

GROUPE OFFICE CHERIFIEN DES PHOSPHATES

PÔLE MINES

DIRECTION DES EXPLOITATIONS MINIERES DE KHOURIBGA

DIRECTION TRAITEMENT ET EMBARQUEMENTS

DIVISION TRAITEMENT DAOUI - OUED ZEM



RAPPORT DE STAGE

EPANDAGE DES BOUES DE LAVAGE DES PHOSPHATES

Elaboré par : M. Jamal AMALIK

Responsable de stage

M. F. BENAMEUR

Parrain de stage

M. F. SMIDI

Juillet 2006

INTRODUCTION

L'enrichissement des phosphates pauvres par lavage-flottation occupe une place de plus en plus importante, et s'impose désormais comme une orientation stratégique au sein du pôle mine (on atteste les différents projets tels la laverie Youssoufia, Revamping laverie Daoui, Projet laverie MEA...). Ce type de procédé a néanmoins l'inconvénient de générer des quantités importantes de boues qui posent un réel problème de gestion.

Dans le cas de la laverie Daoui, ces rejets sont acheminés vers un décanteur industriel, afin de récupérer un maximum d'eau. Le résidu solide, encore chargé en eau, est envoyé par pompage vers six bassins d'épandage étalés sur une superficie totale de 60 Ha, situés à 1 km de la laverie, qui permettent le stockage des boues et la récupération des eaux surnageantes.

Ces bassins, dont le taux de remplissage est de 85%, sont constitués de digues en remblai et présentent actuellement des dérangements importants qui menacent leur stabilité et affectent leur fonctionnement.

Le traitement de la couche 3, prévu à partir du 4^{ème} trimestre de l'année en cours et riche en fine, va tripler le volume de boues généré à la sortie du décanteur.

Compte tenu de la durée de vie restreinte des bassins actuels (presque 7 mois), il est impératif d'engager des solutions d'améliorations immédiates par le confortement et le rehaussement des digues et la surélévation des cheminées de récupération d'eau. Ces actions vont nous permettre de prolonger leur autonomie de stockage, le temps d'aménager de nouveaux bassins, dans les règles de l'art et en capitalisant toute l'expérience acquises avec les bassins existants, en commençant par l'exploitation des terrains achetés à cet effet à proximité de la laverie et ensuite voir la possibilité d'aller vers les anciennes zones exploitées.

Une étude de chaque variante sera entreprise afin d'aboutir à la solution optimale.



SOMMAIRE

RODUCTION	1
<u>APITRE I : TRAITEMENT HUMIDE DES PHOSPHATES.....</u>	2
ISTORIQUE.....	3
PRESENTATION DU PROCEDE DE LAVAGE	3
.1 Descriptif du procédé de lavage.....	3
II.1.1 Débourbage.....	4
II.1.2 Criblage.....	4
II.1.3 Classification par hydrocyclones.....	4
II.1.4 Circuit des stériles.....	4
DESCRIPTIF DU PROCEDE DE FLOTTATION.....	5
I.1 Préparation de la pulpe.....	5
I.2 Conditionnement.....	5
I.3 Flottation inverse.....	6
DECANTATION DES BOUES DE LAVAGE.....	6
7. 1 Principe de décantation.....	6
7. 2 Flocculation.....	7
7.3 Gestion du circuit décantation-flocculation.....	8
ES DIFFERENTES POSSIBILITES DE STOCKAGE DES BOUES.....	9
.1 Stockage direct sans système de récupération d'eau.....	9
.2 Stockage dans les anciennes zones d'exploitation.....	9
.3 Stockage dans des bassins de décantation naturelle à proximité de la laverie.....	10
.4 Filtration des boues sur support puis stockage vers mise à teruil	10
CONCLUSION.....	10

PRESENTATION DU SUJET DE STAGE

EPANDAGE DES BOUES DE LAVAGE

Le lavage des phosphates à la laverie Sidi Daoui génère des quantités importantes de boues qui sont évacuées par pompage vers des bassins d'épandage, à proximité de la laverie, qui permettent le stockage des boues et la récupération des eaux surnageantes.

Dans le but de rationaliser le fonctionnement actuel des bassins d'épandage, en prévision de l'augmentation importante du volume des boues qui résulteront du traitement des phosphates TBT en provenance de la couche 3 de Sidi Chennane, il est demandé de :

- ☀ Effectuer un diagnostic de la situation actuelle des bassins d'épandage et de faire une analyse critique de leur mode d'exploitation.
- ☀ Proposer des solutions d'amélioration des bassins d'épandage en vue d'un recyclage maximum des eaux.
- ☀ Etudier les possibilités d'amélioration des bassins actuels à proximité de la laverie ou d'aller éventuellement vers les anciennes zones d'exploitation.

CHAPITRE I

TRAITEMENT HUMIDE DES PHOSPHATES

I. HISTORIQUE

La laverie de Sidi Daoui a été mise en service en 1972 pour l'enrichissement, par voie humide, des phosphates pauvres en provenance de la mine DAOUI.

Elle était composée de 5 chaînes de lavage identiques de capacité unitaire 110 t/h brut et une capacité annuelle de 3 MT et d'un décanteur de 90 m de diamètre. Elle a subi de multiples transformations qui lui ont permis d'atteindre des performances considérables aussi bien en production qu'en consommation spécifiques.

Après l'insertion d'un deuxième décanteur de 100 m de diamètre, d'une sixième chaîne et le remplacement du dispositif d'essorage, assuré auparavant par desessoreuses à panier vertical, par les convoyeurs séparateurs ; le débit horaire brut des chaînes a été ramené à 220 t/h réalisant ainsi une production annuelle de 6 MT sec et marchand par an.

En 2000, une nouvelle aire a commencé avec le démarrage réussi de la première unité industrielle de flottation, offrant ainsi de nouvelles perspectives pour la valorisation des niveaux très pauvres (type C3).

Avec le Projet Revamping (en cours de réalisation), les 6 chaînes traiteront les phosphates très basse teneur avec un débit brut de 280 t/h par l'introduction d'un atelier de broyage, une deuxième unité de flottation et un troisième décanteur.

II. PRESENTATION DU PROCEDE DE LAVAGE

II.1 Descriptif du procédé de lavage

La laverie UD peut être alimentée soit par le carreau TS (phosphate issu de la mine Daoui) ou à partir du parc de stockage El Wafi (phosphate issu de la mine Sidi Chennane)

Le but de lavage est d'enrichir le minerai en éliminant les tranches pauvres par simple coupure granulométrique, ces opérations sont réalisées par :

- Criblage en humide : à 2,5 μm pour éliminer les tranches grossières.
- Par hydrocyclonage : Pour éliminer les fines particules inférieures à 40 μm et isoler la tranche (40-125 μm) afin de subir un enrichissement par flottation.

Les principales phases de traitement sont les suivantes : (**Cf. annexe 1**)

II.1.1 Débourbage

C'est une opération qui consiste à malaxer le minerai de phosphate mis en pulpe dans un débourbeur tournant, afin de libérer par attrition les grains phosphatés de leurs gangues argilo-calcaire.

Le paramètre essentiel de cette phase est la dilution qui permet la destruction des agrégats attachés sur le minerai de phosphate.

II.1.2 Criblage

A la sortie du débourbeur (D_{15}), la pulpe subit un criblage (coupure haute) pour éliminer la tranche grossière (> 2.5 mm) qui est évacuée vers la mise à teruil de la laverie UD.

II.1.3 Classification par hydrocyclones

L'hydrocyclone est un classificateur centrifuge statique de forme cylindro-conique, alimenté tangentiellement sous pression dans sa partie cylindrique, avec une sortie tubulaire de surverse dans l'axe de la partie cylindrique et une ouverture de sousverse à la pointe du cône.

Tout hydrocyclone est alimenté en pulpe par une cuve qui assure la continuité d'alimentation des hydrocyclones moyennant des pompes.

Pour la laverie Sidi Daoui, les différentes coupures réalisées sont les suivantes :

- ✓ Une coupure intermédiaire à $125\ \mu\text{m}$ par deux cyclones en série (CY3 et CY600)
- ✓ Une coupure basse à $40\ \mu\text{m}$. au niveau de la batterie d'hydrocyclones (CY280)

II.1.4 Circuit des stériles

Les stériles secs (refus des cribles de la station de criblage du produit brut) ainsi que les stériles humides (refus des cribles des chaînes de lavage) sont acheminés par convoyeurs vers la mise à teruil.

III. DESCRIPTIF DU PROCEDE DE FLOTTATION

La flottation est un procédé de séparation de solides relativement récent basé sur les différences de propriétés des interfaces entre les solides, une solution aqueuse et les gaz (air).

L'implantation de l'unité industrielle de flottation à la laverie de SIDI DAOUI a pour but d'enrichir les tranches fines de phosphates (40-125 μ m) provenant de la laverie.




Elle consiste à flotter les carbonates (calcite : CaCO_3) et les silicates (SiO_2) et récupérer les phosphates avec les non flottants.

Le phosphate est déprimé par l'ajout de l'acide phosphorique. Les carbonates et les silicates sont collectés par l'ajout de l'ester et l'amine.

Le principe de fonctionnement de l'unité de flottation de sidi Daoui est subdivisé en trois phases principales (**Cf. annexe 2**):

III.1 Préparation de la pulpe

La pulpe à traiter est constituée de la tranche (40-125 μ m) issue de lavage qui va subir une préparation mécanique :

-  Premier deschlammage : Elimination de la tranche inférieure à 40 μ m par hydrocyclonnage qui est envoyé vers le décanteur.
-  Attrition : Libération des exo-gangues argilo-calcaire par friction en pulpe épaisse.
-  Deuxième deschlammage : Elimination par hydrocyclonnage de la gangue libérée lors de l'attrition.

III.2 Conditionnement

Le conditionnement de la pulpe, ainsi préparée consiste à :

- ✓ Déprimer l'apatite par l'ajout d'acide phosphorique H_3PO_4 .
- ✓ Collecter les carbonates par l'ajout d'ester.
- ✓ Collecter les silicates par l'ajout d'amine.

De ce fait, les carbonates et les silicates se sont devenus hydrophobes et présentent ainsi une grande affinité pour l'air que pour l'eau.

III.3 Flottation inverse

La pulpe conditionnée précédemment est introduite dans une cellule de flottation alimentée par des bulles d'air, les carbonates et les silicates vont se fixer sur ces bulles d'air et l'ensemble est flotté à la surface de la cellule.

La mousse (bulles d'air, silicates, carbonates) qui est le flotté est suffisamment arrosée pour permettre un abattage efficace avant d'être évacuée vers le décanteur. Par contre, le concentré de flottation (non flotté) sera le produit noble qui est épaissi avant de rejoindre les convoyeurs séparateurs, et par suite le stock lavé.

Remarque :

Les réactifs qui s'ajoutent doivent tout d'abord subir une préparation pour ramener leurs concentrations massiques à la valeur voulue pour chaque réactif.

IV. DECANTATION DES BOUES DE LAVAGE

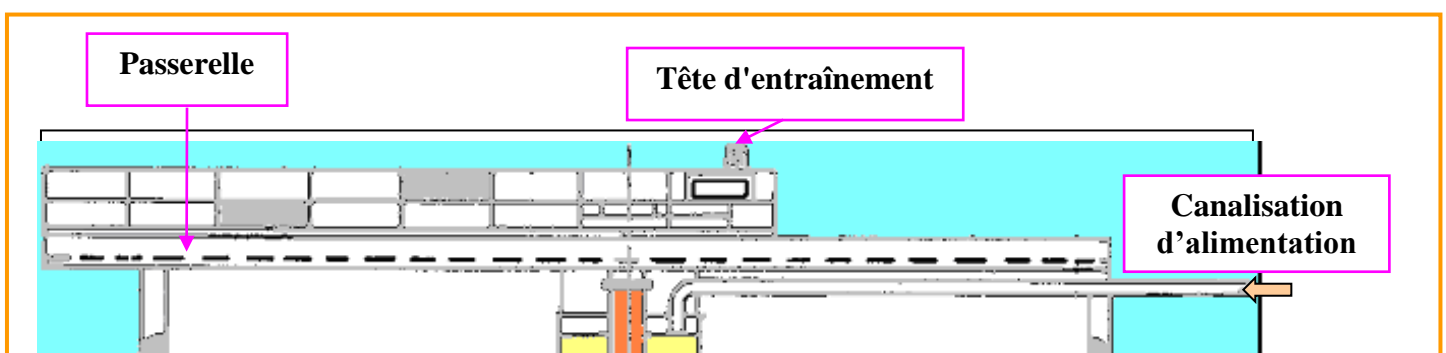
IV. 1 Principe de décantation

Les grains inférieurs à 40 μ m et les rejets de la flottation sont envoyés vers les décanteurs (D_1 et D_2) qui servent à épaissir la boue et récupérer une eau clarifiée.

Cette récupération se base sur le phénomène de la sédimentation des particules dans un milieu aqueux, avec une vitesse de chute suivant leurs densités. Il y a donc un mouvement des particules vers le fond du décanteur et une remontée du liquide clair vers la surface.

Le décanteur consiste en une grande cuve circulaire à fond conique. Il est muni d'un mécanisme de raclage animé d'un mouvement rotatif lent, qui entraîne les solides sédimentés vers la pointe centrale inférieure de l'appareil (Cf. figure suivante).

Le débordement des deux décanteurs déverse dans un bassin qui alimente les chaînes en eau de procédé. (Le complément d'eau de procédé nécessaire est assuré par des forages).



IV. 2 Floculation

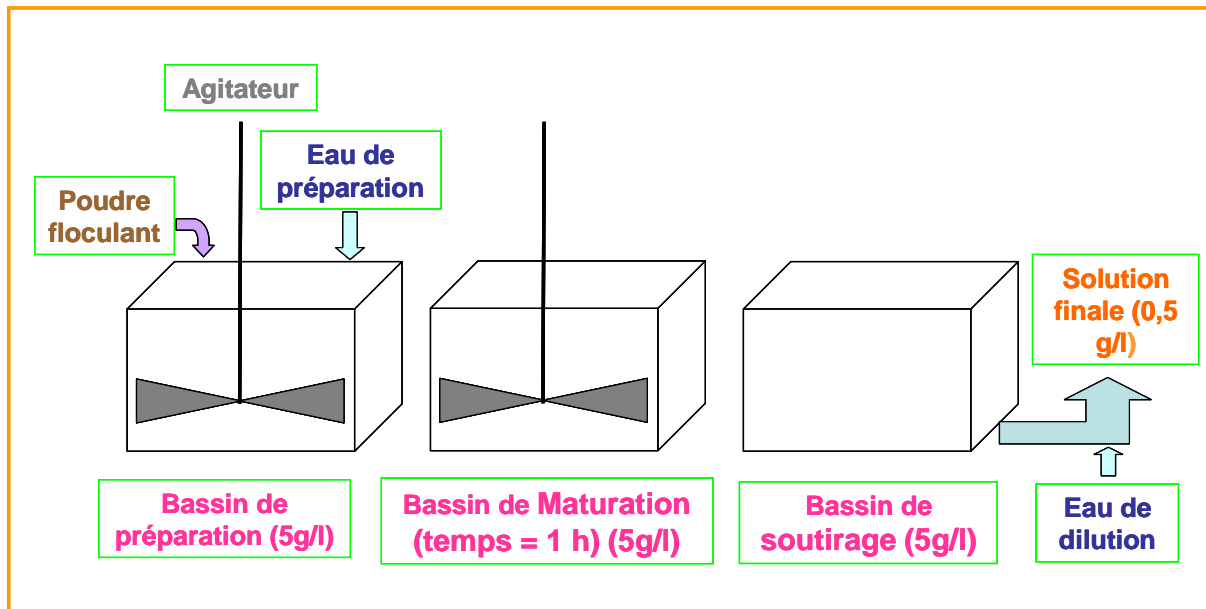
Les floculants sont des polymères organiques synthétiques macromoléculaires, solubles dans l'eau ; ils se présentent généralement sous forme de poudre. Ils se différencient les uns des autres par leur masse molaire, mais surtout par le signe et le degré de leur ionicité en solution aqueuse.

La station de floculation joue un rôle très important dans le recyclage des eaux usées, il a pour but de clarifier et augmenter la vitesse de décantation des boues argileuses.

Le floculant est préparé à froid dans une station de floculation qui comporte 3 bassins dont deux équipés d'un agitateur comme illustré dans la figure suivante:

- ❖ Bassin 1 : Où se fait la préparation de la solution diluée à 5 g/l, le floculant s'ajoute à l'aide d'un extracteur doseur à vis d'Archimède plus l'ajout de l'eau à l'aide d'une électrovanne; ensuite la solution est versée dans le 2ème bassin.
- ❖ Bassin 2 : Assure la maturation, avec un temps de séjour d'une heure qui rend la solution sous l'effet de l'agitation plus homogène, puis elle passe au 3ème.

- ❖ Bassin 3 : C'est la phase de stockage, il assure un débit constant et protège la pompe. Il est équipé de capteurs de niveau ; lorsque la solution atteint le niveau haut l'électrovanne s'arrête et lorsqu'elle atteint le niveau bas l'électrovanne s'ouvre et un nouveau cycle commence.



La solution subit une deuxième dilution, dans la conduite qui mène vers le décanteur pour ramener la dilution finale à 0,5 g/l.

IV.3 Gestion du circuit décantation-floculation

Pour arriver à une bonne gestion du circuit floculation-décantation, il faut assurer un bon débit et une concentration adéquate qui permettent d'évacuer les boues par les pompes et d'atteindre sa destination (bassins d'épandage) et ceci avec le minimum d'eau afin d'économiser d'avantage la consommation d'eau et en assurer une bonne récupération au niveau des bassins.

Pour remédier aux problèmes qui peuvent survenir lors d'une variation importante du débit ou de la concentration, on peut agir sur un ou plusieurs paramètres à savoir :

- ❖ L'ouverture ou la fermeture des vannes de purges ;
- ❖ La dilution à l'eau claire ;
- ❖ La modification de la répartition de la pulpe sur les deux décanteurs ;
- ❖ La modification de la répartition de la solution du flocculant entre les deux décanteurs.

V. LES DIFFERENTES POSSIBILITES DE STOCKAGE DES BOUES

V.1 Stockage direct sans système de récupération d'eau

Il s'agit de stocker la pulpe dans une digue sans bassin de décantation et système de récupération d'eau. Ce stockage minimiserait donc les coûts d'aménagement.

Toutefois, ce type de stockage nécessite une très grande surface, et présente un problème environnemental. Ce stockage ne permettrait pas une récupération de l'eau. Or, actuellement, l'économie d'eau à Khouribga est une priorité, dans le but de ménager les réserves.

