radier : 699.4 m
- Côte trop pleine : 705.7 m.

Une conduite DN 800 mm sortant de la citerne d'eau traitée est utilisée comme collecteur d'aspiration de la station de pompage d'eau traitée(CDE, 2016)

➤ La station de pompage d'eau traitée

La station de pompage d'eau traitée est composée de quatre groupes dont un de secours. Les caractéristiques techniques des groupes de pompage sont présentées ci-après :

- Nombre de groupe : 3 + 1 de secours
- Débit nominal de chaque groupe : 833 m³/h
- Hauteur manométrique totale : 95 m

➤ Les conduites d'adduction d'eau traitée

L'adduction d'eau traitée est constituée de deux conduites DN 500 et DN 600, d'un linéaire de 8km. Au départ de l'adduction d'eau traitée, un débitmètre électromagnétique DN 600 mm de marque KROHNE mesure le débit refoulé vers le complexe de Messa. En 2014, les anciennes conduites d'eau traitée ont subi des travaux de chemisage en introduisant des conduites en PEHD à l'intérieur des anciennes conduites en fonte grise. Les deux conduites sont reliées entre elles par deux by-pass. Le premier se situe juste après l'échangeur vers EKOLA et le second se trouve à l'entrée des réservoirs de Messa. Les deux conduites longent le même tracé jusqu'au carrefour Emah Basil, puis la conduite DN 600 passe à droite et celle DN 500 passe à gauche. Par la suite, elles se rejoignent au niveau du carrefour Matgenie. La conduite DN 600 comporte 6 ventouses et 7 vidanges et celle DN 500 comporte 7 ventouses et 7 vidanges.

III.4. Description de la station de traitement

Le fonctionnement journalier de la station est de 20h00. Lors des lavages des filtres, l'installation reste en production.(CDE, 2013)

III.4.1. Filière eau

❖ Débit d'alimentation de la station

L'alimentation de la station de traitement se fait selon deux modes de fonctionnement en fonction du niveau d'eau dans la retenue de la Mefou :

- Lorsque le niveau d'eau dans la retenue est relativement élevé, l'alimentation est gravitaire, le débit d'eau brute étant ajusté grâce à une vanne de régulation de type papillon.
- Lorsque le niveau d'eau dans la retenue est relativement bas, le pompage d'eau brute est mis en route permettant de maintenir le débit de la station conforme à la consigne rentrée par l'exploitant dans la supervision.

❖ Cascades d'aération

L'eau brute après comptage et régulation pénètre dans deux cascades d'aération pour amener l'eau à saturation en oxygène et pour oxyder le fer dissous. Les déversoirs de chaque cascade sont calés rigoureusement au même niveau, ce qui permet d'assurer la fonction de répartition sur les deux files de traitement. Il est possible d'injecter de l'hypochlorite de calcium pour la pré-oxydation, à la sortie des cascades d'aération et du sulfate de cuivre pour éliminer les algues à l'amont des cascades.

❖ Coagulation – Flocculation

L'eau aérée et chlorée pénètre dans deux mélangeurs rapides, un par file, équipés chacun d'une turbine de mélange. Le sulfate d'alumine, le lait de chaux et le bicarbonate de sodium si besoin sont injectés dans cet ouvrage. L'ajout de bicarbonate de sodium et de lait de chaux permet de se placer dans des conditions de pH et TAC optimum pour la coagulation. L'eau traverse ensuite quatre nouveaux flocculateurs, deux en série par file, équipés chacun d'une turbine à vitesse lente réglable. Une injection de polymère a lieu à l'entrée de chaque flocculateur.

❖ Décantation

L'eau entre dans deux décanteurs lamellaires, un par file, par un canal d'alimentation sur toute la longueur du décanteur pour permettre une bonne répartition de l'eau sous les packs

lamellaires du décanteur. L'eau traverse le pack lamellaire du bas vers le haut et est collectée dans des goulottes immergées à la surface de l'eau.

❖ Filtration sur sable

Les filtres sont du type à grande hauteur d'eau (1,2 m), à balayage de surface, c'est-à-dire que même pendant le lavage d'un filtre, l'eau brute est toujours admise dans ce filtre, ce qui améliore l'évacuation des eaux sales de lavage et ne surcharge par les autres filtres en service. Donc pendant le lavage d'un filtre, il n'y a pas besoin de réduire le débit d'eau brute. L'eau filtrée rejoint alors une bêche d'eau de lavage, servant de réserve pour le lavage des filtres.

❖ Bêche de contact chlore

Une bêche de contact chlore est alors alimentée par déversement. Cette bêche permet d'obtenir un temps de contact minimal entre le chlore et l'eau filtrée, pour permettre une bonne désinfection et une élimination de l'ammonium en excès si nécessaire. L'eau de chaux pour la mise à l'équilibre finale est injectée à la sortie de cette bêche.

❖ Réserve d'eau de lavage et bêche d'eau traitée

L'eau est introduite par déversement dans la bêche de réserve et de pompage de l'eau traitée. Cette bêche comporte :

- Une bêche de réserve d'eau de lavage (eau non chlorée)
- Une bêche de contact de chlore
- Un réservoir eau traitée à deux compartiments

L'eau est reprise par un poste de pompage composé de quatre pompes, qui alimentent les réservoirs de la Messa.

❖ Réactifs de traitement

Il est prévu un bâtiment de réactifs qui permet :

- Le stockage des réactifs,
- La préparation et le dosage du polymère de floculation,
- La préparation et le dosage du sulfate d'alumine pour la coagulation,
- La préparation et le dosage de sulfate de cuivre,
- La préparation et le dosage du bicarbonate de sodium,
- La préparation et le dosage du lait de chaux,
- Le stockage et le dosage d'hypochlorite de calcium.

III.4.2. Filière boues

Les boues des décanteurs lamellaires sont extraites par pompage (pompe de recirculation et extraction) dans une « bache à boues » agitée afin d'éviter les dépôts et de les homogénéiser. Les boues mélangées sont reprises par deux groupes électropompes, dont un en secours, qui les refoulent vers deux lagunes, chacune isolable, positionnées sur le site distant, localisé à 600 m de la station de traitement. Les surverses des lagunes rejoignent l'exutoire. Les boues épaissies dans les lagunes devront être évacuées régulièrement par un camion de vidange (hors projet).

III.4.3. Filières eaux de lavage

Les eaux sales des filtres sont recueillies dans une « bache eaux sales » agitée afin d'éviter les dépôts et de les homogénéiser. Les eaux sales sont reprises par deux groupes électropompes, qui les recyclent directement dans le mélangeur rapide de chaque file.

IV. DIAGNOSTIC DES STATIONS DE POMPAGE D'EAU BRUTE ET D'EAU TRAITEE DE LA MEFOU

IV.1. Station de pompage d'eau traitée

Des anomalies ont été détectées à plusieurs niveaux dans la station de pompage d'eau traitée :

❖ Débitmètre

La vérification des conditions de pose du débitmètre d'eau traitée de diamètre 600 mm a permis de mettre en évidence que les longueurs droites amont ($5 \times D = 3 \text{ m}$) et aval ($3 \times D = 1,80 \text{ m}$) imposées par le constructeur n'ont pas été respectées. En effet, les mesures effectuées ont été respectivement de 2,4 m et 1,25 m seulement. Ces non conformités peuvent être à l'origine d'un sur-comptage de l'eau traitée et fausser les statistiques d'exploitation.

❖ Pompage de l'eau traitée

Le problème relevé à ce niveau est que la station de pompage de l'eau traitée n'arrive pas à produire le débit nominal de $2\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ pour lequel elle a été conçue car au niveau du débitmètre nous enregistrons plutôt un débit de $2\,150 \text{ m}^3/\text{h}$. nous allons dans un premier temps déterminer l'équation de la courbe de réseau et tracer le point de fonctionnement afin de

déterminer si le groupe de pompage installé permet effectivement d'avoir le débit d'eau traitée souhaité.

Détermination graphique du point de fonctionnement du système

Le point de fonctionnement est l'intersection entre la courbe caractéristique résistante du réseau et la courbe caractéristique de la pompe en fonction du débit.

Liste des singularités

❖ Refoulement

- Vanne : 3
- Clapet : 3
- Coude : 90°
- Réduction concentrique : 3
- Te de branchement d'amenée : 3
- Conduite de diamètre 600
- Vanne : 2
- Te de branchement de prise : 1
- Coude : 90°, 100°, 130°, 140°, 150°
- Conduite de diamètre 500
- Vanne : 2
- Te de branchement de prise : 1
- Coude : 90°, 100°, 130°, 140°, 150°

❖ Aspiration

- Vanne : 3
- Te de branchement de prise : 3
- Réduction excentrée : 3

○ **Calcul des coefficients k des singularités**

- Coude :
 - ◆ De 90 : $K=0,294$
 - ◆ De 150 : $K=0,49$
 - ◆ De 100 : $K= 0,33$
 - ◆ De 140 : $K=0,46$

♦ De 130 : $K=0,43$

➤ Clapet (CLASAR) de diamètre 400 mm et $Q = 231,4$ L/s

PDC= 0,7 mce $K=7,5$

➤ Réduction concentrique

$$K = \left[1 - \left(\frac{200}{400} \right)^2 \right]^2 = 0,56$$

➤ Te de branchement d'amenée

$$\frac{Q}{Q_T} = \frac{833}{2500} = 0,33 \quad \text{donc } K=0,24$$

➤ Réduction excentrique

$$K = 0,5 \left[1 - \left(\frac{250}{500} \right)^2 \right] = 0,375$$

➤ Te de branchement de prise

$$\frac{Q}{Q_T} = \frac{833}{2500} = 0,33 \quad \text{Donc } K=0,89$$

$$\frac{Q}{Q_T} = \frac{1666}{2500} = 0,66 \quad \text{Donc } K_b=1,18 \text{ et } K_r=0,17$$

○ **Calcul des pertes de charges sur le réseau**

Nous notons qu'en 2014, les anciennes conduites d'eau traitée ont subi des travaux de chemisage en introduisant des conduites en PEHD à l'intérieur des anciennes conduites en fonte grise.

