

REPUBLIQUE DU SENEGAL
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE DE THIES

DEPARTEMENT DU GENIE CIVIL



PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION

TITRE :

**ETUDE DE FAISABILITE D'UNE STATION DE
DEFERRISATION A KOLDA**

Auteur : François Marie Paul SAMBOU

Directeur interne : M. Séni TAMBA.

Directeur externe : M. Abdou DIOUF (SONES).

Dédicaces

A toi Ton's Mesmin Emile SAMBOU,

A toi youmpagne Marie Angèle DIATTA,

A vous Papa et Maman,

A toi tante Virginie SAMBOU,

A toi grand frère Alphonse,

A vous mes frères et sœurs, cousins et cousines,

A vous mes amis,

A Memphis,

Au football

C'est Dieu qui a fait le plus grand bien, la grâce de vous avoir avec moi.

Remerciements

Ce rapport de projet de fin d'études ne pourrait être rédigé sans montrer notre reconnaissance à tous ceux qui de près ou de loin n'ont ménagé aucun effort quant à sa réussite.

Une mention spéciale est cependant réservée à messieurs :

- ▶ Séni TAMBA, directeur interne, qui de par sa rigueur, son dévouement et sa disponibilité, ce projet est arrivé à bon terme ;
- ▶ Abdou DIOUF, directeur externe, qui malgré son emploi du temps très chargé, a fait preuve d'une participation louable dans la réussite de ce projet.

De sincères remerciements vont aussi à l'endroit des professeurs et techniciens de l'école qui ont apporté leur contribution à la bonne marche de cette étude. L'honneur nous reviendrait de citer :

- ▶ Mme GAYE, technicienne au laboratoire d'eau, pour sa disponibilité et son soutien ;
- ▶ M. Ibrahima Khalil CISSE, chef de département Génie civil, pour la compréhension dont il a fait preuve à notre égard;
- ▶ M. Lamine DIOP, vacataire enseignant le cours d'assainissement des eaux potables et usées ;
- ▶ M. Falla PAYE, professeur enseignant le cours de béton armé ;
- ▶ M. Grégoire DIOUF, ingénieur à la SONES.

Enfin nous présentons nos sincères remerciements à l'ensemble de mes amis élèves et secrétaires de l'Ecole Supérieure Polytechnique de Thiès pour leur soutien moral.

Sommaire

Dans le cadre du plan d'investissement de la SONES, nous présentons ici rapport de l'étude de faisabilité d'une station de deferrisation à Kolda.

Une eau peut contenir de fortes quantités de fer et de manganèse. Cette concentration qui dépend de l'origine de ces métaux peut être la cause d'effets non négligeables sur la qualité de l'eau, son traitement et la santé humaine.

Différentes méthodes sont utilisées pour parvenir à l'élimination de ces métaux précités. Ces procédés de traitement dépendent de la teneur de ces éléments dans l'eau.

La conception de l'ouvrage de traitement qui est liée au procédé de traitement tient aussi compte de la capacité d'investissement. La conception concerne également les appareils de fonctionnement.

Un calcul de béton armé est toujours nécessaire dans les ouvrages de génie civil. Ceci nous permet de mieux nous rapprocher de la réalité dans notre conception.

Enfin une étude financière est obligatoire quand à l'estimation du coût d'investissement.

Table des matières

<u>Dédicaces</u>	I
<u>Remerciements</u>	II
<u>Sommaire</u>	III
<u>Table des matières</u>	IV
<u>Liste des annexes</u>	VI
<u>Liste des figures</u>	VII
<u>Liste des tableaux</u>	VIII
<u>Chapitre 1 : Introduction</u>	1
<u>I . Contexte du projet</u>	1
<u>II . Source d'eau du forage F1 bis</u>	2
<u>III . Analyses physico-chimiques</u>	2
<u>IV . Caractéristiques du réseau existant</u>	2
<u>Chapitre 2 : Le fer et le manganèse dans l'eau</u>	4
<u>I . Généralités</u>	4
<u>I . 1 . Rappel de la chimie du fer et du manganèse</u>	4
<u>I . 1 . 1. Relations fer-manganèse</u>	4
<u>I . 1 . 2. Réaction avec différents anions</u>	5
<u>I . 1 . 3. Complexation avec les matières organiques</u>	5
<u>I . 2 . Les normes</u>	5
<u>I . 3 . Exemples de concentrations</u>	6
<u>I . 3 . 1. Le fer</u>	6
<u>I . 3 . 2. Le manganèse</u>	7
<u>II . Origine du fer et du manganèse</u>	8
<u>II . 1 . Le fer</u>	8
<u>II . 2 . Le manganèse</u>	9
<u>III . Effets du fer et du manganèse</u>	11
<u>III . 1 . Dégâts matériels</u>	11
<u>III . 2 . Effets sur l'aspect de l'eau et son traitement</u>	13
<u>III . 3 . Effets sur l'Homme</u>	15
<u>III . 3 . 1. Le fer</u>	15
<u>III . 3 . 2. Le manganèse</u>	15
<u>Chapitre 3 : Traitements physico-chimiques du fer et du manganèse</u>	17
<u>I . Précipitation – Préseparation – Filtration</u>	17
<u>I . 1 . Prétraitement chimique</u>	18
<u>I . 1 . 1. Oxydation</u>	18
<u>I . 1 . 2. Oxydation chimique</u>	21
<u>I . 2 . Coagulation floculation</u>	24
<u>I . 3 . Préseparation</u>	26
<u>I . 4 . Filtration</u>	27
<u>I . 4 . 1. La couche filtrante : caractéristiques du sable</u>	28
<u>II . La désinfection</u>	28
<u>III . Exemples de technologies</u>	29
<u>Chapitre 4 : Conception de l'ouvrage d'exploitation</u>	33
<u>I . Schema de principe</u>	33
<u>II . Cascades d'aération</u>	36
<u>II . 1 . Bassin de dissipation</u>	36

<u>II . 2 . Cascades</u>	36
<u>II . 3 . Canal de répartition</u>	37
<u>III . Bassin de filtration</u>	39
<u>III . 1 . Fonctionnement</u>	40
<u>III . 1 . 1 . Filtration</u>	40
<u>III . 1 . 2 . Lavage</u>	40
<u>IV . Bassin de désinfection</u>	43
<u>V . Pompes</u>	46
<u>V . 1 . Pompes de forage</u>	46
<u>V . 2 . Pompes de reprise</u>	47
<u>V . 3 . Pompes doseuses</u>	48
<u>VI . Bâtiment technique</u>	49
<u>VII . L'alimentation électrique de la station</u>	50
<u>Chapitre 5 : Calculs de béton armé</u>	51
<u>I . Dimensionnement des cascades d'aération</u>	52
<u>II . Dimensionnement du bassin de filtration</u>	54
<u>III . Dimensionnement du bassin de désinfection</u>	56
<u>Chapitre 6 : Évaluation financière du projet</u>	58
<u>Devis estimatif</u>	59
<u>Conclusion et recommandations</u>	66
<u>Bibliographie</u>	67

Liste des annexes

Annexe A1: station de traitement de Kehl, Allemagne	68
Annexe A2: station de traitement de Crissey, France	69
Annexe A3: estimation de la consommation en eau potable de la ville de Kolda	70
Annexe A4: choix des pompes	71
Annexe A5: calculs de béton armé	76

Liste des figures

<u>FIG. 2.1 INSTALLATION PROPOSÉE POUR KOLDA</u>	32
<u>FIG. 2.2 SCHÉMA DE PRINCIPE DU PROCÉDÉ DE TRAITEMENT</u>	35
<u>FIG. 3.2 VUE DE DESSUS DES CASCADES D'AÉRATION</u>	38
<u>FIG. 3.3 VUE LATÉRALE DES CASCADES D'AÉRATION</u>	38
<u>FIG. 3.4 BASSIN DE FILTRATION COUPE LONGITUDINALE</u>	41
<u>FIG. 3.5 COUPE TRANSVERSALE DU BASSIN DE FILTRATION</u>	41
<u>FIG. 3.6 VUE DE DESSUS DU BASSIN DE FILTRATION</u>	42
<u>FIG. 3.7 BASSIN DE DÉSINFECTION</u>	44
<u>FIG. 3.8 VUE DE DESSUS DU BASSIN DE DÉSINFECTION</u>	44
<u>FIG. 3.9 COUPE TRANSVERSALE DU BASSIN DE FILTRATION</u>	45
<u>FIG. 3.10 VUE EN PLAN DU BÂTIMENT TECHNIQUE</u>	49

Liste des tableaux

<u>TABLEAU I.1 MINÉRAUX MANGANIQUES</u>	-----	9
<u>TABLEAU I.2 RÉSULTATS DE L'ANALYSE ANNUELLE DE L'INSTALLATION DE TRAITEMENT DES EAUX POTABLES DE MOORLAND AUX U.S.A</u>	-----	14
<u>TABLEAU II.1 : TEMPS NÉCESSAIRE POUR OXYDER 99% DU Fe^{2+} EN FONCTION DU PH</u>	-----	19
<u>TABLEAU II.2 RÉSULTATS DE L'ANALYSE D'EAU DE LA STATION DE CRISSEY APRÈS FILTRATION</u>	-----	31

Chapitre 1 : Introduction

Dans le cadre de sa formation au Diplôme d'Ingénieur de Conception, l'élève ingénieur est tenu de présenter un projet en fin de formation. C'est dans ce cadre que l'étude de faisabilité d'une station de déferrisation à Kolda a été faite.

Avant d'entrer dans le vif du sujet, nous allons faire un diagnostic de l'existant, c'est à dire, de la situation des eaux de consommation de Kolda.

I . Contexte du projet

Ce projet entre dans le cadre de la mission de renforcement de l'infrastructure existante des systèmes d'adduction en eau potable et de l'amélioration de la qualité des eaux de consommation de la SONES.

La réalisation d'une station de déferrisation dans la ville de Kolda est justifiée par la situation particulière des eaux brutes du forage F1 bis de la ville. En effet, ces eaux renferment une forte concentration de fer et de manganèse qui leur confèrent une coloration rouge jaunâtre.

Cet aspect visuel qui montre l'état complexé du fer, crée un doute chez le consommateur quant à la potabilité des eaux distribuées. Ceci oblige certaines couches de la population à restreindre l'utilisation de ces eaux, aux besoins suivants : bain, vaisselle et arrosage, ce qui entraîne des pertes de vente évaluées à environ à 120 m³/jour.

Une bonne partie de la population se refusant de consommer ces eaux les pertes de vente sont évaluées égales à environ 120 m³/j.

II . Source d'eau du forage F1 bis

La nappe captée est le Maestrichien. Ce forage a un niveau statique de 10,0 m et un niveau dynamique de 14, 7 m.

La nappe du Maestrichien couvre tout le Sénégal. C'est une nappe d'interstice. Sa profondeur varie entre 100 et 150 m. Dans certaines zones elle varie entre 300 et 500 m. Les débits dans cette nappe varient entre 150 et 200 m³/h.

III . Analyses physico-chimiques

Les mesures physico-chimiques effectuées par la SONES sur ces eaux ont révélé des valeurs atteignant 1,2 mg/l et 0,15 mg/l pour le fer et le manganèse respectivement. Ces valeurs dépassent les concentrations maximales recommandées par l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S) qui sont de 0,3 mg/l et 0,1 mg/l pour le fer et le manganèse respectivement. D'où l'intérêt d'un traitement de ces eaux.

Le fer se présente sous forme ferreux composé principalement de :

- ▶ sulfure ferreux FeS
- ▶ fer dissous Fe²⁺
- ▶ hydrogène sulfuré H₂S.

IV . Caractéristiques du réseau existant

Le réseau existant est constitué d'un réservoir surélevé de stockage d'eau de 600 m³ à 22 m de hauteur sous radier. Le forage refoule vers ce réservoir qui lui est distant d'environ 270 m, grâce à une conduite en PVC de diamètre 250 mm.

L'alimentation de l'ensemble du réseau de distribution qui fait 69720 mètres linéaires de conduites, se fait par à partir du réservoir par une conduite de distribution en PVC de diamètre 315 mm. Le réseau comporte 1477 prises soit un taux de raccordement de 24 %.

Chapitre 2 : Le fer et le manganèse

dans l'eau

I. Généralités

I.1. Rappel de la chimie du fer et du manganèse

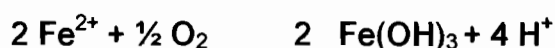
Le fer et le manganèse se trouvent généralement ensemble dans l'eau. Leur présence et leur forme dépendent du pH et potentiel d'oxydoréduction de l'eau.

Ils peuvent être convertis en ions insolubles par oxydation et action du pH.

Le manganèse existe alors à l'état d'oxydation IV sous forme d'oxyde de manganèse (MnO_2) ou sous formes hydratées, toutes insolubles :



Quant au fer ferreux Fe^{2+} , pour un pH supérieur à 5 ou 6, il s'oxyde en ion ferrique Fe^{3+} qui précipite sous forme de fines suspensions colloïdales d'hydroxyde ferrique $\text{Fe}(\text{OH})_3$.



Pour une solution de pH neutre, riche en CO_2 et pauvre en oxygène, ce qui est le cas de nombreuses sources ferrugineuses, le fer ferreux reste stable à l'état de $\text{Fe}(\text{OH})_2$.

I.1.1. Relations fer-manganèse

L'ion Mn^{2+} existe à un potentiel redox plus élevé que l'ion ferreux. Il en découle les propriétés suivantes :

- ▶ Mn^{2+} se réduit plus facilement que le fer ; il est donc plus difficile à oxyder.
- ▶ Mn existe à l'état dissous dans un gradient d' O_2 donné, à un niveau plus élevé que le fer.

Pour la lithosphère accessible, le rapport Fe/Mn est d'à peu près 50/1.

Ce rapport a été dépassé dans certains cas ce qui indique que le manganèse a tendance à rester plus dans l'eau que le fer.

Les ions Fe^{2+} , Fe^{3+} et Mn^{2+} peuvent également être complexés par des ions carbonates, sulfates ou par les matières organiques contenues dans l'eau. Une fois complexés, leur oxydation et leur précipitation sont beaucoup plus difficiles, ce qui posera un gros problème dans le traitement des eaux.

1.1.2. Réaction avec différents anions

Les anions Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , silicate et phosphate sont normalement présents dans les eaux souterraines et de rivières et leurs effets sur la stabilisation du fer et du manganèse ont été étudiés : par exemple, une teneur en ces ions de 10 à 900 ppm par rapport au fer fait disparaître tout le fer dissout.

L'ion Mn^{2+} comme Fe^{2+} est le plus souvent associé à l'ion bicarbonate HCO_3^- et à l'ion sulfate SO_4^{2-} .

1.1.3. Complexation avec les matières organiques

Ce phénomène se rencontre surtout pour les eaux de surface mais également dans certaines eaux souterraines.

Les métaux transportés, sous forme anionique dans l'eau, sont réduits par des acides humiques, et fulviques ou tannique. Ceci aboutit à des complexes ou des chélates sous forme cationique.

On trouve, entre autre des complexes ferro et ferrisiliciques ferriphosphoriques et humoferriques.

1.2. Les normes.

Les éléments métalliques que l'on peut trouver dans une eau se divisent en deux catégories :

► certains éléments sont nécessaires au bon fonctionnement du métabolisme des organismes animaux et végétaux. Ce sont par exemple le chrome (Cr), le cobalt (Co), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le fer (Fe), le manganèse (Mn) qui ne sont toxiques que s'ils sont assimilés en trop forte concentration.

► d'autres, tels que le cadmium (Cd) et le plomb (Pb) qui ne sont pas essentiels sont, dans le meilleur des cas, seulement tolérables.

En ce qui concerne le fer et le manganèse, leur présence en forte concentration dans l'eau est plutôt à l'origine de nuisances que d'une réelle toxicité. La législation a donc été établie en fonction des critères de potabilité et d'esthétique.

En France les normes désormais conseillées correspondent à :

0.1 mg/l pour le fer (Fe^{2+})

0.05 mg/l pour le manganèse (Mn^{2+})

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommande dans une eau potable les concentrations maximales suivantes :

0.3 mg/l pour le fer

0.1 mg/l pour le manganèse.

Les quantités généralement trouvées dans les eaux de surface ou les eaux souterraines dépassent souvent de très loin ces normes.

1.3. Exemples de concentrations.

1.3.1. Le fer

Aux Etats-Unis, les eaux douces et l'eau distribuée ont une concentration en fer de 0.01 à 1mg/l et la concentration moyenne des rivières y est de 0.60 mg/l.

Certaines eaux souterraines, anaérobies, peuvent atteindre des concentrations en fer dissous de 10 mg/l. Mais que ce soit pour le fer ou le manganèse, la

concentration d'un aquifère donné est à peu près constante. Ce n'est pas le cas pour un réservoir (lac, étang, retenue,...) qui subit des variations saisonnières. Pendant l'été et l'hiver, quand il y a stratification thermique, les ions Mn^{2+} et Fe^{2+} , solubles, existent principalement dans l'hypolimnion, où les conditions réductrices prévalent.

1.3.2. Le manganèse

Dans les eaux douces, sa concentration varie de moins de un à plusieurs centaines de $\mu g/l$.

En ce qui concerne plus particulièrement l'eau potable, l'eau de boisson traitée dans les réservoirs de 100 grandes villes aux Etats-Unis a des teneurs en manganèse de 0 à 1.1 mg/l avec une moyenne de 5 $\mu g/l$.

En Allemagne, sa concentration moyenne dans les eaux potables va de 1 à 63 $\mu g/l$.

On constate que généralement la norme pour le fer est toujours dépassée et que les valeurs en sont énormes (jusqu'à 2 mg/l). Alors que le manganèse a des teneurs beaucoup moins fortes, presque toujours inférieures à la norme lui correspondant.

II . Origine du fer et du manganèse

Les métaux que l'on rencontre dans une eau brute ont une origine naturelle ou résultent de l'activité humaine.

Leur origine naturelle correspond à la dissolution des roches et au lessivage des sols (il y a décomposition d'éléments organiques provenant de la végétation).

L'activité humaine est une source de ces métaux par :

- ▶ des déversements d'effluents industriels ou urbains ;
- ▶ la corrosion des conduites d'amenée d'eau ;
- ▶ l'utilisation de certains procédés dans le traitement même de l'eau.

Pour se restreindre à notre zone d'étude, nous ne parlerons que de l'origine naturelle. Car les sources dues à l'activité humaine sont négligeables dans la zone.

II . 1 . Le fer.

Comme nous l'avons vu, le fer est un des éléments majeurs de l'écorce terrestre, avec une teneur allant de 5 à 10%.

On le trouve surtout dans les roches plutoniques, volcaniques et sédimentaires.

Son passage en milieu aqueux se fait par dissolution de la roche ou des minéraux, par voie ionique et réaction d'oxydoréduction. Ainsi près du substratum d'un lac par exemple, le milieu réducteur facilite la mise en solution du fer (et du manganèse) sous forme de Fe^{2+} .

De la même façon, certaines eaux souterraines anaérobies peuvent contenir en solution jusqu'à 10 mg/l de Fe^{2+} et 1mg/l de Mn^{2+} . Un exemple de cette dissolution a été étudié pour une eau percolant à travers un massif de taconite (= formation de fer qui contient 20% de fer ou plus sous forme de magnétite Fe_3O_4).

Une partie de cette eau est adsorbée à la surface des grains pendant que l'autre les traverse et ressort du gisement. On parle alors de relargat (assimilable à une eau de rejet) qui va ensuite se mélanger aux eaux de ruissellement et les charger en particules dissoutes et en suspension.

Le lessivage des sols est une source de fer, car dans le sol, cet élément sert de cation de liaison entre l'argile et la matière organique (ce qui stabilise cette dernière et l'empêche de migrer en profondeur).

L'apport en fer est intimement lié aux saisons qui commandent :

- . le lessivage des horizons pédologiques
- . le battement des nappes : la remontée des eaux entraîne la libération du fer.

Toutefois, les relations hydrodynamiques entre la nappe et la rivière peuvent être prépondérantes. La création d'une zone aérée lors de la pénétration des eaux superficielles peut entraîner la précipitation du fer.

II . 2 . Le manganèse

Sa concentration dans l'écorce terrestre est d'environ 1g/kg. Trouvé communément en association avec des minerais de fer, il y est en concentration trop faible (de 50 à 350 g/kg soit moins de 40% du minerai).

Les minéraux manganiques les plus communs sont donnés dans le tableau I.1 ci-dessous.

Nom de la roche	Formule et couleur	Pourcentage de Mn (%)
Pyrolusite	MnO_2 - Noir	60 – 63
Psilomélane	$Ba Mn Mn_8 O_{16} (OH)_4$ – Noir	45 – 60
Hausmannite	Mn_3O_4 – brun	72
Rhodonite	$MnSiO_3$ – brun rougeâtre	42
Rhodocrosote	$MnCl_3$ – Rose clair	47
Braunite	$3 Mn_2O_3, Mn Si O_3$ – Noir	

TABLEAU I.1 MINERAUX MANGANIQUES

Le relargage du Mn par le substratum produit des ions Mn^{2+} sous forme de bicarbonate ($Mn(HCO_3)_2$). Cette migration est favorisée par de faibles valeurs du pH et/ou du potentiel d'oxydoréduction. De ce fait, les eaux souterraines contiennent de fortes concentrations en manganèse.

Le lessivage du sol crée un enrichissement des eaux en manganèse car le sol contient des quantités non négligeables de ce métal.

Sa concentration moyenne dans le sol va de 600 à 900 mg/kg mais avec des variations de 1 à 7000 mg/ kg. Ces variations dépendent du bruit de fond géologique, des activités minières, mais aussi de la transformation des composés du manganèse dans le milieu ambiant, de l'activité des microorganismes et de sa fixation par les plantes.

En effet, ces végétaux et particulièrement les conifères et les espèces à feuilles caduques, concentrent le manganèse, surtout dans les jeunes pousses et les graines.

On a ainsi constaté en automne, lors de la chute des feuilles, une augmentation des teneurs de Mn de la couche superficielle du sol, à la suite de la libération d'acides humiques complexants, par dégradation de ces matières végétales.