Cette solution ne semble donc pas envisageable dans les perspectives de développement actuelles. Au Maroc, l'eau est une denrée rare qu'il faut protéger et préserver.

V.2 Stockage dans les anciennes zones d'exploitation

Des volumes disponibles créés par l'exploitation en découverte sont également présents à quelques kilomètres de la laverie. Ces espaces seraient plus favorables pour le stockage des boues. Toutefois, une étude sur les impacts environnementaux devrait être menée. Quelques travaux d'aménagement seraient également nécessaires.

Il serait également envisageable d'installer un système de récupération d'eau, moyennant là encore des travaux de génie civil. Mais compte tenu de la distance de pompage très longue (9 km pour la recette IV) séparant la laverie aux tranchées et les frais d'exploitation importants, cette solution sera reléguée au deuxième plan.

Cette variante sera tout de même étudiée plus en détail dans le chapitre V (partie IV) tout en présentant une rapide estimation des coûts liés à une telle solution de stockage en fin de rapport.

V.3 Stockage dans des bassins de décantation naturelle à proximité de la laverie

Ce stockage à proximité de la laverie permettrait de récupérer de l'eau après la décantation industrielle.

Différents bassins pourront être élaborés. Ils seront remplis à tour de rôle selon une période bien déterminée, qui permettra l'assèchement de la boue de

chacun d'entre eux, afin de minimiser les volumes de pulpe à stocker. Un procédé de récupération de l'eau est mis en place à la sortie de ces bassins.

Ce type de stockage permettrait de minimiser les coûts de transport de la pulpe et assurerait une récupération maximale de l'eau.

V.4 Filtration des boues sur support puis stockage vers mise à terril

Parmi les différentes solutions envisagées pour le traitement des boues de lavage des phosphates, on retient la filtration sur support. Ceci dit, la limitation de la capacité de ce type de technologie, nécessite l'installation de plusieurs unités pour faire face au débit qui devra être traité (des pointes de 490 T/h d'équivalent boue sèche), ce qui alourdirait l'investissement.

De plus l'énergie nécessaire (près de $1,8 \text{ kw/T}_{\text{boue}}$) donne lieu à des frais d'exploitation très importants. Sans oublier les problèmes que posera le stockage du gâteau épaissi.

VI. CONCLUSION

Après l'examen de ces différentes solutions, un stockage à proximité de la laverie avec récupération d'eau constitue le chemin incontournable dans la conjecture actuelle. Il permet non seulement la réduction des dépenses du transport des boues, mais surtout une économie considérable de l'eau. Cette voie sera développée dans le cadre de cette présente étude.

CHAPITRE II

PROJET REVAMPING DE LA LAVERIE SIDI DAOUI

I. OBJECTIF ET TRAITEMENTS PROJETES

A la mine découverte de Khouribga, l'exploitation concerne 5 couches de phosphate : Sillon B, sillon A, couche 0, couche 1 et couche 2. Cette dernière couche qui pauvre en BPL est enrichie à la laverie Sidi Daoui. Le mode de traitement utilisé consiste en un lavage-classification complété par l'enrichissement des fines naturelles (40-125 μm issues du lavage) par flottation.

Le but du "Projet Revamping de la laverie Sidi Daoui" est d'adapter les circuits de la laverie pour le traitement des minerais type C3 (en plus du traitement de la couche C2) avec une augmentation de la capacité des installations pour maintenir le potentiel de production de la laverie (compenser la chute du rendement poids de traitement de la C3 par rapport à celui de la C2 actuellement traitée à la laverie de Sidi Daoui).

La couche 3 qui forme la base de la série phosphatée est un niveau épais (3 à 4 m) et représente 25% des réserves du gisement d'Oulad Abdoun. Sa teneur en BPL est de 57 à 58% contre 62 à 67 % pour la couche 2.

Les modes de traitement font intervenir :

- Le lavage pour les minerais type C2 avec flottation des fines naturelles issues de lavage ;
- Le lavage-broyage et la flottation pour les minerais type C3.

Ainsi, les principales réalisations prévues sont :

- ❖ Construction d'un atelier de broyage et d'une nouvelle installation de flottation ;
- ❖ Revamping des chaînes de lavage avec intégration des hydroclassificateurs dans les circuits de traitement pour la coupure entre 300 et 500 μm (cas de la C3)

Les capacités de traitement retenues pour ces différentes installations ont été fixées comme suit :

- Le tonnage horaire à l'entrée de chaque ligne de lavage est de 280 t/h
- L'atelier de broyage sera constitué de deux lignes de broyage-classification d'une capacité de 120 t/h par ligne.
- La capacité à l'alimentation du nouvel atelier de flottation est de 240t/h. cet atelier traitera essentiellement les fines naturelles issues du lavage. L'extension de la capacité d'alimentation de l'atelier existant de 100 à 180 t/h permettra de traiter les produits issus du broyage.

II. DESCRIPTION DU PROCEDE

II.1 Ligne de lavage-classification

Chaque ligne de lavage-classification est constituée des stades opératoires suivants :

- La mise en pulpe (débouillage),
- Le criblage humide,
- La classification granulométrique.

Produisant ainsi :

- Un produit stérile (refus de criblage) envoyé vers la mise à terril,
- Un concentré de lavage envoyé par convoyeur vers le parc de stockage,
- Des boues de lavage vers le décanteur,
- Des fines naturelles destinées à être enrichies par flottation (cas du traitement des minerais type C3). Dans le cas des minerais type C2, ces fines naturelles issues de lavage peuvent, selon le profil du minerai traité, soit être enrichies par flottation soit tout simplement à être épaissies et mélangées au concentré de lavage.
- Dans le cas du minerai type C3, un produit grenu destiné à être enrichi par flottation après broyage.

II.2 Atelier de broyage (cas du minerai type C3)

Les fractions grenues (souveres des hydroclassificateurs) destinées au broyage, seront collectées, dans un bac commun au niveau de la laverie (à la sortie des hydroclassificateurs) pour alimenter, à l'aide d'une pompe, le bac C17 et la batterie d'hydrocyclones en tête de l'atelier de broyage. Le rôle de cette batterie est d'assurer la concentration requise pour l'alimentation des broyeurs. La souverse des hydrocyclones de cette batterie est déversée dans le bac tampon BT ayant pour rôle :

- D'assurer une alimentation régulière et stable des équipements en aval,
- De permettre à chaque chaîne de lavage d'alimenter indifféremment l'un des deux circuits de l'atelier de broyage.

En plus de ces équipements communs, l'atelier de broyage est constitué de deux lignes identiques comprenant chacune, un broyeur en circuit fermé sur un classificateur.

II.3 Atelier de flottation

Les deux ateliers de flottation (l'atelier existant et le nouvel atelier) comprennent chacun :

- ✓ Une batterie d'hydrocyclones deschlammeurs en tête d'attrition,
- ✓ Les machines d'attrition suivies de deschlammage à 40 μm ,
- ✓ Le conditionnement,
- ✓ L'opération de flottation proprement dite, suivie des opérations d'épaississement du concentré et des rejets de flottation.

III. MODES DE TRAITEMENT PREVUS

- Pour la couche 2, le mode de traitement adopté consiste en :

- ✓ Une coupure haute à 2,5 mm.
- ✓ Une coupure intermédiaire à 125 μm
- ✓ Une coupure basse à 40 μm .

Dans ce cas :

- Le produit supérieur à 2,5 mm constitue les rejets grossiers (mise à terril).
- En fonction du profil du minerai traité et des besoins en qualités marchandes, la fraction granulométrique (40-125 μm) sera soit enrichie par flottation soit épaissie et mélangée au produit (125-2500 μm) pour constituer le concentré de lavage.

- Dans le cas du minerai type C3, le mode de traitement prévisionnel consiste en :

- ✓ Une coupure haute à 2,5 mm.
- ✓ Une première coupure intermédiaire à 125 μm
- ✓ Une deuxième coupure intermédiaire à 400 μm (cette dernière peut varier selon les caractéristiques du minerai traité : entre 300 et 500 μm)
- ✓ Une coupure basse à 40 μm .

Dans ce cas :

- Le produit supérieur à 2,5 mm est évacué vers la mise à terril constituant ainsi les rejets grossiers.
- Le produit (100-400 μm) constitue le concentré de lavage

- Le produit grenu compris entre 400 μm et 2,5 mm sera enrichi par broyage et flottation.
- Le produit (40-100 μm) sera également enrichi par flottation.

- Dans les deux cas de traitement, minerais types C2 et C3, le produit fin inférieur à 40 μm constituant les boues de traitement ainsi que les rejets de flottation seront évacués vers le décanteur dont la souverse est évacuée vers les bassins d'épandage.

IV. BILAN MATIERE

Afin de déterminer le débit de la boue alimentant les bassins d'épandage, un bilan matière du traitement des couches 2 et 3 s'avère nécessaire.

IV.1 Bilan matière couche 2 (C2)

Le schéma suivant illustre les différents flux de l'unité lavage-flottation avec leur pourcentage massique.

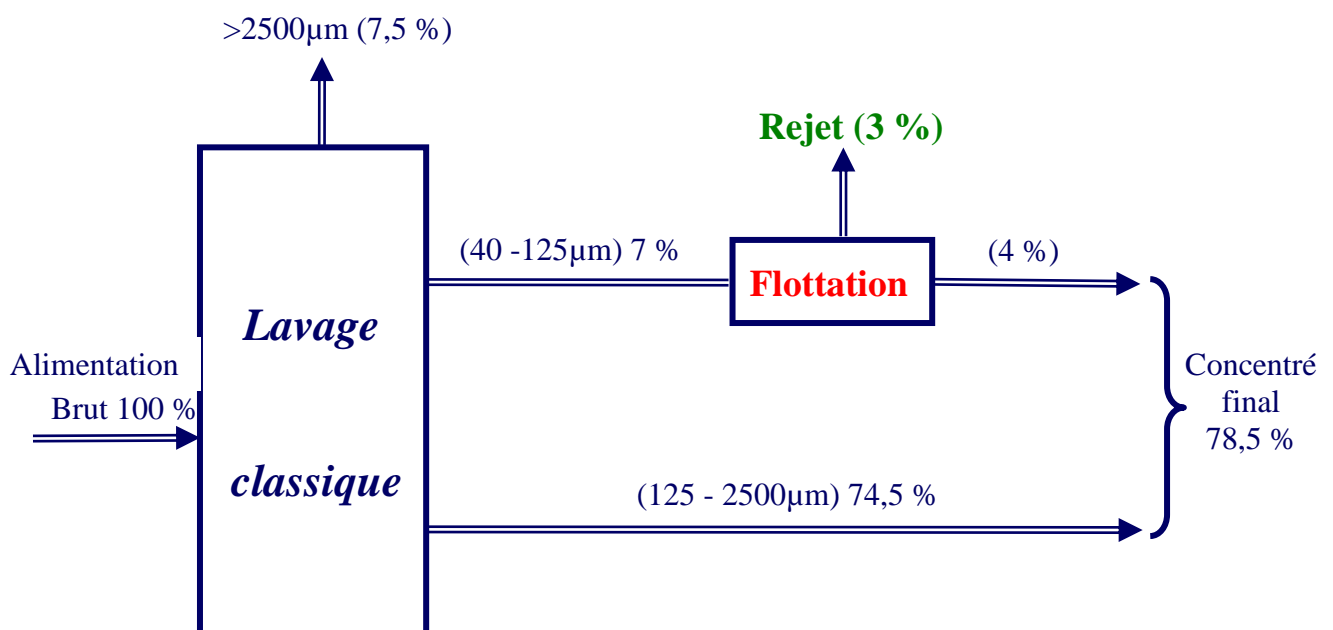
Le débit massique des particules solides alimentant le décanteur est la somme de celui récupéré à la surverse du cyclone 280 (<40 μm) et des rejets de la flottation soit 14% du débit d'alimentation.

Le débit d'alimentation de chaque chaîne de lavage est de 220 t/h avec un taux d'humidité de 14%, on déduit donc le débit d'alimentation du décanteur :
 $Q_{SD} = 6 \cdot (0,14 \cdot 220 \cdot 0,86)$

Soit $Q_D = 160 \text{ t/h}$

Et puisque la concentration de la boue à la sortie du décanteur est de $C = 0,350 \text{ kg/l}$, le débit volumique à la sortie du décanteur est de $Q_{SD} = Q_D / C$

Soit $Q_{SD} = 460 \text{ m}^3/\text{h}$



IV.2 Bilan matière couche 3 (C3)

Le schéma suivant illustre les différents flux de l'unité lavage-broyage-flottation avec leur pourcentage massique.

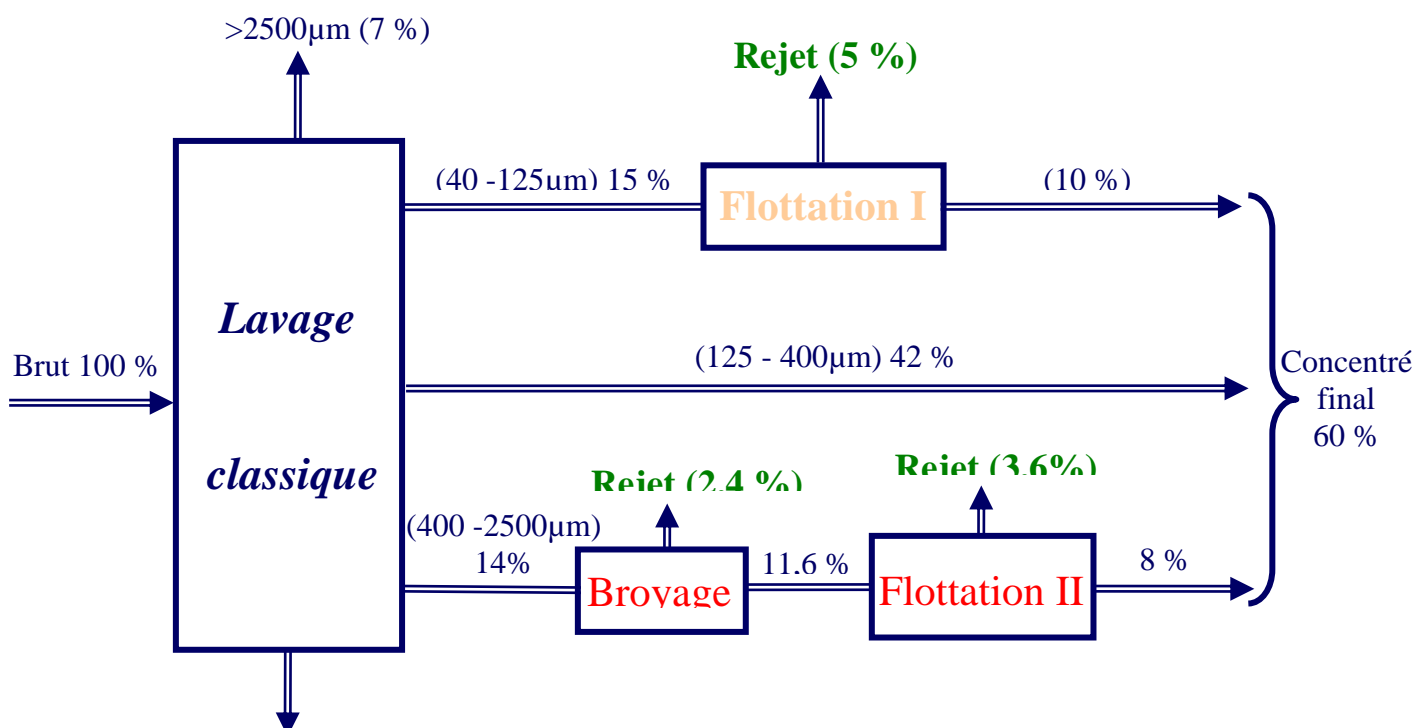
Le débit massique des particules solides alimentant le décanteur est la somme de celui récupéré à la surverse du cyclone 280 ($<40\text{ }\mu\text{m}$), des rejets du broyeur et des deux ateliers de flottation soit 33 % du débit d'alimentation.

Le débit d'alimentation de chaque chaîne de lavage est de 280 t/h avec un taux d'humidité de 14%, on déduit donc le débit d'alimentation du décanteur :
 $Q_{SD} = 6 \cdot (0,33 \cdot 280 \cdot 0,86)$

Soit $Q_D = 480\text{ t/h}$

Et puisque la concentration de la boue à la sortie du décanteur est de $C = 0,350\text{ kg/l}$, le débit volumique à la sortie du décanteur est de $Q_{SD} = Q_D / C$

Soit $Q_{SD} = 1370\text{ m}^3/\text{h}$



V. CONCLUSION

Le traitement de couche 2 génère une quantité de boue de l'ordre de 460 m³/h. Celui de la couche 3 engendre un débit horaire plus important, de l'ordre de 1400 m³/h ce qui représente le triple de celui généré par le traitement actuel de C2.

Les boues étant évacuées par pompage vers les bassins d'épandage, il faut redimensionner les pompes, les conduites de canalisations et les bassins de boues pour augmenter leur autonomie de stockage.

Avec le Projet Revamping, le traitement de la couche 2 nous permet une augmentation de la production de 30% passant de 220 t/h à 280 t/h. le débit de la boue à la sortie du décanteur va passer donc de 460 m³/h à 600 m³/h.

CHAPITRE III

DIAGNOSTIC DE LA GESTION ACTUELLE DES BASSINS DES BOUES

Introduction

La boue, à l'issue de l'étape de décantation, a une concentration moyenne d'environ 350 g/l. Cette concentration peut varier en fonction du produit utilisé et du niveau de boue dans le décanteur. La boue à la sortie du décanteur a donc une concentration massique variable, et est donc de débit variable. Elle est acheminée gravitairement jusqu'au bassin de boue situé à la sortie du décanteur.

Une fois l'origine des boues de lavage identifiée, on abordera dans ce chapitre leur processus d'évacuation.

Au préalable, on passera en revue l'historique de l'évacuation des boues.

Puis, on établira un diagnostic de la situation actuelle en faisant un état des lieux décrivant les bassins d'épandage, les conduites de canalisations et les pompes de refoulement.

Ensuite, on fera un inventaire des différents problèmes rencontrés.

Et enfin, on proposera les recommandations et les points essentiels à respecter afin d'assurer une bonne exploitation des bassins d'épandage pour une optimisation de la récupération d'eau.