Diamètre du tubage de la conduite existante 600

Epaisseur de la conduite PEHD= 3,8 cm=38 mm

Donc diamètre du tubage= diamètre intérieur de la conduite PEHD

$$D_{600} = 600 - (2 \times 38) = 524 \text{ mm}$$

Diamètre du tubage de la conduite existante 500

$$D_{500} = 500 - (2 \times 38) = 424 \text{ mm}$$

- **Les pertes de charges singulières (Hs) :**

Les pertes de charges singulières sont représentées par les différents obstacles sur le système comme les vannes, coudes ou les crépines. Ces pertes de charges sont généralement estimées

comme une fraction des charges de vitesse :

$$H_s = K \frac{V^2}{2g}$$

K: Coefficient de perte de charge fonction de la nature de l'obstacle

- Les pertes de charges linéaires :

Les charges par friction sont les charges qui doivent être additionnées pour surmonter les pertes causées par l'écoulement de l'eau le long des conduites. Ce sont les sommes des pertes de charges par friction à l'aspiration et des pertes de charges par friction au refoulement et peuvent être calculées en utilisant les équations de Darcy-Weisbach ou de Hazen-Williams ou de Manning. Dans notre cas nous utiliserons la formule de Darcy – Weisbach. Cette formule se présente sous la forme :

$$J = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Le tout réside maintenant dans la détermination du coefficient λ qui est appelé encore coefficient de résistance, c'est un coefficient sans dimension appelé coefficient de perte de charge linéaire, qui est fonction du régime d'écoulement donc du nombre de Reynold et de la rugosité relative. λ sera déterminé l'aide du diagramme de Moody.

➤ Nombre de Reynolds

$$Re = \frac{D \times U}{\nu}$$

U : Vitesse moyenne d'écoulement à travers la section considérée en (m/s)

D : Diamètre de la conduite ou largeur de la veine fluide en (m).

ν : Viscosité cinématique du fluide (m^2/s). Pour l'eau : $\nu = 1,14 \times 10^{-6} m^2/s$

Les limites du Nombre de Reynolds définissant les différents régimes d'écoulement peuvent être résumés comme suit :

- $Re \leq 2000$: Le régime est " LAMINAIRE "
- $2000 < Re < 4000$: Le régime est " CRITIQUE " ou " TRANSITOIRE "
- $Re \geq 4000$: Le régime est " TURBULENT (Mr YONABA Roland, 2014)

**DIAGNOSTIC ET AMELIORATION DES STATIONS DE POMPAGE D'EAU BRUTE ET D'EAU
TRAITEE DE LA MEFOU (CAMEROUN)**

➤ Rugosité relative

$$\varepsilon = \frac{K}{D}$$

Tableau I : Caractéristiques des conduites d'adduction d'eau traitée

Conduite	Débit $Q (m^3/s)$	Vitesse $V (m/s)$	$PDC_S (m)$	$PDC_L (m)$
Diamètre 800	0,69	1,3	2,45	0,02
Diamètre 600	0,46	1,6	0,47	17
Diamètre 500	0,23	1	0,1	6
Diamètre 524	0,46	2	0,26	22
Diamètre 424	0,23	1,6	0,25	29,4

○ Détermination de l'équation de la courbe de réseau

$$\sum PDC = 3,53 + 74,42 = 78m$$

$$\sum PDC = yQ^2 = 78 \rightarrow y = \frac{78}{0,69^2} = 164$$

donc $\sum PDC = 164Q^2$

$$H_r = H_g + \sum PDC = 55 + 164Q^2$$

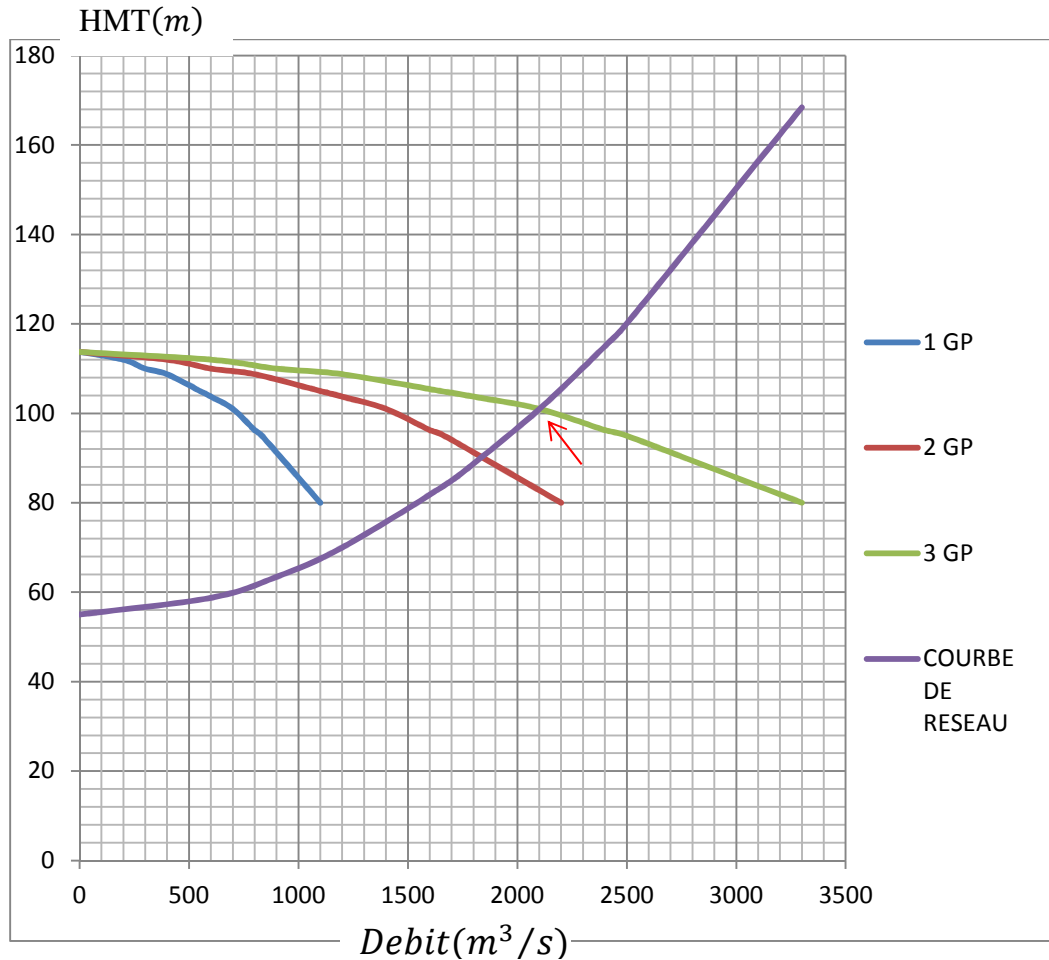


Figure 4: courbes caractéristiques du point de fonctionnement de l'adduction d'eau traitée

o **Interprétation**

Le point de fonctionnement de trois pompes qui refoulent dans les deux conduites DN 500 et DN 600 est de $Q = 2150 \text{ m}^3/\text{h}$ et 101 m de HMT. Les courbes précédentes montrent que la station de pompage d'eau traitée, telle qu'elle a été conçue, ne peut transiter que $1950 \text{ m}^3/\text{h}$. Elle ne peut donc pas transférer le débit nominal de la station de traitement qui est de $2500 \text{ m}^3/\text{h}$.

IV.2. Réseau d'adduction d'eau brute

Le débit d'eau brute nominal provenant de la retenue de la Mefou devrait être de $2625 \text{ m}^3/\text{h}$, soit $52500 \text{ m}^3/\text{mois}$, le débitmètre enregistre plutôt un débit de $2100 \text{ m}^3/\text{h}$ lorsque l'écoulement est gravitaire et un débit de $2300 \text{ m}^3/\text{h}$ lorsque ce dernier se fait par pompage.

❖ **Pompage de l'eau brute**

Nous allons déterminer l'équation de la courbe de réseau et puis tracer le point de fonctionnement afin de déterminer si le groupe de pompage installé permet effectivement d'avoir le débit d'eau brute attendu.