Le manganèse est le premier élément qui se libère de cette combinaison végétale et qui migre avec les lessivages pluviaux.

III . Effets du fer et du manganèse

Le fer et le manganèse sont des éléments indispensables dans la nutrition humaine et leur teneur dans l'eau de boisson n'est en général, qu'une fraction insignifiante de la demande de l'organisme.

Toutefois, leurs teneurs dans l'eau sont limitées, surtout pour des raisons esthétiques et économiques.

Ce paragraphe donne les effets sur:

- ▶ le matériel: colmatage
- ▶ l'aspect de l'eau et son traitement
- ▶ l'homme, la faune et la flore aquatique.

III . 1 . Dégâts matériels

Le colmatage, qui a surtout été observé dans le cas de vieillissement des puits, est un phénomène connu depuis l'antiquité.

Il provoque une diminution constante et progressive du débit du puits, c'est à dire de sa capacité de rendement, ce qui soulève de graves problèmes d'alimentation pour les usagers.

Ce vieillissement se fait par la précipitation, puis le dépôt de substances présentes sous forme dissoute dans l'eau à l'origine: le fer, le manganèse et la chaux par exemple.

Ces incrustations ferromanganeuses (ou les agglomérations calcaires) se forment dans les environs immédiats du puits, provoquant le colmatage, l'engorgement des remblais de graviers de filtrage, et même des tuyaux filtres (crépines).

Comme on l'a vu précédemment, cette précipitation se produit lors de l'oxydation du fer et du manganèse, sous l'action de l'oxygène atmosphérique ou bien à la suite, par exemple, d'un mélange de deux couches d'eau souterraine de nature différente.

La couche d'eau dans un état d'oxydation plus élevée (proche de la surface) précipite le fer et le manganèse d'une couche plus profonde, "réduite", entraînant les dépôts d'oxydes.

Mais ce processus n'est pas dû qu'à des réactions purement chimiques. En effet, on connaît depuis fort longtemps le rôle prépondérant des facteurs biologiques et en particulier des ferrobactéries dans le colmatage ferrique des puits, des canalisations et des drains.

Les ferrobactéries sont des microorganismes encore mal connus, qui utilisent le fer de diverses manières.

La présence de ces bactéries dans un milieu de pH acide, de Eh faible et de teneur en O₂ à peu près nulle, peut donc provoquer des dépôts importants d'hydroxyde ferrique et par là le colmatage des grilles des puits par exemple, alors que les conditions physico-chimiques du milieu ne le permettaient pas.

Comme exemple, dans la commune de Lescar (France), les eaux d'alimentation du drain circulent dans les alluvions du Mindel où elles se chargent en fer.

L'eau naturelle présente les caractéristiques suivantes:

Température: 11 – 14,5°C; pH: 5,9 – 6,3;

Eh: +64 - +90mV; O₂: 0,47 mg/l;

Fe²⁺: 19,6 mg/l; Mn²⁺: 4,46 mg/l;

Au niveau des zones tourbeuses, l'eau solubilise la matière organique en même temps s'acidifie. Cela provoque la prolifération des bactéries du fer.

Le colmatage du drain s'est produit un mois après sa mise en place. L'étude qui en a suivi a montré cette séquence de colmatage:

- ▶ les microorganismes hétérotrophes par dégradation de la matière organique libèrent le fer lié;

- ▶ celui-ci, oxydé chimiquement, précipite à la surface des gels bactériens (dûs à l'existence de nombreuses bactéries engainées);
- ▶ les particules minérales entraînées viennent se piéger dans la matrice bactérienne.

C'est ainsi que sont créés les dépôts, au sein desquels se trouvent:

- ▶ une couche superficielle oxydée (rouille)
- ▶ une couche profonde et riche en particules minérales.

III . 2 . Effets sur l'aspect de l'eau et son traitement

La présence du fer et du manganèse en concentration supérieure à quelque mg/l nuit aux qualités organoleptiques de l'eau. Elle lui donne un goût métallique ou amer (indépendamment du goût et de l'odeur provoqués par le développement des bactéries ferrugineuses).

Par ailleurs, leur précipitation altère son apparence, entraînant une turbidité de couleur jaune-marron (due à $\text{Fe}(\text{OH})_3$) à noire (due à MnO_2). On assiste alors à la formation de particules qui, en se développant, provoquent des taches sur le linge et les éléments sanitaires en porcelaine.

L'élimination de ces deux métaux par un traitement approprié est donc indispensable. Mais il présente un certain nombre de difficultés qui lui sont spécifiques (dans le cas du traitement physico-chimique). Nous en citons ici quelques uns qui seront développés dans le chapitre sur les traitements.

Il faut éliminer le fer et le manganèse dissous, précipités ou à l'état de chélates organiques.

Pour le fer et le manganèse dissous, une oxydation est indispensable. Alors qu'une simple aération suffit pour précipiter le fer, elle est insuffisante pour le manganèse,

qui demande l'emploi d'oxydants chimiques forts. Ceux-ci augmentent le coût du traitement.

Si le fer et le manganèse sont liés à des substances humiques, ils sont alors solubles mais échappent à l'oxydation. Il faut alors une étape de coagulation-floculation pour arriver à leur élimination (ensuite par filtration par exemple).

Mais une adaptation convenable et permanente du taux de réactifs est alors nécessaire pour délivrer une eau aussi parfaite que possible. Cela peut être difficile lorsque la qualité de l'eau change brutalement.

Une ou plusieurs filtrations éliminent par la suite les divers précipités. Une filtration primaire produit une eau satisfaisante quand les doses de coagulants sont faibles, mais dans le cas contraire (pour une eau brute plus chargée), de fortes doses diminuent la durée d'activité du filtre à des valeurs inacceptables. Une filtration secondaire permet alors des débits plus importants.

On peut également donner l'exemple de l'installation de Moorland, qui traite des eaux contenant à la fois du fer, du manganèse, de l'aluminium et des matières organiques.

Le tableau I.2 donne les résultats de l'analyse annuelle de cette eau.

Composition	Moyenne annuelle	Valeurs standards
Couleur (Hazen)	20 – 230	<5
Turbidité (F.T.U)	2 – 20	<0.4
Fer (mg/l)	0.5 – 1.5	<0.05
Manganèse (mg/l)	0.2 – 0.6	<0.02
Aluminium (mg/l)	0.4 – 2.0	<0.05

TABLEAU I. 2 RESULTATS DE L'ANALYSE ANNUELLE DE L'INSTALLATION
DE TRAITEMENT DES EAUX POTABLES DE MOORLAND AUX U.S.A

Dans ce cas, la totalité des impuretés n'a pu être éliminée que par un double traitement chimique:

- ▶ un traitement à faible pH pour retirer la coloration, l'aluminium et la majeure partie du fer;
- ▶ un traitement à pH élevé pour éliminer le manganèse et le fer résiduel.

III . 3 . Effets sur l'Homme

III . 3 . 1. Le fer

Le fer est un élément essentiel et vital à tous les organismes vivants. Un individu normal en contient 3 à 5 g, dont les 2/3 sont liés à l'hémoglobine. Avec la protoporphyrine, le fer forme l'hème, qui, conjugué à 4 peptides donne l'hémoglobine.

Le fer est aussi un composant de la myoglobine, des catalases, des cytochromes et des peroxydases, qui ont tous des rôles essentiels dans l'utilisation de l'oxygène et dans les besoins énergétiques des cellules. Cela représente 10% du fer corporel.

Sur le fer restant, 20 à 30% sont liés à des protéines de stockage du fer comme la ferritine et l'hémosidérine, que l'on trouve dans le foie, la moelle osseuse, le cœur et les muscles squelettiques.

Il n'est jamais en quantité assez forte dans l'eau pour provoquer des effets nuisibles sur la santé et d'autre part, l'organisme en cas de forte ingestion, sera capable d'en éliminer l'excès.

III . 3 . 2. Le manganèse

Comme le fer, le manganèse est un oligo-élément indispensable. Il est nécessaire au métabolisme des lipides et stimule la synthèse du cholestérol. Il a également été montré qu'il stimulait la synthèse du sulfate de chondroïtine, constituant important du cartilage.

Dans le sang, il est lié aux protéines. Il s'accumule préférentiellement dans les tissus riches en mitochondries.

Il n'y a pas de risque d'intoxication avec une eau de boisson dont la teneur va de 0 à 0,1 mg/l de Mn^{2+} et dont la concentration moyenne est de 5 à 25 $\mu g/l$. En effet, si la consommation quotidienne en est de 500 à 2200 ml, l'apport de manganèse par l'eau est de 2 à 55 $\mu g/jour$ soit pas plus de 1 à 2% de l'apport total journalier.

L'effet le plus sérieux du manganèse sur la santé est lié à son inhalation. Celle-ci provoque une maladie très similaire à la maladie de Parkinson, appelée Parkinsonisme manganique. Mais des expériences ont montré que seul un faible risque de voir apparaître cette maladie est l'administration orale du manganèse.

Chapitre 3 : Traitements physico-chimiques du fer et du manganèse

Le plus souvent, on utilise le traitement par précipitation-préséparation-filtration de fer et manganèse, dont les différentes étapes théoriques peuvent être modulées en fonction de la qualité de l'eau brute et du but recherché.

Dans certains cas, surtout quand le manganèse et le fer ne sont pas en concentrations trop élevées, on procède par aération, filtration et désinfection.

I . Précipitation – Préseparation – Filtration.

Le traitement physico-chimique consiste en trois étapes de base :

- ▶ une première étape de précipitation du fer et du manganèse qui, dissout ne peuvent pas être éliminés, par oxydation ou neutralisation. Lorsque de fortes quantités de fer et de manganèse sont chelatées à des substances telles que acides humiques, sulfures, silices, ... , donc protégés de l'oxydation, leur précipitation ne peut se faire que par un traitement de coagulation-floculation. Ces opérations peuvent être regroupées sous le terme de prétraitement chimique de l'eau ;
- ▶ une deuxième étape de préséparation de ces substances précitées peut se faire par décantation ou flottation ;
- ▶ une troisième étape de filtration élimine définitivement le fer et le manganèse de l'eau traitée.

Une combinaison de ces étapes pour le traitement de l'eau du forage F1 bis de Kolda sera expliquée dans le paragraphe exemples de technologies.

I . 1 . Prétraitement chimique

La neutralisation ne se faisant que par des produits chimiques, ceci rend le coût d'exploitation élevé. Dans cette partie, seul le procédé de précipitation par oxydation sera abordé. On parlera brièvement de la coagulation et floculation.

I . 1 . 1. Oxydation

Dans les eaux naturelles, dont le pH est supérieur à 4, le fer ferrique ne peut pas être sous forme ionique dissoute. Le fer dissout est donc nécessairement divalent et il suffit de l'oxyder en fer ferrique pour obtenir sa précipitation et séparation. Il en est de même pour le manganèse qui, de Mn (II) passe à des oxydes de Mn (IV) solide.

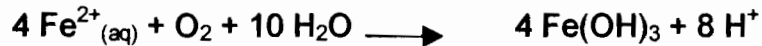
Cette oxydation peut se faire par simple aération (par l'air ou par l'oxygène). Mais elle est alors relativement inefficace pour l'élimination du manganèse qui demande l'emploi d'oxydants forts comme l'ozone, le chlore, le bioxyde ou le permanganate.

a Aération

Cette étape doit constituer, dans tous les cas, le premier stade du traitement de l'eau, car elle présente des avantages multiples. Indépendamment de l'oxydation du fer et du manganèse dissous, elle permet l'élimination de sulfure d'hydrogène (H₂S), une économie de chaux par départ du dioxyde de carbone (CO₂) agressif lorsqu'elle est ouverte, la nitrification de l'ammoniaque et prévient également de la corrosion dans le réseau.

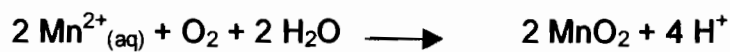
i Principe

► En ce qui concerne le fer, la réaction d'oxydation par l'oxygène, de l'air ou pur, est :



La stœchiométrie de la réaction montre qu'il faut 0.14 mg d'O₂ pour oxyder 1 mg de fer ferreux et qu'il y a alors production de 1.92 mg de Fe(OH)₃ par mg de fer oxydé.

► L'oxydation du manganèse par l'oxygène est beaucoup plus lente :



Ici on a 0.145 mg d'O₂ pour oxyder 1 mg de Mn²⁺ et il y a production de 1 mg de MnO₂ par mg de manganèse oxydé.

La cinétique de l'oxydation du fer par l'oxygène montre que la vitesse d'oxydation est favorisée par une augmentation du pH.

On peut également donner les valeurs du temps nécessaire pour oxyder 99% du Fe²⁺ en fonction du pH, dans le tableau II.1

Potentiel d'hydrogène (pH)	Temps d'oxydation
6,6	15 –20 heures
6,8	6 heures
7	2 heures
7,2 – 7,5	15 minutes

TABLEAU II. 1 : TEMPS NECESSAIRE POUR OXYDER 99% DU FE²⁺ EN FONCTION DU PH

Pour une teneur en oxygène donnée, la cinétique de l'oxydation du manganèse est faible pour des valeurs de pH inférieures à 9,5. Il faudrait un pH supérieur à 9 pour avoir un temps de réaction de 2 heures. Cette vitesse de réaction est trop faible et en pratique incompatible avec le dimensionnement d'une installation de traitement.

ii Techniques d'aération

On réalise l'oxydation par aération naturelle ou mécanique. Les différentes techniques sont :

- ▶ le ruissellement en nappe mince au contact de l'air ;
- ▶ le barbotage sous forte ou faible hauteur d'eau ;
- ▶ la pulvérisation de l'eau en atmosphère oxygénée ;
- ▶ la diffusion de gaz surpressé (air, oxygène O₂ ou ozone O₃) ;
- ▶ les mélangeurs mécaniques.

Dans notre exposé, nous ne traiterons que sur le ruissellement en nappe mince et sur la pulvérisation.

➤ *Le ruissellement en nappe mince.*

L'eau chute d'un étage à un autre en lame mince, sur une colonne à garnissage, ou bien en cascades sur une série de déversoirs.

En ce qui concerne l'aération par déversoirs, la déficience en oxygène est restaurée de moitié par la chute de l'eau depuis une hauteur de 2 mètres, sur un étage.

D'après le travail effectué par Gameson sur ce type d'aération et des études récentes réalisées par l'université de Birmingham, on déduit que la réaération est fonction principalement du flux par unité de largeur du déversoir et de sa hauteur totale.

Suivant le degré d'aération recherché, on distingue :

- ▶ l'aérateur à plateaux avec ou sans pulvérisation et à tirage naturel d'air ;
- ▶ le même aérateur, équipé d'un ventilateur qui en améliore l'efficacité en créant un courant d'air plus ou moins forcé.

➤ *La pulvérisation de l'eau.*

Elle est effectuée par des tuyères placées sur un ou plusieurs collecteurs ramifiés qui ont pour but d'augmenter l'interface air/eau.

Cette technique, en utilisant le CO₂ agressif, économise une partie du réactif alcalin.

1.1.2. Oxydation chimique

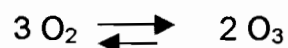
Comme il a été signalé plus haut, les procédés d'aération sont insuffisants pour oxyder le manganèse. L'oxydation par le chlore (Cl) est parfois possible, mais en présence d'un excès qu'il faudra ensuite neutraliser. Par contre, après aération, on obtient une bonne oxydation par l'ozone, le permanganate de potassium KmnO₄ ou le bioxyde de chlore (ClO₂) dont la dose à appliquer dépend de la teneur en Mn dissous dans l'eau brute, du pH, des dépôts antérieurs formés...

Dans cette partie, nous nous limiterons aux cas de traitements par l'ozone et le permanganate de potassium.

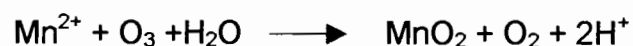
a Le traitement par l'ozone

L'ozone est utilisé du fait de son fort potentiel Eh (2,07 volts) pour oxyder les composés indésirables dans l'eau. Il crée aussi une addition simultanée de l'oxygène dans l'eau et sa clarification.

Formé à partir de l'air ambiant par l'utilisation de décharges électriques de radiations isotopiques et méthodes chémonucléaires.



L'oxydation du manganèse se fait selon :



Elle fait intervenir 0,87 mg d'O₃ pour oxyder 1 mg de Mn²⁺ ; mais la dose exacte est entre 1,5 et 5 fois la teneur en Mn²⁺.

L'oxydation par l'ozone du fer ferreux est par ailleurs beaucoup plus rapide qu'avec une simple aération.

Le contact entre l'ozone et l'eau à traiter se fait dans un bassin ou une colonne de contact où l'ozone est diffusé à travers un tube ou une plaque poreuse. Dans le cas où la formation importante de précipité risquerait de boucher ces diffuseurs, on peut utiliser par exemple des turbines pour diffuser l'ozone.

Généralement, le temps de contact est de 2 à 6 minutes. Mais pour améliorer une éventuelle étape de floculation, le temps de contact doit être plus court (environ 2 minutes) et la vitesse de traitement telle que l'ozone résiduel commence juste à apparaître dans l'eau (teneur < 0,1 mg/l d'O₃).

Les avantages de l'utilisation de l'ozone sont nombreux :

- ▶ Elle permet une oxydation rapide et efficace du fer dans un milieu acide (alors que l'oxydation par l'air demande un pH >= 8 de préférence).
- ▶ Elle évite l'utilisation de produits chimiques puisque l'ozone est produit à partir de l'O₂ de l'air.
- ▶ D'autre part, l'excès de réactif se détruit rapidement dans l'eau traitée du fait de sa grande instabilité.
- ▶ On peut également pratiquer avantageusement une préaération en utilisant l'air issu de la tour de contact et qui contient encore des traces d'ozone.

Mais elle présente certains inconvénients :

- ▶ Sa mise en oeuvre est coûteuse. Il a été montré que l'ozonation surtout à faible dose, entraînait parfois la formation de composés qui peuvent favoriser la clarification mais persister dans l'eau clarifiée. Il faut alors procéder à une

oxydation plus poussée (postozonation) ou à une rétention par adsorption (charbon actif), voire les deux pour plus de sécurité.

► Si l'oxydation est trop forte, elle peut aboutir à la redissolution du manganèse sous forme de MnO_4^- (créant une eau rose).

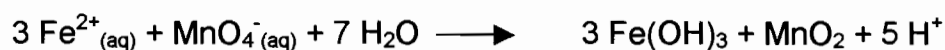
► Ce traitement doit être suivi d'une filtration obligatoire et le degré de perméabilité des filtres doit être entretenu par des lavages périodiques ; d'autre part, des floccs formés par l'ozonation sont plus difficiles à filtrer que ceux produits par oxygénation.

► Par ailleurs on a observé que la croissance des bactéries était beaucoup plus rapide dans l'eau traitée par l'ozone (etensemencée après l'ozonation) que dans l'eau brute. L'ozonation crée des substances beaucoup plus biodégradables et ne désinfecte pas l'eau à long terme. L'eau demande à être chlorée avant sa distribution.

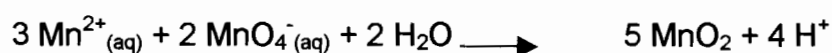
b L'ion permanganate

L'oxydation par MnO_4^- (sous forme de permanganate de potassium KMnO_4) est fortement recommandée car les réactions sont complètes, rapides et ne demandent qu'une faible quantité de produits chimiques. Par rapport au chlore, elle présente l'avantage de ne créer aucun goût ni odeur. L'ion MnO_4^- , qui lui est réduit au cours de la réaction, passe de l'état d'oxydation +VII à +IV sous forme de MnO_2 insoluble.

Les réactions d'oxydation pour le fer et le manganèse sont :



D'après la stœchiométrie de la réaction, on voit que 0,94 mg de KMnO_4 oxydent 1 mg de Fe^{2+} .



Il faut ici 1,92 mg de KMnO_4 pour oxyder 1 mg de Mn^{2+} . Mais la dose exacte de permanganate de potassium est comprise entre 1 à 6 fois celle de Mn^{2+} .

La cinétique de cette réaction a montré que la vitesse d'oxydation est une fonction croissante du pH.

Lorsque le pH est supérieur à 7, la réaction est indépendante du pH de l'eau, de sorte que l'on peut oxyder le manganèse sans traiter par la chaux, sauf s'il s'agit d'une eau douce. La réaction est rapide à moins que l'eau ne contienne de fortes concentrations de substances réductrices telles que matières organiques ou sulfure d'hydrogène. Le temps de réaction à prévoir est généralement compris entre 5 et 20 minutes.

Résultats

Une expérience a montré que, pour une teneur initiale de 0,75 à 0,93 mg/l de Mn, que le meilleur résultat obtenu (0,05 mg/l de Mn résiduel) correspondait à une quantité de KMnO_4 de 0,54 fois seulement la quantité théorique.

De même, sur des installations industrielles, on a observé des résultats satisfaisants avec 50% de la quantité stœchiométrique de KMnO_4 . On peut penser qu'il s'agit d'un effet catalytique de l'oxydation provoqué par MnO_2 à l'état colloïdal et qui permettrait une oxydation supplémentaire par l'air dissous dans l'eau.

1.2. Coagulation floculation

Le fer et le manganèse chelatés sont protégés de l'oxydation, même lorsque l'on emploie des catalyseurs. Les matières organiques dissoutes contiennent des groupements fonctionnels hydroxyl et carbonyl. Les colloïdes qu'ils forment avec Fe

et Mn ont donc une forte charge superficielle négative, qui les empêche de s'agglomérer et de sédimenter.

On observe par ailleurs que le précipité de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ nouvellement formé a une faible densité qui rend sa sédimentation difficile sans un long temps de rétention dans les bassins. Il va donc falloir conditionner chimiquement le floc pour accélérer la décantation.

La coagulation va donc avoir pour but de déstabiliser les colloïdes grâce à des substances qui neutralisent leurs charges et leur permettront de s'agglomérer. Cette étape se produit au niveau de l'introduction des réactifs et de l'agitation rapide.

La floculation qui la suit constitue l'étape de coalescence des particules entre elles sous l'effet de gels ou de macromolécules sur lesquelles elles s'adsorbent. Elle se produit lors d'une phase d'agitation lente.