I. HISTORIQUE DE L'EVACUATION DES BOUES

I.1 Evacuation gravitaire vers Oued Oum Rbia (1963 - 1989)

Avec la mise en service de la première laverie U.Z en 1962, la gestion des rejets de lavage est devenue un souci des plus préoccupants à Khouribga. Au début, le stockage des boues se faisait dans de petits bassins de topographie inadaptée et sans digue de retenue générale. Ce mode de stockage qui n'était pas maîtrisable et qui ne permettait pas d'évacuer les eaux claires, s'est vite avéré inadéquat. Ainsi, en 1963, la solution adoptée consistait à creuser un canal naturel servant à véhiculer gravitairement les boues de lavage sur une longueur de 92 Km, et traversant trois provinces (Khouribga, Béni Mellal et Settati) pour déverser dans le fleuve d'Oum Rbia.

L'activité d'entretien du canal était totalement sous-traitée y compris l'indemnisation des riverains. Cette réalisation s'est avérée peu adaptée : le transport nécessitait d'importants moyens humains (pour agiter la boue dans le canal afin d'éviter la sédimentation) et ne tenait aucun compte des problèmes environnementaux.

I.2 Evacuation gravitaire vers MEA (1989 - 2000)

Pour éviter l'envasement du barrage Al Massira situé à l'aval de l'exutoire, le déversement des boues à Oum Rbia a été arrêté. Une digue d'épandage de 150 ha de surface a été aménagée au nord de l'extension Zone Centrale Nord (secteur M.E.A) pour recevoir le produit à partir du mois d'août 1989. Au cours de la même année, l'OCP s'est chargé lui-même de l'entretien du canal dont la longueur devient 24 km de la laverie au lieu de 92 km, ce qui a permis de limiter les nuisances causées auparavant à l'oued Oum Rbia qui recevait ces effluents et aux paysages riverais par les débordements accidentels du canal.

Cette solution a été abandonnée en septembre 2000 du fait de :

- Plaintes de riverains liées aux fréquents débordements du canal
- Sabotage du canal des boues par les riverains, afin de profiter d'indemnités.
- Coût de la main d'œuvre trop important (affectation du personnel pour agiter la boue dans le canal afin d'éviter la sédimentation).
- Pertes d'eau importantes (il fallait diluer la boue pour permettre son écoulement et aucun système de récupération d'eau n'était prévu)
- Mobilisation de l'opinion publique autour des problèmes environnementaux.

I.3 Aménagement des bassins à proximité de la laverie en 2000

Une solution de remplacement du canal des boues est devenue nécessaire et très urgente. De nouveaux critères furent alors pris en compte lors de la conception du stockage des boues :

- ✓ Le domaine de stockage doit être situé à proximité de la laverie
- ✓ Le mode d'acheminement par voie gravitaire doit être remplacé, pour baisser les coûts de maintenance et éviter les désagréments pour les riverains
- ✓ L'eau doit pouvoir être récupérée en grande quantité afin d'être recyclée dans le processus de lavage. En effet la laverie est alimentée par une nappe d'eau potable, également utilisée par la ville de Khouribga. En période de sécheresse, le manque d'eau peut entraîner l'arrêt de la laverie.

Depuis septembre 2002, six bassins de capacité de 4,2 Mm³ sont en service pour le stockage des boues et sont situés à une distance de 1 km et une dénivelée de 10 m par rapport au niveau du décanteur.

Ce projet a résolu de façon radicale le problème du canal des boues qui était considéré, depuis son existence, comme un grave problème d'Environnement au niveau de Khouribga. De plus, la diminution de la consommation d'eau aura un effet direct sur les ressources de la nappe souterraine.

Ce dernier point présente deux aspects très importants :

- ⊕ Un aspect économique qui se matérialise par le recyclage de 2,4 Mm³ d'eau par an vers la laverie ;
- ⊕ Un aspect technique qui se manifeste par la diminution du volume occupé par la boue qui atteint un quart du volume initial

II. THEORIE SUR LA DECANTATION STATIQUE

La décantation statique fait appel à la sédimentation de particules solides dans un liquide, qui est habituellement de l'eau ou une solution aqueuse, sous l'action de la pesanteur. De nombreux facteurs régissent la séparation solide-liquide, dont les principaux sont :

- ✓ La taille des particules solides et leur distribution granulométrique : les particules les plus fines ont la vitesse de sédimentation la plus lente et les boues en résultant sont moins chargées en solide que lorsqu'il s'agit de particules grossières.
- ✓ La concentration en solide
- ✓ La différence entre les masses volumiques du solide et du liquide, la forme et les caractéristiques superficielles des solides, la viscosité du liquide, qui influent sur la vitesse de sédimentation.

Les particules peuvent sédimenter selon des régimes différents du fait que le comportement de chaque particule est influencé, à la fois par la dilution de la suspension et par les interactions entre les particules.

La théorie de sédimentation de solides fins dans un liquide, qui obéit à la loi de Stokes, montre que **la vitesse de chute d'une particule** est proportionnelle à la différence des masses volumiques entre la particule et le liquide et au carré de la dimension de la particule. Pour une concentration volumique en solide supérieure à 0,5%, les interactions entre particules interviennent dans la vitesse de sédimentation. La sédimentation est gênée et la vitesse de décantation freinée. Les particules adhèrent entre elles et la masse décanse en piston avec une interface nette entre les boues et le liquide surnageant. Théoriquement, pour calculer la vitesse de sédimentation, il faut faire intervenir la masse volumique et la viscosité équivalente de la suspension.

En régime laminaire ($Re < 1$) et en milieu newtonien, on peut admettre que la viscosité cinématique d'une suspension (ν_m) et sa masse volumique (ρ_m)

$$\nu_m = \nu_f * \frac{D + \frac{1}{\rho_s}}{D - D_{lim}} \quad \rho_m = \frac{D * \rho_f + 1}{D + \frac{1}{\rho_s}}$$

s'expriment approximativement à partir de celles du liquide (ν_f et ρ_f) suivant les relations :

Avec D : dilution de la suspension lors de la sédimentation

D_{lim} : dilution de la boue en fin de sédimentation

La dilution est le volume du liquide par unité de masse de solide sec.

En incluant ρ_m et ν_m dans l'équation de la loi de Stokes en régime laminaire, on obtient la valeur approximative de la vitesse limite de chute des particules en **suspension concentrée**, soit :

$$V_{lim} = 0.545 * \frac{(\rho_s - \rho_f) * (D - D_{lim}) * d^2}{(\frac{1}{D} + \rho_f) * (D + \frac{1}{\rho_s}) * \nu_f}$$

Avec d : diamètre de la particule

III. SITUATION ACTUELLE DES BASSINS D'EPANDAGE

III.1 Acheminement actuel vers les bassins de stockage

Une pompe permet l'acheminement des boues du bassin de récupération (à la sortie des décanteurs) aux bassins de stockage. Cette pompe a un débit de 400 m³/h. Un capteur permet de repérer la hauteur des boues dans le bassin de récupération, si elles atteignent le niveau haut une seconde pompe peut prendre le relais.

Deux conduites de canalisations en acier standard de 200 et 250 mm de diamètre conduisent les boues vers les six bassins d'épandage.

En cas d'arrêt de la laverie, une vidange à l'eau claire est nécessaire, pour empêcher la sédimentation dans les canalisations.

Si un autre incident technique se produit, l'évacuation des boues se fait à proximité de la laverie par le canal gravitaire vers une digue de retenue.

III.2 Situation actuelle des bassins d'épandage

III.2.1 Plan de situation

Les bassins sont situés à 1 km de la laverie (Cf. annexe 3)

III.2.2 Caractéristiques des bassins

Les bassins actuellement en service (septembre 2002) pour le stockage des boues sont au nombre de six et leur surface ne couvre que 15% des terrains achetés à cet effet. Ils sont situés à une distance d'environ 1.5 km de la laverie, d'une dénivelée de 10 m et sont prévus pour un stockage sur 6,5 ans.

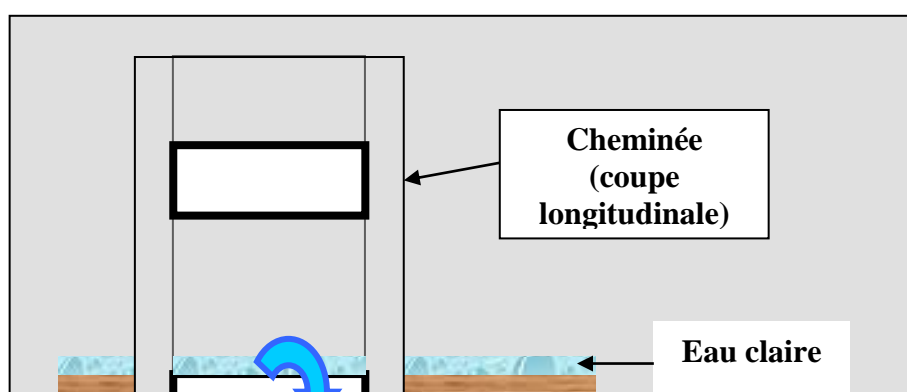
La surface totale des 6 bassins est de 60 ha : la surface minimale est de 6,65 ha pour le bassin n°3 et la surface maximale est de 16,15 ha pour le bassin n°6. La **profondeur initiale moyenne prévue** était d'environ **11 m**. les bassins sont creusés par explosifs dans les parties calcaires et par bulldozers dans les parties marneuses. Les remblais ont permis la construction des murs latéraux et centraux des bassins ainsi que l'élaboration d'une piste d'accès aux bassins.

Chaque mur latéral a été tassé par passages de bulldozers et des camions. La morphologie de la base des bassins varie en fonction des difficultés rencontrées lors du creusement. La **profondeur moyenne réalisée** n'est que de **7 m**. (min = 4,3 m pour le bassin n°1 ; max = 8,9 m pour le bassin n°6)

Les boues sont acheminées jusqu'aux bassins par le système de pompage. Chaque bassin comporte une alimentation en boue ainsi qu'une ou deux cheminée(s) permettant l'évacuation et la récupération d'eau claire.

La récupération d'eau est basée sur la décantation de la boue et l'évacuation du surnageant d'eau moyennant des exutoires. Un exutoire est une « cheminée » de hauteur de 10 m et de surface carrée de 2 m² de côté. Une ouverture de 40 cm est laissée le long de toute la hauteur de côté face de la boue.

L'ouverture est munie d'une glissière de chaque côté pour glisser des plaques d'acier à partir du sommet de l'exutoire. Ces plaques ont pour objectif de bloquer la boue d'en face. Le surnageant d'eau du bassin passe au-dessus de la plaque vers l'exutoire (Cf. figure suivante), puis récupéré au bas de la cheminée vers les conduites souterraines, qui déversent dans un bassin de collecte d'eau.



Cheminée de récupération d'eau

Lorsque la boue atteint le sommet de la plaque, on doit ajouter une autre. Afin d'accélérer la décantation, il faut alimenter chaque bassin en boue du côté opposé à celui où sont installés les exutoires.

III.2.3 Géologie du site




Les bassins ont été creusés dans les terrains du Sénonien. Le Sénonien est essentiellement constitué de marnes argileuses de couleur jaunâtre, imperméables avec quelques niveaux marno-calcaires. En dessous de ces formations, on retrouve les calcaires du Turonien. La série phosphatée est ici totalement érodée, ce qui explique que l'on retrouve ces deux étages.

Le Sénonien a une épaisseur d'environ 50 m. les bassins sont creusés à environ 30 m au dessus du toit des calcaires du Turonien ce qui garantirait l'imperméabilité en base du bassin.

III.2.4 Principe de fonctionnement

Les boues sont stockées à tour de rôle sur chaque bassin, ce système de rotation de remplissage des bassins permet le stockage et la décantation des boues et une optimisation de la récupération de l'eau.

Des essais ont démontré que le taux d'humidité de la boue après son assèchement est de 30% et qu'un bassin de :

-  60 cm de boue lui faut 30 jours pour qu'il soit séché.
-  80 cm de boue lui faut 40 jours pour qu'il soit séché.
-  1 m de boue lui faut 55 jours pour qu'il soit séché.

Le principe de fonctionnement est le suivant :

- Le bassin 1 est rempli pendant une période calculée au départ, en fonction du débit et des dimensions du bassin, jusqu'à ce que la boue ait atteint une hauteur d'environ 80 cm.

- Le bassin 2 est à son tour alimenté puis le 3 et ainsi de suite. Pendant ce temps, l'eau est récupérée dans le bassin 1 et la boue est séchée.
- Une fois le cycle achevé, on réintroduit une seconde couche de boue dans le bassin 1 et le cycle recommence.

Toutefois, la durée nécessaire de séchage étant d'au moins 40 jours d'où la nécessité de construire plusieurs bassins afin de créer une exploitation alternée dont le cycle dépasse les 40 jours.

Le processus a différents avantages :

- ✓ Un maximum d'eau est ainsi récupéré : environ 2000 m³ par jour de fonctionnement.
- ✓ Le volume de stockage est moindre : environ 28% du volume initial est conservé après la période de consolidation de la boue. Il ne reste en effet qu'environ 30% d'humidité dans les boues à l'issue du cycle.

L'eau claire récupérée dans chaque bassin est collectée de manière gravitaire jusqu'à un bassin de stockage de l'eau claire, avant d'être pompée vers la laverie.

III.2.5 Situation du stockage dans les six bassins actuels

Le tableau suivant montre la superficie, le volume initial, le volume stocké ainsi que le taux de remplissage de chaque bassin d'épandage :

Bassin	Superficie (ha)	Capacité de conception (Mm³)	Capacité opérationnelle (Mm³)	Volume stocké (Mm³)	Taux de Remplissage (%)
1	10,5	1,3	0,45	0,40	90
2	8,35	1,0	0,62	0,57	92
3	6,65	0,9	0,48	0,41	84
4	7,95	0,8	0,59	0,46	77
5	16,15	1,7	1,14	1,04	91
6	10,4	1,0	0,92	0,74	80
Total	60	6,7	4,2	3,6	85



Taux de remplissage des bassins d'épandage (fin janvier 2006)

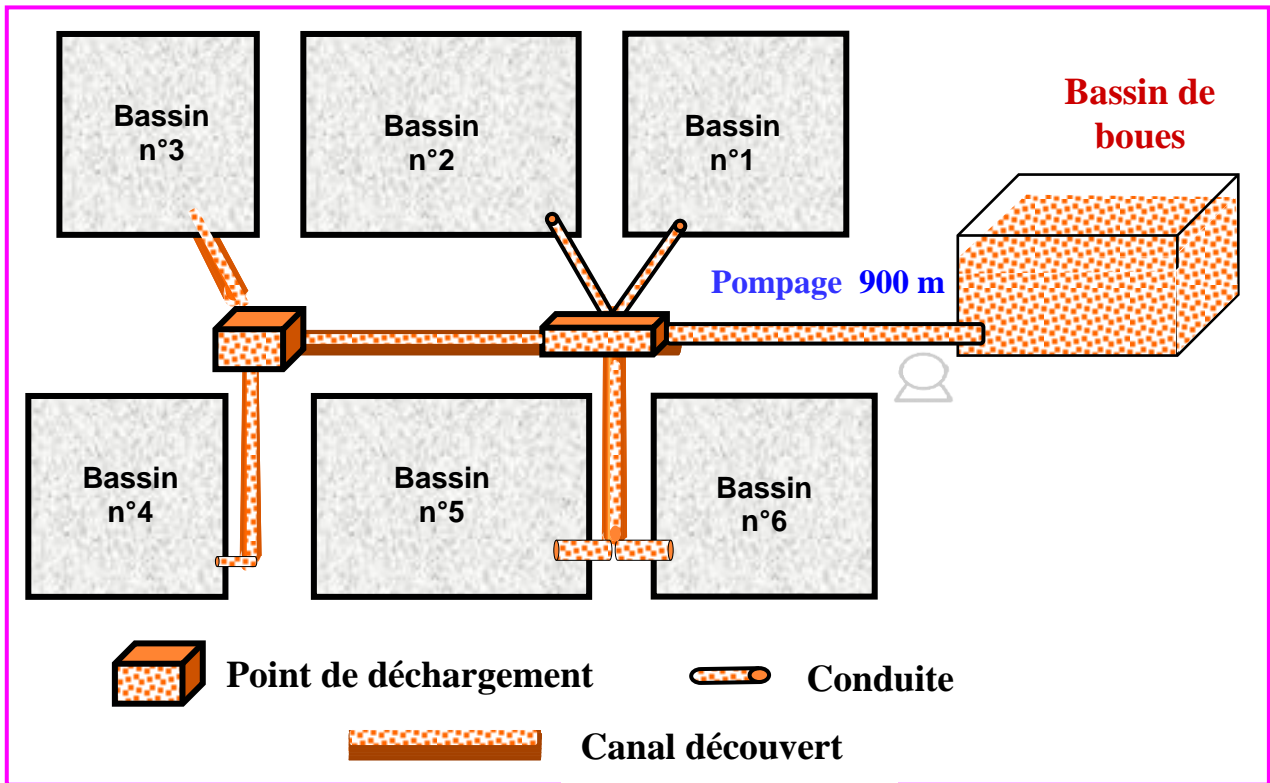
Le volume stocké à fin janvier 2006 est d'environ 3,6 Mm³ pendant une durée de 3,5 ans. Le volume restant à stocker est d'environ 0,6 Mm³, équivalent à 7 mois de stockage. La durée de vie prévue des six bassins est de 6,5 ans pour une capacité initiale de conception de 6,7 Mm³. Après la réalisation du projet par des moyens internes on s'est trouvé, suite aux difficultés rencontrées liées au sautage et au manque de moyens adéquats et d'expérience dans ce domaine et surtout à la rapidité d'exécution des travaux à cause de l'urgence de l'intervention, avec une capacité dite opérationnelle de 4,2 Mm³ qui correspond à 4,5 ans de stockage. On a donc un déficit de 6 mois par rapport à cette durée. Ceci est dû à la mauvaise conception et étanchéité des bassins, au non respect du cycle de leur remplissage et aux problèmes de pompage.