✓ **Liste des singularités :**

✚ Aspiration

- Vanne : 9
- Te de branchement de prise : 4
- Te de branchement d'amenée : 3
- Coude de 90
- Coude de 45: 2
- Coude de 22,5: 2
- Réduction excentrée :3

✚ Refoulement

- Vanne : 3
- Clapet : 3
- Coude de 90: 3
- Réduction concentrique : 3
- Te de branchement d'amenée : 3

✓ **Calcul des coefficients k des singularités**

- Vanne (a boisseau sphérique) : $K=0,07$
- Coude :
 - De 90 : $K= 0,294$
 - De 22,5 : $K=0,074$
 - De 45 : $K= 0,147$
- Clapet (CLASAR) de diamètre 400mm et $Q =243$ L/s

PDC=0,7 mce $K=7$

**DIAGNOSTIC ET AMELIORATION DES STATIONS DE POMPAGE D'EAU BRUTE ET D'EAU
TRAITEE DE LA MEFOU (CAMEROUN)**

➤ Réduction concentrique

➤ $K = \left[1 - \left(\frac{250}{400}\right)^2\right]^2 = 0,371$

➤ Te de branchement d'amenée

✓ Au niveau des prises au barrage

$\frac{Q}{Q_T} = \frac{0,83}{2,85} = 0,3$ Donc $K=0,23$

$\frac{Q}{Q_T} = \frac{2,85}{2,85} = 1$ Donc $K= 0,6$

✓ Au niveau des pompes

$\frac{Q}{Q_T} = \frac{875}{2625} = 0,33$ Donc $K=0,24$

➤ Au niveau des conduites de diamètre 700mm

$\frac{Q}{Q_T} = \frac{1312,5}{2625} = 0,5$ Donc $K= 0,28$

➤ Réduction excentrique

$K = 0,5 \left[1 - \left(\frac{250}{500}\right)^2\right] = 0,375$

➤ Te de branchement de prise

➤ Au niveau des pompes

$\frac{Q}{Q_T} = \frac{875}{2625} = 0,33$ Donc $K=0,89$

➤ Au niveau des conduites de diamètre 700mm

$\frac{Q}{Q_T} = \frac{1312,5}{2625} = 0,5$ Donc $K= 0,92$

Le calcul des pertes de charge est résumé dans le tableau suivant

Tableau II: Caractéristiques des conduites d'adduction d'eau brute

Conduite	Débit $Q (m^3/s)$	Vitesse $V (m/s)$	$PDC_S (m)$	$PDC_L (m)$
Diamètre 800	0,73	1,45	0,12	0,32
Diamètre 700	0,36	0,94	0,06	1,24
Diamètre 800	0,73	1,45	3	0,2

✓ **Détermination de l'équation de la courbe de réseau**

$$\sum PDC = 3,24 + 3 = 6,24 \text{ m}$$

$$\sum PDC = xQ^2 = 6,24 \quad \rightarrow \quad y = \frac{6,24}{0,73^2} = 11,7$$

Donc $\sum PDC = 11,7Q^2$

$$H_r = H_g + \sum PDC = 7 + 11,7Q^2$$

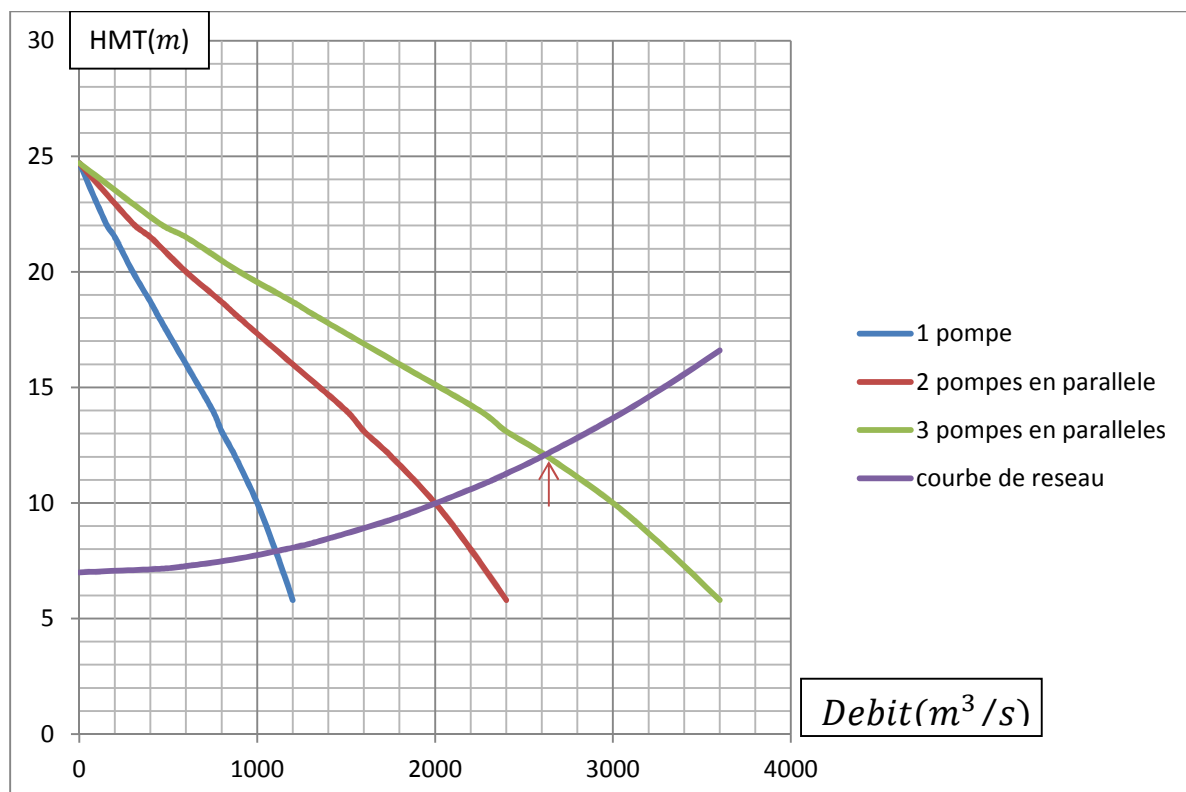


Figure 5 : Courbes caractéristiques du point de fonctionnement de l'adduction d'eau brute

✓ **Interprétation**

Le point de fonctionnement de trois pompes qui refoulent est de $Q = 2625 \text{ m}^3/\text{h}$ et 12 m de HMT .La courbe précédente montre que la station de pompage d'eau brute, telle qu'elle a été conçue est capable de transiter le débit nominal attendu qui est de $2625 \text{ m}^3/\text{h}$.

❖ **adduction gravitaire de l'eau brute**

Nous avons procédé par une simulation du fonctionnement du réseau afin de vérifier si celui-ci permet de transiter le débit attendu.

a. Simulation du fonctionnement du réseau

La nécessité de faire une simulation du fonctionnement du réseau actuel et futur s'avère importante dans la mesure où elle nous permet de vérifier si le réseau permet d'assurer la production attendue. De plus, la simulation du réseau permet non seulement de visualiser et de calculer les paramètres hydrauliques tels que la vitesse d'écoulement de l'eau, le débit, les pertes de charges dans les conduites ainsi que les pressions aux différents nœuds, mais aussi de prévoir les différents scénarios pouvant survenir sur le réseau au fil du temps. Nous présenterons successivement l'outil de simulation utilisé, la méthodologie et les données d'entrée et enfin les résultats obtenus.

b. Outil de simulation utilisé

EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression, un réseau étant un ensemble de tuyaux, nœuds (jonctions de tuyau), pompes, vannes, bâches et réservoirs. EPANET calcule le débit dans chaque tuyau, la pression à chaque nœud, le niveau de l'eau dans les réservoirs, et la concentration en substances chimiques dans les différentes parties du réseau, au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes. Le logiciel est également capable de calculer les temps de séjour et de suivre l'origine de l'eau. Notre modèle a été conçu à partir des profils et des plans des installations existantes disponibles dans la documentation de la station.

c. Méthodologie

Saisie du réseau sous le logiciel Epanet

Nous avons saisi au total pour ce qui est des principaux éléments du réseau :

- 27 nœuds en y renseignant à chaque fois les informations suivantes : l'identifiant du nœud, ses coordonnées X et Y, son altitude ;
- 25 conduites en donnant à chaque fois les informations suivantes : l'identifiant de la conduite, son nœud initial et final, sa longueur, son diamètre et sa rugosité ;
- Deux bâches

d. Résultats et interprétations

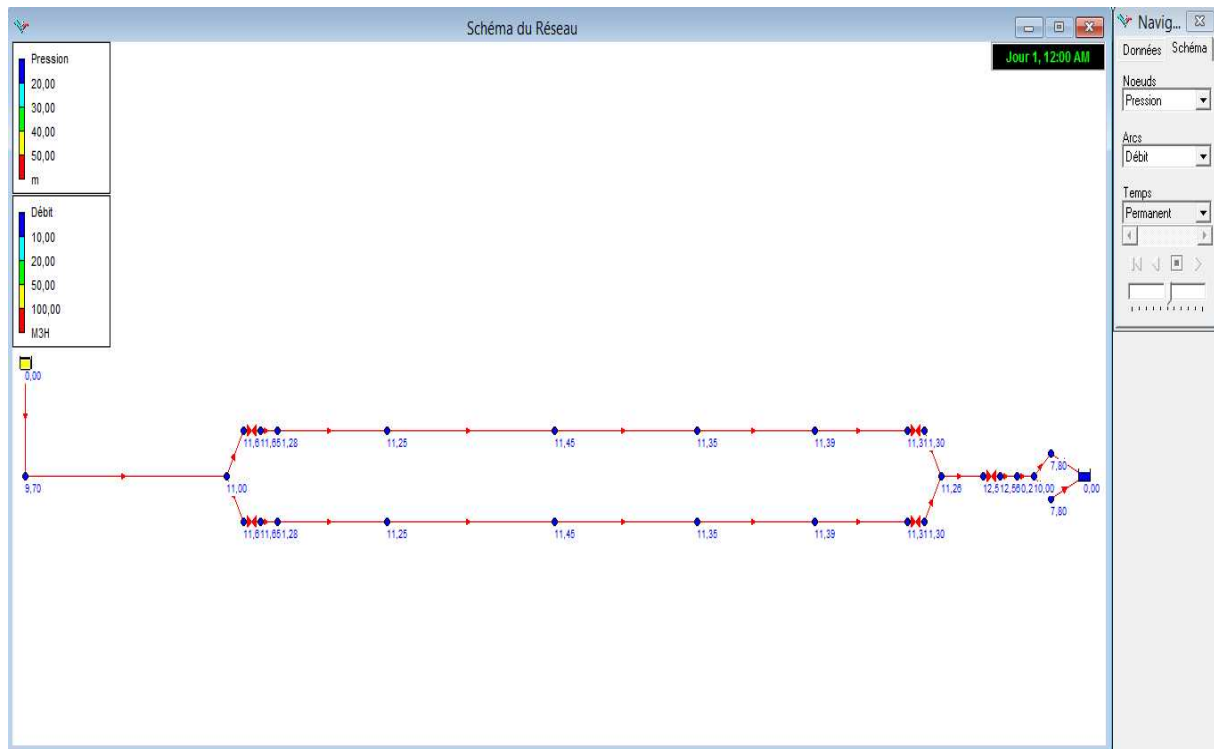


Figure 6: Modélisation de l'écoulement gravitaire sur le logiciel Epanet

Nous avons voulu ressortir l'évolution du débit transité par l'adduction d'eau brute, en fonctionnement gravitaire, en fonction du niveau d'eau dans la retenue du barrage de la Mefou.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous

Tableau III : Débit d'eau transité en gravitaire

Niveau dans la retenue (m)	Débit eau brute transité en gravitaire (m ³ /h)
716,67	2887,27
716	2637,97
715,67	2506,12
715	2214,6

Les résultats obtenus montrent que le réseau d'adduction d'eau brute permet d'assurer la production attendue lorsque l'écoulement se fait de manière gravitaire. Mais, au niveau des points les plus hauts d'une conduite, il est souvent possible d'observer un phénomène de turbulence allié à celui des augmentations et des baisses de pressions que subit l'eau dans les tuyaux et qui va par moments charger l'eau en gaz et à d'autre moment va libérer ce gaz du liquide. Ce gaz, en s'accumulant dans ces points hauts de l'adduction où il va rester captif malgré lui, provoquera des bouchons qui vont réduire ou même stopper la circulation de l'eau ce qui peut entraîner une baisse du débit transité dans les conduites.

V. MESURES D'OPTIMISATION

Le diagnostic du réseau nous a permis d'observer et de relever plusieurs défaillances dans le fonctionnement du réseau étudié. Dans cette partie de notre travail, nous allons proposer quelques solutions en vue d'atteindre le débit d'eau brute et le débit d'eau traitée pour lesquels la station a été dimensionnée.

V.1. Station de pompage d'eau traitée

✓ Débitmètre

Nous proposons d'installer deux nouveaux débitmètres électromagnétiques à la sortie de la station, le premier sur la conduite DN 500 et le second sur la conduite DN 600. en respectant les recommandations du constructeur pour l'installation du débitmètre qui sont de $5 \times D = 3 \text{ m}$ pour la longueur droite amont et $3 \times D = 1,80 \text{ m}$ pour la longueur droite aval.

✓ Pompes

Après avoir déterminé le point de fonctionnement dans le réseau, nous avons conclu qu'il y a un problème de conception et de dimensionnement des groupes de pompage : trois pompes en parallèle de débit nominal $833 \text{ m}^3/\text{h}$ avec une HMT de 95 m ne donnent pas un débit de $3 \times 833 \text{ m}^3/\text{h} = 2\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ mais $2150 \text{ m}^3/\text{h}$ seulement donc, La station de pompage de l'eau traitée ne peut pas transférer le débit nominal de la station de traitement qui est de $2\,500 \text{ m}^3/\text{h}$. Dans ce cas, la solution envisagée est le changement du groupe de pompage.

Dimensionnement d'un nouveau groupe de pompage

❖ Méthodologie de dimensionnement

Pour le dimensionnement des pompes, nous avons recherché les données indispensables qui sont :

- ✓ Le débit de pompage Q
- ✓ La hauteur manométrique totale (HMT)
- ✓ Les caractéristiques du réseau.

Connaissant la HMT et le débit de pompage nous avons déterminé les pompes en utilisant le catalogue du constructeur

❖ Choix des pompes

$$\text{HMT (mce)} = H_g + [(P_2 - P_1)]/\rho g + \sum PDC$$

Ici $P_1 = P_2 (= P_a)$:

$$\text{Donc HMT} = H_g + \sum PDC$$

Les pertes de charge avaient été calculées lors du diagnostic du réseau d'eau traitée

$$\sum PDC_L = 0,02 + 17 + 22 + 6 + 29,4 = 74,42\text{m}$$

$$\sum PDC_s = 2,45 + 0,47 + 0,26 + 0,1 + 0,25 = 3,53\text{m}$$

$$\sum PDC = 3,53 + 74,42 = 78\text{m}$$

$$H_g = 55\text{m}$$

Calcul de la $NPSH_d$

La $NPSH$ est un terme qui décrit les conditions relatives à la cavitation, qui est à éviter car pouvant détériorer la pompe.

$$NPSH_d = \frac{P_{atm}}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g} - H_a - \sum pdc_{asp}$$

- Calcul des pertes de charges singulières en aspiration

$$PDC_s = 29 \times \frac{1,3^2}{2 \times 10} = 2,45\text{m}$$

- Calcul des pertes de charges linéaires en aspiration

$$PDC_L = \frac{0,016 \times 1,3^2 \times 14,5}{0,8 \times 2 \times 10} = 0,02\text{m}$$

$$\sum pdc_{asp} = pdc_{sasp} + pdc_{lasp} = 2,45 + 0,02 = 2,47m$$

le calcul de $NPSH_d$ nous donnera:

$$NPSH_d = 10,13 - 0,24 - 2 - 2,47 = 5,42m$$

$$NPSH_r = 2m$$

$$NPSH_d > NPSH_r + 0,5 = 2,7m$$

Le choix des pompes s'est porté sur les pompes du catalogue de la marque GRUNDFOS à partir de la HMT requise et du débit recherché pour le pompage

❖ Détermination du point de fonctionnement

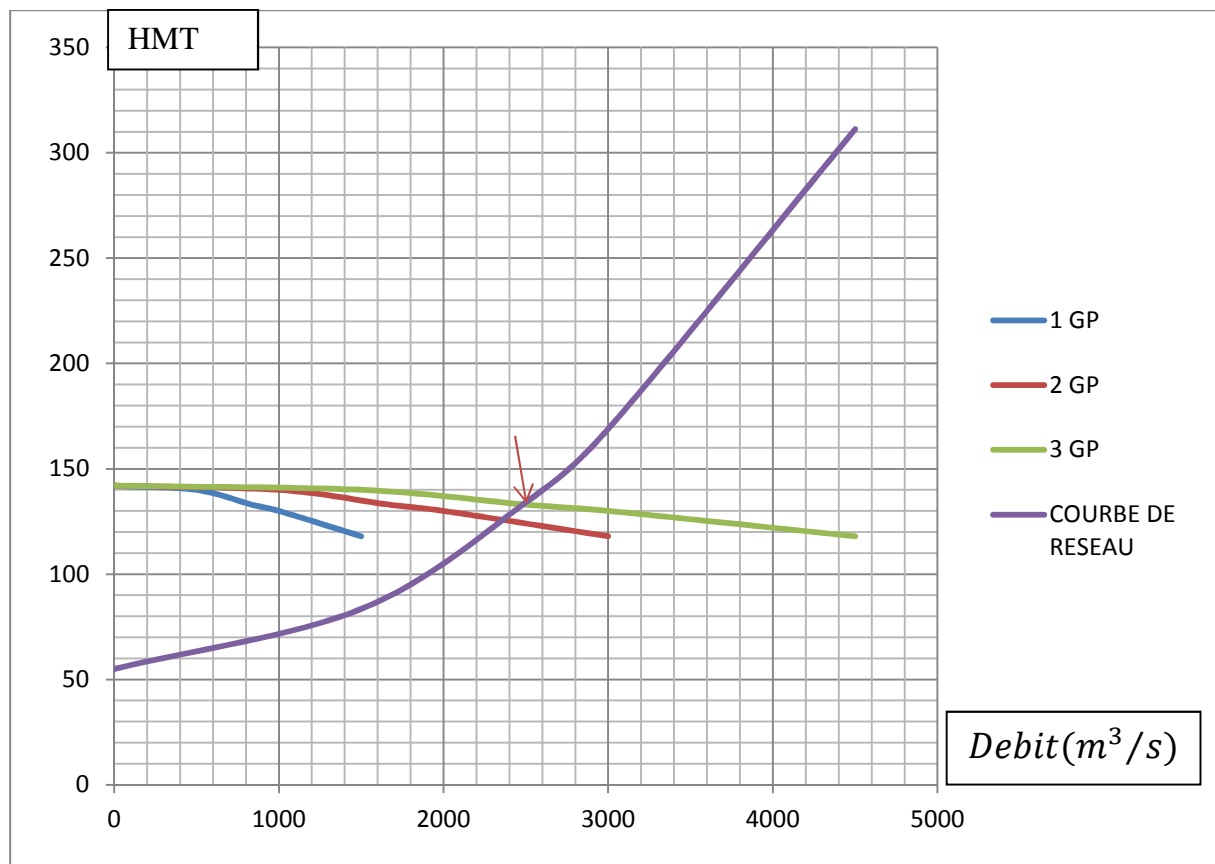


Figure 7 : Courbes caractéristiques du point de fonctionnement de l'adduction d'eau brute proposées pour l'optimisation

❖ Interprétation

Le point de fonctionnement de trois pompes qui refoulent est de $Q = 2500 \text{ m}^3/\text{h}$ et 133m de HMT. La courbe précédente montre que le groupe de pompage choisi pour la station de pompage d'eau traitée est capable de refouler le débit nominal attendu qui est de $2500 \text{ m}^3/\text{h}$.

○ Avantage :

La station de pompage d'eau traitée pourra transférer le débit nominal de la station de traitement qui est de 2 500 m³/h

○ Inconvénients :

- Augmentation de l'énergie absorbée par les pompes
- prix des pompes très élevé.