Les principaux produits utilisés pour la coagulation sont :

- ▶ le sulfate d'alumine,
- ▶ l'ion calcium,
- ▶ la chlorure ferrique et le sulfate ferrique.

Pour la floculation nous avons comme principaux adjuvants :

- ▶ l'alginate de sodium ou mieux l'aqualgine ;
- ▶ les polyélectrolytes
- ▶ l'amidon.

Pour certaines eaux, une simple floculation suffit alors que pour d'autres, une étape complète de coagulation-floculation est nécessaire à la précipitation du fer et du manganèse.

Dans tous les cas, des essais préalables permettent de choisir le traitement approprié : nécessité ou non d'une décantation, détermination du pH optimal, des doses de réactifs et de leurs points d'introduction respectifs.

1.3. Préseparation

Si l'eau est peu chargée, on réalise une filtration directe. Dans le cas contraire, la préseparation a pour but d'éviter un colmatage trop rapide des filtres, c'est à dire des cycles courts et des crevaisons brutales qui nécessiteraient une consommation élevée en eau de lavage.

On peut effectuer une décantation ou une flottation avant la filtration de l'eau.

On estime généralement que la décantation, qui est l'étape de clarification la plus couramment employée, est nécessaire pour des teneurs initiales en fer supérieures à 10 mg/l.

La technique de décantation consiste parfois à faire circuler l'eau flocculée à travers un lit de boues, pulsé ou non, éventuellement surmonté par une garniture de plaques partiellement immergées dans le lit.

Pour des eaux à faible turbidité, douces et fortement colorées qui produisent des floccs légers, la décantation n'est pas applicable. Elle ne peut opérer qu'à faibles charges hydrauliques et grande quantité de polyélectrolytes. C'est pour cette raison que la flottation à l'air dissous a développé un intérêt considérable comme alternative à la sédimentation.

La flottation consiste en l'adsorption de microbulles d'air de 40 à 50 μm de diamètre sur les particules. Les floccs ainsi lestés d'air remontent à la surface du bassin et sont retirés par raclage mécanique.

I . 4 . Filtration

La filtration suit l'étape éventuelle de préséparation physique. Dans ce cas, elle fixe les matières flocculées que cette dernière n'a pas retenues.

Une expérience faite sur une eau dont les valeurs après flottation de fer et de manganèse sont 0,3 mg/l et 0,25 mg/l respectivement a donné 0.02mg/l pour le fer et 0 mg/l pour le manganèse après filtration.

L'efficacité de l'élimination du fer et du manganèse dépend :

- ▶ de la technique de filtration : on utilise généralement la filtration rapide sur sable, la filtration lente sur sable et la filtration en lit horizontal ;
- ▶ du type de répartition de la masse filtrante, qui peut être homogène ou en bicouche ;
- ▶ du matériau lui même qui se caractérise par la porosité entre les grains, leur aire spécifique, les propriétés électrocinétiques et de sorption de leur surface.

Les filtres employés pour éliminer le fer et le manganèse restant dans l'eau après son passage dans le bassin de contact sont aménagés de manière à retenir la presque totalité de ces éléments. Une vitesse de passage de 9,6 m/h donne de bons résultats. Le sable du filtre doit avoir une taille effective de 0,7 à 1 mm, c'est à dire qu'il doit être plus gros que le sable des filtres destinés à retenir les microbes.

Les filtres à sable lents doivent être construits de telle sorte que l'eau traverse lentement une couche de sable fin et que les solides les plus gros soient arrêtés à la surface du sable ou à proximité de la surface du sable et forme une couche poreuse très fine dont la surface totale en veinules ou pores soit très grande, facilitant ainsi l'adsorption des impuretés par cette couche et par le sable sous-jacent. Il faut donc que l'air de filtration soit grande et la vitesse d'écoulement faible, afin d'obtenir un contact et une adsorption satisfaisants.

Les filtres à sable rapides doivent être conçus pour recevoir l'eau après coagulation et décantation ; les matières colloïdales et les bactéries y sont adsorbées par le floc gélatineux et éliminées avec lui. Pour que la filtration dans le sable soit bonne et rapide, l'eau doit avoir subi un traitement préalable.

I . 4 . 1. La couche filtrante : caractéristiques du sable

Il faut choisir des filtres avec soin en tenant compte de l'efficacité du prétraitement, de la vitesse de filtration et de l'épaisseur de la couche filtrante. Lorsque les conditions d'exploitation justifient le choix d'une vitesse de filtration de 4,8 m/h, on peut obtenir une bonne filtration et une durée raisonnable d'utilisation continue du filtre en employant un sable de taille effective comprise entre 0,40 et 0,50 mm. Si l'on estime possible d'appliquer des vitesses de filtration plus élevées que celles indiquées précédemment et si l'eau est prétraitée, il faut prendre un sable plus gros (0,50 – 0,70 mm) afin d'obtenir une durée d'utilisation du filtre satisfaisante. Pour plus de sécurité, on peut adopter une épaisseur de sable de 0,75 à 0,90 m. La hauteur ne doit pas être inférieure à 0,60 et le sable doit être aussi uniforme que possible, le coefficient d'uniformité ne doit pas dépasser 1,8.

La couche filtrante constitue l'élément essentiel du filtre ; il faut donc choisir le sable avec beaucoup de soin. L'utilisation de tout-venant est exclue car celui-ci est presque toujours constitué d'un mélange de grains de différentes tailles et contient souvent de grandes quantités de matières et de vase. Or le sable du filtre doit être exempt d'argile, de poussières, de racines et de toute autre impureté.

II . La désinfection

Son but principal est de détruire les bactéries grâce à l'action microbicide du chlore.

Il joue ensuite un rôle secondaire non négligeable : oxydation du fer, du manganèse et du sulfure d'hydrogène ; destruction de certains composés engendrant des goûts et des odeurs désagréables ; protection contre les algues et les boues dans les usines de traitement.

On utilise soit le chlore gazeux, soit des composés chlorés. Dans tous les cas le désinfectant est le chlore.

La stérilisation par le chlore est efficace quand la température est élevée.

Le temps de contact, pendant lequel le chlore peut réagir avec les constituants de l'eau représente un facteur important de la désinfection. Il doit être au minimum de 10 à 15 minutes et de préférence de plusieurs heures, afin que la stérilisation soit efficace mais que la teneur de l'eau livrée aux consommations ne soit pas trop élevée en chlore résiduel.

Les conditions nécessaires à une stérilisation de l'eau sont réalisées lorsque la dose de chlore est suffisante pour :

- ▶ réagir avec les matières organiques, l'ammoniaque, le fer, le manganèse et les autres substances réductrices éventuellement présentes dans l'eau,
- ▶ libérer un excès de chlore résiduel stérilisant,
- ▶ parer aux effets nuisibles d'un excès d'alcalinité, d'un déficit des températures de l'eau ou d'un temps de contact trop bref.

III . Exemples de technologies

- ▶ L'usine d'eau potable au sud de Kehl en Allemagne dont le schéma est donné en annexe A1, élimine le fer et le manganèse par aération-oxydation au KMnO_4^- filtration. Dans l'eau traitée, les teneurs en fer et en manganèse sont inférieures à 0,05 mg/l.

► Le traitement par aération-coagulation-floculation-oxydation chimique-filtration, à surface libre, convient très bien pour l'élimination de grandes quantités de CO_2 ou lorsque le débit à traiter est important. Il permet d'éliminer le fer, le manganèse et la couleur d'une eau qui contient peu de matières en suspension et de matières organiques.

La station de Crissey à Chalon-sur-Saône en France, donnée en annexe A2, est une application concrète de cette technique. Elle fonctionne à un débit de $300 \text{ m}^3/\text{h}$.

Elle comprend :

- Une aération par cascade réalisée dans l'air ozoné résiduel qui s'échappe de la cuve d'ozonation
- Une ozonation dans une chambre de contact. Le temps de contact y est de 7 à 10 minutes
- Une floculation par l'alginate qui permet d'augmenter la filtrabilité du précipité formé
- Une filtration sur matériau bicouche : 0,5 m d'hydroanthracite de taille effective (T.E) 0,85 mm sur 0,40 m de sable de taille effective 0,5 mm. Les temps de contact apparent pour ces matériaux sont respectivement de 4 min. 30 et 3 min. 30 pour une vitesse de filtration de 6,8 m/h.

Le taux de traitement est de 1,7 à 2,1 g/m^3 pour O_3 et de 0,7 à 1 g/m^3 pour l'alginate.

Les résultats de cette station sont donnés dans le tableau II.2.

Eléments	Eau brute	Eau aérée	Eau filtrée
NH_4 , mg/l	1,8	0,2 – 0,4	0,2 – 0,4
Fe, mg/l	5,3 – 6,2	-	< 0,1
Mn, mg/l	0,17 – 0,12	-	0

TABLEAU II. 2 RESULTATS DE L'ANALYSE D'EAU DE LA STATION DE CRISSEY APRES FILTRATION

L'installation proposée pour Kolda

La station de déferrisation des eaux brutes du forage F1 bis se fera par un traitement par aération-filtration-désinfection.

Elle fonctionnera à un débit de 2600 m³/jour soit 130m³/h avec une durée de fonctionnement de 20 heures. Elle comprendra :

- ▶ des cascades pour l'élimination des gaz comme le CO₂ et le H₂S et l'oxydation du fer et du manganèse.
- ▶ deux filtres à sable rapides pour permettre une souplesse d'exploitation de la station
- ▶ un bassin de désinfection à l'hypochlorite de calcium (HTH).

Les détails de cette station sont explicités dans le chapitre Conception de l'ouvrage d'exploitation.

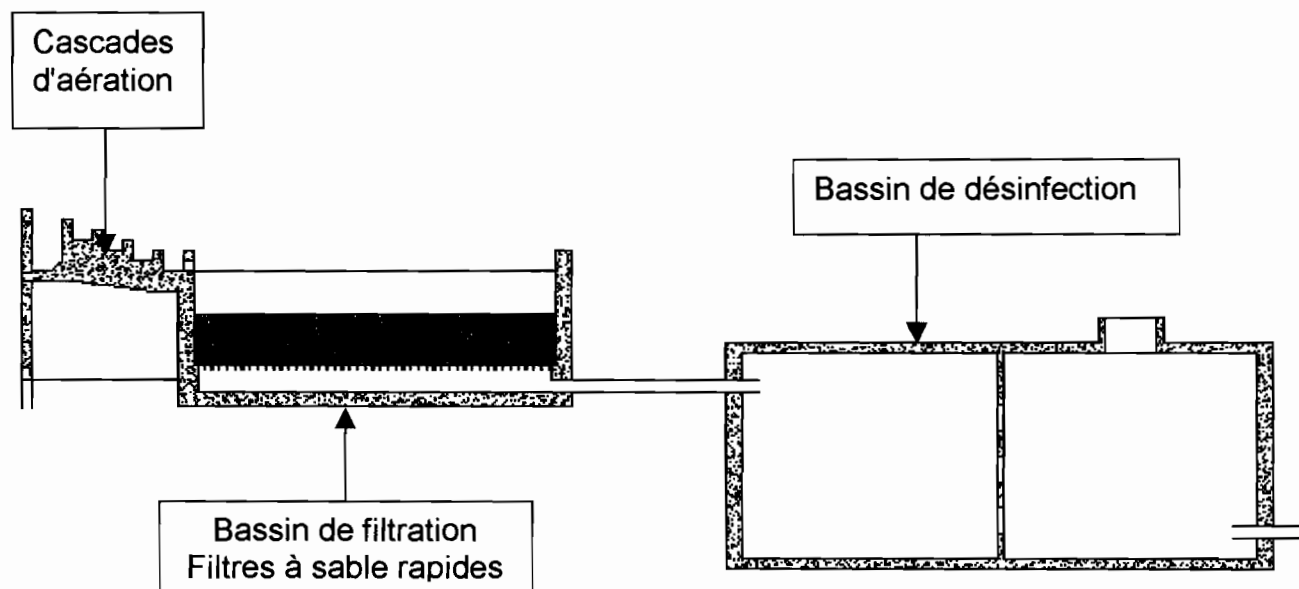


Fig. 2.1 Installation proposée pour Kolda

Chapitre 4 : Conception de l'ouvrage d'exploitation

Les étapes nécessaires au traitement de l'eau étant vues précédemment, dans ce chapitre nous exposerons les détails du dimensionnement des différentes zones de l'unité conçue pour Kolda.

Nous parlerons ainsi du schéma de principe de la station proposée et de ses différents accessoires.

Il s'agit notamment des cascades d'aération, des filtres, du bassin de désinfection, ... Le débit de design adopté est de 130 m³/h. ce choix est basé sur l'estimation de la consommation en eau de la population faite par la SONES. L'horizon d'étude fixée étant l'année 2010.

Selon l'étude faite, la consommation en eau potable de la population s'élèvera en 2010 à une pointe journalière de 2616 m³. (voir annexe A3)

En optant pour un temps de fonctionnement de 20 heures par jour en période de pointe journalière, la capacité de la station de traitement à retenir sera de 2600 m³/jour, soit un débit de fonctionnement de 130 m³/h.

I . Schema de principe

Le schéma de fonctionnement de la station de déferrisation est le suivant : forage – cascades d'aération – filtration – désinfection puis stockage.

L'eau est captée dans la nappe dont le niveau dynamique est de 14,7 m avec un débit de 130 m³/h. La conduite de refoulement est en diamètre 250 mm.

Cette eau brute est d'abord recueillie dans un bassin de dissipation. Ce bassin a pour rôle de réduire la vitesse de l'eau pour mieux favoriser l'aération.

Par surverse, l'eau passera du bassin de dissipation aux cascades pour subir son aération. Cette aération qui se fait par des chutes en cascades a pour but d'oxyder le fer et le manganèse et aussi la libération des gaz tels que le sulfure d'hydrogène (H_2S) et le gaz carbonique (CO_2).

Après les cascades, l'eau est recueillie dans un canal de répartition. Ce canal permet de répartir l'eau aérée dans les filtres.

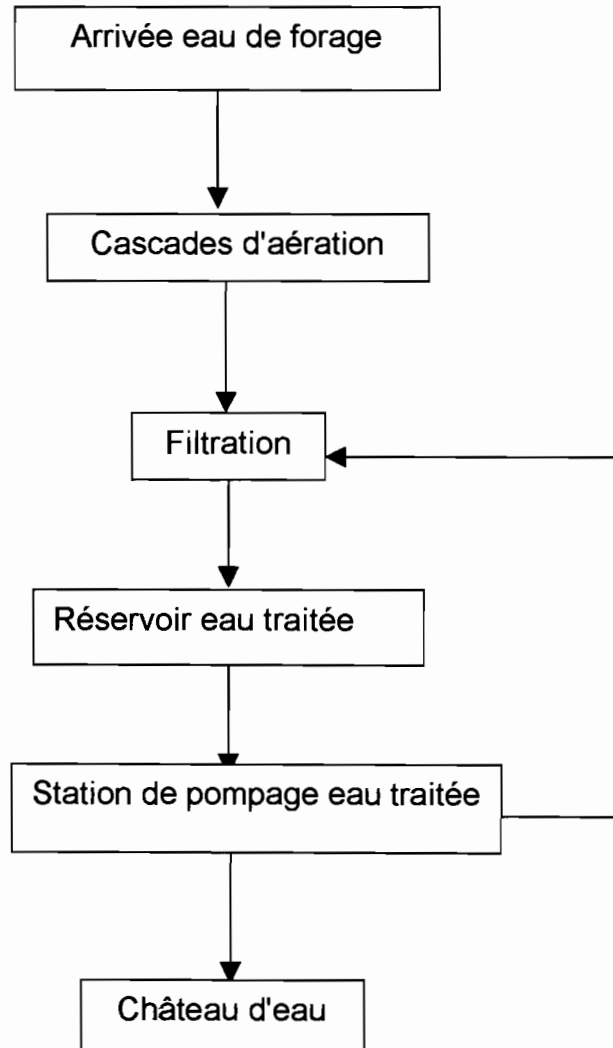
Ensuite suit l'étape de la filtration qui se fait sur filtre à sable rapide. On disposera de deux filtres parallèles pour plus de souplesse dans l'exploitation.

L'eau filtrée est par la suite récupérée dans un réservoir d'eau traitée où elle sera désinfectée à l'hypochlorite de calcium.

Par pompage, l'eau désinfectée est refoulée vers le réservoir de stockage.

Le schéma de fonctionnement est illustré par la figure suivante.

Fig. 2.2 Schéma de principe du procédé de traitement



II . Cascades d'aération

Les cascades d'aération sont composées d'un bassin de dissipation, d'une suite de cascades et d'un canal de répartition.

II . 1 . Bassin de dissipation

Le bassin de dissipation sera de forme rectangulaire et comme indiqué plus haut, sa fonction est de diminuer la vitesse du fluide. Ses dimensions ont :

- ▶ longueur : 4 m
- ▶ largeur : 0.6 m
- ▶ profondeur : 1 m.

II . 2 . Cascades

Le débit de design est de $130 \text{ m}^3/\text{h}$ soit $36,11 \text{ l/s}$.

Le critère de longueur de 10 l/s/ml . C'est à dire que chaque cascade brise 10 l/s du débit initial qui est de 36.11 l/s

La largeur d'une cascade est fixée à $0,5 \text{ m}$.

Pour trouver le nombre de cascades on divise le débit par le critère de longueur.

On a donc après calcul un nombre de cascades égal à 4.

Étant donné que la chute d'eau doit se faire sur la largeur de la cascade suivante, la hauteur de chute est prise égale à $0,8$ fois la largeur d'une cascade. Donc la hauteur de chute est égale à 40 cm .

Au niveau de chaque cascade, seront disposés des créneaux. Ces créneaux sont des éléments métalliques montés en tête de cascade. Ils sont en forme de scie et leur but principal est de bien répartir le débit et de favoriser ainsi l'aération.

II . 3 . Canal de répartition

Ce canal a pour but principal de faire la répartition de l'eau dans les filtres qui disposent de deux entrées chacun.

Ce canal qui se trouve à la fin des cascades a les dimensions suivantes :

- ▶ longueur : 4 m
- ▶ largeur : 0,4 m
- ▶ profondeur : 0,4 m

Ce canal disposera ainsi d'une pente transversale de 2%. Suivant sa largeur on aura :

- ▶ une élévation au milieu constituant une séparation des deux filtres ;
- ▶ une élévation aux extrémités pour drainer les eaux vers l'entrée des filtres ;
- ▶ au milieu des entrées de chaque filtre, sera disposée une élévation pour éviter la stagnation de l'eau et aussi favoriser l'admission de l'eau dans les filtres.

Toutes ces élévations seront faites avec une pente de 2% par rapport à l'entrée des filtres.

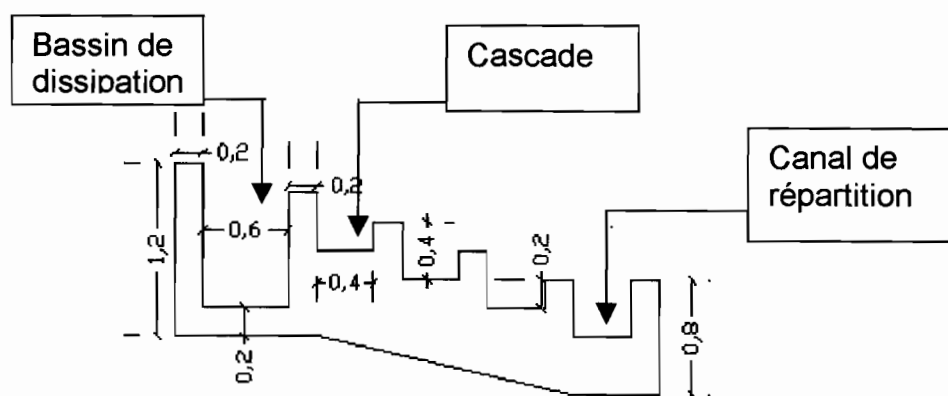


Fig 3.1 Coupe longitudinale des cascades d'aération

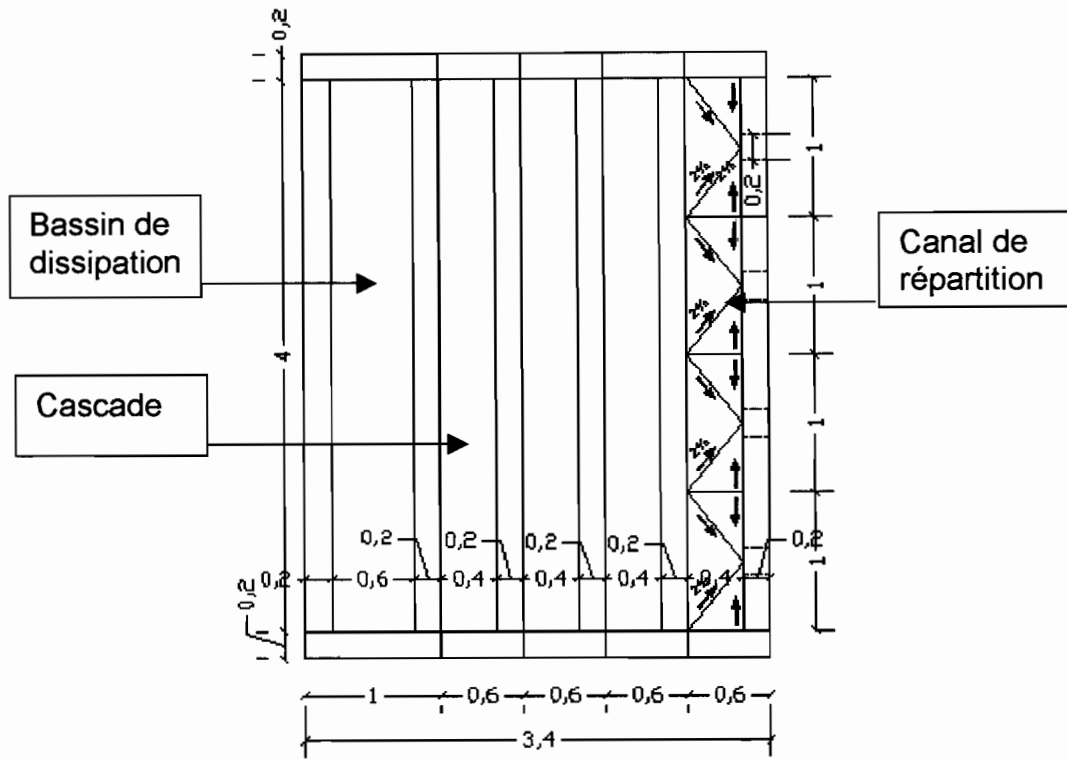


Fig. 3.2 Vue de dessus des cascades d'aération

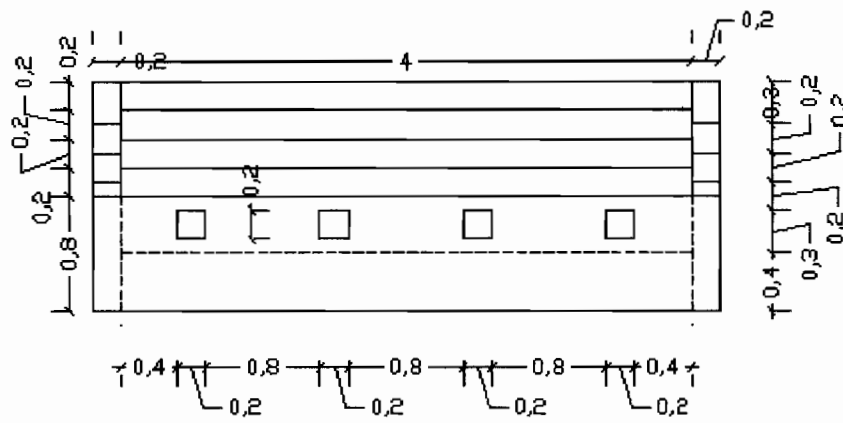


Fig. 3.3 Vue latérale des cascades d'aération

III . Bassin de filtration

Comme il a été défini précédemment, notre station disposera de deux filtres parallèles pour assurer une grande souplesse de l'exploitation. Cette filtration se fera sur sable rapide.