IV. PROBLEMES POSES

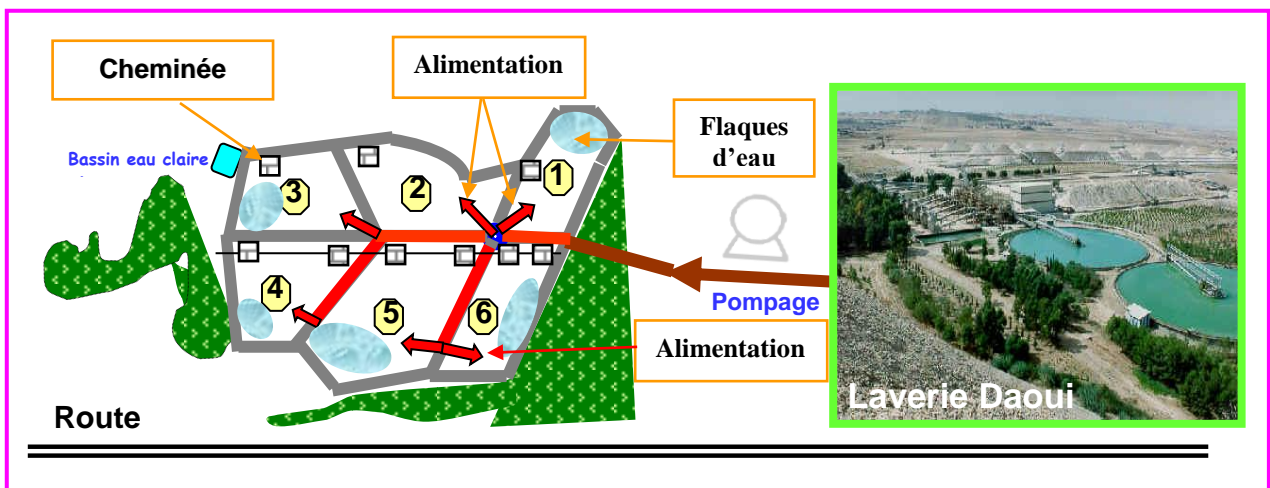
IV.1 Recensement des problèmes

Nous allons citer les différents problèmes rencontrés depuis l'exploitation des bassins d'épandage des boues de lavage.

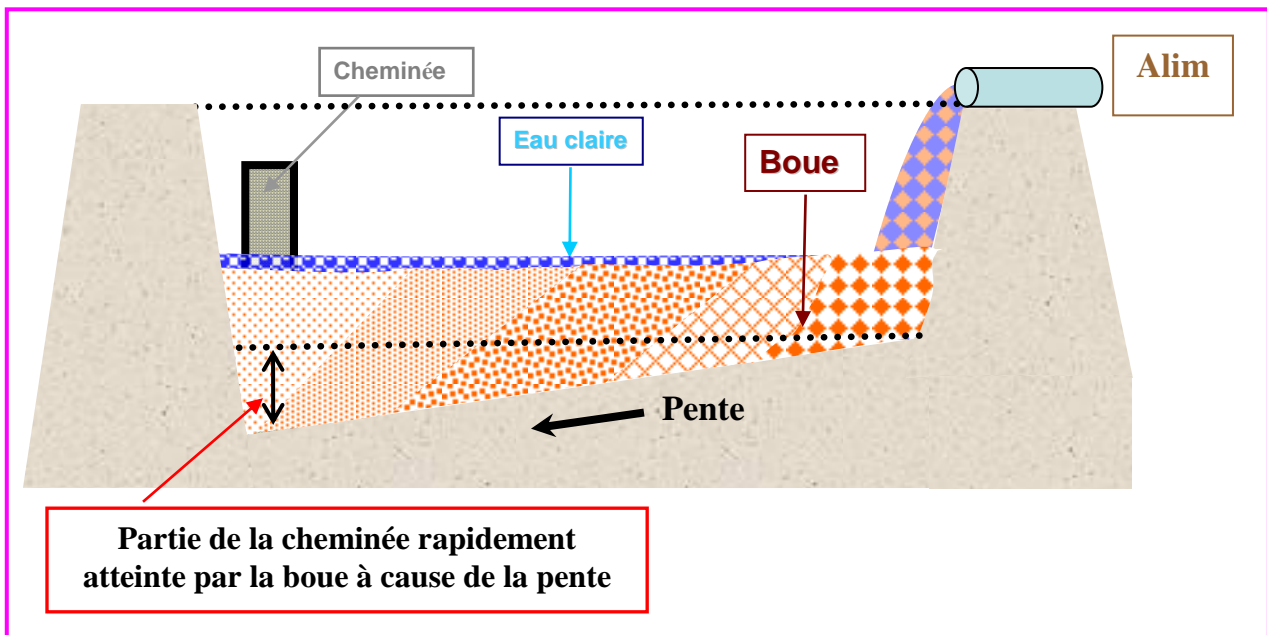
-  Problèmes de corrosion des conduites de canalisations suite à l'action de l'abrasivité ce qui provoque des fuites aux jonctions de canalisations.
-  Les pompes installées au niveau des décanteurs ont été dimensionnées au début pour le refoulement des boues jusqu'à un point de déchargement, situé à 900 m de la laverie, qui permet l'alimentation des bassins 1 et 2 (Cf. figure suivante). Un canal découvert était prévu pour l'acheminement de la boue de façon gravitaire dans les bassins 3, 4, 5 et 6 à partir du point de déchargement. Cette solution a été abandonnée car il fallait toujours mobiliser des agents pour agiter la boue dans la canalisation afin d'éviter la sédimentation. Actuellement, tous les bassins sont alimentés par pompage (la pompe n'a pas été redimensionnée) et par conséquent le débit dans les bassins 3 et 4 qui sont les plus loins est très faible, suite aux pertes de charges, et provoque un débordement du bassin des boues.



✚ Le niveau des boues dans les bassins 1, 5 et 6 a atteint actuellement le point d'alimentation, et, l'eau surnageante après décantation de la pulpe circule dans plusieurs parties loin des cheminées et par conséquent des quantités importantes d'eau sont stagnées formant des flaques d'eau à l'intérieur des bassins. Ceci est dû principalement à une mauvaise répartition de la boue due à des problèmes de conception des bassins et au nombre insuffisant et emplacement non adéquat du point d'alimentation. Ce qui nécessite la surélévation de ce point et l'ajout d'un autre supplémentaire là où il y a formation des flaques d'eau. (Cf. figure suivante)



- ✚ Lors de l'aménagement des bassins, le fond n'était pas nivelé : il y'avait une pente excessive de l'alimentation vers l'exutoire qui a été rapidement atteint par la boue. En effet, les particules solides ne sont pas uniquement soumises à leur propre poids mais aussi à la force liée à la pente. Par conséquent, les cheminées ainsi que les passerelles sont presque noyées ce qui présentent des risques d'accès et une mauvaise récupération d'eau et nécessitent la surélévation de la cheminée pour l'exploitation du bassin (Cf. figure suivante). Le bassin numéro 3 n'a pas de passerelle donnant accès à la cheminée.



- ✚ Infiltrations importantes à travers les murs de retenue (parois des bassins non compactées) qui sont responsables de dysfonctionnement structurels :
- Fissures en majorité longitudinales apparentes sur les crêtes qui atteignent jusqu'à 60 cm d'ouverture ;
 - Affaissement important de plusieurs parties des digues ;
 - Dégradation de l'état des murs. (érosion des talus et éboulement des parements des murs des bassins 4,5 et 6 qui sont de nature marneuse) ;
 - Véritables mares d'eau et de boue formées en arrière des digues.
 - Pertes d'importantes quantités d'eau.
 - Chutes des poteaux électriques

- ✚ La cheminée gauche sens d'écoulement du bassin numéro 4 est fissurée suite à l'action de la boue. La maçonnerie de la cheminée étant construite en pierre munie d'un enduit, sa résistance à la poussée qui lui est appliquée reste relativement faible. La passerelle donnant accès à la cheminée est détachée suite au choc de la fissure et un débit important de la boue a pris le chemin vers le bassin des eaux claires ce qui aurait pu, sans la vigilance et l'intervention rapide des agents en déviant son trajet, la contamination de l'eau claire ainsi que les pompes de refoulements. Cette fissure a occasionné des débordements aux alentours du bassin des eaux claires.
 - ✚ Présence des fuites de boues entre les plaques à l'intérieur de l'exutoire.
 - ✚ Position de l'échelle qui est un peu loin de l'ouverture et pose des problèmes lors de l'intervention de l'agent pour réparer les fuites de boue à l'intérieur de la cheminée.
 - ✚ Mauvaise récupération d'eau :
 - Dans le bassin numéro 1, l'eau ne s'écoule pas vers la cheminée de récupération car la position du point d'alimentation était mal placée.
 - Dans le bassin numéro 2, l'ouverture de la cheminée permettant la récupération d'eau est située au côté extérieur ce qui a saturé l'exutoire et créé des débordements vers l'extérieur.
 - L'eau récupérée au niveau des cheminées des bassins 1, 2, 3 est collectée dans une seguia aménagée à cet effet ce qui présente des pertes par infiltrations.
 - Débordement de l'eau de la seguia aménagée à la sortie du bassin 4 qui achemine l'eau récupérée des bassins 4, 5 et 6 vers le bassin des eaux claires.
- ⇒ Les eaux collectées des différents bassins doivent être évacuées à l'aide des conduites jusqu'au bassin des eaux claires.
- ✚ Le bassin des eaux claires est partiellement comblé par des boues décantées ce qui réduit sa capacité de stockage et de récupération de l'eau qui déborde dans la nature. Cette situation est davantage aggravée par la faible puissance des pompes installées pour l'évacuation de l'eau récupérée vers la laverie et le diamètre réduit des conduites de refoulement.

Remarques :

De nombreuses fentes de dessiccation sont observées au fond des bassins au cours de séchage. Ces fentes ne sont que superficielles. L'eau y pénètre en premier mais est chassée ultérieurement par la boue. Ce phénomène naturel ne semble donc pas avoir de grandes conséquences sur la qualité de stockage et de la récupération d'eau.

IV.2 Analyse des problèmes

IV.2.1 Analyse des problèmes structurels

Les affaissements constatés indiquent que la densité des remblais est inférieure à l'optimum proctor. En effet l'opération de mise en remblai a été effectuée sans compactage structuré par couches et sans compactage adéquat.

Les matériaux mis en remblai n'ont pas fait l'objet d'analyse pour s'assurer de leur conformité avant remblaiement. En effet, on constate qu'une bonne partie des digues est constituée de matériaux de nature marneuse non valables pour les remblais.

Les éboulements constatés au niveau des murs naturels sont dus d'une part à leur nature marneuse, en effet les marnes en présence d'eau perdent totalement leur cohésion, d'autre part à la nature des parements de ces murs qui ont été coupés verticalement sans angle de stabilité.

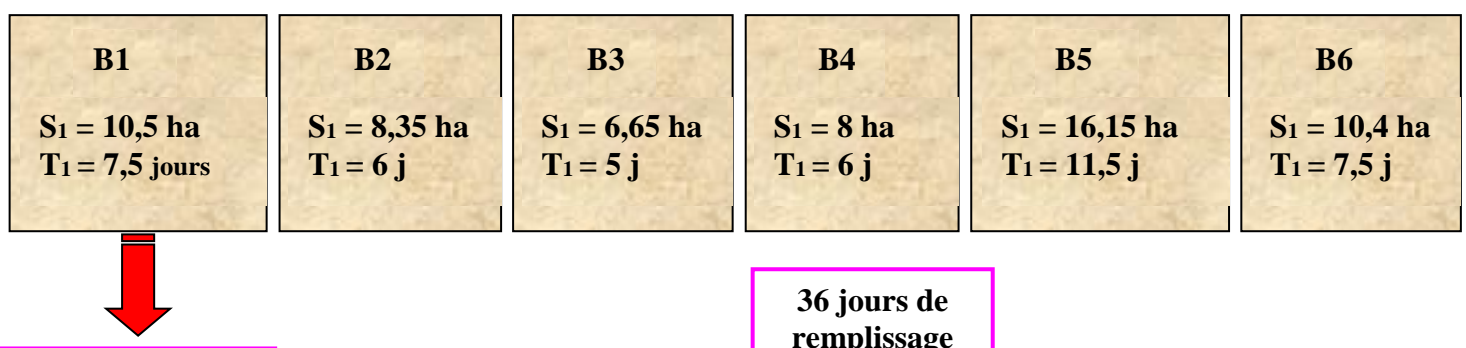
La présence des fuites dans les digues est due aux renards hydrauliques accélérés par l'existence de blocs de pierres et à la faible compacité des remblais ;

L'érosion des talus est due à l'absence d'un revêtement des talus type enrochements, toile, plantation...

IV.2.2 Analyse des problèmes fonctionnels

La saturation accélérée des bassins est due au non respect du cycle de remplissage des bassins. En effet la mauvaise récupération d'eau dans les bassins n°1,2 et 3 et le non redimensionnement des pompes qui ne parviennent pas à acheminer la boue vers le bassin 4 ont amené à favoriser le stockage dans les bassins 5 et 6.

Pour une bonne gestion de stockage, le cycle suivant est à respecter :



$T_i = (S_i \cdot h) / Q$ avec i est le numéro de bassin : $1 \leq i \leq 6$

T_i , S_i et h sont respectivement la durée de remplissage, la superficie et la hauteur de remplissage (60 cm) pour chaque bassin i . $Q = 350 \text{ m}^3/\text{h}$ est le débit horaire d'alimentation du bassin.

Ainsi, pour chaque bassin, on a une durée d'assèchement de la boue inférieure à la durée de remplissage des autres bassins.

Les problèmes de récupération d'eau à l'intérieur des bassins sont dus à l'insuffisance et à l'emplacement non adéquat des points d'alimentation ainsi qu'au manque de maîtrise du comportement des lignes d'écoulement des pulpes rejetées ;

Les cheminées de récupération d'eau claire présentent un mécanisme assez simple et fonctionnent de manière satisfaisante. Toutefois, leur utilisation est manuelle, ce qui n'optimise peut-être pas la récupération de l'eau. Par ailleurs, leur construction s'est avérée difficile et leur stabilité reste à surveiller.

Les pertes d'eau claire sont dues à l'insuffisance de la capacité de stockage d'eau claire (bassins de volume environ 50 m^3) et l'insuffisance de la capacité de pompage (débit environ $80 \text{ m}^3/\text{h}$) ;

CHAPITRE IV

AMELIORATIONS DES BASSINS ACTUELS

I. AMELIORATION DE LA RECUPERATION D'EAU

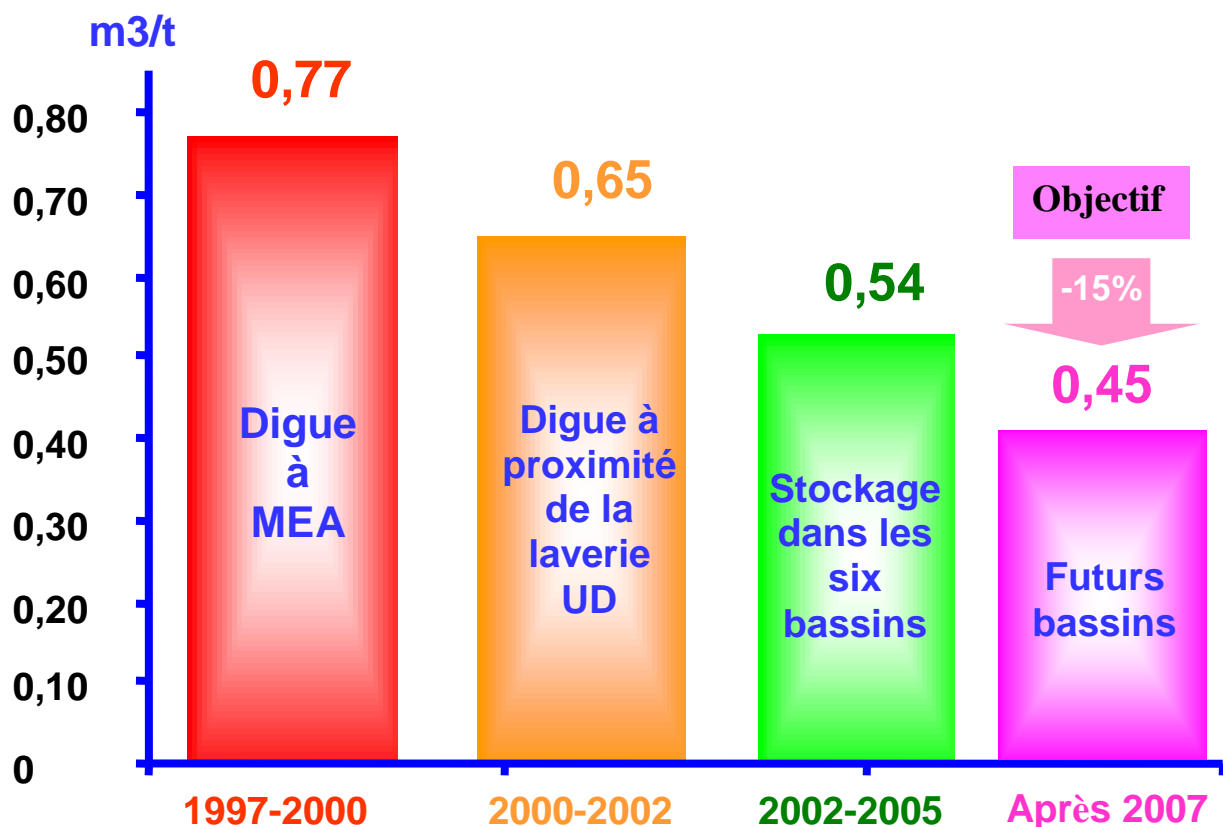
La récupération d'eau est basée sur la décantation de la boue dans les bassins et l'évacuation du surnageant d'eau moyennant des exutoires afin de :

- ✓ Réduire la consommation spécifique d'eau,
- ✓ Augmenter l'autonomie de stockage des bassins (gain en volume)
- ✓ Maintenir un bon état des murs de rétention.

Les pertes d'eau correspondent en effet à quatre facteurs :

- L'humidité résiduelle de 30% : ne peut être récupérée.
- L'évaporation : non contrôlable.
- Les infiltrations : facteur à minimiser.
- L'eau non récupérée par les cheminées : il y aura toujours une fine pellicule d'eau non récupérable sur la surface des bassins. Cette eau s'évaporerait au cours de la consolidation de la boue.

I.1 Evolution de la consommation d'eau



Lors du stockage des boues à MEA et à proximité de la laverie, la récupération d'eau n'était pas envisagée, mais l'acheminement de la boue à 24 Km de la laverie nécessite la dilution de la boue à la sortie du décanteur ce qui implique des pertes d'eau.

Le stockage actuel dans les six bassins d'épandage permet non seulement la récupération d'eau mais aussi de pomper une boue avec une concentration beaucoup plus élevée (360 g/l au lieu de 280 g/l) et par la suite une réduction de la consommation d'eau et un gain de **3 MDH/an**.

Notre objectif est d'atteindre avec l'aménagement de nouveaux bassins, dans les règles de l'art, une consommation spécifique d'eau de 0,45 m³/T soit un gain de **1,2 MDH/an** par rapport à la situation actuelle.