V.2. Réseau d'adduction d'eau brute

❖ La crépine

La crépine est un filtre, le plus souvent métallique, de forme sphérique ou cylindrique qui se positionne à l'extrémité d'un tuyau d'aspiration. Il s'agit du premier filtre placé en amont et destiné à arrêter les corps étrangers contenu dans le barrage, tout en laissant passer l'eau afin de protéger le réseau. Il peut donc arriver que la crépine soit obstruée par ces corps étrangers, ce qui empêcherait que le débit normal soit transité dans le réseau

Il est donc nécessaire de vérifier l'état de la crépine et de la nettoyer quand il le faut.

❖ Les vannes

Une vanne est un dispositif destiné à contrôler (stopper ou modifier) le débit de l'eau dans une conduite. Nous suggérons donc de faire une vérification sur tout le réseau afin de détecter s'il y a des vannes qui ne sont pas totalement ouvertes et qui pourraient entraîner une baisse du débit transité.

❖ Les purges

Le phénomène de turbulence allié à celui des augmentations et des baisses de pressions que subit l'eau dans les tuyaux va, par moments, charger l'eau en gaz et à d'autre moment va libérer ce gaz du liquide. Ce gaz, en s'accumulant dans les points hauts de l'adduction où il va rester captif malgré lui, provoquera des bouchons qui vont réduire ou même stopper la circulation de l'eau. La purge permet l'évacuation de ces gaz vers l'extérieur pour rétablir un débit normal. Un purgeur avec robinet devrait donc être installé sur la conduite d'eau brute DN 600, à l'entrée du local abritant la vanne de réglage de débit et le débitmètre électromagnétique.

VI. PROPOSITION DE REDIMENSIONNEMENT DES STATIONS DE POMPAGE D'EAU BRUTE ET D'EAU TRAITEE

VI.1. Station de pompage d'eau traitée

a- Dimensionnement de la conduite de refoulement

❖ Choix des matériaux des conduites

Tableau IV: Matière pour les conduites d'adduction d'eau potable

MATIERE	AVANTAGES	INCONVENIENTS	UTILISATION
L'acier	Résistant, peut se Souder	Chère, lourd, rouille	Exhaure, refoulement et distribution
Fonte	Résistant, ne rouille pas	Chère, lourd, ne se soude pas	Conduite principale, Tuyaux du réservoir
PVC	Léger, pas de réaction avec l'eau,	Moins résistant, vieillit au soleil	Très répandu, les tuyaux classiques
Polyéthylène	Léger, pas de réaction avec l'eau, souple	Nécessite des raccords, plus cher que le PVC	Petit diamètre, arrives aux points d'eau

Pour une optimisation des frais des conduites d'adduction seront en PEHD. Les diamètres seront calculés en fonction du tout en observant une vitesse minimale de 0.5 m/s et une vitesse maximale de 1.5 m/s.

Toutes les conduites seront enterrées dans des tranches de profondeur 0.8 m. Cette profondeur minimale nécessaire pour la protection des conduites à l'écrasement sous pression des engins

roulants

❖ **Diamètres de la conduite de refoulement**

L'adduction se faisant par refoulement, les conduites sont dimensionnées par les trois (03) formules suivantes sous la contrainte de Flamant : $V \leq 0.6 + (m)$

- Formule de Bresse : $D(m) = 1,5 \times Q^{0,5} (m^3/s)$
- Formule modifiée de Bresse : $D(m) = 0,8 \times Q^{1/3} (m^3/s)$
- Formule simplifiée de Munier : $D(m) = (1 + 0,02n) \times Q^{0,5} (m^3/s)$

Avec n = nombre d'heures de pompage

Ces formules nous permettent d'avoir les diamètres théoriques variés de conduite. On choisit la conduite en tenant compte de ces conditions basiques (le pouvoir d'achat, conditions de vitesse d'écoulement d'eau et aussi d'éventuelles pertes de charge qui seront engendrées). Le choix est optimum si la conduite choisie permet de minimiser les pertes de charges (diamètre éventuellement grand), permet d'écouler rapidement (à une grande vitesse) pour éviter les dépôts de matériaux sur la canalisation en vue de la boucher à long terme.

La station étant dimensionnée pour produire un volume de $50000 \frac{m^3}{j}$ pour un fonctionnement de 20h par jours, le débit correspondant sera : $Q = \frac{50000}{20} = 2500 m^3/h = 0,694 m^3/s$

La formule de BRESSE est celle qui respecte la contrainte de Flamant car : $V \leq 0,6 + D(mm)$

La conduite sera dimensionnée avec un diamètre de 800mm avec PN16

b- Dimensionnement des électropompes

Les pompes sont des dispositifs mécaniques servant à aspirer l'eau d'un niveau bas (rivière, puits, forage, point bas de réseau) pour la refouler vers un niveau plus élevé (station de traitement, réservoir, tronçon aval) sous l'action d'une force externe (humaine, animale, photovoltaïque, éolienne, électrique, hydraulique). (Dr Harinaivo A. ANDRIANISA, 2014)

Généralement, une pompe, quel que soit le type, se caractérise par:

- Son débit
- Sa capacité d'aspiration
- Sa capacité de refoulement
- Son rendement

- Puissance absorbée
- Vitesse de rotation

❖ **CALCUL DE LA HMT**

La Hauteur Manométrique Totale est la pression contre laquelle la pompe doit “travailler” lorsque l’eau est pompée. La HMT peut être déterminée en évaluant les hauteurs d’aspiration et de refoulement, les pertes de charges par friction, les charges de la vitesse et les pertes de charges singulières.

$$\mathbf{HMT = Hgeo + \sum Pdc}$$

$$\sum Pcd = \sum Pcd_s + \sum Pdc_l$$

Hgeo : Hauteur géométrique = za-zr

Les pertes de charge linéaires seront calculées à partir de la formule de Manning-Strickler et elles seront majorées de 10% pour intégrer les pertes de charge singulières

$$J = 1.1 \left(\frac{10.29 * Q^2}{Ks^2 * D^{(16/3)}} \right) *$$

Tableau V: Caractéristiques du réseau d’eau traitée redimensionné

Désignation	Unités	Résultats
Débit refoulement eau traitée	m ³ /s	0,694
Altitude aspiration Hasp	m	705,70
Altitude refoulement Href		760,30
Longueur aspiration Lasp		15
Longueur refoulement Lref		8000
Rugosité Ks		83,00
D _{int}	m	0,800
Vitesse V	m/s	1,4
Pertes de charge j	m	20,88
HMT	m	75

❖ **Choix de la pompe**

○ Vitesse spécifique

La vitesse spécifique est une méthode de classification des pompes. Elle exprime la vitesse à

laquelle une pompe élèverait de 1 m un débit de 1m³/s: $n_q = \frac{N\sqrt{Q(m^3/s)}}{[H(m)]^{3/4}}$

- $n_q < 20$: Pompes centrifuges multicellulaires
- $20 < n_q < 50$: Pompes centrifuges monocellulaires
- $50 < n_q < 100$: Pompes centrifuges à double corps
- $100 < n_q < 200$: Pompes hélico-centrifuges
- $200 < n_q < 300$: Pompes à hélice

Pour un nombre de pôles de 4 et une fréquence de 50 Hz, on aura une vitesse de rotation de 1450 tr/min

On obtient $n_q = 27,28$

Diamètre de sortie

$$Ns = 60.333 * n_q^{-0.876} = 3,33$$

Diamètre de la roue de la pompe

$$D = \frac{Ns * Q^{1/2}}{H^{1/4}} = 0,543$$

Dans ce cas, la pompe sera de type centrifuge monocellulaire avec un diamètre de la roue de 543 mm

❖ **Détermination du point de fonctionnement**

Le point de fonctionnement est l'intersection entre la courbe caractéristique de la pompe et celle du réseau

$$HMT = H_g + \sum PDC = 55 + XQ^2$$

$$HMT = 55 + 43,5 Q^2$$

✓ Caractéristiques de la pompe

$$HMT = f(Q)$$

✓ Caractéristiques du réseau

$$H = f(Q)$$

Le choix des pompes s'est porté sur les pompes du catalogue de la marque GRUNDFOS à partir de la HMT requise et du débit recherché pour le pompage.

Nous prenons comme hypothèse l'installation de 3 pompes avec une autre de secours avec un débit de 833 m³/h pour chacune.