Le lavage des filtres se fera par le système air – eau.

La vitesse de filtration est fixée à 7 m/h et le débit est de 130 m³/h

Suivant le nomogramme de Cox, la quantité d'eau filtrée pendant un fonctionnement de 20 heures est de 2649,8 m³. La surface totale de filtre correspondante est de 22 m².

Étant donné que l'on disposera de deux filtres, la surface par filtre est de 11m².

La largeur totale du bassin de filtration est de 4 m.

Pour l'évacuation des boues lors des lavages, les filtres sont équipés au niveau de leur parois latérales de goulottes d'évacuation munies de vannes de vidange. Des conduites trop plein en acier inox vont récupérer les eaux de lavage pour leur évacuation vers un exutoire.

Ce qui donne en résumé les dimensions suivantes pour chaque filtre.

- ▶ Largeur : 1,55 m
- ▶ Longueur : 7,10 m
- ▶ Profondeur : 2,5m
- ▶ Masse filtrante : 90 cm
- ▶ Épaisseur du plancher : 10 cm
- ▶ Goulotte d'évacuation des boues : 20 cm

La taille effective des grains de sable de la masse filtrante sera comprise entre 0,5 et 1,2 mm.

Sur la surface du plancher seront disposées des buselures distantes de 15 cm les unes des autres.

III . 1 . Fonctionnement

III . 1 . 1. Filtration

L'eau entre dans les filtres par l'intermédiaire des clapets d'entrée d'eau. Elle surmonte la couche de sable filtrante de 85 cm. Elle s'infiltrera dans la masse filtrante par les pores avant d'être recueillie au niveau du canal d'eau filtrée qui se trouve sous le plancher du filtre à travers les buselures.

Par gravité, l'eau est ensuite admise au niveau du bassin de désinfection.

La régulation des filtres se fera par des siphons ou boîtes de partialisation munies d'un vacuomètre pour la détection de l'encrassement du filtre.

III . 1 . 2. Lavage

Le lavage qui se fait par suite de colmatage du filtre suit le processus suivant :

- ▶ constitution du matelas d'air par soufflage ; ce soufflage se fait à un débit de $50 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$
- ▶ soufflage par injection d'air et d'eau d'une durée de 5 à 10 minutes avec un débit de $7 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$
- ▶ rinçage à l'eau à grand débit jusqu'à ce que l'eau évacuée à l'égout soit claire avec un débit de $20 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$.

La quantité d'eau de lavage est généralement comprise entre 1 et 2% du volume d'eau filtrée.

La durée de lavage est généralement de 15 minutes maximum.

Les boues issues de ce lavage sont récupérées par un système de conduites pour leur évacuation vers les lits de séchage ou un exutoire en dehors de la station.

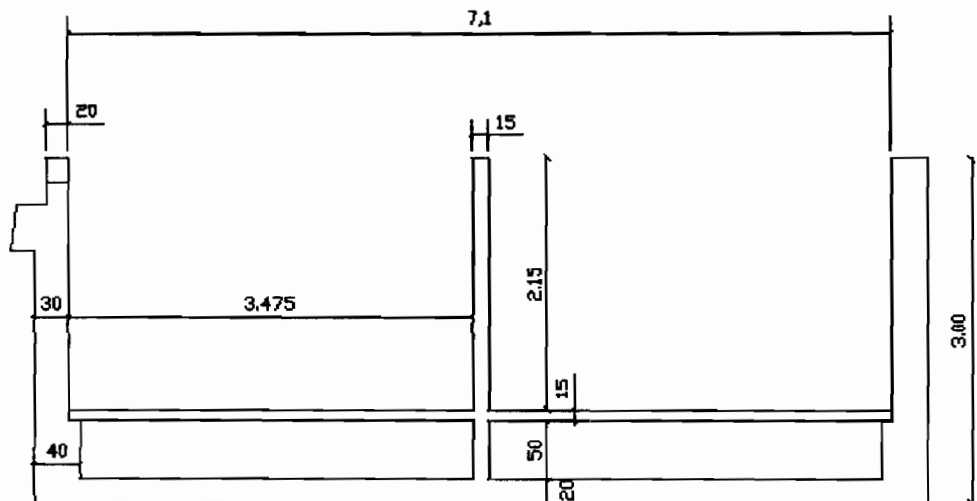


Fig. 3.4 coupe longitudinale du bassin de filtration coupe longitudinale

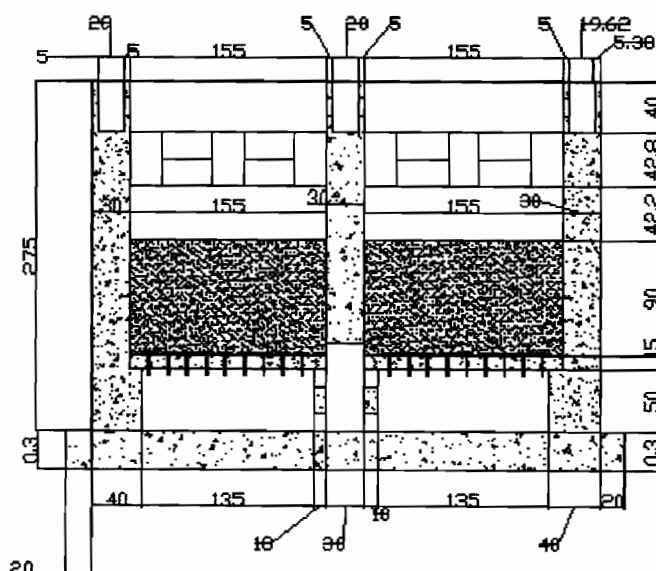


Fig. 3.5 Coupe transversale du bassin de filtration

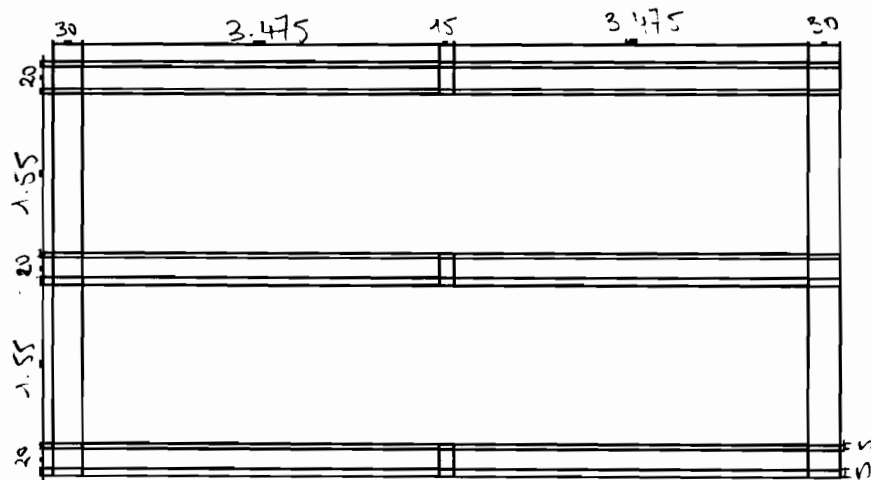


Fig. 3.6 Vue de dessus du bassin de filtration

IV . Bassin de désinfection

Ce bassin est conçu pour poursuivre le traitement de l'eau et son stockage. C'est à dire sa stérilisation afin qu'elle puisse bien répondre aux normes en vigueur. L'eau stockée dans ce bassin a deux destinations : eau de service pour la station et eau de distribution.

Après sa désinfection l'eau doit être stockée dans le réservoir du réseau de distribution qui est distant du forage de 270 m environ.

Pour ces raisons, nous dimensionnerons ce bassin avec une autonomie de fonctionnement d'une heure. Le débit de design étant toujours de $130 \text{ m}^3/\text{h}$.

Le temps que va mettre l'eau pour remplir ce bassin étant donc fixé égal à 1 heure, le volume rempli pendant ce temps avec un débit de $130 \text{ m}^3/\text{h}$ est :

$$V = Q \cdot t = 130 \cdot 1 = 130 \text{ m}^3.$$

Pour des raisons de sécurité on prendra ce volume égal à 150 m^3 compte tenu des volumes morts.

Le temps de remplissage devient donc : $t = V/Q = 150/130 = 1,15$ heures, soit 69 minutes. Ceci constitue un bon temps de contact.

On optera pour ce bassin donc les dimensions suivantes :

- ▶ largeur = 5 m
- ▶ longueur = 10 m
- ▶ profondeur = 3 m + 1 m = 4 m.

Ce bassin disposera d'un mur séparateur au milieu de sa longueur. Ce mur créera ainsi deux compartiments communiquant entre eux par l'intermédiaire des ouvertures qui se trouvent en son sein.

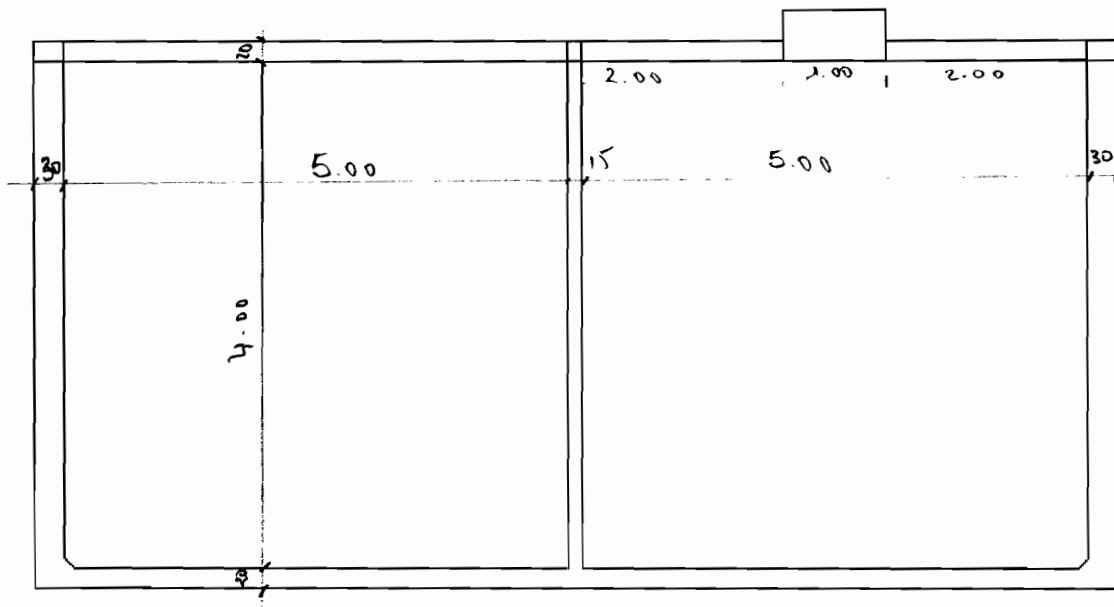


Fig. 3.7 Coupe longitudinale du bassin de désinfection

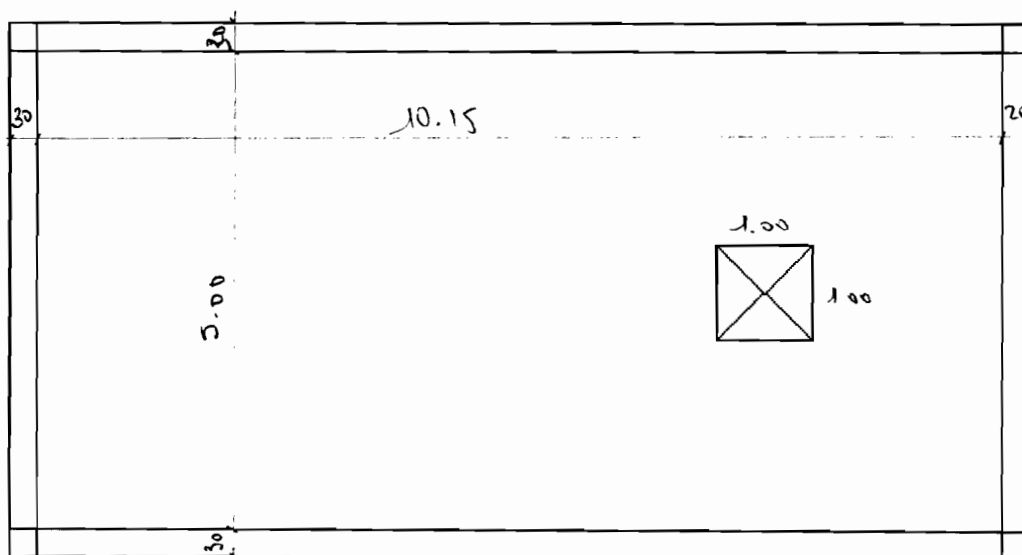


Fig. 3.8 Vue de dessus du bassin de désinfection

V . Pompes

Le fonctionnement de la station de déferrisation sera dans une grande par régi par les appareils de pompage. Dans cette partie nous allons procéder au dimensionnement de ces appareils. Il s'agit notamment des pompes de forage, de reprise, de dosage et de lavage. Ces pompes seront entraînées par des moteurs électriques.

V . 1 . Pompes de forage

La pompe de forage est déterminée pour refouler l'eau du niveau dynamique au niveau supérieur du bassin de dissipation qui est élevé de 3,30 m.

Les critères de dimensionnement de la pompe sont les suivants:

Longueur de refoulement: 20 m

Diamètre de la conduite de refoulement est de 250 mm

Le débit est 130 m³/h

Le niveau dynamique de la nappe est de 14,7 m.

En appliquant l'équation d'énergie entre le niveau dynamique et le niveau supérieur du bassin de dissipation, on trouve une hauteur manométrique totale de 18,74 m. ce qui nous a conduit à choisir une pompe dont les caractéristiques sont les suivantes:

Pompe UPA 200 – 35 deux étages de diamètres 185 mm.

Débit: 130 m³/h

Hauteur manométrique totale: 20 m

Rendement:77,8 %

Les détails de ce choix sont donnés en annexe A5

V . 2 . Pompes de reprise

Les pompes de reprise sont installées pour refouler l'eau du réservoir d'eau traitée au château d'eau.

On installera deux pompes de reprise pour assurer un fonctionnement à plein temps de la station. Une pompe fonctionnera en réserve. C'est à dire au cas où l'autre tomberait en panne. Les pompes seront du même type avec les mêmes caractéristiques.

La pompe en service assurera le transport de l'eau du niveau le plus bas du bassin de désinfection qui est égal à 3,25 m, au niveau le plus élevé du château d'eau qui est de 25 m.

Les critères du dimensionnement de ces pompes sont les suivant :

Longueur d'aspiration = 4,5 m

Diamètre d'aspiration = 250 mm ; conduite en PVC

Longueur de refoulement = 270 m

Diamètre de la conduite de refoulement = 250 mm ; conduite en PVC

Le débit est de 130 m³/h

Après application de l'équation d'énergie on obtient une hauteur manométrique totale de 28,88 m. Le calcul du NPSH disponible donne une valeur de 6,12 m. la température de l'eau considérée égale à 25°.

Ceci nous conduit à choisir une pompe qui a les caractéristiques suivantes.

- ▶ 1450 RPM
- ▶ série: 100 - 315
- ▶ diamètre du rotor: 310 mm
- ▶ HMT : 29 m
- ▶ NSPH requis: 2,5 m

- ▶ Rendement : 78%

Les détails du choix de ces pompes sont donnés en annexe A4

V . 3 . Pompes doseuses

Les pompes doseuses sont dimensionnées pour l'injection du stérilisant dans le bassin de désinfection.

On disposera de deux pompes doseuses dont l'une fonctionnera en réserve.

Après filtration, les propriétés physico-chimiques de l'eau changent. On ne peut donc à priori déterminer la concentration d'hypochlorite de calcium à utiliser pour la désinfection.

On suppose que l'on dispose d'un réservoir de 120 litres où l'hypochlorite de calcium est mélangé à la concentration adéquate. La pompe doit injecter cette solution dans le bassin pendant la durée de fonctionnement de 20 heures.

Donc le débit d'injection est : $Q = 120/20 = 6 \text{ l/h}$, soit 100 ml/min.

La pompe choisie est une pompe PVDF programmable de référence N76075. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- ▶ débit maximal : 7,6 l/h
- ▶ pression : 3,4 bars
- ▶ impulsions/min : 1 à 100

VI . Batiment technique

Le bâtiment technique est conçu pour abriter les réactifs et pièces de rechange, les pompes de reprise et pompes doseuses, les pompes de lavage et surpresseur d'air. Ce local servira aussi de bureau de commande et de contrôle du fonctionnement de la station.

Ainsi, ce bâtiment est composé :

- ▶ d'une chambre des machines
- ▶ d'une chambre de stockage et de mélange des réactifs
- ▶ d'un bureau de commande
- ▶ d'un magasin et débarras
- ▶ des toilettes.

Ce bâtiment est indiqué à la figure suivante

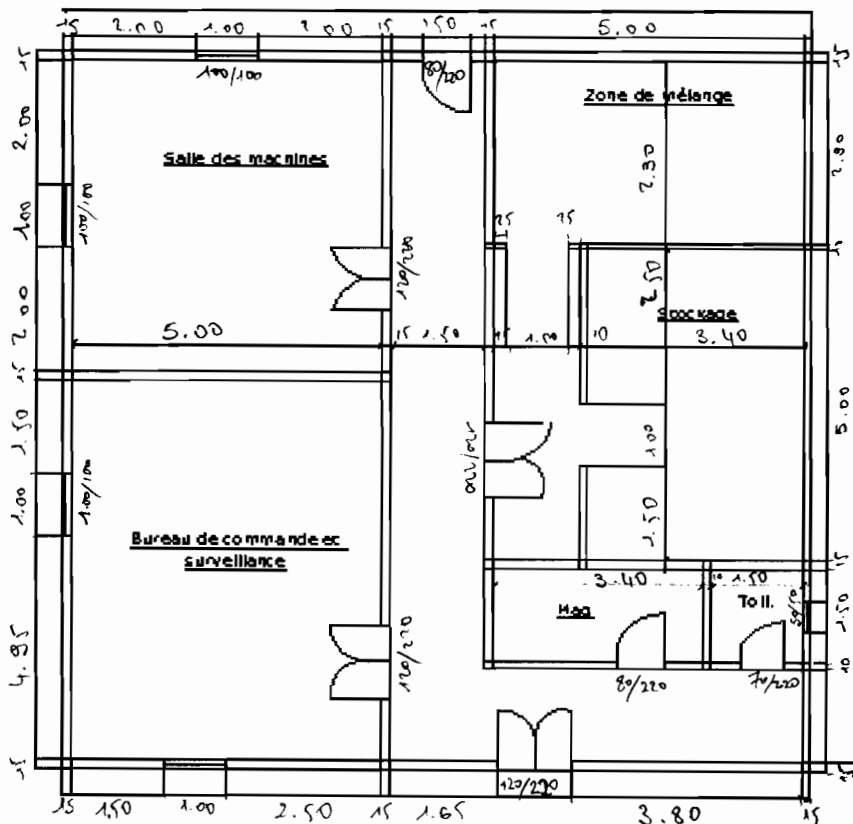


Fig. 3.10 Vue en plan du bâtiment technique

VII . L'alimentation électrique de la station

L'alimentation électrique de la station comprend une alimentation en moyenne tension (MT) à partir du réseau SENELEC existant et une alimentation basse tension (BT) pour l'éclairage et les signalisations à partir des armoires électriques se trouvant dans le bâtiment technique.

La ligne moyenne tension de 6,6 kV qui sera environ de 40 mètres sera constituée de :

- ▶ trois (3) poteaux en béton armé de 12 m, 1250 daN (dont un poteau de dérivation, un poteau support IACM et un poteau d'arrêt support transformateur H61)
- ▶ armements nappes voûte suspendue 170 – 125 avec isolateur
- ▶ conducteurs almélec 54,6 mm²
- ▶ un transformateur aérien type H61
- ▶ un disjoncteur bas de poteau.

La basse tension comprendra :

- ▶ un voltmètre
- ▶ un ampèremètre avec transformateur d'intensité (TI)
- ▶ une niche compteur SENELEC
- ▶ une distribution avec départs pour tous les équipements à alimenter.