I.2 Importance de la récupération d'eau

A l'entrée dans les bassins, la pulpe a une concentration de 350 g/l. On peut donc calculer le volume d'eau V_e et le volume du solide V_s contenus dans la pulpe.

A la fin du temps d'assèchement, les boues conservent 30% d'humidité. Nous allons calculer le volume d'eau correspondant et déduire par la suite le volume d'eau susceptible d'être récupéré V_r sans tenir compte de l'évaporation et des infiltrations. Ce volume ne dépend que de la concentration d'alimentation, et de l'humidité de la boue après séchage. Sa formule est la suivante (**voir annexe 4-5**):

$$V_r = \alpha V_e \quad \text{avec} \quad \alpha = 1 - \left[\frac{\left(\frac{h_2}{1 - h_2} \right)}{\left(\frac{h_1}{1 - h_1} \right)} \right]$$

Avec h_1 et h_2 , l'humidité de la boue à l'alimentation des bassins et après séchage respectivement :

La densité de la boue sèche est $d = 2,8$

$h_1 = 0,71$ pour une concentration de $C = 350$ g/l

Et $h_2 = 0,3$

On a donc $\alpha \approx 83 \%$

La méthode de calcul est illustré en **annexe 4**.

Les tableaux suivants montrent les résultats ainsi trouvés dans le cas du traitement de la couche 2 et la couche 3.

I.2.1 Cas du traitement de la C2

Le débit à la sortie du décanteur est de l'ordre de $Q_{SD} = 600 \text{ m}^3/\text{h}$ (après Revamping).

DONNEES	VALEURS
DEBIT (m^3/h): Q	600
CONCENTRATION (kg/l): C	0,35
DENSITE DU GRAIN	2,8

RESULTATS	VALEURS
Humidité	0,71
Débit massique solide (t/j): Ps	5 040
Débit volumique solide (m^3/j): Vs	1 800
Débit volumique eau contenu dans la pulpe (m^3/j): Ve	12 600
Débit volumique eau dans le bassin à 30% d'humidité (m^3/j)	2 160
Volume pulpe à 30% (m^3/j) : Vp	3 960
Volume eau (surnageant) à récupérer (m^3/j): Vr	10 440

Le volume d'eau susceptible d'être récupéré est de l'ordre de $V_r = 10\,440 \text{ m}^3/\text{j}$, le volume d'eau initial contenue dans la pulpe est $V_e = 12\,600 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\alpha = \frac{V_r}{V_e} * 100 \approx 83 \%$$

I.2.2 Cas du traitement de la C3

Le débit à la sortie du décanteur est de l'ordre de $Q_{SD} = 1\,400 \text{ m}^3/\text{h}$.

La concentration est de $C = 350 \text{ g/l}$.

DONNEES	VALEURS
DEBIT (m^3/h): Q	1 400
CONCENTRATION (kg/l): C	0,35
DENSITE DU GRAIN	2,8

RESULTATS	VALEURS
Humidité	0,71
Débit massique solide (t/j): P_s	11 760
Débit volumique solide (m ³ /j): V_s	4 200
Débit volumique eau contenu dans la pulpe (m ³ /j): V_e	29 400
Débit volumique eau dans le bassin à 30% d'humidité (m ³ /j)	5 040
Volume pulpe à 30% (m ³ /j) : V_p	9 240
Volume eau (surnageant) à récupérer (m ³ /j): V_r	24 360

Le volume d'eau susceptible d'être récupéré est de l'ordre de $V_r = 24\,360\text{ m}^3/\text{j}$, le volume d'eau initial contenue dans la pulpe est $V_e = 29\,400\text{ m}^3/\text{j}$

$$\alpha = \frac{V_r}{V_e} * 100 \approx 83 \%$$

Vu le débit limité d'eau qui peut être reçu par le service des eaux (15 000 m³/j), il est donc indispensable de récupérer l'eau pour assurer la continuité de la marche de l'unité de lavage. Le traitement des eaux usées de la ville de Khouribga constitue un axe stratégique pour la rationalisation de l'alimentation de la laverie en eau.

I.3 Influence du cycle de remplissage

Le cycle de rotation du remplissage des bassins (périodicité) est un paramètre important à surveiller et à respecter pour assurer une optimisation de la récupération d'eau. Le non respect de ce paramètre ne donne pas à la boue le temps nécessaire pour sa consolidation qui lui permet d'atteindre 30% d'humidité et par conséquent elle va se trouver à une humidité supérieure. On va clarifier l'impact de ce paramètre par l'exemple suivant :

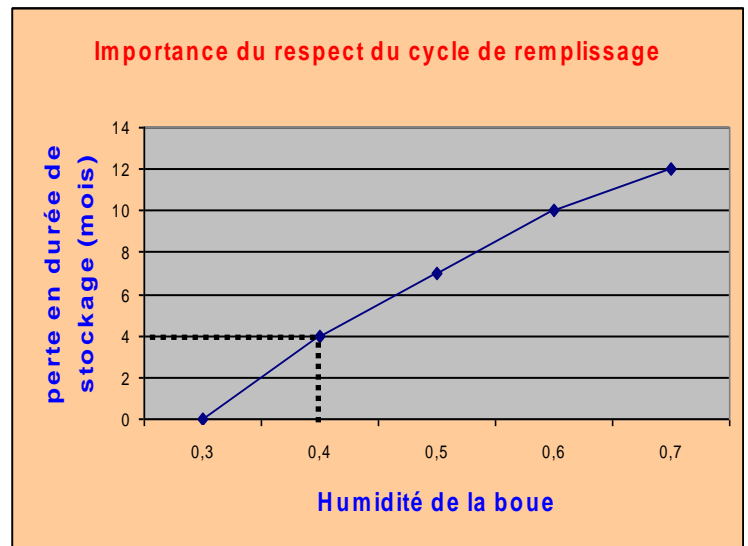
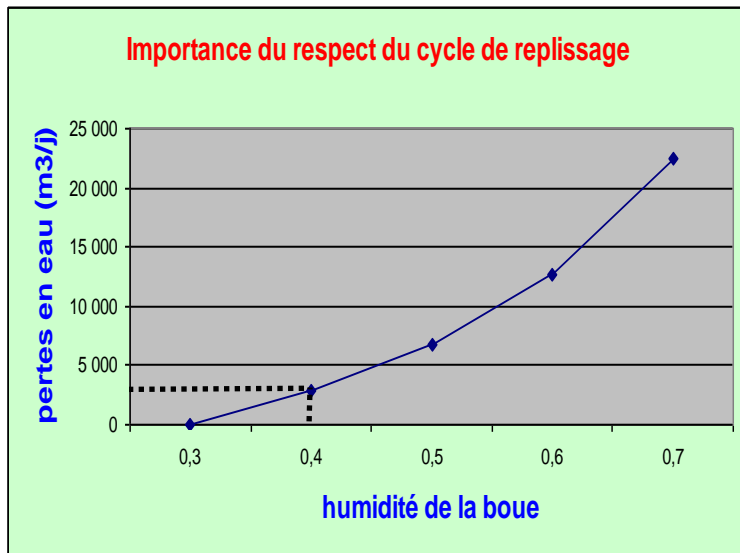
Supposons qu'on a un bassin vide de volume égal à $V_i = 5\text{ millions de m}^3$, le débit d'alimentation pour le traitement de la C3 étant $V_T = 33\,600\text{ m}^3/\text{j}$ avec une concentration de $C = 0,35\text{ kg/l}$, le volume de la pulpe à **30% d'humidité** est :

$$V_{p(30\%)} = 0,275 * V_T \text{ (voir annexe 4-4)}$$

On trouve donc $V_{p(30\%)} = 9\,240\text{ m}^3/\text{j}$

La durée de vie du bassin est donc $D_v = \frac{V_i}{V_{p(30\%)}}$ soit $D_v = 18 \text{ mois}$ et le volume d'eau à récupérer est $V_r = 24\,360 \text{ m}^3/\text{j}$ (voir annexe 4-9)

Le graphique suivant montre bien l'influence de ce paramètre sur le volume de stockage et les pertes en eau.



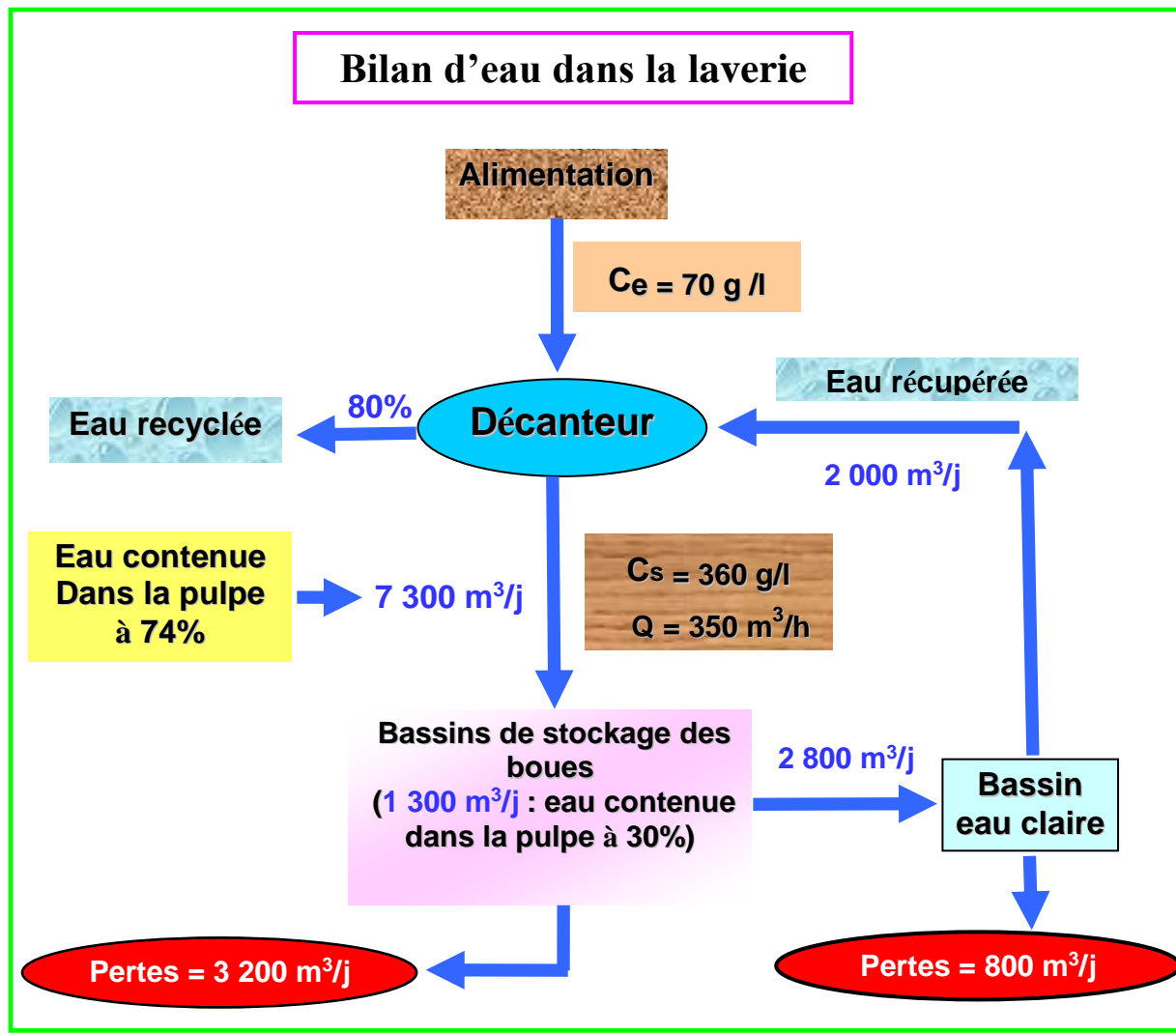
On remarque que plus on ne respecte pas la durée de durcissement de la boue jusqu'à ce qu'elle atteigne 30 % d'humidité, plus on perd en récupération d'eau et en volume de stockage et par conséquent l'autonomie des bassins.

Par exemple si on réalimente le bassin dont la boue est seulement à 40 % d'humidité, on perd environ $3\,000 \text{ m}^3/\text{j}$ d'eau et 4 mois en durée de stockage sur une durée prévue de 18 mois.

I.4 Actions d'amélioration

I.4.1 Bilan d'eau dans la laverie

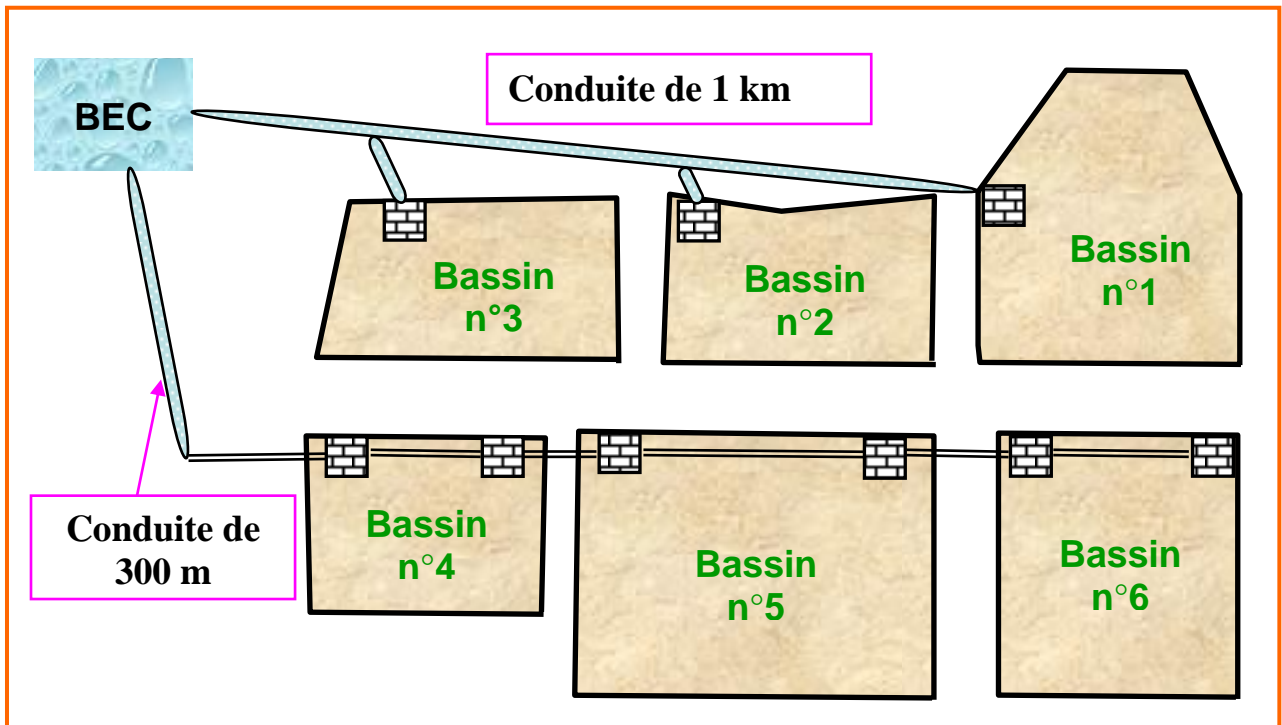
Un bilan d'eau dans la laverie s'avère nécessaire pour quantifier les pertes d'eau que ça soit au niveau des bassins de stockage qui s'élèvent à $2\,800 \text{ m}^3/\text{j}$ ou au niveau du bassin de collecte d'eau claire qui se chiffrent à $1\,000 \text{ m}^3/\text{j}$. (Cf. schéma suivant)



On remarque que le taux de récupération pratique des bassins actuels est de 27% alors que théoriquement ce taux atteint 83% (sans tenir compte de l'évaporation et des infiltrations). Mais on ne parvient pas à récupérer la totalité d'eau collectée par les cheminées des six bassins et ceci à cause de la faible puissance de la pompe installée ainsi qu'au diamètre réduit de la conduite de refoulement.

I.4.2 Recommandations

- ✚ Il est possible d'aménager un canal en terre (seguia) qui recueille l'eau récupérée au niveau des bassins 1, 2 et 3 et l'acheminer vers le bassin d'eau claire. L'utilisation d'un tel canal a pour avantage une réduction du coût des canalisations mais des pertes d'eau par infiltration sont à craindre. Nous utiliserons donc des conduites à la sortie de chaque cheminée de ces bassins vers le bassin de collecte d'eau claire. Pour les bassins 4,5 et 6, l'eau récupérée sera collectée dans une conduite d'une longueur de 300 m pour l'acheminer vers le bassin d'eau claire : **BEC** (Cf. figure suivante).



- ✚ Le bassin des eaux claires est partiellement comblé par des boues décantées ce qui a réduit sa capacité de stockage en eau claire. Ceci provoque un débordement continu de l'eau vers la nature. Il est donc primordial de curer le bassin et de rétablir à nouveau sa capacité (1200 m^3) afin de contenir la totalité de l'eau récupérée par les cheminées.
- ✚ Le remplissage des bassins doit être fait pour une hauteur faible (60 cm) afin d'éviter la présence de grandes quantités d'eau dans le bassin et minimiser ainsi les infiltrations d'eau et la dégradation des murs.

Vu que les bassins actuels ont presque atteint leur niveau de saturation et présentent des problèmes liés à la conception qui ont provoqué des problèmes déjà cités dans le chapitre précédent surtout ceux liés à la récupération d'eau et qui est tard et difficile d'y remédier, le dimensionnement des pompes et conduites de canalisations sera fait dans le cadre de l'aménagement de nouveaux bassins dans les règles de l'art permettant une meilleure récupération d'eau vers le bassin d'eau claire.

Ces actions nous permettent d'atteindre 40% de récupération d'eau qui correspond à un gain annuel de 0,65 MDH.

Le volume d'eau susceptible d'être récupéré est donc : (relatif au traitement de la C3)

$$0,4 * 29\,400 = 14\,700 \text{ m}^3/\text{j} \text{ donc } V_r = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donc le diamètre de la conduite est **D = 450 mm** (voir chapitre V : II.3.2)

Désignation	Quantité	Coût
Conduite sortie cheminée	1300 m	2,1 MDH
Curage bassin d'eau claire	1000 m ³	0,01 MDH
Total	-----	2,11 MDH

Le coût d'investissement est de : 2,11 MDH

II. ACTIONS D'AMELIORATIONS DES BASSINS EXISTANTS

Compte tenu de la durée de vie restreinte des bassins actuels (presque 7 mois à compter du 1^{er} février 2006), il est impératif d'engager des solutions d'améliorations immédiates pour prolonger leur autonomie de stockage, le temps d'aménager d'autres bassins en commençant par l'exploitation des terrains achetés à cet effet à proximité de la laverie et ensuite voir la possibilité d'aller vers les anciennes zones exploitées.