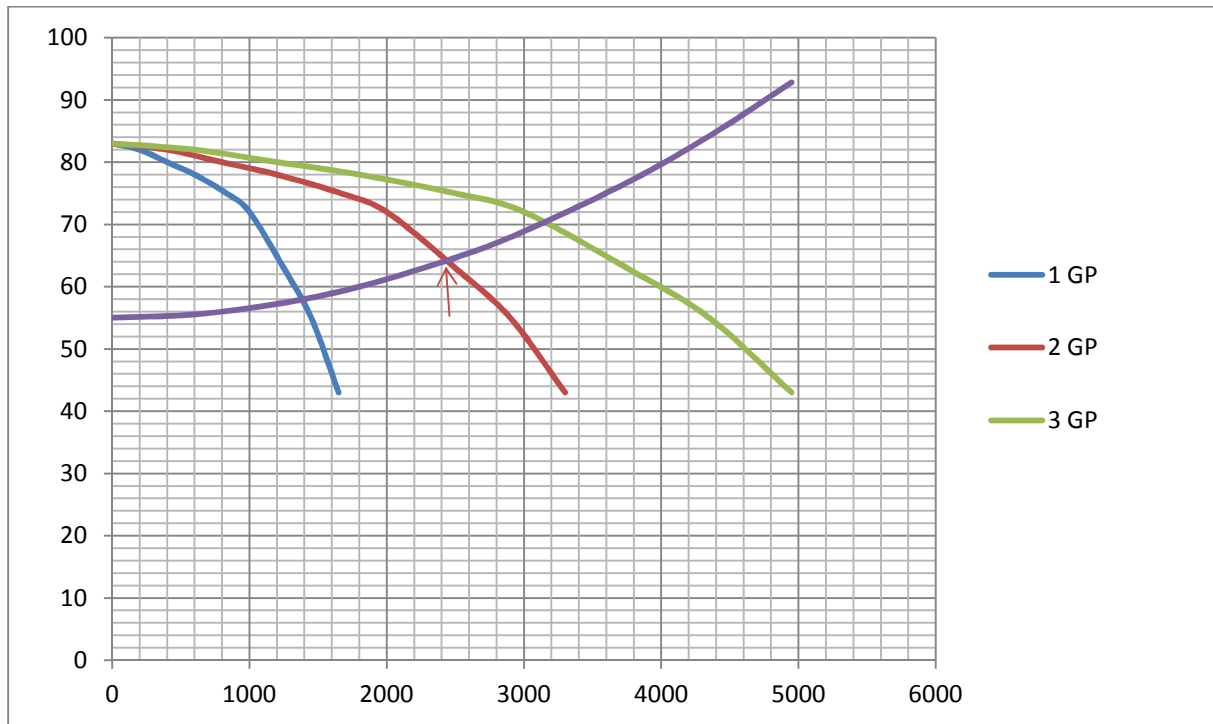


Figure 8: Courbes caractéristiques du point de fonctionnement de l'adduction d'eau traitée redimensionnée

Le point de fonctionnement de deux pompes qui refoulent est de $Q = 2500 \text{ m}^3/\text{h}$ et 64 m de HMT

Le point de fonctionnement de trois pompes qui refoulent est de $Q = 3200 \text{ m}^3/\text{h}$ et 70m de HMT

❖ Interprétation

La courbe précédente montre que le groupe de pompage choisi pour la station de pompage d'eau traitée est capable de refouler le débit nominal attendu qui est de 2500 m³/h.

Deux pompes installées suffisent pour refouler le débit d'eau souhaitée.

Nous allons installer deux pompes avec une autre de secours.

Vérification au coup de bélier

Le coup de bélier est un phénomène transitoire provoqué par la mise en marche ou l'arrêt d'une pompe, la fermeture ou l'ouverture brusque d'une vanne, le prélèvement instantané d'un débit important. Il provoque une propagation d'onde et une oscillation en masse de l'eau à l'intérieur de la conduite. Il est à l'origine des variations importantes de la pression qui peuvent être soit supérieure à la pression nominale de la conduite, soit inférieure à la pression atmosphérique. Il est nécessaire d'étudier le phénomène du coup de bélier non seulement pour protéger la pompe mais surtout la conduite contre les éventuelles ruptures de conduite et/ou pompe conséquentes. (Denis ZOUNGRANA, 2007)

La valeur absolue de la surpression se calcule avec la formule d'Allievi : $\Delta h = a \frac{V_0}{g}$

Avec a la célérité de l'onde :

$$a = \frac{9900}{\left(48.3 + K \frac{D}{e}\right)^{0.5}}$$

V₀ est la vitesse en régime permanent dans la canalisation

e : épaisseur de la conduite

D : diamètre intérieur de la conduite

K = 83 pour le PEHD

g : accélération de la pesanteur = 9,8 m/s²

La charge maximale au point de calcul est donnée par la charge initiale augmentée de la variation de pression, conduisant à une surpression : $H + \Delta h$. Cette charge maximale obtenue est comparée à la pression nominale de la canalisation.

Après calcul, nous avons une surpression de 87,5 m, donc $H + \Delta h$ est inférieure à la pression nominale de service PN 16 de la canalisation. Il n'y a pas de risque de coup de bélier. Un dispositif anti bélier n'est donc pas nécessaire sur le réseau de refoulement

VI.2. Dimensionnement de la station d'eau brute

La démarche utilisée dans le dimensionnement de la station de pompage de l'eau traitée sera utilisée à ce niveau

❖ Diamètres de la conduite de refoulement

La station étant dimensionnée pour produire un volume de $52500m^3/j$ pour un fonctionnement de 20h par jours, le débit correspondant

$$\text{sera : } Q = \frac{52500}{20} = 2625 m^3/h = 0,73 m^3/s$$

La conduite sera dimensionnée avec un diamètre de 900 mm avec PN16

❖ Dimensionnement des électropompes

CALCUL DE LA HMT

$$\mathbf{HMT = Hgeo + \sum Pdc}$$

$$\sum Pcd = \sum Pcd_s + \sum Pdc_l$$

Hgeo : Hauteur géométrique = $z_a - z_r$

Les pertes de charge linéaires seront calculées à partir de la formule de Manning-Strickler et elles seront majorées de 10% pour intégrer les pertes de charge singulières

$$J = 1.1 \left(\frac{10.29 * Q^2}{Ks^2 * D^{(16/3)}} \right) * L$$

**DIAGNOSTIC ET AMELIORATION DES STATIONS DE POMPAGE D'EAU BRUTE ET D'EAU
TRAITEE DE LA MEFOU (CAMEROUN)**

Tableau VI: Caractéristiques du réseau d'eau brute redimensionné

Désignation	Unités	Résultats
Débit refoulement eau traitée	m ³ /s	0,73
Altitude aspiration Hasp	m	705,60
Altitude refoulement Href		712,60
Longueur aspiration Lasp		1163
Longueur refoulement Lref		115
Rugosité Ks		83,00
DN	m	0,900
Vitesse V	m/s	1,1
Pertes de charge j	m	1,96
HMT	m	9

❖ **Choix de la pompe**

✓ Vitesse spécifique

$$n_q = \frac{N\sqrt{Q(m^3/s)}}{[H(m)]^{3/4}}$$

Si le nombre de pôles : 4

Fréquence (Hz) :50

Vitesse de rotation : 1450 tr/min

On obtient $n_q = 137$

Diamètre de sortie

$$Ns = 60.333 * n_q^{-0.876} = 0,798$$

- ✓ Diamètre de la roue de la pompe

$$D = \frac{N_s * Q^{1/2}}{H^{1/4}} = 0,225$$

Dans ce cas, la pompe sera de type pompes hélico-centrifuges.

❖ Détermination du point de fonctionnement

Le point de fonctionnement est l'intersection entre la courbe caractéristique de la pompe et celle du réseau

$$HMT = H_g + \sum PDC = + XQ^2$$

$$HMT = 7 + 2,7Q^2$$

- ✓ Caractéristiques de la pompe

$$HMT = f(Q)$$

- ✓ Caractéristiques du réseau

$$H = f(Q)$$

Le choix des pompes s'est porté sur les pompes du catalogue de la marque GRUNDFOS à partir de la HMT requise et du débit recherché pour le pompage. Nous prenons comme hypothèse l'installation de 3 pompes avec une autre de secours avec un débit de 875 m³/h pour chacune.

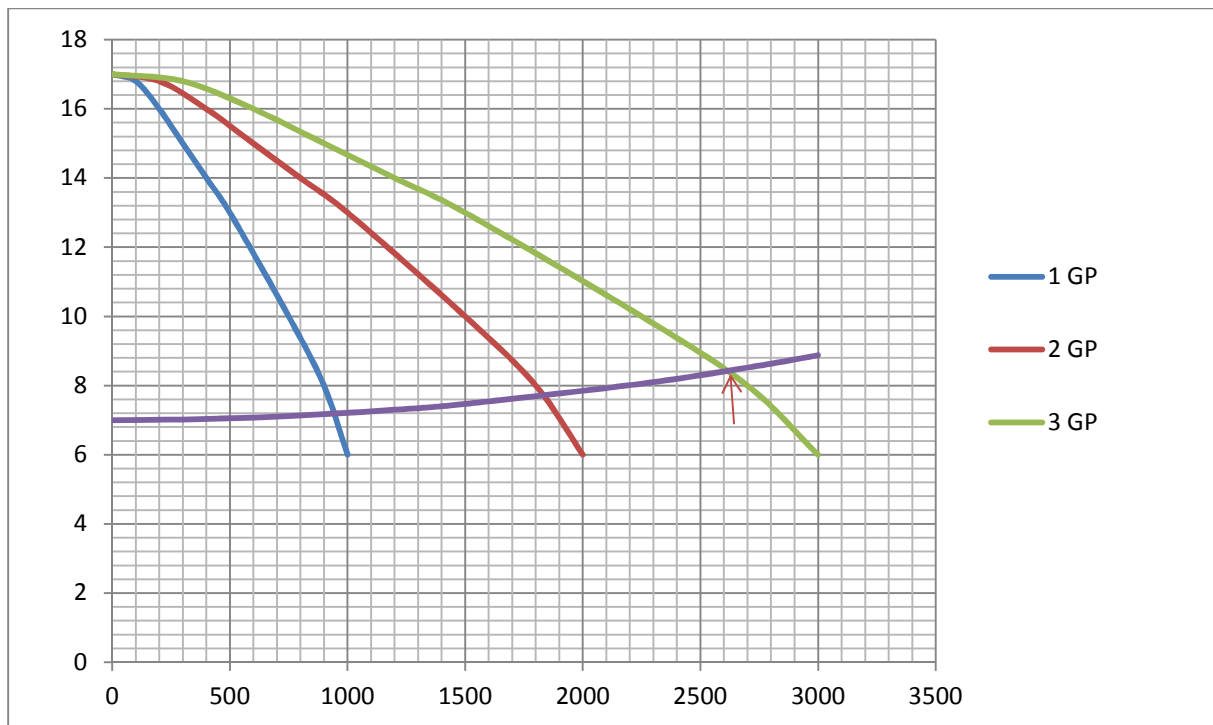


Figure 9 : Courbes caractéristiques du point de fonctionnement de l'adduction d'eau brute redimensionnée

Le point de fonctionnement de trois pompes qui refoulent est de $Q = 2625 \text{ m}^3/\text{h}$ et 8,5 m de HMT

❖ Vérification au coup de bélier

Après calcul, nous avons une surpression de 81,9m, donc $H+\Delta h$ est inférieure à la pression nominale de service PN16 de la canalisation. Il n'y a pas de risque de coup de bélier. Un dispositif anti bélier n'est donc pas nécessaire sur le réseau de refoulement

ADDUCTION GRAVITAIRE DE L'EAU BRUTE

🚧 SIMULATION DU FONCTIONNEMENT DU RESEAU

La nécessité de faire une simulation du fonctionnement du réseau actuel et futur s'avère importante dans la mesure où elle nous permet de vérifier si le réseau permet d'assurer la production attendue. Nous allons utiliser le logiciel Epanet pour faire la simulation.