Chapitre 5 : Calculs de béton armé

Pour une meilleure appréciation de la conception, il est obligatoire de procéder à des calculs de béton armé.

Dans ce chapitre, il sera question de faire l'étude technique de l'ouvrage conçu. Ceci nous permettra de fixer les dimensions avec exactitude, de déterminer le schéma de ferrailage afin d'être plus précis dans le devis quantitatif dans la partie évaluation du projet.

Nous procéderons ainsi tour à tour au dimensionnement des cascades d'aération, du bassin de filtration et du réservoir d'eau.

Le dimensionnement de tous ces éléments se feront à l'état limite de service. Du fait que ce sont des ouvrages qui doivent être étanches, la condition de fissuration sera très préjudiciable.

I . Dimensionnement des cascades d'aération

Ces cascades sont destinées à faire passer l'eau en contact avec l'air atmosphérique. L'évaluation des charges se fera en considérant le cas de chargement maximal.

Le poids propre de l'ouvrage est évalué égale à 5,35 t/ml. La densité du béton étant considéré égale à 2,5 t/m³.

Le poids de l'eau est de 1,64 t/ml.

La combinaison à l'état limite de service donne une charge totale de 6.99 t/ml.

Le moment sollicitant est de 7,34 t/ml. Ce qui donne une section d'armatures égale à 37,92 cm².

Pour les poteaux on a après combinaison des charges à l'état limite ultime une charge totale par poteau de 9,68 tonnes.

Ce chargement conduit à une section d'armature de 3,2 cm².

Les semelles sont dimensionnées en considérant une contrainte admissible du sol égale à 15 t/m².

La charge totale sur chaque semelle et évaluée à 10,34 t.

Ceci nous conduit à adopter les dimensions suivantes pour chaque semelle:

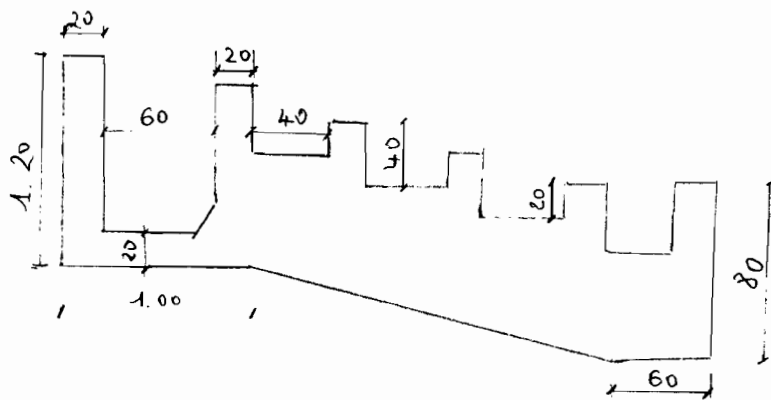
Longueur = largeur = 80 cm

Épaisseur = 20 cm.

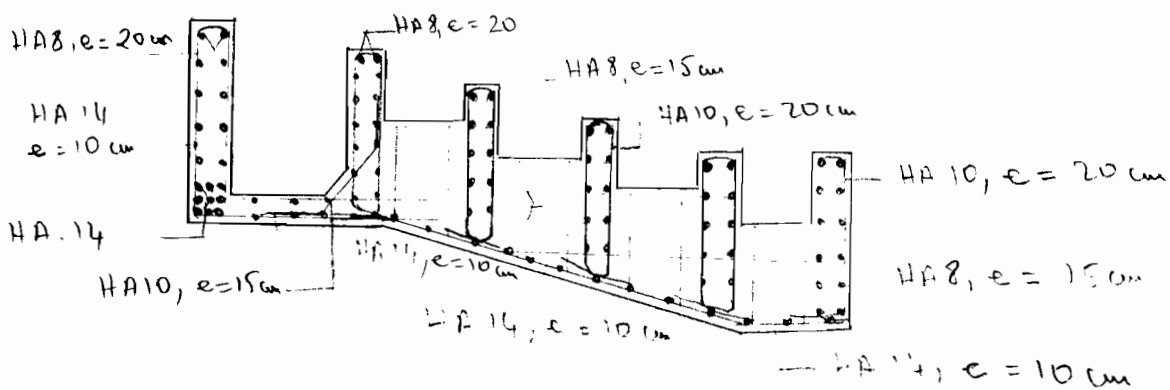
La section d'armatures trouvée est égale à 1,5 cm².

Après dimensionnement les schémas de coffrage et de ferrailage sont représentés aux figures ci après ;

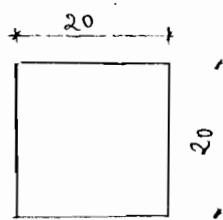
Les détails de ce dimensionnement sont donnés en annexe A5.



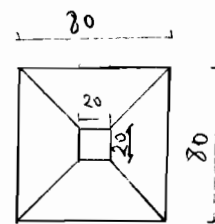
Schema de Coffrage



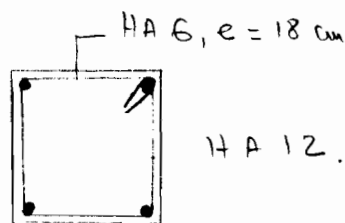
Schema de ferrailage



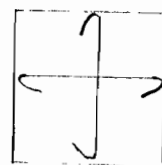
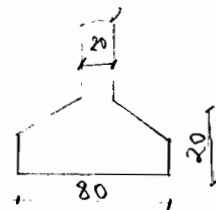
Coffrage poteau



Coffrage semelle



Ferrailage poteau



HA 8, e = 20 cm

HA 8, e = 20 cm

Ferrailage semelle

II . Dimensionnement du bassin de filtration

Le bassin de filtration est divisé en deux filtres parallèles avec à leur milieu un canal d'évacuation des eaux pendant les périodes de lavage.

Ce bassin est n'est pas enterré. Il est posé au-dessus du sol. Les forces à considérer seront donc celle de la poussée hydraulique.

La poussée de l'eau évaluée à 5,32 t, celle de la masse filtrante à 1,98 t et celle de l'eau déjà filtrée à 0,434 t.

Le calcul des sollicitations nous a donné un moment global par rapport à la base de 8,314 t.ml.

Ceci nous permet d'avoir une section des armatures d'encastrement de 24,54 cm²

Pour le radier, la charge totale est égale à 1,55 t/ml.

La sollicitation à ce niveau est de 0,465 t.ml.

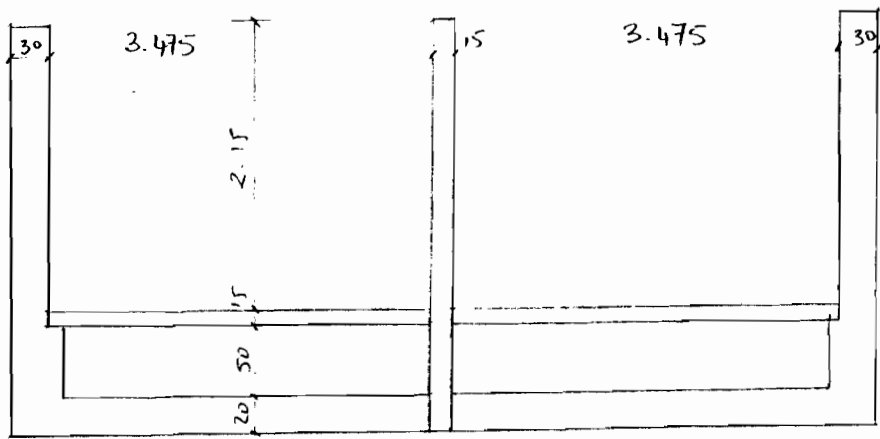
On obtient ainsi une section d'armatures égale à 2,4 cm².

Au niveau du plancher de filtration, la charge totale trouvée est de 6,57 t.

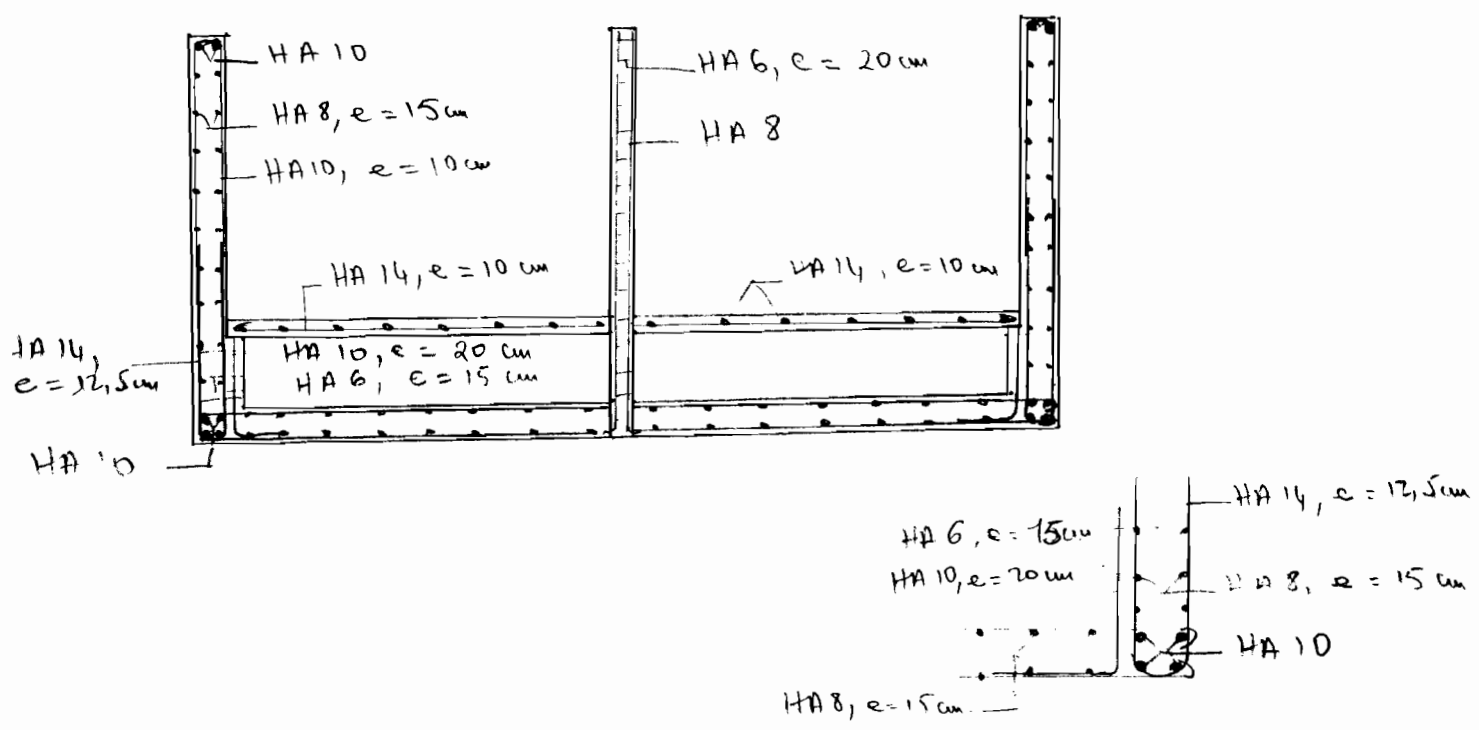
Ceci donne un moment sollicitant de 1,97 t.ml.

La section d'armatures est donc de 15,26 cm².

Les schémas de coffrage et de ferrailage sont donnés aux figures suivantes. Les détails du dimensionnement sont donnés en annexe A5.



Schema de Coffrage.



Schema de ferrillage.

III . Dimensionnement du bassin de désinfection

Ce réservoir de 150 m^3 est entièrement enterré.

Dans son dimensionnement on fera une étude comparative des forces de poussée des terres et celles des poussées de l'eau.

Ainsi, la force considérée est celle due à la poussée de l'eau qui est de 8 t/ml .

Le moment d'encastrement est de $10,67 \text{ t.ml}$.

Ce qui donne une section des aciers d'armatures pour l'encastrement des parois égale à $31,50 \text{ cm}^2$.

Pour le radier, le moment sollicitant est de $3,43 \text{ t.ml}$.

La section d'armatures équivalente est de $17,72 \text{ cm}^2$.

Le mur séparateur ne recevant que son poids propre, son ferrailage est fait suivant les conditions de non fragilité et des dispositions constructives.

Ce qui nous conduit à mettre en place des aciers haute adhérence de 14 mm de diamètre.

Pour la dalle couvercle, on prend une charge variable de $2,5 \text{ kN/m}^2$ qui est assimilable à celle des parcs de stationnement des voitures légères.

Après combinaison des charges on trouve une valeur de $3,75 \text{ t/ml}$.

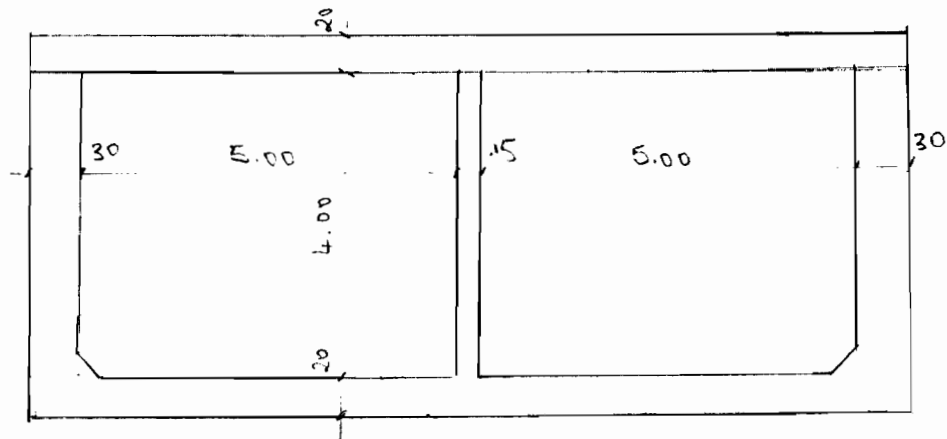
Les sollicitations causées sont évaluées à $4,125 \text{ t.ml}$ dans les deux sens.

Ce qui donne une section d'armatures de $21,31 \text{ cm}^2$ dans chaque sens.

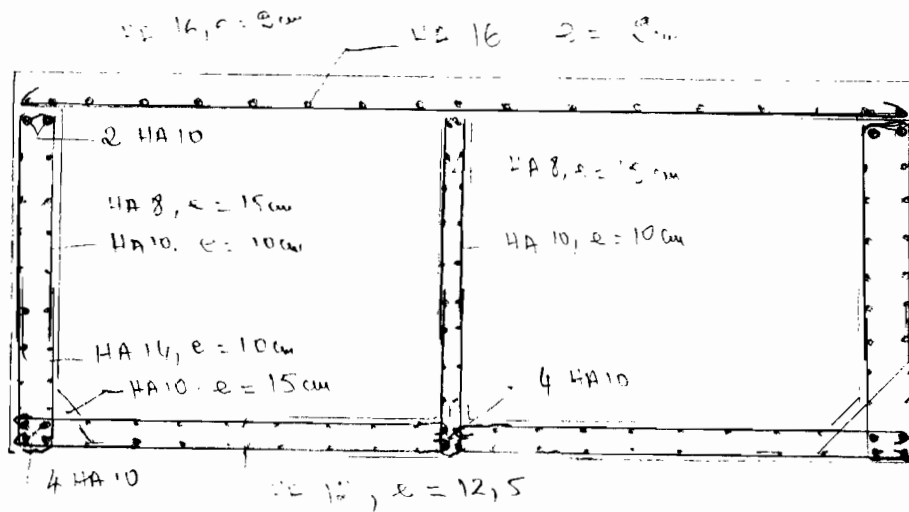
Après vérification, la condition de non poinçonnement es satisfaite.

Le détail des calculs sont données en annexe A5, les schémas de ferrailage et de coffrage sont représentés dans les figures suivantes.

Schema de Coffrage et de ferrailage



Schema de Coffrage



Schema de ferrailage.

Chapitre 6 : Évaluation financière du projet

La conception et les études techniques étant déjà faites, nous allons procéder dans ce chapitre à l'évaluation financière du projet.

Pour cela nous allons procéder à la détermination du devis estimatif du projet. C'est à dire à l'estimation de tous les corps d'états et appareils de fonctionnement de la station de traitement.

Nous n'aborderont pas l'étude de rentabilité financière du projet.

Devis estimatif

N° position	Description	Quantité	Unité	Prix Unitaire (F CFA)	Prix total (F CFA)
1	INSTALLATION DE CHANTIER				
1.1	Amenée, mise à disposition pendant la durée des travaux et repli des installations de chantier et des infrastructures de contrôle , Y compris toutes les sujétions liées à la demande d'autorisation, les raccordements en eau, électricité, téléphone, eaux usées. Y compris tout le matériel nécessaire aux constructions, engins mécaniques, grues, échafaudages, coffrages, etc ... Y compris l'entretien des abords du chantier et réparation de tous dégats éventuels occasionés par les engins ou personnels du chantier, y compris la mise à disposition et l'entretien de moyens d'accès dans toutes les zones du chantier (échelles, passerelles, éclairage éventuel) pour le Maître d'Ouvrage et l'Ingénieur ou leurs représentants.	F	ens.	61 000 000	61 000 000
1.2	Essais d'étanchéité Ce poste comprend l'ensemble des prestations nécessaires à la tenue des essais d'étanchéité, pour l'ensemble des installations (ouvrages en béton et toutes canalisations) Les essais pourront être recommencés jusqu'à satisfaction sans indemnisation de l'entreprise.	F	ens.	360 000	360 000
1.3	Lavage et désinfection des ouvrages en béton Ce poste comprend l'ensemble des prestations nécessaires des ouvrages en béton, par nettoyage des surfaces avec un produit de nettoyage à base de chlore, à faire approuver par le Maître d'Ouvrage et l'Ingénieur.	F	ens.	540 000	540 000
1.4	Lavage et désinfection de toutes les canalisations	F	ens.	360 000	360 000
	SOUS-TOTAL 1 (à reporter dans le récapitulatif)				62 260 000
2	GENIE CIVIL ET BATIMENT				
2.1	Travaux préparatoires terrassement.				
2.1.1	Débroussaillage	PM	m2	1 500	
2.1.2	Terrassement et mis en dépôt	800	m3	5 400	4 320 000
2.1.3	Fourniture et mise en place de matériaux d'apport	15	m3	6 000	90 000
2.1.4	Fourniture et mise en place de matériaux de fondation(latérite)	PM	m3	18 000	
2.1.5	Réemploi des matériaux en remblai	800	m3	3 000	2 400 000
2.1.6	Réglage des profils de forme	PM	m2	1 200	
2.1.7	Transport à la décharge autorisée de terres excavées, dans un rayon de 1000 m	PM	m3	5 650	

	PM	m3km	300	
2.1.8 Plus-value pour transport, par kilomètre supplémentaire				
2.2 Génie civil				
2.2.1 Cascades d'aération.				
2.2.1.1 Béton de propreté dosé à 150 kg /m3 y compris toutes sujétions	1	m3	72 000	72 000
2.2.1.2 Béton armé dosé à 350kg/m3 pour fondation ,radier et voiles	12	m3	288 000	3 456 000
2.2.2 Filtres				
2.2.2.1 Béton de propreté dosé à 150 kg /m3 y compris toutes sujétions	2	m3	72 000	144 000
2.2.2.2 Béton armé dosé à 350kg/m3 pour fondation ,radier et voiles	25	m3	288 000	7 200 000
2.2.3 Réservoir d'eau traitée.				
2.2.3.1 Béton de propreté dosé à 150 kg /m3 y compris toutes sujétions	6	m3	72 000	432 000
2.2.3.2 Béton armé dosé à 350kg/m3 pour fondation ,radier , voiles et dalle de couverture.	32	m3	288 000	9 216 000
2.2.4 Bâtiment technique.				
2.2.4.1 Béton de propreté dosé à 150 kg /m3 y compris toutes sujétions	3	m3	72 000	216 000
2.2.4.2 Béton armé dosé à 350kg/m3 pour fondation,poteaux,longrines chainages , linteaux ,poutres et dalles.	18	m3	260 000	4 680 000
2.2.4.3 Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour socles de tuyauteries et machines et bacs de rétention	2	m3	210 000	420 000
2.2.4.4 Plus value pour incorporation d'un adjuvant hydrofuge, type SIKA ou similaire dans le béton étanche.	95	m3	12 000	1 140 000
2.2.4.5 Dans les locaux secs, réalisation de chapes ciment collées, épaisseur minimum 3 cm, avec pente pour écoulements	65	m2	5 400	351 000
2.2.4.6 Dans les locaux humides, réalisation de chapes étanches, épaisseur minimum 3 cm, y compris adjuvant type SIKA-1 ou similaire	60	m2	5 000	300 000
2.2.4.7 Dans les locaux humides, réalisation d'un enduit étanche en 3 mains, y compris adjuvant type SIKA-1 ou similaire	320	m2	4 350	1 392 000
2.2.4.8 Maçonnerie d'agglomérés épaisseur 15 cm comprenant toutes sujétions, et notamment la désolidarisation de la maçonnerie par rapport à la dalle supérieure, les façons d'arêtes, linteaux, réservations,garnissage de gainages éventuels et obturation des réservations	300	m2	9 600	2 880 000
2.2.4.9 Sur maçonnerie d'agglomérés, façon d'enduit en 2 mains, lissage fin, comprenant toutes sujétions, et notamment dressage des arêtes, coupes à la truelle sur joints, etc ...	600	m2	2 900	1 740 000
2.3 Revêtements de sols				
2.3.1 Carrelage en gres cérame, dim. 15 x 15, épaisseur 6 mm posé au mortier frais sur frais ou à la colle, à choix de l'Entrepreneur. Coulis de joints à base de mortier au ciment. Toutes découpes,joint de dilatation et toutes sujétions comprises.	92	m2	15 600	1 435 200
2.3.2 Plus value sur article précédent pour pose contre murs	10	m2	1 800	18 000