II.1 Actions entreprises

Pour prolonger la durée de vie des bassins actuels, un rehaussement partiel des murs de retenue et une surélévation des cheminées s'avèrent nécessaires pour augmenter leur capacité de stockage.

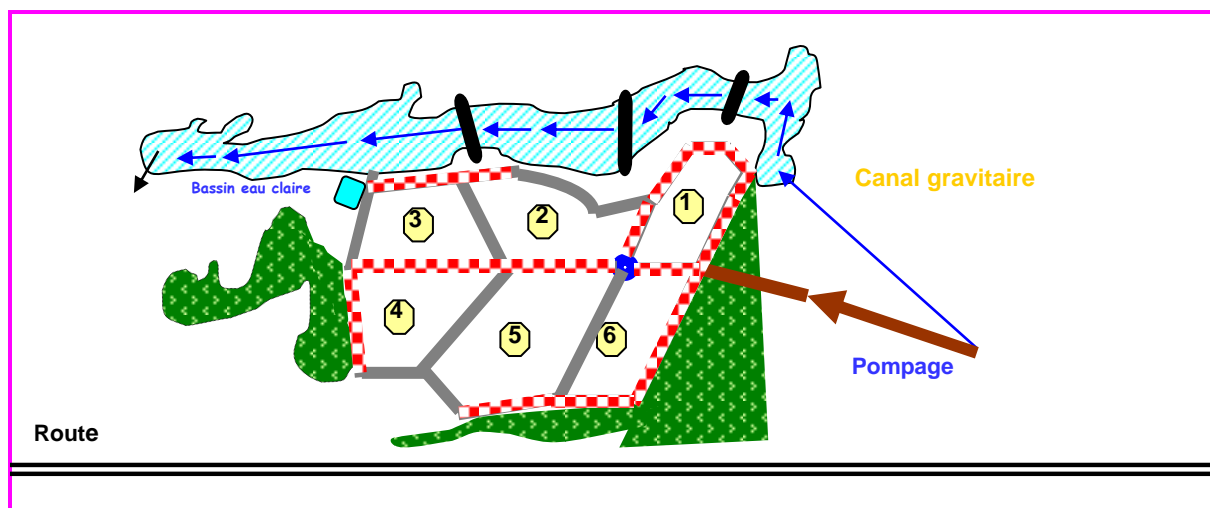
II.1.1 Rehaussement des murs

Le volume total de remblais à ajouter est d'environ 95 000 m³ (marché en cours de consultation) répartis sur les six bassins comme suit :

N° bassin	Volume remblai
1	23 000
2	6 300
3	7 300
4	24 000
5	7 300
6	27 000
Total	95 000 m³

Volume de remblai à ajouter pour chaque bassin

Il doit donc être envisagé de remonter les digues de tous les bassins. Le schéma suivant montre les endroits où il faut rehausser les murs des bassins. (Cf. figure suivante)



Rehaussement des murs de retenue (marqué par trait pointillé)

II.1.2 Surélévation des cheminées

En ce qui concerne la surélévation des cheminées, le tableau suivant montre la hauteur à ajouter pour chaque cheminée qui est déterminée sur la base de la hauteur des murs (les travaux sont achevés le 31/05/06).

Cheminée	Hauteur à ajouter (m)
1	3.00
2	4.00
3	4.00
4	2.50
5	4.00
6	2.50
Total	20

Hauteur des cheminées à surélever pour chaque bassin

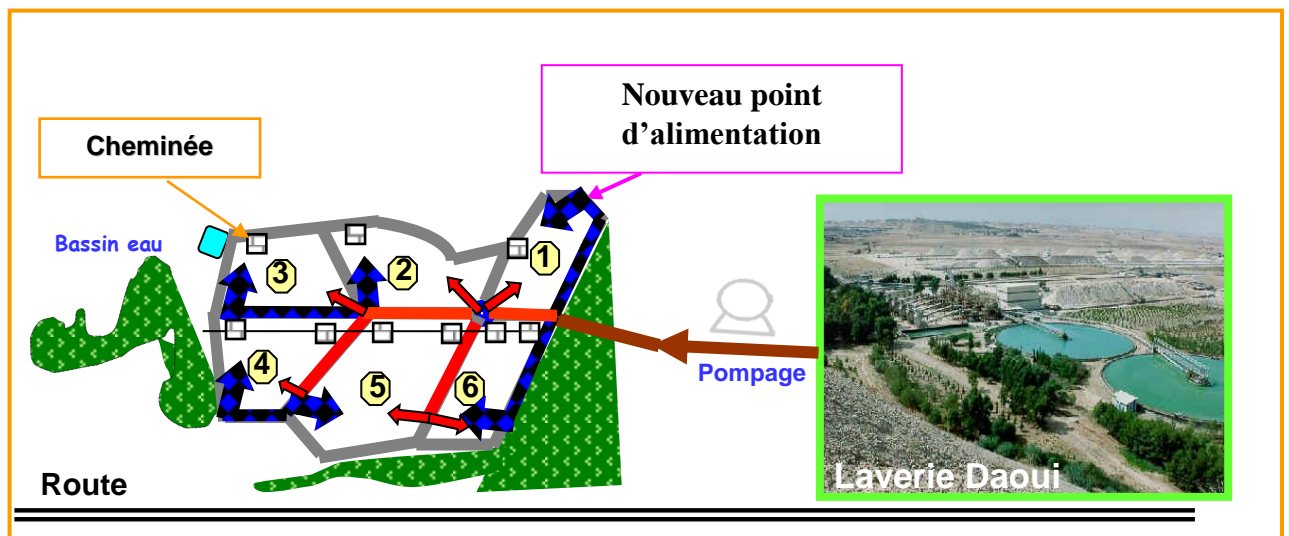
Les bassins 4,5 et 6 contiennent deux cheminées :

- ✓ La deuxième cheminée du bassin 4 est fissurée, elle sera abandonnée.

- ✓ Pour le bassin 5, la première cheminée est surélevée de 1,5 m et la deuxième de 2,5 m.
- ✓ Pour le bassin 6, la première cheminée n'a pas été surélevée et la deuxième de 2,5 m.

II.1.3 Ajout des points d'alimentation

Une autre action qui permet l'amélioration du stockage dans les bassins actuels est l'ajout d'autres points d'alimentation (conduite de 250 mm) pour assurer la convergence de l'eau vers la cheminée et éviter la formation des flaques d'eau à l'intérieur du bassin, comme schématisé dans le graphe suivant.



II.1.4 Travaux divers

D'autres travaux doivent être réalisés en parallèle (en cours), il s'agit de :

- Confection et installation des passerelles pour accéder aux cheminées rehaussées ;
- Renforcement des passages et des murs pour éviter leur destruction ;
- Terrassement par bulls et nivellement des accès ;
- Démontage de la clôture au niveau du CT 1521 pour réparer la piste affaissée et remédier aux fissures des remblais.
- Chargement et transport des déblais gerbés à proximité des bassins pour rehausser les murs et remédier aux fissures et dégradations des digues.

A cet effet les parties affaissées et fissurées doivent être décapées jusqu'à la limite verticale des fissures puis réparées à l'aide d'un remblai sélectionné compacté jusqu'à 95 % de l'Optimum Proctor. Dans ce cadre plusieurs points de

prélèvement des matériaux ont été visités est les choix des remblais de confortement ont été effectués.

Le rehaussement ne doit pas dépasser 2 à 3 m pour maintenir la stabilité de la partie surélevée. A noter que la capacité de stockage des eaux claires doit être améliorée par l'aménagement d'un bassin avec chicanes d'un volume de 1000 m³ et le redimensionnement du circuit de pompage d'eau claire vers la laverie.

II.2 Capacité supplémentaire

Le calcul est basé sur le débit moyen généré par le traitement de la C2 et la C3 (50% pour chaque qualité).

Les capacités supplémentaires des bassins sont indiquées dans le tableau suivant.

N° bassin	Capacité supplémentaire (m³)
1	463 100
2	245 500
3	319 300
4	117 700
5	421 000
6	192 500
TOTAL	1 759 100
DUREE	1 année

II.3 Coût de la réalisation

Désignation	Quantité	Coût	Délai
rehaussement des murs	100 000 m³	1,5 MDH	1 mois
Surélévation des cheminées	20 m	0,2 MDH	1 mois
Ajout point d'alimentation	1 500 m	2,5 MDH	1 mois

Les autres travaux sont estimés à 800 000 DH soit un coût total de :

$$C_T = 5 \text{ MDH}$$

Les gains escomptés se chiffrent à 6,75 MDH.

III. CONCLUSION

Les actions entreprises vont nous permettre de prolonger la durée d'exploitation des bassins actuels d'une année supplémentaire soit en total une autonomie de stockage de 19 mois à compter du février 2006 ce qui nécessite l'aménagement d'autres bassins.

Le coût d'investissement total est de 7,1 MDH.

Les gains escomptés totaux sont de 7,4 MDH.

A noter que la réalisation de ces travaux est nécessaire pour assurer la continuité de la marche de la laverie.

CHAPITRE V

PERSPECTIVES POUR LE STOCKAGE DES BOUES

Introduction

Deux scénarios sont étudiés dans ce cadre :

♣ Aménagement de nouveaux bassins près de ceux existants en exploitant les terrains acquis. Quatre zones sont ainsi délimitées et étudiées pour la réalisation de 9 nouveaux bassins.

- Zone E1 : sera subdivisée en 2 bassins 7 et 8
- Zone E2 : sera subdivisée en 2 bassins 9 et 10
- Zone E3 : sera subdivisée en 2 bassins 11, 12
- Zone E4 : sera subdivisée en 3 bassins 13, 14 et 15

♣ Stockage des boues dans les anciennes zones exploitées :

- Stockage à UZ
- Stockage à la recette IV

I. AMENAGEMENT DE NOUVEAUX BASSINS

Ces actions sont relatives à l'aménagement de nouveaux bassins. En effet la surface utilisée par les 6 bassins actuels est de 70 ha. La surface totale achetée est de 500 ha.

I.1 Etude topographique

La topographie et le relief de ces terrains ne permettent pas d'exploiter toute la surface acquise, il y a lieu de tenir compte des contraintes suivantes :

- Le terrain est traversé par Oued Belgharraf où passe une crue en cas d'orage ou de forte pluie.
- Une partie du terrain acheté se trouve dans une zone rocheuse et proche des agglomérations qu'on ne peut pas exploiter. Il reste donc environ 170 ha où on va implanter les futurs bassins qui seront au nombre de 9 et répartis comme indiqué sur le **plan (EK DI 375) joint au rapport.**

Afin d'aborder le problème, il faut tout d'abord s'appuyer sur la topographie et la géologie des terrains afin de concevoir une première version de l'emplacement des bassins tout en évitant les crues et les collines rocheuses. Les eaux de pluie suivent les principaux thalwegs. La profondeur envisagée des bassins est de 10 mètres.

Comme indiqué sur le plan, les bassins 10 et 15 sont séparés par un thalweg où passe la crue en cas d'orage. La question qui se pose est la suivante : les deux bassins sont-ils à l'abri du passage de la crue ?

Pour répondre à cette question, il a fallu d'abord effectuer un profil en travers afin de déterminer la surface la plus faible séparant les deux bassins. Ensuite déterminer le débit nécessaire Q_n que doit avoir la crue pour atteindre le mur du bassin et le comparer avec le débit maximum Q_m que peut avoir la crue dans la région où seront implantés les bassins.

Détermination de Q_n

Nous avons utilisé la relation de **Manning Strickler**. Son expression, la plus utilisée dans le monde s'écrit :

$$Q = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \times A$$

n : coefficient de Strickler caractérisant la rugosité de la paroi ou du canal où passe le fluide (pour notre cas $n = 0,033$)

R : rayon hydraulique ($R = A/P$) : quotient de la surface mouillée A par le périmètre mouillée P.

I : pente moyenne du bassin versant

A : surface mouillée par le fluide.

D'après l'annexe 5 on a déterminé $A = 700 \text{ m}^2$ et $P = 250 \text{ m}$ soit $R = 2,8$

La pente du bassin versant est $I = 0,0005$.

On trouve donc $Q = 940 \text{ m}^3/\text{s}$

Détermination de Q_m

Pour le calcul des débits de crue, nous avons eu recours aux méthodes empiriques. Deux formules ont été utilisées :

➡ Les formules de **Hazan et Lazarevic**, déterminées particulièrement dans différentes régions marocaines, lient les débits maxima Q_m à l'aire du bassin versant S (km^2) pour une fréquence millénaire. Pour notre zone géographique on retient la relation suivante :

$$Q_m = 13,51 \times S^{0,613}$$

la délimitation du bassin versant illustré sur le plan (MKG - 247) donne :

$$S = 160 \text{ km}^2$$

on aboutit à un débit $Q_m = 300 \text{ m}^3/\text{h}$

➡ la formule de Francou Rodier, analysée dans des bassins marocains a permis d'aboutir à la relation suivante, très utilisée au Maroc :

$$Q_m = 10^6 \left(\frac{S}{10^8} \right)^{1 - \frac{K}{10}}$$

K est un paramètre régional. Une bonne connaissance est acquise sur la variation de ce facteur en fonction des régions marocaines : $4 \leq K \leq 5$

On prend $K = 4$ et on a $S = 160 \text{ km}^2$: la surface du bassin versant.

On trouve $Q_m = 330 \text{ m}^3/\text{h}$

Pour les deux méthodes utilisées on trouve un débit maximum de la crue largement inférieur à celui qui peut toucher les murs des bassins. On conclut

donc que l'emplacement des bassins sera à l'abri de la crue et aucun gabionnage n'est nécessaire pour la protection des murs.

I.2 Etude géologique

De point de vue géologique, ce site de stockage se présente comme une alternance marno-calcaire. Les bassins seront creusés dans les terrains du Sénonien et Turonien.

Un sondage sur différents points des bassins a été effectué afin d'avoir une coupe lithologique qui nous permettra de mieux connaître la composition et la nature du terrain. On a aussi profité de la présence des puits locaux existants à proximité des bassins pour avoir une coupe sur une profondeur plus importante. Le puit n°1 est situé dans le bassin 11, le puit n°2 dans le bassin 8 et le puit n°3 au dessus du bassin 15.

D'après ces coupes figurées sur le plan joint au rapport, on remarque que le terrain est dur et constitué par du calcaire siliceux avec quelques couches marno-calcaire de faible puissance. On conclut donc qu'un sautage par explosifs est nécessaire pour le terrassement des bassins.

I.3 Caractéristiques des bassins

Le débit de la boue alimentant les bassins est très important : 1000 m³/h en moyenne (600 m³/h avec le traitement de la couche 2 et 1400 m³/h pour la couche 3), il s'est avéré par une étude du processus de stockage, que, pour la surface de stockage prévue pour E1, il n'était pas possible de respecter un temps de déshydratation de 30 jours par bassin correspondant à 60 cm de hauteur de remplissage. Il est donc indispensable d'aménager d'autres bassins E2, E3 et E4 en fonctionnement rotatif avec E1.

I.3.1 Plan de situation

L'implantation des bassins est schématisée sur le plan. (Cf. plan EK DI 375).

I.3.2 Choix de la hauteur à creuser

Le choix de la hauteur à creuser pour chaque bassin est lié à des considérations de coût. Le coût de terrassement (15 Dh/m³) est inférieur à celui de remblaiement (avec arrosage et compactage : une moyenne de 18,5 Dh/m³) (Cf. III.1). On a donc intérêt à creuser davantage afin de minimiser le volume de remblais pour assurer la plate forme du fond des bassins et l'édification des digues.

Plusieurs variantes ont été étudiées afin de trouver la côte projet pour chaque bassin qui nous permettra de répondre à ces critères et avoir un volume de déblais légèrement supérieur au volume de remblais dans le but d'éviter l'apport éventuel de tout venant. La côte cible des bassins est donnée dans le paragraphe suivant.

I.3.3 Superficie et capacité des bassins

La capacité des bassins V_i dépend directement de la profondeur de ces derniers. (10 m de profondeur). Le volume total après le séchage d'un bassin représente environ 27,5 % du volume initial.

Le volume total des boues à stocker est :

$$V = V_i + (72,5 * V) / 100 \quad \text{D'où}$$

$$V = 3,64 * V_i$$

- **Extension E1**

Bassin n°	Côtes	Surface en (ha)	Volume en (Mm3)	Volume de boue à stocker (Mm3): V
7	767 → 771,2	28	2,25	8,19
8	761,3 → 764,8	19	2,10	7,65
TOTAL	--	47	4,35	15,85

Superficie et capacité des bassins 7 et 8

NB

La surface des deux bassins 7 et 8 est submergée par la boue qui n'est pas encore bien séchée (sur une hauteur moyenne de 4 m) ce qui engendre des difficultés et risques d'accès des engins afin de déblayer la partie supérieure pour le creusement et le nivellement des bassins. Cependant, et vu la superficie importante qu'occupent ces deux bassins (47 ha), elle sera utilisée pour le stockage de boues même s'il y aura des difficultés de récupération d'eau au début de stockage. La capacité volumique totale des bassins est de 4,35 Mm³.

Les autres bassins seront aménagés dans les règles de l'art en assurant une meilleure récupération d'eau.

- **Pour E2**

Bassin n°	Côtes	Surface en (ha)	Volume en (Mm ³)	Volume de boue à stocker (Mm3): V
9	771,3 → 787,5	13,5	1,45	5,28

10	765 → 775	15	1,61	5,86
TOTAL	--	28,5	3,06	11,15

Superficie et capacité des bassins 9 et 10

L'extension E2 s'étale sur une superficie de 28,5 ha, la côte projet est de 770 et la capacité volumique totale des bassins est de **3,06** Mm³ ce qui correspond à un volume de boue à stocker de 11,15 Mm³.

• Pour E3

Bassin n°	Côtes	Surface en (ha)	Volume en (Mm3)	Volume de boue à stocker (Mm3): V
11	756 → 768,5	18,5	1,95	7,1
12	750 → 765	18,5	1,95	7,1
TOTAL	--	37	3,9	14,2

Superficie et capacité des bassins 11 et 12

L'extension E3 s'étale sur une superficie de 37 ha, la côte projet est de 760 et la capacité volumique totale des bassins est de **3,9** Mm³ soit un volume de boue à stocker de 14,2 Mm³.