Méthodologie

➤ Saisie du réseau sous le logiciel Epanet

Nous avons saisi au total pour ce qui est des principaux éléments du réseau :

- 15 nœuds en y renseignant à chaque fois les informations suivantes :
l'identifiant du nœud, ses coordonnées X et Y, son altitude ;
- 15 conduites en donnant à chaque fois les informations suivantes :
l'identifiant de la conduite, son nœud initial et final, sa longueur, son diamètre et sa rugosité ;
- Deux bâches

RESULTAT ET INTERPRETATION

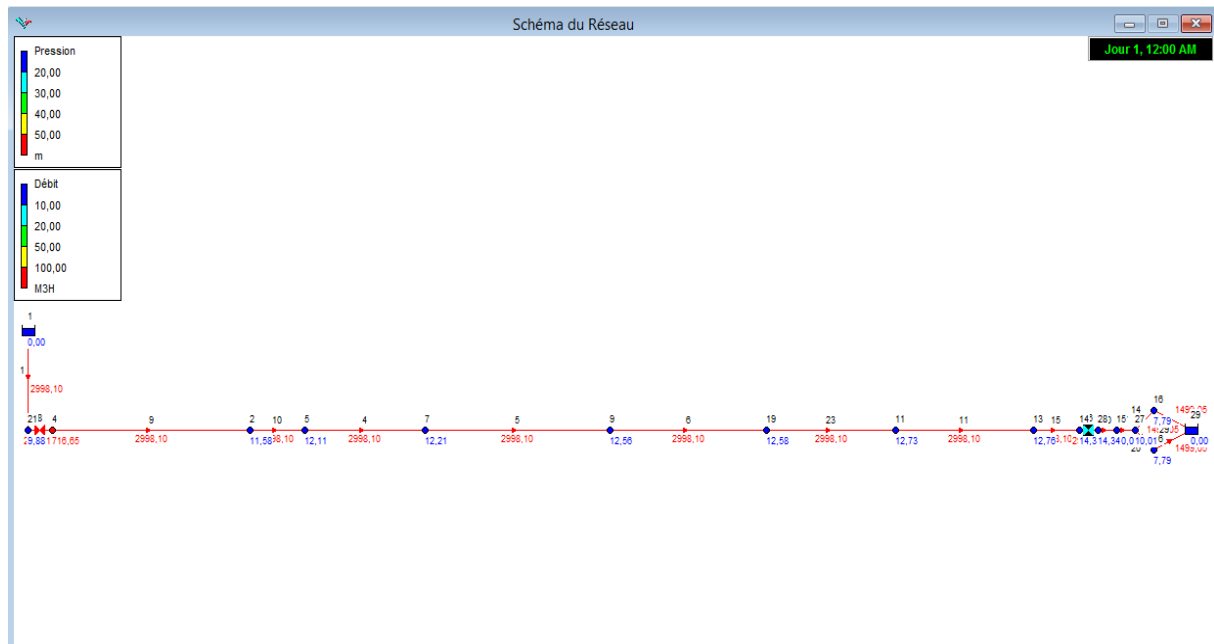


Figure 10: Modélisation sur le logiciel Epanet de l'écoulement gravitaire redimensionné

Nous avons voulu ressortir l'évolution du débit transité par l'adduction d'eau brute, en fonctionnement gravitaire, en fonction du niveau d'eau dans la retenue du barrage de la Mefou.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous

**DIAGNOSTIC ET AMELIORATION DES STATIONS DE POMPAGE D'EAU BRUTE ET D'EAU
TRAITEE DE LA MEFOU (CAMEROUN)**

Tableau VII : Débit d'eau transité en gravitaire pour le redimensionnement

Niveau dans la retenue (m)	Débit eau brute transité en gravitaire (m³/h)
716,67	2998,1
716	2732,04
715,67	2591,46
715	2281,05

Les résultats obtenus montrent que le réseau d'adduction d'eau brute permet d'assurer la production attendue lorsque l'écoulement se fait de manière gravitaire.

VII. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette étude nous a permis de nous imprégner des réalités que nous pouvons rencontrer dans les stations de pompage d'eau potable. Les résultats du diagnostic ont révélé à plusieurs niveaux des insuffisances et dysfonctionnement et plusieurs solutions ont été proposées afin de palier à ces insuffisances. Cela s'inscrit en étroite ligne des orientations de la Camerounaise des Eaux qui cherche à optimiser son réseau de distribution en vue de répondre aux attentes des populations.

Les mesures d'optimisation proposées contribueront à améliorer le rendement de la station. Les analyses et simulation du réseau nous ont permis de remarquer que cette station a la capacité et le potentiel pour permettre à la CDE de résoudre le problème d'alimentation en eau de la localité.

Malgré les efforts fournis et l'attention particulière accordée à ce travail afin d'arriver aux résultats qui épousent au mieux le contexte, nous reconnaissons que beaucoup reste à faire pour optimiser au maximum la station de traitement de Mefou. Ainsi, nous faisons à la CDE les recommandations suivantes qui consistent à mettre sur pied :

- ✓ Une reconnaissance détaillée des conduites d'eau traitée reliant la station de traitement de la Mefou et le complexe hydraulique de Messa
- ✓ La visite de l'ensemble des ouvrages des conduites d'adduction (vidanges, ventouses, traversées de cours d'eau et by-pass)
- ✓ Les mesures des pressions le long des conduites (DN 500 et DN 600), du débit départ et des niveaux dans la citerne d'eau traitée et dans les réservoirs de Messa.

BIBLIOGRAPHIE

CDE (2013). MANUEL DE CONDUITE ET D'ENTRETIEN DE LA STATION DE TRAITEMENT DE LA MEFOU.

CDE (2015). EXPERTISE DE L'ADDUCTION D'EAU BRUTE DE LA MEFOU.

CDE (2016). EXPERTISE DE L'ADDUCTION D'EAU TRAITEE LA MEFOU.

Denis ZOUNGRANA (2007). COURS DE POMPES ET STATIONS DE POMPAGE.

Dr Harinaivo A. ANDRIANISA (2014). COURS DE POMPES ET STATIONS DE POMPAGE.

Mr YONABA Roland (2014). COURS HYDRAULIQUE EN CHARGE.