2.3.3	Pose de plinthes.	110	ml	4 200	462 000
2.4	<u>Peinture</u>				
2.4.1	Peinture vinylique appliquée en 2 couches, comprenant toutes sujétions et notamment préparation des supports, protections de toute nature, échafaudages éventuels, adjuvant anti-moisissures, etc ... Couleur à choix du Maître d'Ouvrage, sans plus value pour teintes vives.	600	m2	3 400	2 040 000
2.4.2	Peinture vinylique brillante de finition, appliquée en 2 couches sur les portes et leurs cadres, en bois ou métalliques. Couleur à choix du Maître d'Ouvrage, sans plus value pour teintes vives.	8	U	6 000	48 000
2.4.3	Peinture étanche à 2 composants pour revêtement des bacs maçonnés sous les installations de dosage. Tenue à l'hypochlorite.	8	m2	7 200	57 600
2.5	<u>Menuiserie métallique et serrurerie d'équipement</u>				
2.5.1	Portes extérieures avec cadres à doubles vantaux.	2	U	420 000	840 000
2.5.2	Portes extérieures avec cadres à simple vantail.	1	U	170 000	170 000
2.5.3	Fenêtres à double vantaux avec cadre.	4	U	220 000	880 000
2.5.4	Garde corps en acier galvanisé.	F	ens	2 500 000	2 500 000
2.5.5	Monorail en acier galvanisé avec palan à chaîne, 2 tonnes.	1	U	3 600 000	3 600 000
2.5.6	Echelles mobiles en aluminium avec échelons striés, pour exploitation, longueur 6 mètres	3	U	1 200 000	3 600 000
2.6	<u>Menuiserie bois et mobilier</u>				
2.6.1	Portes intérieures à simple vantail avec cadre.	1	U	170 000	170 000
2.6.2	Mobilier d'équipement du bureau.	F	ens	2 500 000	2 500 000
2.7	<u>Installations sanitaires</u>				
2.7.1	Conduites d'alimentation des différents appareils sanitaires.	F	ens.	1 500 000	1 500 000
2.7.2	Appareils sanitaires selon descriptif des locaux par bâtiment et CPTP, comprenant : - WC complet - 1 douche complète. - 1 lavabo complet avec robinetterie.	F	ens.	1 450 000	1 450 000
2.7.3	Tuyaux d'écoulement en PVC pour les appareils sanitaires, jusqu'à la fosse septique,	F	ens.	350 000	350 000
2.7.4	Fosse septique en maçonnerie avec dalle de couverture en béton armé pour 6 usagers.	F	ens.	3 150 000	3 150 000
2.8	<u>Étanchéité</u>				
2.8.1	Travaux d'étanchéité selon descriptif du CPTP, comprenant toutes sujétions et notamment préparation des supports (ébarbage, nettoyage), exécution des travaux, y compris amortisseurs d'angles, remontées avec bandes de serrage, retombées, traitement des joints de dilatation, recouvrement des lés, etc ...	45	m2	19 000	855 000
2.9	<u>Drainage des eaux .</u>				

2.9.1	Système complet de drainage des eaux de lavage des filtres et les eaux d'évacuation du des trop plein, comprenant les canalisations en PVC, les regards de visite avec tampon fonte et l'aménagement d'une zone d'infiltration.	F	ens.	8 995 000	8 995 000
3	SOUS-TOTAL 2 (à reporter dans le récapitulatif) INSTALLATIONS DE TRAITEMENT ET EQUIPEMENTS				75 069 800
3.1	Pompe du nouveau forage. Fourniture et pose d'une électropompe toutes sujétions comprises avec câbles, tube d'exhaure DN 150 à brides en acier galvanisé, tube de sonde 20/27 en acier galvanisé. ayant les caractéristiques suivantes: - Débit: 130 m3/h - Hmt : 20 m	1	U	14 760 000	14 760 000
3.2	Equipement d'arrivée d'eau à la station.				
3.2.1	Fourniture et pose ensemble de canalisations DN 200 avec vannes et accessoires.	F	ens.	13 365 000	13 365 000
3.2.2	Système complet de by - pass pour alimenter le réservoir d'eau en évitant les cascades d'aération et les filtres.	F	ens.	5 940 000	5 940 000
3.3	Equipement de l'aération. Fourniture et pose de déversoirs crénelés.	4	U	371 500	1 486 000
3.4	Equipement des filtres. Fourniture, mise en place et conditionnement des éléments nécessaires à la réalisation de filtres, comprenant comme éléments principaux: - système de buselures de drainage en PVC, à poser dans le coffrage de la dalle de fond de filtre - masse filtrante ép. 900 mm - Conditionnement de la masse filtrante par lavage à contre-sens de la filtration. - Tuyauterie trop plein des filtres.	2	U	47 520 000	95 040 000
3.5	Equipement de lavage des filtres Fourniture, pose et mise en service de l'équipement hydraulique complet nécessaire au lavage des filtres, comprenant comme éléments principaux :				
3.5.1	Pompe de lavage Q=50m3/h Hmt=12m	1	U	2 970 000	2 970 000
3.5.2	Ensemble vannes d'isolement, et vannes de vidange à commande manuelle et canalisations de liaison acier galvanisé DN200 et DN100	F	ens.	2 970 000	2 970 000
3.5.3	Régulation du lavage des filtres par encrassement comprenant: système de détection de la perte de charge maximale (h=1,5m) et signalisation de l'encrassement au niveau armoire selon CPTP.	F	ens.	1 800 000	1 800 000
3.5.4	Soufiate d'air de lavage et tuyauterie DN 80 en acier galvanisé selon CPTP, comprenant toutes les brides, joints, système de fixation, plaques de support et toutes les pièces spéciales.	1	U	7 425 000	7 425 000
3.6	Pompage eau traitée Fourniture, pose et mise en service, selon les prescriptions du CPTP, de la totalité du système				

3.6.1	de pompage d'eau traitée, comprenant : Pompes de reprise vers château d'eau. Débit = 130 m ³ /h HMT = 29m	2	U	3 715 000	7 430 000
3.6.2	Clapet anti - retour DN 200	2	U	371 500	743 000
3.6.3	Tuyauterie DN 200 de reprise en acier galvanisé avec vannes d'isolement DN 200 à commande manuelle.	F	ens	1 485 000	1 485 000
3.6.4	Compteurs à impulsion à brides DN 150 ,PN25 ayant les spécifications techniques demandées dans le CPTP.	2	U	742 500	1 485 000
3.7	Nouvelle cabine d'exploitation pour le nouveau forage				
3.7.1	Génie civil cabine d'exploitation type SONES tel que décrit sur le plan avec niche compteur SENELEC.	F	ens.	3 450 000	3 450 000
3.7.2	Caniveau en BA pour chemin de câbles.	5	ml	60 000	300 000
3.7.3	Comptage complet type SENELEC	F	ens.	865 000	865 000
3.7.4	Raccordement électrique au transfo existant type H61	F	ens.	395 000	395 000
3.7.5	F. et P.d'une conduite refoulement en fonte DN 250 y compris toutes les accessoires pour le raccordement sur le refoulement en PVC DN 250 existant	50	ml	133 500	6 675 000
3.7.6	Raccordement entre le refoulement en fonte DN 250 et le refoulement en PVC DN 250 existant	F	ens.	291 000	291 000
3.7.7	Equipement hydraulique de la cabine suivant plans	F	ens.	3 665 000	3 665 000
3.8	Divers serrureries				
3.8.1	Couvercle d'accès sous les filtres et dans le réservoir d'eau traitée. Exécution en acier galvanisé. Ouverture vers l'extérieur. Diamètre de passage minimum 600 mm. Montage sur charnières et fermeture par boulonnerie galvanisée. Comprend la fourniture et la pose en coffrage des traversées murales correspondantes.	F	ens	2 227 500	2 227 500
	SOUS-TOTAL 3 (à reporter dans le récapitulatif)				174 767 500
4	PREPARATION ET DOSAGE DES PRODUITS DE TRAITEMENT				
4.1	Diagnostic, démontage et installation de la pompe doseuse existant et installation de la pompe doseuse de secours à fournir				
4.2	Système complet de préparation et de dosage de l'hypochlorite, comprenant comme éléments principaux : - 2 Bacs de préparation 120 l et de dosage journalier en PVC avec agitateur-mélangeur à hélice. - 2 pompes doseuses à membrane à vitesse variable de 0 à 50 l/h, avec commutateur pour sélection manuelle de régime. - Conduites de dosage, vannes d'isolation et clapets anti-retour, système de by-pass. - Raccord à l'eau de dilution dans le local avec robinets et toutes sujétions	F	ens.	6 940 000	6 940 000
4.3	Tuyauterie de transport et d'injection en PVC	F	ens.	1 485 000	1 485 000
4.4	Alimentation en eau de ser vice des bacs	F	ens.	2 227 500	2 227 500

	d'hypochlorite de calcium, comprenant robinet de puisage et flexible d'alimentation, toutes sujétions comprises.				
4.5	fourniture d'hypochlorite pendant 45 jours de marche industrielle de la station.	600	kg	3 475	2 085 000
4.6	Piquage pour alimentation eau de service de la station	F	ens.	1 405 000	1 405 000
	SOUS-TOTAL 4 (à reporter dans le récapitulatif)				14 142 500
5	ALIMENTATION ELECTRIQUE ET COMMANDE				
	Les positions du chapitre 1K5 comprennent fourniture, pose et mise en service				
5.1	<u>Alimentation moyenne tension (MT)</u> Alimentation 6,6 kV triphasée par ligne aérienne MT d'environ 40 mètres comprenant: - 3 poteaux en béton armé de 12 m - 1250 decaN (dont 1 poteau de dérivation, 1 poteau support IACM et 1 poteau d'arrêt support H61) - Equipement de protection contre la foudre et mise à la terre. - armement nappe voute suspendu 170 - 125 avec isolateurs et toutes sujétions.	F	ens.	5 226 000	5 226 000
5.2	- 1 transformateur triphasé aérien type H61 sur poteau de 100 KVA ; 6600/B2 et 1 disjoncteur BT bas de poteau, toutes sujétions comprises, avec mise à la terre du neutre.	F	ens.	5 780 000	5 780 000
5.3	Système complet de comptage norme SENELEC + niche	F	ens.	945 000	945 000
5.4	Distribution basse tension.	F	ens.	1 850 000	1 850 000
5.5	Fourniture et pose d'armoires de commande et de service avec ventilation forcée, toutes sujétions y compris câbles de puissance et de commande.				
5.5.1	Armoire TGBT	F	ens.	13 365 000	13 365 000
5.5.2	Armoire pompes d'eaux traitées et pompes doseuses	F	ens.	7 425 000	7 425 000
5.5.3	Armoire surpresseur d'air de lavage et pompe de lavage	F	ens.	8 910 000	8 910 000
5.5.4	Armopire pompe forage	F	ens.	3 400 000	3 400 000
5.6	Système de compensation du cos ϕ .	F	ens.	320 000	320 000
5.7	Raccordement des armoires aux équipements électriques et électromécaniques y compris câbles de signalisation entre le forage et la station (environ 300 ml).	F	ens.	5 800 000	5 800 000
5.8	Electricité domestique.	F	ens.	850 000	850 000
5.9	Système de mise à la terre des masses.	F	ens.	4 455 000	4 455 000
5.10	Fourniture et pose d'un paratonnerre y compris réseau de mise à la terre.	F	ens.	2 765 000	2 765 000
5.11	Mesure analogique de niveaux château d'eau et réservoir d'eau par sonde 4 - 20 mA.	F	ens.	2 415 000	2 415 000
5.12	Détection de niveaux par poires.	F	ens.	315 000	315 000
5.13	Système de protection contre la marche à sec de la pompe forage	F	ens.	680 000	680 000
5.14	Niche béton armé pour raccordement électrique suivant plan	F	ens.	80 000	80 000
5.15	Boîte de raccordement électrique (puissance, bougies de niveau, sonde PT 100)	F	ens.	360 000	360 000
5.16	Câbles armés enterrés (puissance, bougie de niveau, sonde PT 100)	F	ens.	595 000	595 000

SOUS - TOTAL 5 (A reporter dans le récapitulatif)				65 536 000	
6 DIVERS					
6.1	Mode d'emploi, notices techniques des équipements et documentation pour l'exploitation en langue française.	F	ens.	3 815 000	3 815 000
SOUS - TOTAL 6 (A reporter dans le récapitulatif)				3 815 000	
7 AMENAGEMENTS EXTERIEURS.					
7.1 Voirie et zone de circulation					
7.1.1	Voirie et zone de circulation à l'intérieur de la station avec pente pour l'écoulement des eaux de ruissellement.	1500	m2	23 000	34 500 000
7.2 Clôture					
7.2.1	Rehausse du mur de clôture existant de 1,90m à 2,5m suivant l'existant	280	ml	49 000	13 720 000
7.2.2	Nouvelle clôture type SONES suivant plans, de 2 m hors sol avec enduit tyrollien pour la clôture du nouveau forage.	100	ml	92 500	9 250 000
SOUS - TOTAL 7 (A reporter dans le récapitulatif)				57 470 000	
MONTANT TOTAL HT - HD				453 060 800	

Conclusion et recommandations

Nous pouvons dire en conclusion qu'on a vu le comportement du fer et du manganèse dans l'eau et suivant leur état.

En fonction de cela différentes méthodes sont appliquées pour parvenir à leur élimination. Face à ces différentes méthodes, il faut choisir celle qui est la plus économique tout en assurant une bonne qualité de l'eau traitée.

C'est ainsi que nous considérons notre conception, qui est une procédé par oxydation adaptée à la situation existante à Kolda. Son coût qui est de quatre cent cinquante trois millions soixante mille huit cents francs CFA (453063800) est favorable pour un pays en voie de développement.

Ce projet nous a permis de savoir adopter une technique de conception face à une situation existante. Les calculs de béton armé aidant à rendre la conception réelle.

Nous recommandons pour terminer le dimensionnement des pompes surpresseurs pour le lavage ainsi que les autres dispositifs de lavage. Le lavage devant se faire de façon périodique.

L'analyse chimique de l'eau après filtration s'avère importante quant à la détermination de la dose de stérilisant à éjecter dans le bassin de désinfection.

Dans l'optique de garantir une durée de vie intéressante de l'ouvrage, son entretien est fortement recommandé.

Bibliographie

1) Techniques et contrôle du traitement des eaux

Charles R. COX (Organisation Mondiale de la Santé, Genève 1967)

2) Traitement des eaux

Jean Paul BEAUDRY

3) Elimination du fer et du manganèse

Association française pour l'étude des eaux, 1988

4) Memento technique de l'eau tomes I et II

Degrémont

5) Constructions hydrauliques volume 15

Richard O. SINNIGER et Willi H. HIGER

6) B.A.E.L 91 Calcul des éléments simples et des structures de bâtiment

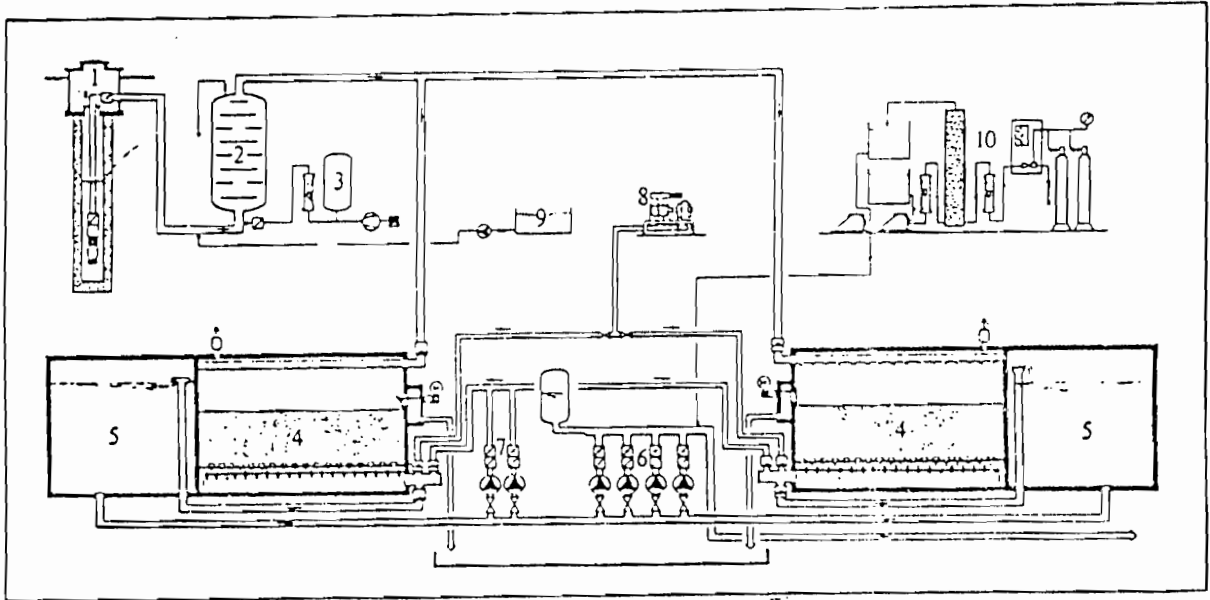
Jean Pierre MOUGIN, Eyrolles.

7) Fisher Bioblock scientifique 2000

8) Catalogue des caractéristiques des pompes GUINARD

ANNEXE A1: Station de traitement de Kehl, Allemagne

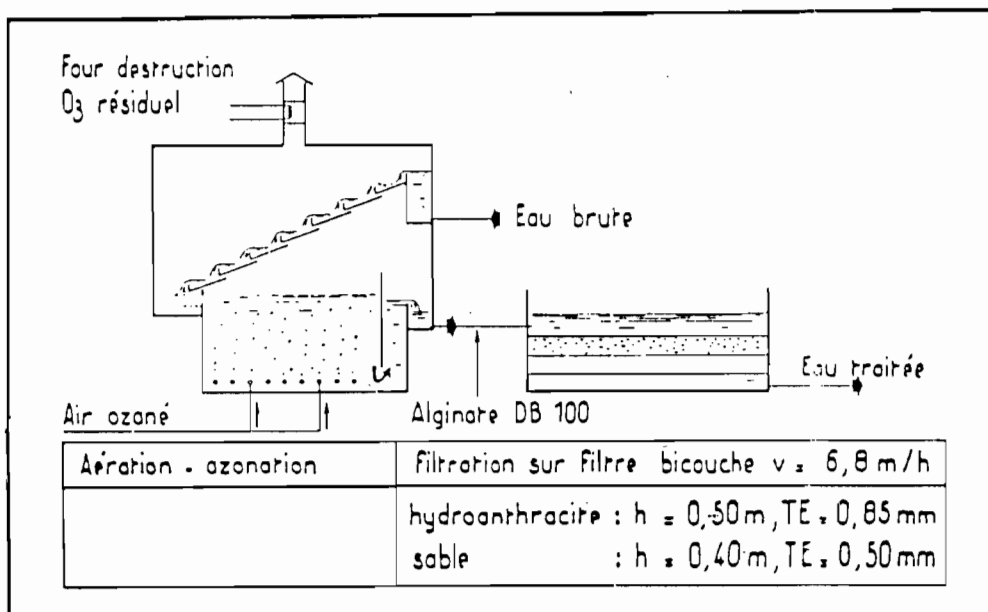
STATION DE TRAITEMENT DE
 KEHL - Allemagne -



1 : puits; 2 : aération par air surpressé; 3 : production d'air surpressé; 4 : filtre sous pression en béton; 5 : réservoir d'eau épurée; 6 : station de pompage de l'eau traitée; 7 : pompes d'eau de lavage du filtre; 8 : soufflerie de l'air de lavage du filtre; 9 : KMnO_4 ; 10: désinfection au ClO_2 .

ANNEXE A2: Station de traitement de Crissey, France

SCHEMA DE L'INSTALLATION DE CRISSEY



ANNEXE A3: Estimation de la consommation en eau potable de la ville de Kolda

6.2.2 Estimation des besoins futurs en eau potable

Tableau 6.2 : Production moyenne et production de pointe estimées

Année	Taux de branc.	Pop. Racc.	Pop.aux BF.	Cons. dom. aux B.P	Cons. dom. aux B.F	Cons. Dom.tot	Nbre de branc. Com/Ind	Cons. Com/Ind	Cons. Adm	Cons. Glob.	Prod. moy.	Prod. de pointe
1998	17,5%	9 520	0	384	0	384	8	34	190	608	761	913
1999	24,0%	13 625	1 100	545	22	567	9	39	190	796	995	1 194
2005	30,0%	21 821	2 200	873	44	917	34	146	190	1 253	1 566	1 880
2010	35,0%	30 861	3 300	1 234	66	1 300	59	254	190	1 744	2 180	2 616

La station de déferrisation dispose d'une capacité journalière de 2.615 m³/j à l'horizon de 2010.

En optant pour un temps de fonctionnement de 20 h/jour en période de pointe journalière, la capacité de la station de traitement à retenir sera de 2600 m³/j, soit 130 m³/h.

ANNEXE A4: Choix des pompes

CHOIX DES POMPES

- **Pompes de forage**

Diamètre de conduite = 150 mm

Longueur de refoulement = 20 m.

Débit = 130 m³/h

$$\Rightarrow \text{Vitesse} = v = \frac{4Q}{\pi D^2} = 2,043 \text{ m/s.}$$

$$\text{Nombre de Reynolds } R_e = \frac{vD}{\nu} = \frac{2,043 \times 0,15}{10^{-6}} = 306450$$

$$\text{PVC} \longrightarrow \varepsilon = 0,1 = \frac{0,1}{150} = 6,6650^{-4}$$

$\Rightarrow \lambda = 0,026 \rightarrow$ diagramme de Moody.

Pertes de charge linéaires dans la conduite H_f .

$$H_f = 0,0826 \lambda \frac{L}{D^5} Q^2 = 0,74 \text{ m}$$

Pertes de charges singulières = 10% pertes totales

$$\Rightarrow \text{Pertes totales } H_{ft} = 1,1 \times 0,74 = 0,814 \text{ m}$$

Profondeur de pompages $Z = 14,7$.