• Pour E4

Bassin n°	Côtes	Surface en (ha)	Volume en (Mm3)	Volume de stockage (Mm3) : V
13	752,5 → 770,5	19,5	2,1	7,65
14	754 → 773,5	19,5	2,1	7,65
15	760 → 773,5	21	2,3	8,37
TOTAL	--	60	6,5	23,7

Superficie et capacité des bassins 13, 14 et 15

L'extension E4 s'étale sur une superficie de 60 ha, la côte projet est de 762,5 et la capacité volumique totale des bassins est de **6,5** Mm³ qui correspond à un volume de boue à stocker de 23,7 Mm³.

I.3.4 Durée de vie

On a déterminé pour chaque bassin le volume de stockage correspondant V, le volume total V_T va nous permettre d'estimer la durée de vie de ces bassins qui est donnée par la formule suivante :

$$T = \frac{V_T}{Q_j} \text{ avec } Q_j \text{ est le débit journalier de la boue.}$$

On se base sur un débit horaire moyen généré par le traitement des couches II et III soit : $Q_j = 1000 \times 24 = 24\,000 \text{ m}^3/\text{j}$

Le volume total $V_T = 65 \text{ Mm}^3$

On déduit donc la durée d'autonomie des bassins :

T = 7,5 ans

I.4 Contraintes d'aménagement des bassins de stockage

- Les bassins doivent permettre un maximum de stockage, pour un coût moindre.
- Les bassins doivent être aménagés suffisamment loin des riverains.
- Le volume de déblais issu du creusement des bassins doit être suffisant pour l'édification des digues.
- Les bassins doivent permettre la récupération de l'eau.
- L'ensemble de l'eau des bassins de stockage doit pouvoir être recueilli dans un bassin de récupération des eaux, afin d'être repompé vers la laverie.
- L'emplacement des points d'alimentation doit être opposé à la position des cheminées
- L'ensemble des installations doit pouvoir être accessible aux véhicules, afin d'assurer la surveillance et la maintenance.

I.5 Conception des bassins

Les problèmes observés dans les bassins actuels sont surtout liés à leur conception et au dimensionnement des pompes et conduites de canalisations. Dans l'aménagement de ces nouveaux bassins, nous allons capitaliser l'ensemble des expériences acquises avec les bassins existants afin d'assurer une bonne exploitation et une optimisation de la récupération d'eau.

I.5.1 Forme des bassins

La forme des bassins d'épandage des boues de lavage dépend principalement de la topographie et la géologie du terrain et des contraintes de récupération d'eau.

La décantation est optimisée pour une surface horizontale, Le terrassement de l'aire de chaque bassin doit donc assurer une plate forme permettant une bonne décantation et une meilleure récupération d'eau.

Les murs des bassins seront soit complétés soit réalisés totalement par les déblais issus du creusement des bassins après avoir analysé leur conformité pour une utilisation comme matériaux de remblaiement. En remblai, le talus se fait naturellement avec une pente qui dépend du matériau. Mais en cas de déblai, le décapage de la partie des terrains située au voisinage des murs naturels des bassins doit être exécuté en tenant compte de l'angle du talus, et ce pour éviter les éboulements des parois suite à des infiltrations d'eau.

I.5.2 Matériaux de remblais

Les déblais issus du creusement des bassins seront utilisés, comme matériaux pour le remblaiement de la partie des terrains située au dessous des côtes cibles et la construction des murs limitrophes. Toutefois, ils doivent faire l'objet d'une analyse par le laboratoire d'études géotechniques LPEE qui doit confirmer leur comportement favorable à l'utilisation en remblais.

Si le déblai est non conforme ou insuffisant, on peut envisager son mélange avec le stérile de UD ou de la recette IV et vérifier par LPEE son aptitude d'utilisation comme matériau de remblais.

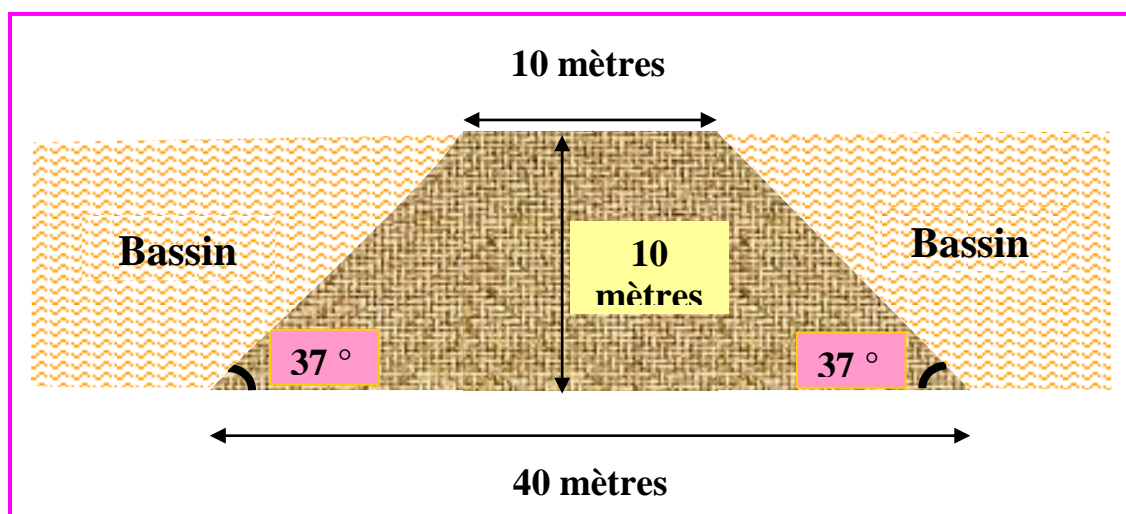
Les remblais doivent être constitués préférentiellement par du matériel fin, qui diminue la perméabilité et évite la fissuration. L'utilisation d'explosifs est incontournable pour le creusement des bassins pour les terrains calcaires mais est à éviter pour la construction des murs car ils augmentent la quantité d'éléments grossiers qui favorisent les problèmes d'infiltrations. Les murs doivent donc être construits en terre non rocheuse, hors terre végétale, et en couches successives de 40 cm arrosées et compactées au fur et à mesure de l'avancement des travaux de façon à contrôler la compressibilité, la résistance et la conductivité hydraulique du remblai. Cette compaction jouera un double rôle : celui de stabilisant et celui d'imperméabilisant.

Il faut procéder à des analyses de stabilité afin de vérifier que les talus sont assez stables pour résister à tout affaissement ou glissement.

I.5.3 Conception des digues en terre

Les digues doivent permettre la circulation de véhicules, qu'il s'agisse d'une simple maintenance quotidienne (petits véhicules) ou de travaux de réparation éventuels (camions), et présenter une voie circulaire de 10 m de largeur au sommet pour les murs périphériques et 6 m pour les murs inter-bassins. La pente

des talus doit être inférieure ou égale à 3/2, pour assurer leur stabilité, (Cf. figure suivante).



Digue inter-bassin

Ces digues inter-bassin doivent résister à différentes contraintes :

- La pression exercée par la pulpe : la boue sera stockée des deux côtés de la digue, la contrainte résultante est donc approximativement nulle. De plus, compte tenu de l'épaisseur de cette digue, talutée et compactée, la stabilité est largement assurée.
- L'action de l'eau contenue dans la pulpe stockée dans les bassins peut avoir un effet destructeur sur les talus. Pour cela, il faudra évacuer le maximum du surnageant d'eau.
- La pluviométrie peut également avoir un rôle destructeur. Toutefois, compte tenu de la compaction des murs, ce rôle peut être négligé.
- La contrainte du poids de la digue qui s'exerce sur le sol doit être inférieure à la portance du sol. La section des digues étant importante, nous n'aurons aucun problème.

I.5.4 Volume de déblais et remblais

Le volume de déblais a été calculé par bassin. Pour cela, nous avons utilisé la méthode des distances applicables. Le tableau suivant montre les résultats obtenus pour une profondeur des bassins de 10 m.

BASSINS	VOLUME DEBLAIS (m³)	VOLUME REMBLAIS PLATE FORME (m³)	VOLUME REMBLAIS MURS (m³)
7 et 8	0	0	400 000
9 et 10	1 670 000	220 000	550 000

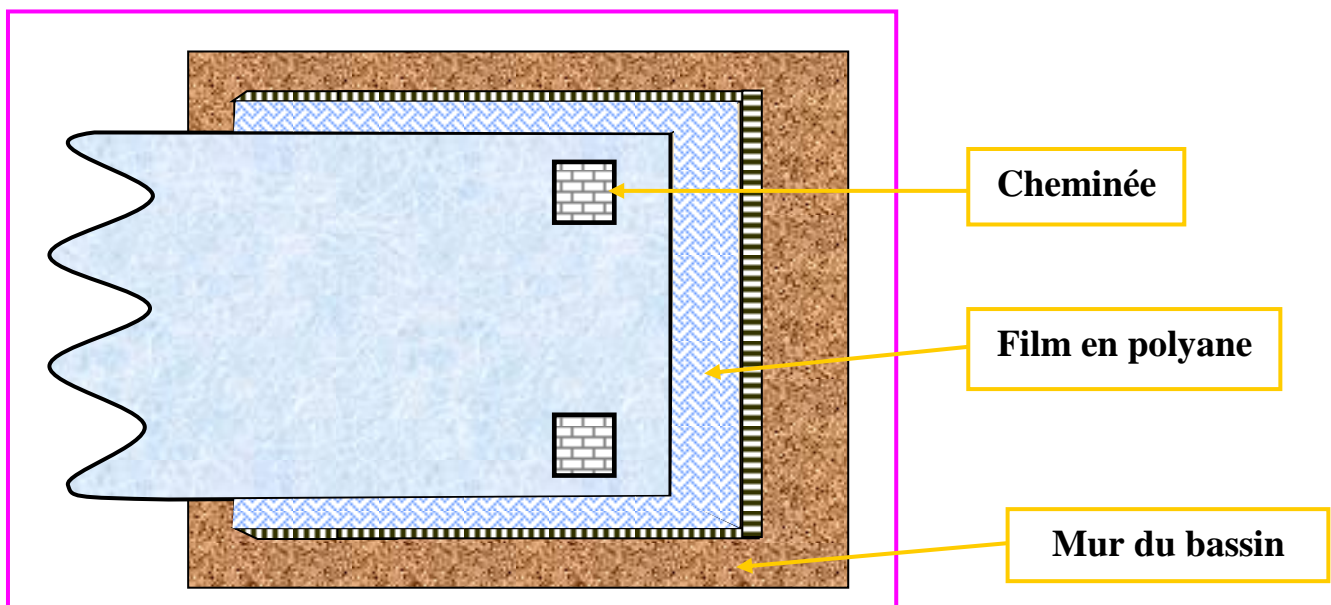
11 et 12	600 000	850 000	560 000
13, 14 et 15	2 110 000	710 000	700 000
TOTAL	4 400 000	1 800 000	2 200 000

Volume de déblais et remblais des bassins

Soit un volume excédentaire de 400 000 m³. Ce volume peut servir après sélection et triage des remblais par élimination des gros blocs non conforme et non utilisable comme matériaux de remblais.

I.5.5 Imperméabilisation des digues

Afin d'éviter les infiltrations, on peut imperméabiliser les murs coté cheminée par un film en polyane (Cf. figure suivante) qui est parmi les techniques les moins chères et les plus simples à appliquer.



Lors de la visite des bassins de Youssoufia, une technique qui a pour objectif de maintenir la fixation de la passerelle a été envisagé qui consiste à étaler une couche de béton accolée sur toute la hauteur de la digue pour une largeur d'environ 3 m derrière la cheminée (Cf. photo suivante)



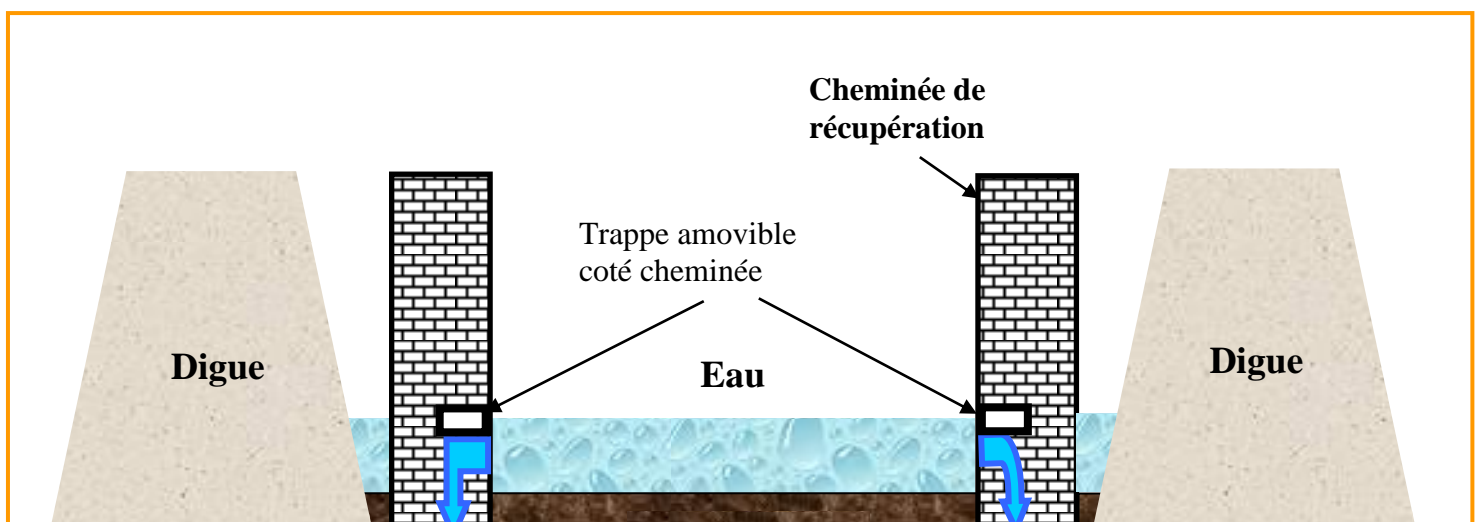
**Couche de
béton**

1.5.6 Cheminées de récupération d'eau claire

La conception des cheminées des bassins actuels ne permettent pas une meilleure récupération d'eau et entraîne la dégradation des murs par l'eau perdue en arrière de la cheminée d'eau.

Le nombre de cheminées de récupération d'eau par bassin doit être optimisé, afin d'avoir une bonne récupération, pour un coût minimum. Ces cheminées sont au nombre de deux et sont positionnées dans les coins des bassins.

La cheminée doit être construite en béton et il est nécessaire de prévoir des fondations importantes afin d'éviter l'enfoncement de la structure. La cheminée aura une hauteur de 10 m et le mécanisme de récupération de l'eau reste le même : décantation de la phase solide et récupération du surnageant d'eau moyennant des trappes positionnées de telle manière que seule l'eau puisse passer dans la cheminée. Ces trappes peuvent être placées sur deux faces de la cheminée permettant ainsi la récupération d'eau de face comme de côté de la cheminée afin d'éviter tout problème de perte d'eau et des infiltrations dégradant l'état des digues (Cf. figure suivante).



Afin de garantir la stabilité de la cheminée, on peut prévoir une ouverture de 20 cm pour les trappes placées coté de la cheminée puisque l'eau qui y pénètre est relativement faible.

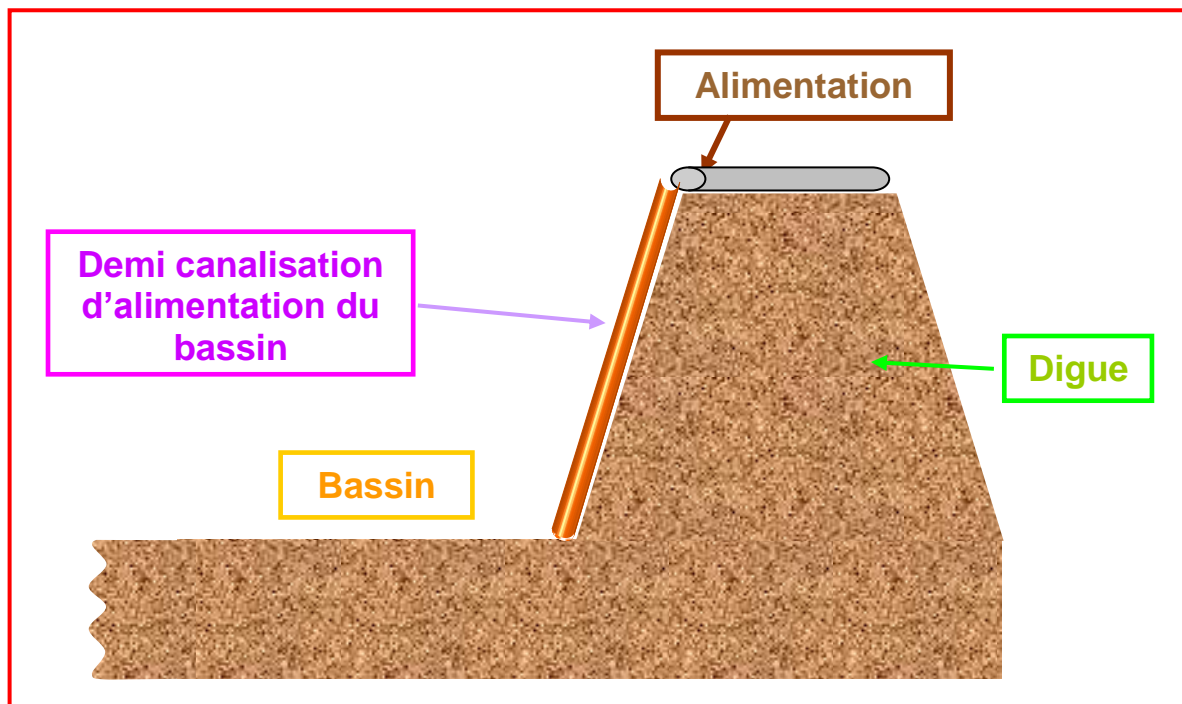
1.5.7 Emplacement des points d'alimentation

La position du point d'alimentation en pulpe doit être diamétralement opposée au point de récupération d'eau, afin de permettre, une répartition homogène de la pulpe sur la surface des bassins, et un temps suffisant à la boue de sédimenter de façon à avoir une couche d'eau épaisse en face de la cheminée.