ANNEXES

Annexe 1: Barrage de la MEFOU

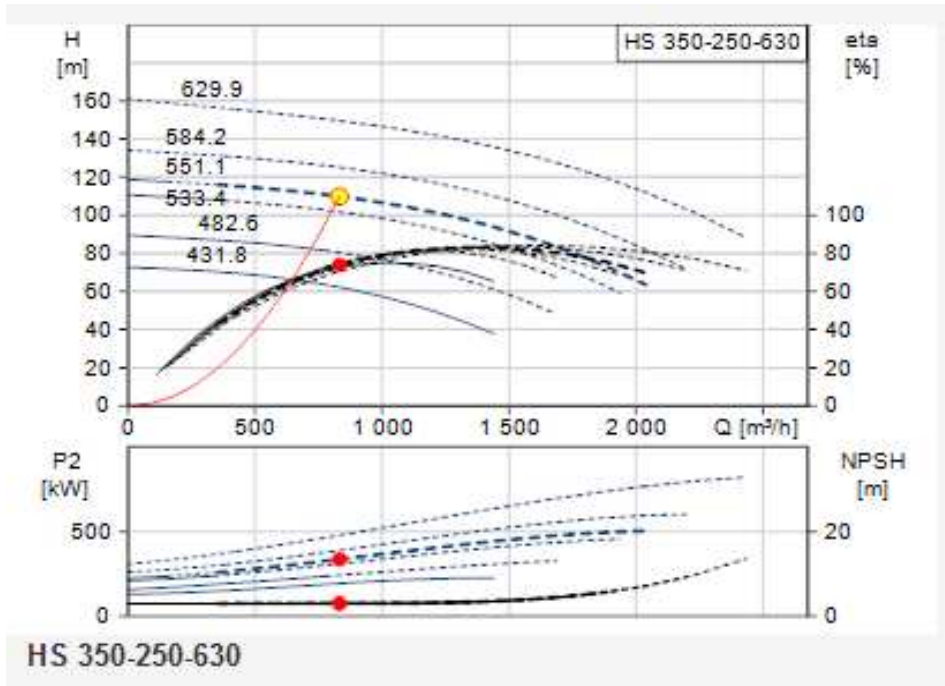


Annexe 2 : station de pompage d'eau brute

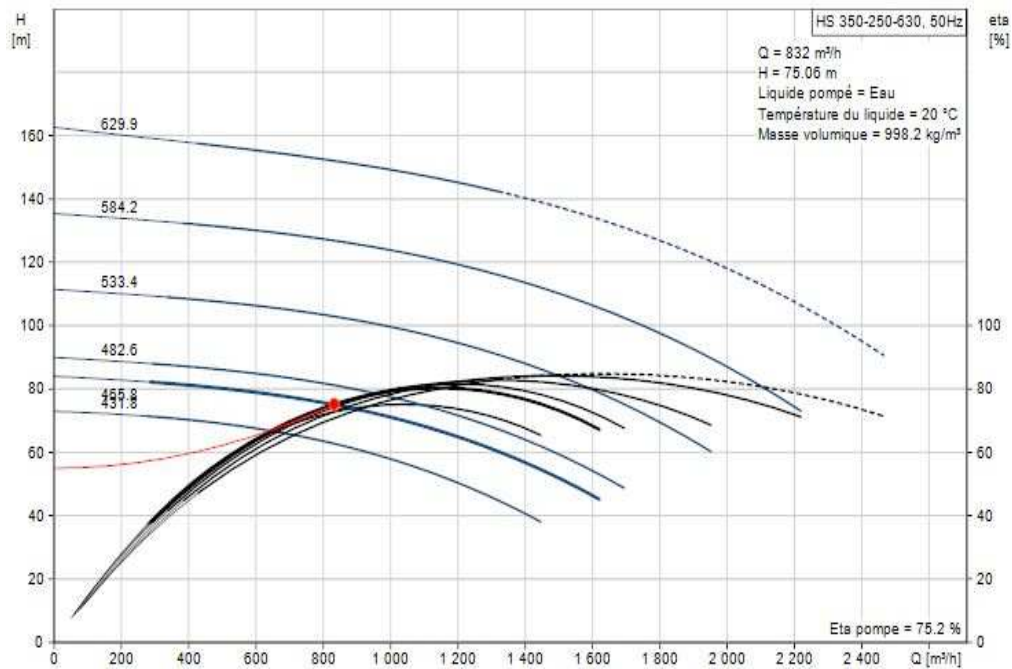


DIAGNOSTIC ET AMELIORATION DES STATIONS DE POMPAGE D'EAU BRUTE ET D'EAU TRAITEE DE LA MEFOU (CAMEROUN)

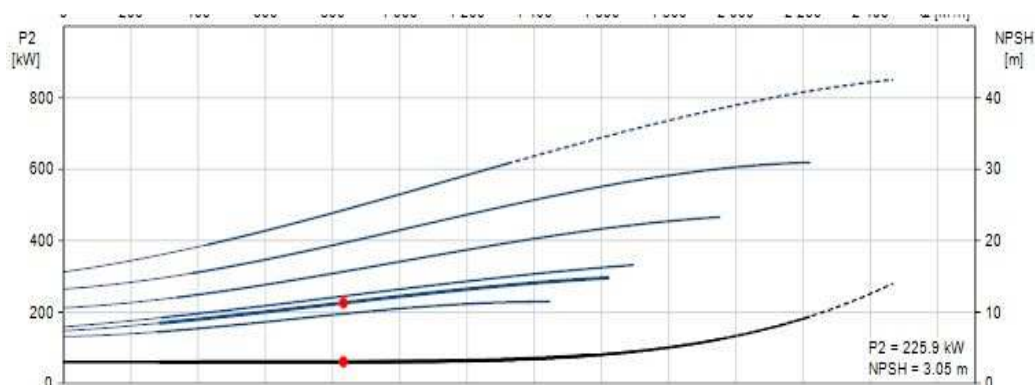
Annexe 3 : Courbe caractéristique de la pompe d'eau traitée proposée pour l'optimisation



Annexe 4 : Courbe caractéristique de la pompe d'eau traitée proposée pour le redimensionnement



**DIAGNOSTIC ET AMELIORATION DES STATIONS DE POMPAGE D'EAU BRUTE ET D'EAU
TRAITEE DE LA MEFOU (CAMEROUN)**



Nom produit HS 350-250-630 5/1-F-B-BBVP

Code article 99091260

Nombre EAN: 5712606587742

Prix Sur demande

Technique

Débit calculé réel 832 m³/h
 Point de fonctionnement réel de la pompe 75.06 m
 Roue mobile nom. 543mm
 Garniture mécanique primaire BBVP
 Version de pompe 5/1
 Direction rotation Sens horaire

Matériaux

Corps de pompe FONTE DUCTILE
 Corps de pompe ASTM A536, 65-45-12
 Roue mobile BRONZE SILICON
 Roue mobile ASTM B584, C87600
 Code matériau B

Installation

Température ambiante maximum 40 °C
 Pression maximale de service 16 bar
 Bride standard DIN
 Code raccordement F
 Asp. pompe DN 250
 Refoulement pompe DN 200
 Pression par étage PN 16
 Type d'accouplement Accouplement flexible

**DIAGNOSTIC ET AMELIORATION DES STATIONS DE POMPAGE D'EAU BRUTE ET D'EAU
TRAITEE DE LA MEFOU (CAMEROUN)**

Liquide

Liquide pompé	Eau
Plage température liquide	0 .. 100 °C
Température liquide	20 °C
Masse volumique	998.2 kg/m ³

Donnée électrique

Type moteur	SIEMENS
Puissance nominale - P2	630 kW
Fréquence d'alimentation	50 Hz
Tension nominale	3 x 380-420D/660-725Y V
Courant nominal	1060-1060/610-620 A
Intensité démarrage	680-680 %
Cos phi - facteur de puissance	0,88
Vitesse nominale	1490 mn-1
Nombre de pôles	4
Indice de protection (IEC 34-5)	55 (Protect. water jets/dust)
Classe d'isolement (IEC 85)	F
Protection moteur	PTC
No moteur	95915961

Autres

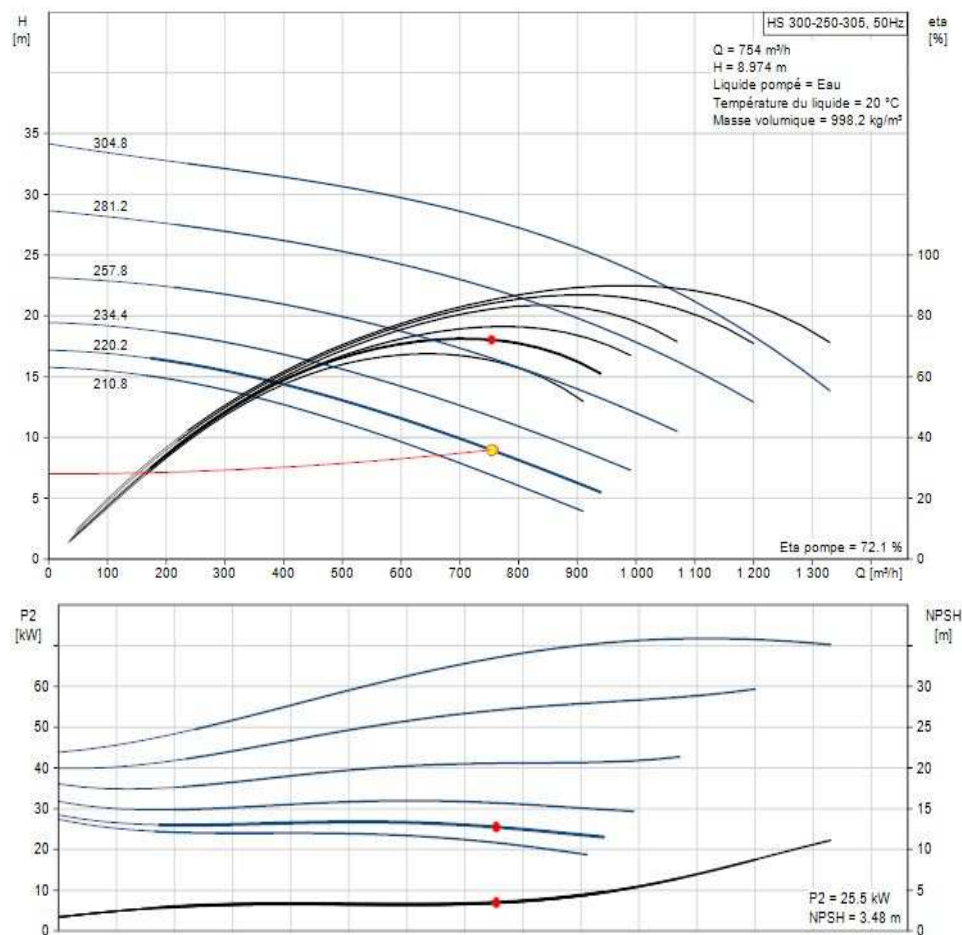
Poids net	5280 kg
Colisage	10.5 m3
Gamme de produit	EUROP E
Direction rotation	Sens horaire

Autres



**DIAGNOSTIC ET AMELIORATION DES STATIONS DE POMPAGE D'EAU BRUTE ET D'EAU
TRAITEE DE LA MEFOU (CAMEROUN)**

Annexe 5 : courbe caractéristique de la pompe d'eau brute proposée pour le redimensionnement



Nom produit HS 300-250-305 5/1-G-B-BBVP

Code article 98488439

Nombre EAN: 5711495981662

Prix Sur demande

Technique

Débit calculé réel 754 m³/h

Point de fonctionnement réel de la pompe 8.974 m

Roue mobile nom. 225 mm

Garniture mécanique primaire BBVP

Tolérance de courbe ISO9906:2012 2B

Version de pompe 5/1

Autres

Gamme de produit INDE

Direction rotation Sens horaire



Annexe 6 : Débitmètre d'eau traitée



Annexe 7 : Conduite d'eau brute DN 600 sur laquelle installer le purgeur