Hauteur cascades $Z = 3,30\text{m}$.

$$= V \quad \Delta Z = 3,30 - (-14,7) = 18\text{m}$$

L'équation d'énergie donne après simplification

$$E_p = H_{ft} + \Delta Z = 18,814\text{m.}$$

Pompes choisie

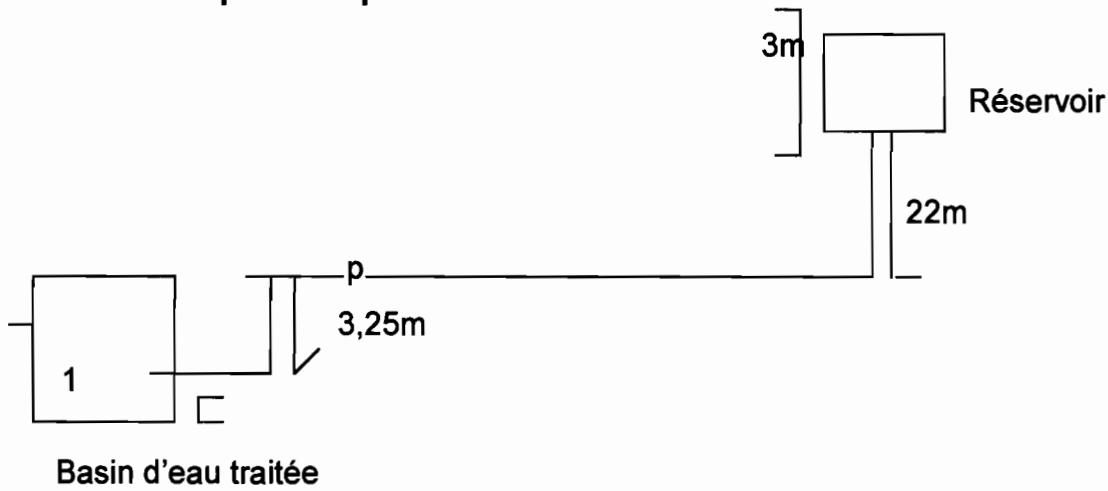
Pompes 2 étages UPA 2000 –35

Caractéristiques

- Débit = 130 m³/h
- HMT = 20 m
- Rendement = 77,8%
- NPS $H_{rep} = 6,5 \text{ m}$
- Pertes de charges clapet anti-retour = 1,1m.

CHOIX DE POMPES.

- Pompes de reprise



Point 1 Niveau d'eau le plus bas dans le réservoir $\rightarrow Z = 3,25 \text{ m}$
 Point 2 Niveau d'eau le plus élevé au niveau du château d'eau .

$Z = 25 \text{ m.}$

Aspiration { longueur = 4,5 m
 Diamètre = 250 mm

Refoulement { Longueur = 270 m
 Diamètre = 250 mm

Le débit $Q = 130 \text{ m}^3/\text{h} = 0,03611 \text{ m}^3/\text{s.}$
 $D = 250 \text{ mm}$

$$\gamma = \frac{Q}{S} = \frac{Q \times 4}{\pi D^2} = \frac{0,03011 \times 4}{\pi \times 0,25^2} = 0,736 \text{ m/s}$$

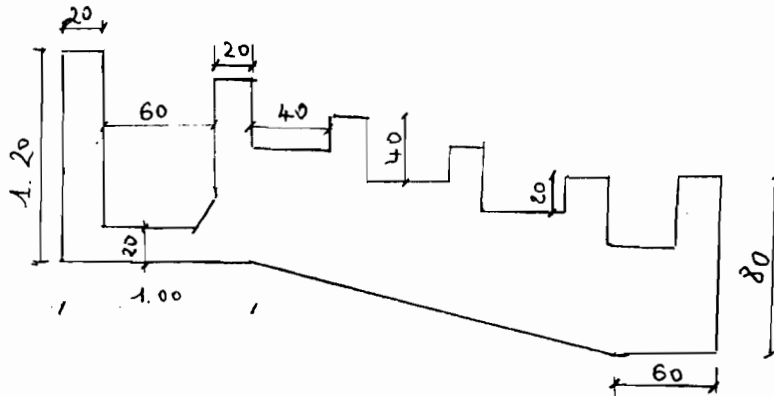
Equation d'énergie entre 1 et 2

$$\frac{P_1}{\rho} + Z_1 + E_{p1} - H_{f1} - H_{f2} = \frac{P_2}{\rho} + Z_2.$$

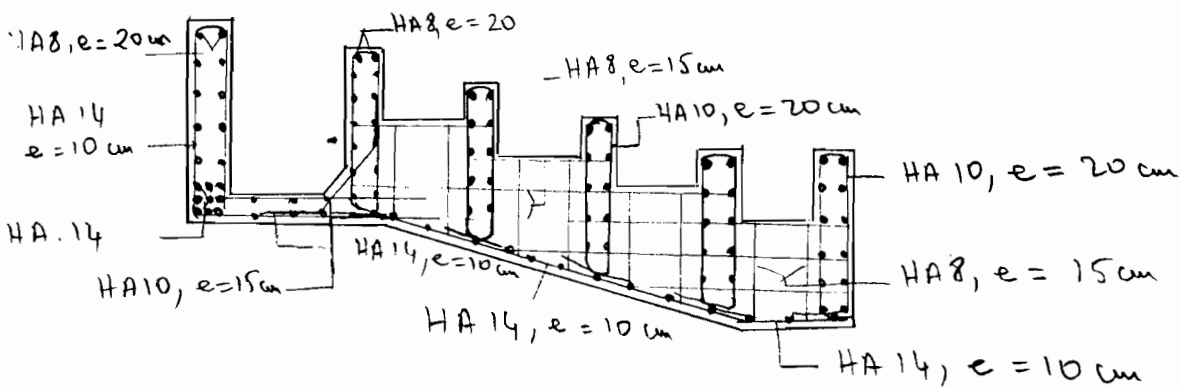
$$E_{p1} = \Delta Z + H_{f1} + H_{f2} \text{ car } P_1 = P_2 = P_{atm} = 0$$

Avec $\Delta Z = 25 + 3,25 = 28,25 \text{ m.}$

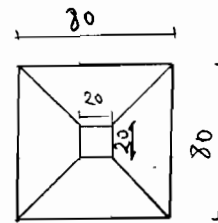
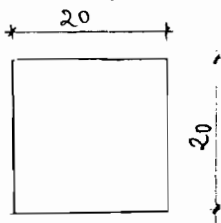
$$H_f = 0,826 f \frac{L}{D^5} Q^2$$



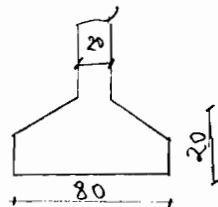
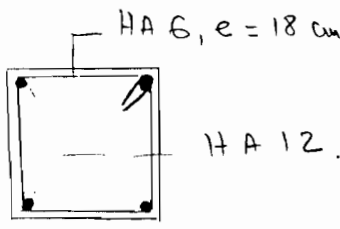
Schema de Coffrage



Schema de ferrailage

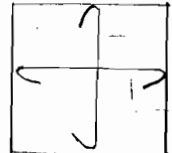


Coffrage poteau



Coffrage semelle

Ferrailage poteau



Ferrailage semelle

HA 3, e = 20cm
HA 8, e = 20cm

$$\text{Conduite en PVC} \begin{cases} \varepsilon = 0,1 \text{ mm} \\ D = 250 \text{ mm} \Rightarrow \frac{\varepsilon}{D} = 410^{-4} \end{cases}$$

$$\text{Nombre de Reynolds } R = \frac{VD}{\nu} \text{ avec } \nu = 10^{-6}$$

$$R = \frac{0,736 \times 0,25}{10^{-6}} = 184\,000$$

$$\Rightarrow f = 0,019 \Rightarrow \text{diagramme de Moody}$$

$$\Rightarrow H_{f1} = 0,086 \times 0,019 \times \frac{4,5}{92,25^5} \times 0,03611^2 = 0,01 \text{ m}$$

$$H_{f2} = 0,0826 \times 0,019 \times \frac{270}{0,252} \times 0,03611^2 = 0,56 \text{ m}$$

$$\Rightarrow H_{f1} + H_{f2} = 0,57 \text{ m}$$

On évalue les pertes singulières à 10% des pertes dans les conduites.

$$\Rightarrow H_{f \text{ totale}} = 0,57 \times 1,1 = 0,63 \text{ m}$$

$$E_{P1} = \Delta Z + H_{f \text{ totale}} = 28,25 + 0,63 = 28,88 \text{ m}$$

$$\Rightarrow E_{P1} = 29 \text{ m.}$$

Calcul de NSPH disponible

$$\text{NSPH}_{\text{disp}} = \frac{P_a}{\delta} + \frac{\Delta V^2}{2g} + \Delta Z - H_{f \text{ totale}} - \frac{P_v}{\delta}$$

On considère la température de l'eau = 25°C

$$\Rightarrow P_v = 3,2 \text{ KP}_a \quad \text{et } \delta = 9779 \text{ N/m}^3$$

$$\Rightarrow \text{NSPH}_{\text{disp}} = 10,33 - 3,25 - 0,63 - \frac{3,210^3}{9779}$$

$$\text{NSPH}_{\text{disp}} = 6,12 \text{ m.}$$

Choix de pompe

Série 100-315 avec 1450 RPM.

Pompe choisie suivant le catalogue.

On entre avec le débit de 130m³/h et la HMT de 29 m.

On tombe sur la courbe C qui est celle des caractéristiques de la pompe de diamètre 310 mm. Le rendement est de 78%.

Le NPSH requis est de 2,5 m.

Résumé

Pompe	}	D =	310 mm
Série 100-315		HMT =	29 m.
1450 RPM		Q =	78 %
		NPSH _{rqq} =	2,5 m

- **Pompes doseuses**

La solution est contenue dans un réservoir de 120 l.

La pompe devant fonctionner 20h par jour, le débit de la pompe pour évacuer cette eau dans une journée est :

$$Q = \frac{120\text{l}}{20} = 6\text{l/h} = 100\text{ ml/mn}$$

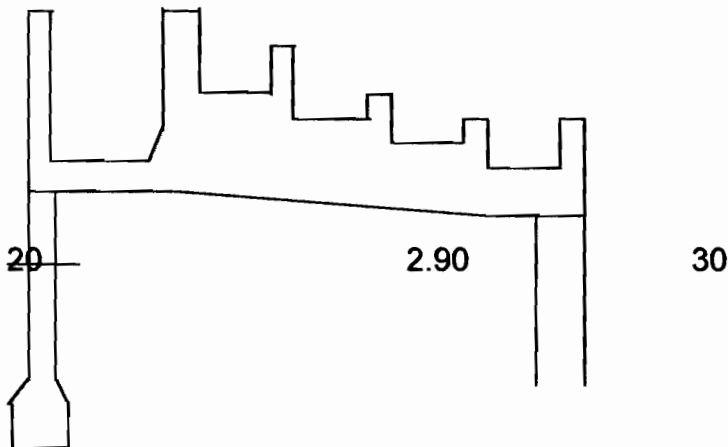
En se référant au catalogue bioblock 2000, à la page 1378, on choisit une pompe à membrane dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Pompe programmable PVDF
- Référence N 76075
- Débit maximal = 7,6 l/h
- Fréquence qss/min = 1 – 100.

ANNEXE A5: Calculs de béton armé

Calcul de béton Armé

Dimensionnement des cascades d'aération.



Charges :

Poids propre de l'ouvrage :

$$P_o = 2,14 \times 2,5 = 5,35 \text{ t/ml.}$$

Poids de l'eau : $P_e = 1,64 \gamma_e = 1,64 \text{ t/ml}$

⇒ Le poids total sur les cascades est :

$$P = P_o + P_e = 6,99 \text{ t/ml.}$$

Sollicitations

On considère le cas d'une poutre en flexion.

L'épaisseur moyenne considérée est de 20 cm.

$$\text{Moment } M = \frac{Pl^3}{8} = 7,34 \text{ t.m}$$

Ferraillage :

$$M = 7,34 \text{ t.m.}$$

$$\mu_s = 0,303 \Rightarrow \alpha = 0,568 \Rightarrow z = 0,12 \text{ m}$$

$$\Rightarrow A = \frac{M}{z\sigma_w} = \frac{7,34 \cdot 10^2}{0,12 \times 161,3} = 37,92 \text{ cm}^2$$

soit 2 x 11 HA 14, e = 10 cm

Poteau

Charge à l'ELU

$$P_u = 1,35 P_o + 1,5 P_e = 9,68 \text{ t/ml.}$$

⇒ Charge supportée par les 2 poteaux est :

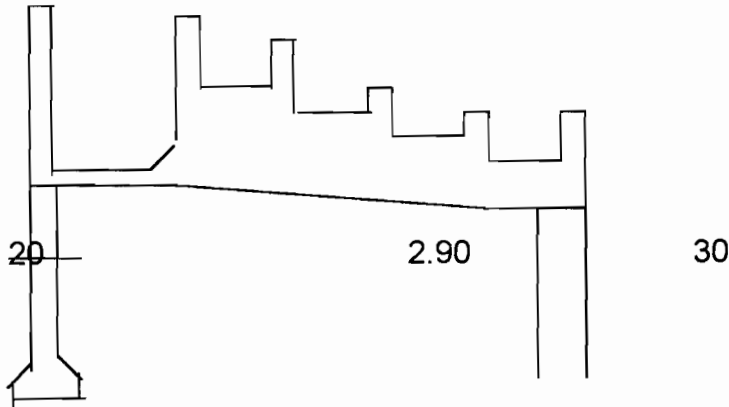
$$P_u \times \frac{1}{2} = 9,68 \times \frac{4}{2} = 19,36 \text{ t}$$

⇒ Charge sur chaque poteau N_u est

$$N_u \times \frac{18,36}{2} = 9,68 \text{ t}$$

Calcul de béton Armé

Dimensionnement des cascades d'aération.



Charges :

Poids propre de l'ouvrage :

$$P_o = 2,14 \times 2,5 = 5,35 \text{ t/ml.}$$

Poids de l'eau : $P_e = 1,64 \gamma_e = 1,64 \text{ t/ml}$

⇒ Le poids total sur les cascades est :

$$P = P_o + P_e = 6,99 \text{ t/ml.}$$

Sollicitations

On considère le cas d'une poutre en flexion.

L'épaisseur moyenne considérée est de 20 cm.

$$\text{Moment } M = \frac{Pl^3}{8} = 7,34 \text{ t.m}$$

Ferraillage :

$$M = 7,34 \text{ t.m.}$$

$$\mu_s = 0,303 \Rightarrow \alpha = 0,568 \Rightarrow z = 0,12 \text{ m}$$

$$\Rightarrow A = \frac{M}{z\sigma_w} = \frac{7,34 \cdot 10^{-2}}{0,12 \times 161,3} = 37,92 \text{ cm}^2$$

soit 2 x 11 HA 14, e = 10 cm

Poteau

Charge à l'ELU

$$P_u = 1,35 P_o + 1,5 P_e = 9,68 \text{ t/ml.}$$

⇒ Charge supportée par les 2 poteaux est :

$$P_u \times \frac{1}{2} = 9,68 \times \frac{4}{2} = 19,36 \text{ t}$$

⇒ Charge sur chaque poteau N_u est

$$N_u \times \frac{18,36}{2} = 9,68 \text{ t}$$

$$N_u = \alpha \left\{ \frac{Br f_{c28}}{0,9 \gamma_b} + A \frac{f_e}{\gamma_s} \right\}$$

$$Br = (a - 0,02)^2 = (0,02 - 0,02)^2 = 0,034 \text{ m}^2.$$

$$\alpha = ? \quad \lambda = \frac{lf}{i} \quad \text{avec } i = \frac{\sqrt{Iz}}{B} = 0,057 \rightarrow \lambda = 36,84$$

on a $35 < \lambda < 50$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{985}{1 + 92 \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} = 0,696$$

On suppose que les charges seront appliquées après 28 jours.

$$\Rightarrow \alpha = \frac{0,696}{1,1} = 0,632$$

$$\Rightarrow Asc = \left[N_u - \frac{\alpha B r f c 28}{0,9 \gamma_b} \right] \times \frac{\gamma_s}{\alpha f_e}$$

$$Asc = \left[9,68 \cdot 10^{-2} - \frac{0,632 \times 0,0324 \times 25}{0,9 \times 1,5} \right] \times \frac{1,15}{0,632 \times 400}$$

$$\Rightarrow Asc = Amin = \max \left(4\mu \frac{0,2B}{100} \right)$$

$$\Rightarrow Asc = 3,2 \text{ cm}^2$$

soit 4 HA 12.

Semelles :

On a deux semelles.

$$\text{Dimensions} \begin{cases} \text{longueur} = 80 \text{ cm} \\ \text{Largeur} = 80 \text{ cm} \\ \text{Epaisseur} = 20 \text{ cm} \end{cases}$$

Hypothèses

Contrainte admissible du sol.

$$Q = 15 \text{ t/m}^2$$

Charges

- Charges amenées par le poteau : $N_s = 6,99 \text{ t}$

- Poids propre poteau : $2,1 \times 0,2^2 \times 2,5 = 0,21 \text{ t}$

- Poids propre semelle : $0,8^2 \times 0,2 \times 2,5 = 0,32 \text{ t}$.

\Rightarrow charge totale.

$$P_s = 7,52 \text{ t}$$

Vérification du sol.

$$Q_{\text{vef}} = \frac{P_s}{a^2} = 11,73 \text{ t/m}^2 < 15 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{ok}$$

sections d'armatures.

$$A = P_u \times \frac{a' - a}{8d} \times \frac{1}{f_e / \gamma_s}$$

$$\text{on } P_u = 5,98 \times 1,35 + 1,64 \times 1,5 = 10,398 \text{ t}$$

$$\Rightarrow A = 1,5 \text{ cm}^2$$

Soit 4 HA 8, e = 20 cm.

Poutre du bassin de dissipation.

Cette poutre travaille en flexion composée.

On a la pression de l'eau sur la parois et la charge des cascades.

Charges :

Eau : $P_e = \frac{1}{2} \gamma h l = \frac{1}{2} \times 1 \times 1,2 \times 4 = 2,4 \text{ t/ml.}$

Cascades : $\frac{6,99}{2} = 3,495$

Sollicitations : $M_s = \frac{3,495 \times 4^2}{8} = 6,99 \text{ t.m.}$

Moment dû à l'eau : $N = 2,4 \times 0,4 = 0,96 \text{ t.m.}$

$\Rightarrow M_t/A_s = M_s - N = 6,03 \text{ t.m.}$

Poutre d'épaisseur = 40 cm et largeur $b_0 = 20 \text{ cm.}$

$\Rightarrow \mu_s = \frac{nM}{b_0 d^2 \sigma_s} = 0,228$

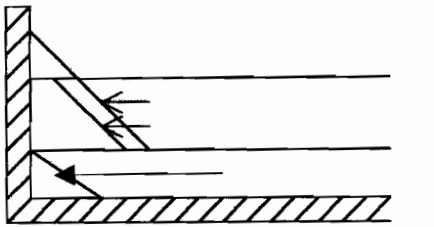
$\Rightarrow \alpha = 0,516 \Rightarrow z = 0,29 \text{ m}$

$A = \frac{M}{z \sigma_s} = \frac{6,03 \times 10^{-2}}{0,29 \times 14,3} = 12,89 \text{ cm}^2$

Soit 9 HA 14

CALCUL DE BETON ARME

Dimensionnement du bassin de filtration



Hypothèses

Sable de filtration très lâche $\Rightarrow \phi = 25^\circ$

$$\Rightarrow \begin{cases} K_{ca} = 0,406 \\ \gamma_s = 1,2 \text{ t/m}^3 \end{cases}$$

la portée de 7,10 m est divisée en deux. Elle comporte un poteau de 15 cm en son milieu.

Pour notre étude, nous considérerons une longueur de portée de 3,475 m.

- Détermination des charges

* Pression de l'eau au dessus du plancher de filtration, P_{e1} .

$$P_{e1} = \frac{1}{2} \gamma_e h^2 l = 5,32 \text{ t}$$

$$\text{Point d'application : } \bar{z} = 0,6 + \frac{h}{3} = 0,6 + \frac{1,75}{3}$$

$$\Rightarrow \bar{z} = 1,18 \text{ m.}$$

* Poussée de la masse filtrante. P_s

$$\text{à } z = 0,85 \text{ m du haut : } \sigma_{ha} = \gamma K_{ca} = 4,14 \text{ KPa}$$

$$\text{à } z = 1,75 \text{ m du haut : } \sigma_{ha} = \gamma K_{ca} = 8,53 \text{ KPa.}$$

$$\Rightarrow P_s = \frac{1}{2} (4,14 + 8,53) \times 0,9 \times 3,475 = 19,81 \text{ KN} = 1,98 \text{ t.}$$

$$\text{Point d'application } \bar{z} = 0,6 + 0,39 = 0,99 \text{ m}$$

* Poussée d'eau filtrée

$$P_{er} = \frac{1}{2} h^2 l = \frac{1}{2} \times 1 \times 0,5^2 \times 3,475 = 0,434 \text{ t.}$$

$$\text{Point d'application } \bar{z} = \frac{0,5}{3} = 0,17 \text{ m}$$

- Calcul des sollicitations

Pour le calcul des sollicitations, on fera le calcul par rapport à la base du bassin.

* Moment dû à la poussée hydraulique

$$M_{e1} = p_{er} \times \bar{z} = 5,32 \times 1,18 = 6,28 \text{ t.m}$$

* Moment dû à la poussée du sable

$$M_s = p_s \times \bar{z} = 1,98 \times 0,99 = 1,96 \text{ t.m}$$

* Moment dû à l'eau filtrée

$$M_{er} = p_{er} \times \bar{z} = 0,434 \times 0,17 = 0,074 \text{ t.m}$$

Donc le moment global par rapport à la base du bassin est $M_0 = M_{e1} + M_{es} + M_{ez}$

$$\Rightarrow M = 8,314 \text{ t.m.}$$

- Ferrailagehypothèses :

Epaisseur des parois = 30 cm

Béton : $f_{c28} = 25$ MPaAcier : $f_e = 400$ MPa

Enrobage = 5 cm.

- Détermination des aciers d'encastrement des parois.

Fissuration très préjudiciable.

$$\bar{\sigma}_s = 0,8 \times \min \left\{ \frac{2}{3} f_e ; \max \left\{ 0,5 f_e ; 110 \sqrt{\eta f_{ij}} \right\} \right\}$$

avec $\eta = 1,6 \rightarrow$ acier haute adhérence

$$f_{ij} = 0,6 + 0,06 \times f_{c28} = 2,1 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow \bar{\sigma}_s = 161,3 \text{ MPa}$$

$$\mu_s = \frac{n M_{ser}}{b d^2 \bar{\sigma}_s} = \frac{15 \times 8,314 \cdot 10^2}{1 \times 0,25^2 \times 161,3} = 0,123$$

$$z = d \left(1 - \frac{\alpha}{3} \right)$$

$$\text{avec } \alpha^3 - 3 \alpha^2 - 6 \mu_s \alpha + 6 \mu_s = 0.$$

$$\Rightarrow \alpha = 0,401 \Rightarrow z = 0,25 \left(1 - \frac{0,401}{3} \right) = 0,21 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{M_{ser}}{z + \bar{\sigma}_s}$$

$$A_s = 24,54 \text{ cm}^2$$

Soit 2 x 8 HA 14

$$e = 12,5 \text{ cm.}$$

- Détermination des aciers du radier.

Pour le radier, la charge considérée est celle due au poids de l'eau filtrée uniquement plus celui du radier propre.

Charges : Poids de l'eau : $P_e = \gamma h l = 1 \times 0,5 \times 1,55 = 0,775 \text{ t/ml}$

Poids propre radier : $P_r = \gamma h l = 2,5 \times 0,5 \times 1,55 = 0,775 \text{ t/ml.}$

Poids total à considérer : $P_s = P_e + P_r = 1,55 \text{ t/ml.}$

- Sollicitations

$$l_x = 1,55$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{l_x}{l_y} = 0,218 < 0,4$$

$$l_y = 7,10$$

On considère le cas d'une poutre de portée l_x .

$$\Rightarrow M_s = \frac{P_s l^2}{8} = \frac{1,55 \times 1,55^2}{8} = 0,465 \text{ t.m}$$

- Ferrailage :

$$M_s = 0,465 \text{ t.m} = 4,65 \text{ kN.m}$$

$$N = 1000 \times \frac{1,75^2}{2} = 1531,25 \text{ kg/m} = 15,3125 \text{ KN/m}$$

$$e = \frac{N}{M} = 0,3 > 0,2$$

$$\Rightarrow M_t/as = M_s - N \times 0,05 = 3,8845 \text{ KN.m.}$$

$$\mu_s = \frac{nM}{bd^2\delta_s} = 0,016055$$

$$\lambda = 1+2 \mu_s = 1,032; \cos \varphi = \lambda^{-3/2} = 0,95 \Rightarrow \varphi = 17,5$$

$$\alpha = 1+2 \sqrt{\lambda} \cos\left(240 + \frac{\varphi}{3}\right) = 0,168 \Rightarrow z = 0,141 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{M}{z\sigma_s} + \frac{N}{\sigma} = \frac{0,8845 \cdot 10^{-3}}{0,141 \times 161,3} + \frac{15,312 \cdot 10^{-3}}{161,3} = 1,7 \cdot 10^{-4} + 0,95 \cdot 10^{-4}$$

$$\Rightarrow A_s = 2,65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 2,65 \text{ m}^2$$

soit 6 HA 8/ml.

* Détermination des aciers de la dalle de filtration.

Charges

Sur la dalle, on a le poids de l'eau, le poids de la masse filtrante et le poids propre du plancher.

Poids eau : $P_e = \gamma h l = 1 \times 1,75 \times 1,55 = 2,71 \text{ t/ml.}$

Poids masse filtrante : $P_s = \gamma_s h l = 1,2 \times 1,75 \times 1,55 = 3,26 \text{ t/ml.}$

Poids propre : $P_p = \gamma_{bet} \times h \times l = 2,5 \times 0,25 \times 1,55 = 0,6 \text{ t/ml}$

\Rightarrow Poids total $P_T = P_e + P_s + p_p = 6,57 \text{ t/ml.}$

Sollicitations

$$l_x = 1,55$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{l_x}{l_y} = 0,22 < 0,4$$

$$l_y = 7,10$$

on se met dans le cas d'une poutre de portée égale à l_x .

$$\Rightarrow \text{Moment } M = \frac{P l_x^2}{8} \Rightarrow 1,97 \text{ t.ml.}$$

- Ferraillage

$$M = 1,97 \text{ t.ml} = 19,7 \text{ KN.m.}$$

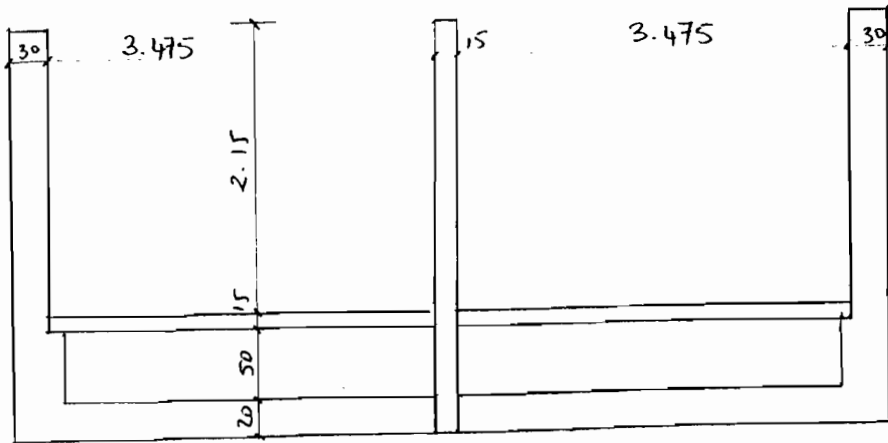
$$\mu_s = 0,183 \Rightarrow \alpha = 0,4773 \Rightarrow z = 8,403 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{M}{z\sigma_s} = \frac{19,7 \cdot 10^{-3}}{0,08409 \times 161,3} = 14,5 \text{ cm}^2$$

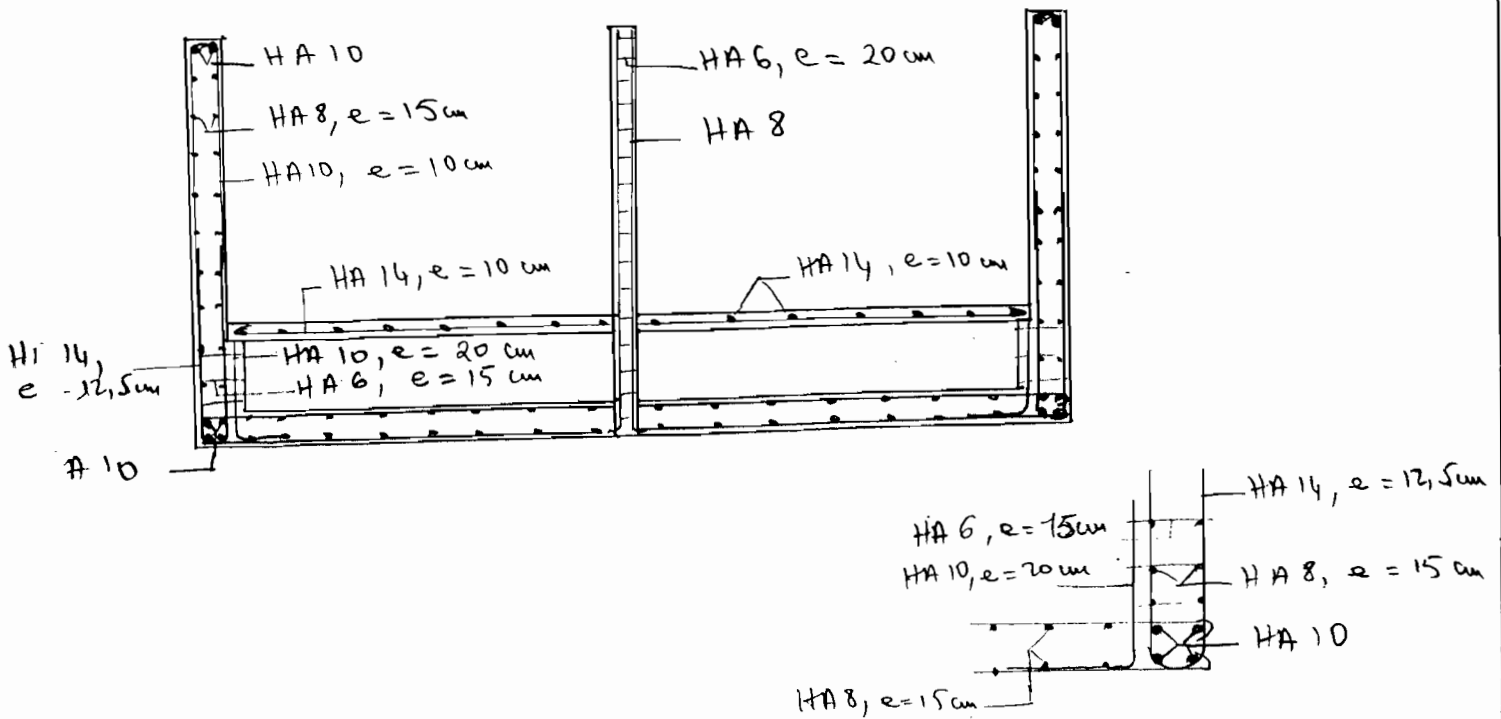
Vérification de l'effort tranchant au niveau des appuis.

$$P_u = 1,35 (0,60 + 3,26) + 1,5 (2,71) = 9,276 \text{ t/ml.}$$

$$V_u = P_u \frac{l}{2} = 9,276 \times \frac{1,55}{2} = 7,19 \cdot 10^4 \text{ N}$$



Schema de Coffrage.



Schema de ferrailage.

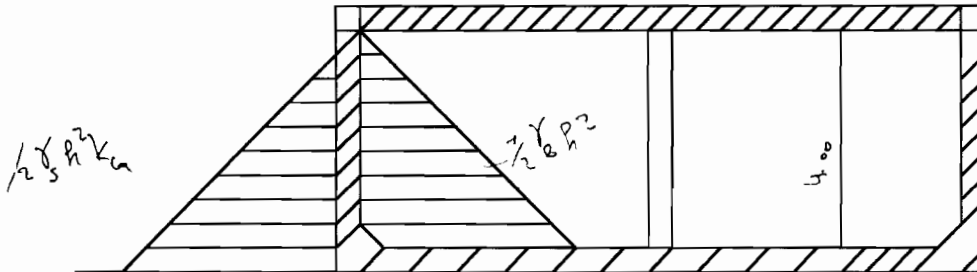
$$\tau_u = \frac{V_u}{b_0 d} = \frac{7,19 \cdot 10^4 \times 10^{-6}}{1 \times 0,05} = 0,719 \text{ MPa} < \min \begin{cases} 0,10 f_{c28} = 2,5 \text{ MPa} \\ 4 \text{ MPa} \end{cases}$$

⇒ ok !

$$\sigma_{\text{moy}} = \frac{V_u}{1 \times 0,05} = 1,438 \text{ MPa}$$

CALCUL DE BETON ARME

Dimensionnement du réservoir d'eau traitée



Hypothèse

Terre compacte

$$\left\{ \begin{array}{l} \phi = 30 \\ Kca = 0,33 \\ \gamma_s = 1,8 \text{ t/m}^3 \end{array} \right. \quad \text{eau } \gamma_e = 1 \text{ t/m}^3$$

→ Poussée des terres

$$P_s = \frac{1}{2} \gamma_s h^2 \rightarrow P_s = 4,72 \text{ t/ml.}$$

Le dimensionnement de la bache à eau se fera dans les conditions suivantes :

- Bache à eau remplie
- Excavation non remblayée

⇒ Pression à considérer : pression de l'eau $P = 8 \text{ t/ml.}$

Dimensionnement :

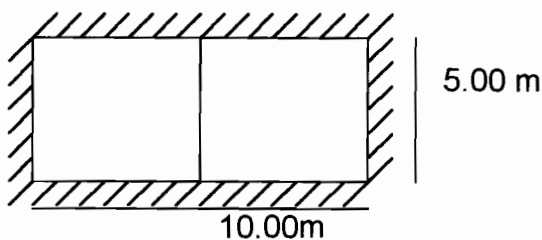
- Epaisseur des parois = 30 cm
- Caractéristiques matériaux
 - $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$
 - $f_e = 400 \text{ MPa}$
- Condition de fissuration très préjudiciable
- Enrobage des aciers = 5 cm
- Epaisseur du radier = 20 cm

sollicitations

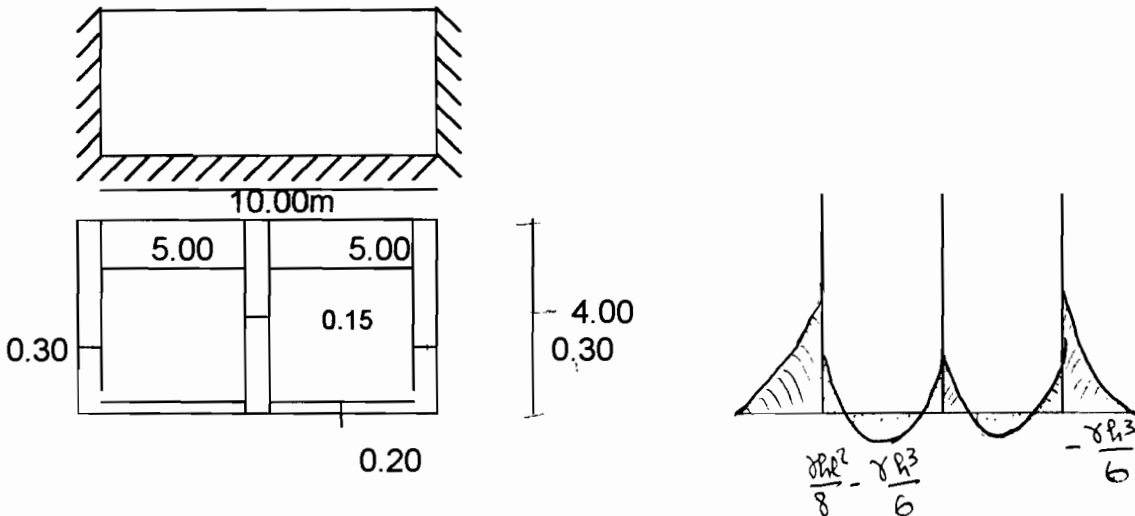
Expression des moments sollicitants

- Modélisation

* Vue en plan du radier



* Vue latérale parois verticales



Moment d'encastrement : $\frac{\gamma h^3}{6} = 10,67 \text{ t.m.}$

Moment travée radier dû à l'eau : $\frac{\gamma h l^2}{8} - \frac{\gamma h^3}{6} = 1,83 \text{ t.m.}$

Poids d'un mètre carré de radier $P_1 = \gamma_{bit} \times h = 0,5 \text{ t/m}^2$.

⇒ moment dû au poids propre du radier $M_1 = \frac{\rho l^2}{8}$

$M_1 = \frac{0,5 \times 25}{8} = 1,6 \text{ t.m.}$

⇒ moment total sur radier $M = 1,83 + 1,6 = 3,43 \text{ t.m.}$

- Ferrailage

* Encastrement : $M = 10,67 \text{ t.m.}$

⇒ $\mu_s \frac{n M_{ser}}{b o d^2 \sigma_s} = 0,159 \Rightarrow \alpha = 0,453 \Rightarrow z = 0,21 \text{ m}$

⇒ $A_s = 31,50 \text{ cm}^2$

soit $\alpha \times 11 \text{ HA } 14, e = 10 \text{ cm.}$

* Radier : $M = 3,43 \text{ t.m.}$

⇒ $\mu_s = 0,142 \Rightarrow \alpha = 0,433 \Rightarrow z = 0,12 \text{ m.}$

⇒ $A_s = 17,72 \text{ cm}^2$

Soit $\alpha \times 8 \text{ HA } 10$

$e = 12,5 \text{ cm}$

* Mur séparateur

ce mur est soumis à l'action de deux forces antagonistes de même intensité.

Donc son équilibre et sa stabilité sont garantis. Son épaisseur est fixée à 15 cm.

Son ferrailage se fera donc avec la condition de non fragilité. C'est à dire avec des armatures minimales et suivant les dispositions constructives.

Ainsi on a pour l'encastrement ;

$A_{st} = 10 \text{ HA } 10, e = 10 \text{ cm.}$

* Dalle couvercle.

- Epaisseur dalle : 20 cm.

- Béton : 350 CPA → $\gamma_{bet} = 2,5 \text{ t/m.}$

charges :

Permanentés : Poids propre de la dalle.

$P = 5 \times 2,5 \times 0,2 = 2,5 \text{ t/ml}$

Variables : on prend le cas des parcs de stationnement de voitures légères

$$Q = 2,5 \text{ KN/m}^2 = 0,25 = 1,25 \text{ t/ml}$$

$$\text{Combinaison} \quad P_s = P + Q = 2,5 + 1,25$$

$$\Rightarrow P_s = 3,75 \text{ t/ml.}$$

Sollicitations

$$\alpha \frac{I_x}{I_y} \text{ or } I_x = I_y \rightarrow \alpha = 1$$

$$\mu_x = 0,044$$

\Rightarrow

$$\mu_y = 1$$

$$\Rightarrow M_x = M_y = \mu_x I_x^2 = 0,044 \times 3,75 \times 5^2 = 4,125 \text{ t.m.}$$

Ferraillage

$$M_x = M_y = 4,125 \text{ t.m.}$$

\Rightarrow la section d'armatures suivant x est la même que celle suivant y.

$$\mu_s = 0,170 \Rightarrow \alpha = 0,466 \rightarrow z = 0,12 \text{ m.}$$

$$\Rightarrow A_s = 21,31 \text{ cm}^2 / \text{ml.}$$

Soit 14 HA 16, e = 9 cm.

Vérification du poinçonnement.

$$\text{Charge de poinçonnement } Q_u = 800 \text{ kg} = 0,8 \text{ t.}$$

$$\text{Surface de poinçonnement } S = 100 \text{ cm}^2 = 10 \times 10 \text{ cm.}$$

$$\text{Condition de non poinçonnement : } Q_u \leq 0,045 U_{ch} \frac{f_{cj}}{\gamma_b}$$

$$U_c = \text{périmètre du feuillet moyen} = 2(a+b).$$

$$\text{Or } a = b = a_0 + h = \lambda h_1 \quad \text{ici } h_1 = 0 \rightarrow \text{revêtement.}$$

$$\Rightarrow U_c = 4a = 4(a_0 + h) = 4 \times (10 + 20) = 120 \text{ cm} = 1,2 \text{ m.}$$

$$\gamma_b = 1,5 \quad f_{cj} = f_{c28} = 25 \text{ MPa.}$$

$$\Rightarrow 0,045 \times U_c \times h \frac{f_{c28}}{\gamma_b} = 0,045 \times 1,2 \times 0,2 \times \frac{25}{1,5} = 0,18 \text{ MN} = 18 \text{ t}$$

$$\Rightarrow Q_u < 18 \text{ t}$$

\Rightarrow pas de risque de poinçonnement.

Schéma de Coffrage et de ferrailage.

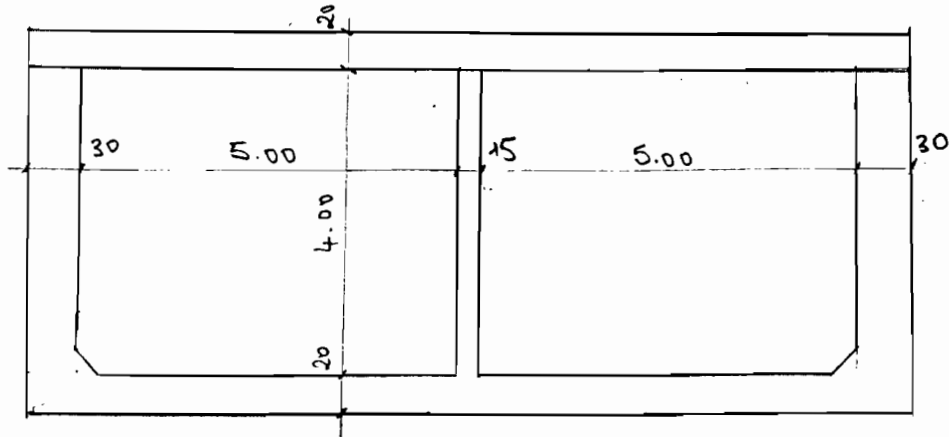


Schéma de Coffrage

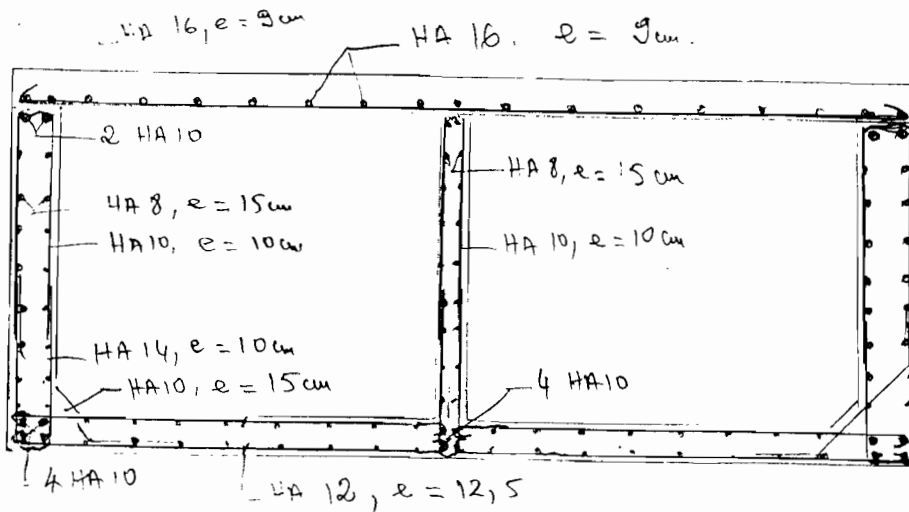


Schéma de ferrailage.