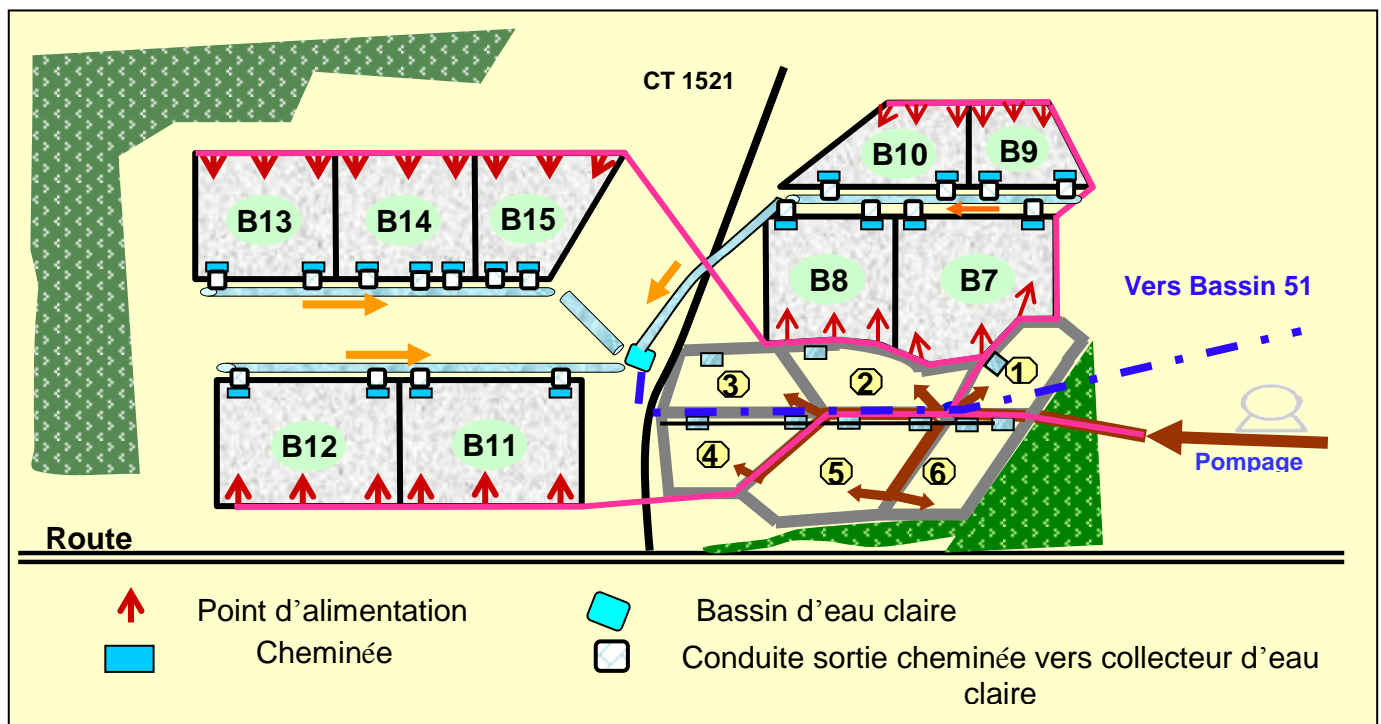
Un seul point d'alimentation, s'il est bien choisi, favorise la décantation et permet une meilleure récupération d'eau. Plusieurs points d'alimentation peuvent permettre une répartition plus rapide sur l'ensemble du bassin. Toutefois, il est à craindre une zone de turbulence au point de rencontre des deux ou plusieurs flux.

L'alimentation des bassins sera donc faite par un seul point d'alimentation, tout en prévoyant un ou deux points d'alimentation complémentaires, en fonction de la largeur du bassin, à utiliser en cas de besoin. Ces points sont conçus de manière à contrebalancer le flux de l'alimentation principale.

A l'intérieur du bassin, la circulation de la boue est gravitaire. L'utilisation d'une demi-canalisation en acier permettra une bonne alimentation. Cette canalisation doit être placée de telle sorte que le jet de pulpe ne perturbe pas la décantation au sein du bassin. Il faut donc positionner cette canalisation, non pas face au bassin, mais parallèlement à la digue, avec une pente douce [Cf. figure suivante].



I.5.8 Schéma du circuit de boue et de recyclage d'eau



- ☀ La longueur totale de la conduite de boues pour l'alimentation de tous les bassins est de 7800 m.
- ☀ La longueur totale de la conduite collectrice d'eau claire vers le bassin d'eau claire est de 5000 m.

- ☀ La longueur totale de la conduite de recyclage d'eau vers le bassin 51 est de 2000 m.

I.6 Gestion de stockage

I.6.1 Etude du processus de stockage

Nous ne pouvons pas négliger la récupération d'eau pendant le temps de remplissage du bassin. Après l'observation des bassins de Youssoufia, nous pouvons estimer que l'eau récupérée au cours du remplissage lui-même représente 20 % du volume versé. La durée de remplissage doit donc être basée sur 80% du volume alimentant les bassins.

Ce débit sera la moyenne générée par le traitement de la couche 2 et 3 à savoir $Q_j = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$.

Soit $Q = 0,8 Q_j$ et on trouve : **$Q = 19\,200 \text{ m}^3/\text{j}$**

Pour des considérations liées à la protection des murs de retenue, l'étude du processus de stockage sera basée sur une hauteur de remplissage de 60 cm qui correspond à une durée de consolidation de la boue d'un mois. En effet, une hauteur importante de remplissage entraîne des grandes quantités d'eau dans le bassin qui peuvent avoir un effet destructeur des digues suites aux infiltrations.

La durée d'exécution des différents travaux d'aménagement des nouveaux bassins est d'une année (opérationnels en 2008). Les bassins actuels seront saturés, avec les améliorations proposées, en septembre 2007. Il faut donc commencer par la réalisation des bassins 7 et 8 qui ne nécessitent pas des travaux de terrassement (seulement l'édification des digues) et les utiliser en fonctionnement rotatif avec les bassins actuels, dans le but de prolonger davantage leur autonomie de stockage.

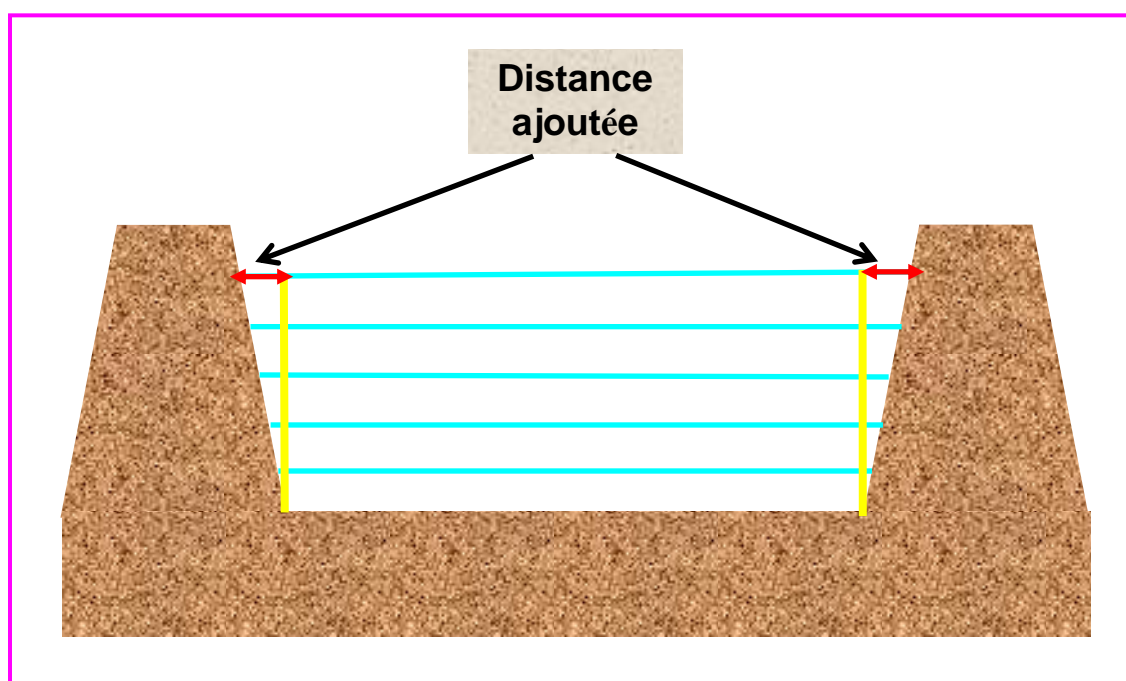
L'étude du processus de stockage sera faite pour les autres bassins qui seront aménagés dans les règles de l'art.

Bassin	Superficie (ha)	Temps de remplissage (jours)	Volume versé (Mm^3)	Volume occupé après déshydratation (Mm^3)
9	13,5	4	101 250	28 500
10	15	5	112 500	31 700
11	18,5	6	138 750	39 100

12	18,5	6	138 750	39 100
13	19,5	6	146 250	41 200
14	19,5	6	146 250	41 200
15	21	7	157 500	44 350
Total	125	40	941 250	265 150

**Temps de remplissage et volume au cours d'une période de rotation pour
une hauteur de pulpe de 60 cm**

Pour simplifier la procédure de calcul, on n'a pas tenu en compte le talutage des murs. En effet, la superficie augmente au fur et à mesure de stockage (Cf. schéma suivant). La durée mentionnée sur le tableau est le temps minimal de remplissage. On a considéré en quelque sorte le cas le plus défavorable.



Pour chaque bassin, on a une durée de consolidation de la boue inférieure à la durée de remplissage des autres bassins. Par conséquent, le cycle sera respecté.

I.6.2 Recommandation

Afin que la gestion de stockage soit parfaitement maîtrisée, je recommande :

- La création d'une entité bien étoffée en moyens humains et matériels nécessaires. Celle-ci sera chargée de la gestion des bassins et de la maintenance des équipements installés.

- Installation d'un automate programmable pour bien gérer le pompage et refoulement des boues.

En installant des capteurs de niveaux de boues, cet automate permet d'assurer d'une façon automatique le cycle de remplissage des bassins. Lorsque le niveau de boue atteint un niveau donné de 60 cm dans le bassin i, le déversement passe automatiquement dans le bassin i+1. Un superviseur peut être également installé pour afficher et suivre le niveau et la situation des bassins en temps réel. L'automate et le superviseur peuvent être installés dans la salle de contrôle au niveau de la laverie.

I.7 Sécurité des bassins

Pour assurer la sécurité des bassins, il faut empêcher toute intrusion sur le site de stockage et surveiller les bassins afin de prévenir tout incident. Pour cela, il faut :

- Installer un grillage avec barbelés clôturant l'ensemble du site, sur une hauteur d'au moins deux mètres.
- Prévoir un gardiennage des bassins.

II. CANALISATIONS ET POMPES

II.1 Tracé des conduites

Le tracé des conduites prendra en compte différents impératifs :

- Le tracé sera le plus direct et le plus régulier.
- Les coudes des conduites seront les plus ouverts possibles afin de diminuer les pertes de charge.
- La réduction du nombre de points extrêmes. En effet, un point haut facilite les cantonnements d'air et un point bas la décantation.

II.2 Dimensionnement du circuit de pompage de boues

Afin d'assurer l'écoulement de la pulpe dans les canalisations, il faut au préalable s'assurer que la vitesse de la pulpe est comprise entre deux valeurs limites :

- Une valeur supérieure à partir de laquelle les pertes de charges sont trop importantes et entraîneraient des dépenses énergétiques trop élevées.
- Une valeur inférieure V_{lim} à partir de laquelle la vitesse de la boue est trop faible pour empêcher la décantation.

Le dimensionnement sera fait sur la base du débit généré par le traitement de la couche 3 qui est le débit le plus grand.

La vitesse critique de décantation V_{lim} et la vitesse réelle d'écoulement sont données par la formule suivante : (Cf. annexe 6-1-a)

$$V_{lim} = 3,07 \sqrt{D}$$

$$V_{réelle} \text{ -- calculée} = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

- Calcul du diamètre de la conduite :

Pour un débit fixe de $Q = 1400 \text{ m}^3/\text{h}$ et, en faisant varier le diamètre de la tuyauterie, on obtient des vitesses limites inférieures d'écoulement que nous allons les comparer aux vitesses réelles (Cf. tableau suivant):

Diamètre (mm)	Vitesse limite inférieure (m/s)	Vitesse réelle calculée
300	1,62	5,5
350	1,74	4,04
400	1,87	3,09
450	1,98	2,45
500	2,09	1,98 < 2,09

Tableau 1 : Vitesses limites et réelles d'écoulement pour différents diamètres de tuyauterie

Le diamètre intérieur de la conduite est donc :

$$D_{int} = 450 \text{ mm}$$

La vitesse d'écoulement est :

$$V = 2,45 \text{ m/s}$$

L'utilisation d'une seule conduite nécessite donc un diamètre de $D = 450 \text{ mm}$ sur une distance de 4000 m . le calcul du diamètre économique de la conduite, qui consiste à trouver un compromis entre le coût d'investissement et les frais d'exploitation, est exprimé suivant la relation suivante :

$$D_{\text{éco}} = 1,456 (e/f)^{0,154} * Q^{0,46}$$

$$Q = 1400 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{0,389 \text{ m}^3/\text{s}}$$
 est le débit de boue

$$e = \mathbf{0,70 \text{ DH / kWh}}$$
 est le prix moyen de facturation d'énergie

$$f = \mathbf{20 \text{ DH}}$$
 est le prix du kg d'acier

On trouve $D_{\text{éco}} = \mathbf{560 \text{ mm}}$ qui est très supérieur à $D = 450 \text{ mm}$

Le même travail a été fait pour un débit de $Q = 700 \text{ m}^3/\text{h}$ qui consiste à mettre en place deux pompes en parallèle à la sortie du décanteur (Cf. annexe 6-1-b).

Le diamètre ainsi obtenu est :

$$D_{\text{int}} = \mathbf{350 \text{ mm}}$$

qui correspond à une vitesse de :

$$V = \mathbf{2,02 \text{ m/s}}$$

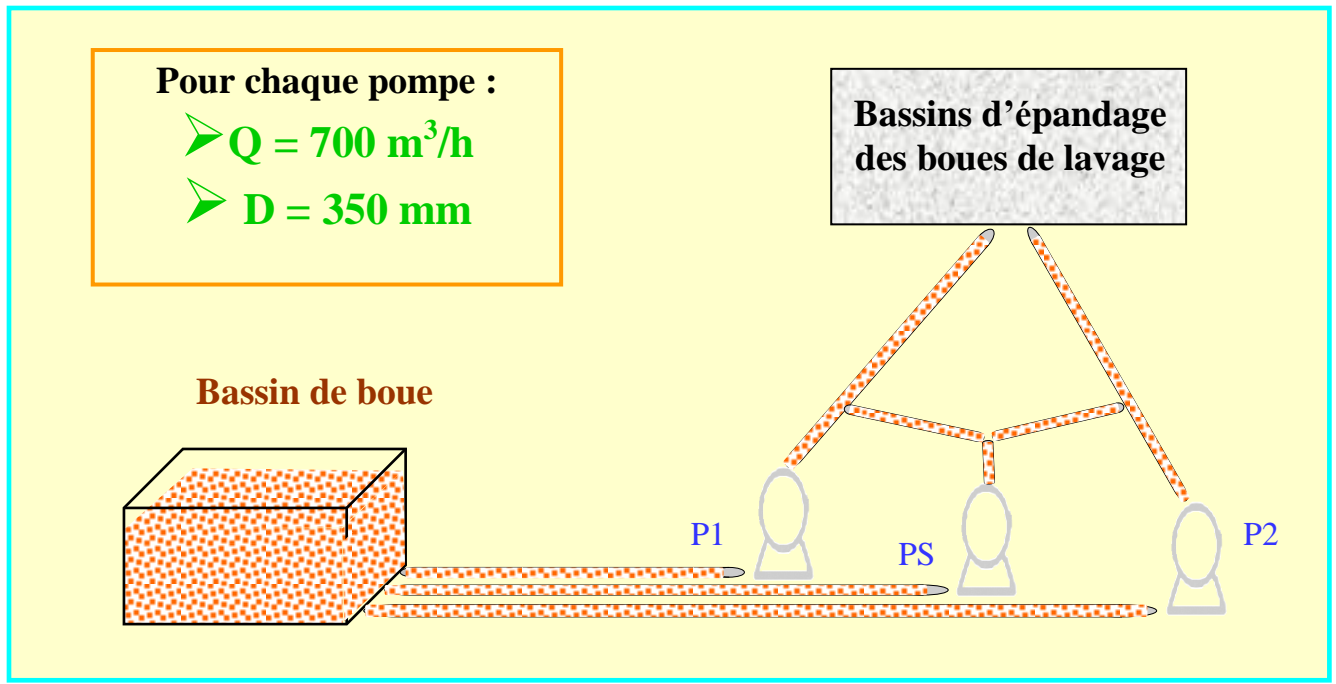
Cette vitesse permet de minimiser les pertes de charges.

Le diamètre économique correspondant à ce débit est de :

$$D_{\text{éco}} = \mathbf{400 \text{ mm}}$$
 qui reste relativement proche de D_{int} .

On utilisera donc deux pompes P1 et P2 avec une pompe secours PS en stand by.

Pour le dimensionnement de la pompe on se basera sur la configuration suivante : utilisation de deux pompes P1 et P2 avec une pompe secours PS en stand by.



- Calcul des pertes de charge :

Les pertes de charges linéaires sont exprimées par la formule suivante :

$$\delta H \ell = \frac{\lambda * v^2 * L}{2 * g * D}$$

Avec :

- $L = 4000 \text{ m}$: longueur de la conduite
- $D = 350 \text{ mm}$: diamètre de la conduite
- $v = 2,02 \text{ m/s}$: vitesse de la boue dans la conduite
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- $\lambda = 0,022$ coefficient des pertes de charge linéaires. (voir annexe 6-1-b).

Soit :

$$\delta H \ell = 52 \text{ m}$$

Par ailleurs, les pertes de charge singulières sont évaluées à **4 m** :

- ☯ 8 coudes 90°
- ☯ 12 coudes 45°
- ☯ 1 divergent
- ☯ 32 vannes (ouvertes)
- ☯ 4 tee.

$$\delta H_{total} = 56 \text{ m}$$

- Calcul de la hauteur manométrique totale H_{MT} :

C'est la hauteur consommée pour faire élever la boue dans la conduite de refoulement ; elle représente donc l'énergie globale à mettre en jeu au départ de la pompe pour élever la boue jusqu'au bassin de stockage.

$$H_{MT} = H_g + \delta H_{total}$$

Avec H_g est la hauteur géométrique. $H_g = 10 \text{ m}$

Soit :

$$H_{MT} = 66 \text{ m}$$

Il faudra donc choisir une pompe répondant à ces caractéristiques ($Q = 700 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 66 \text{ m}$) et dont le rendement maximum r correspondra au mieux à ce couple.

Pour $r = 71,6 \%$ on a la puissance absorbée par la pompe est :

$$P = (\rho_P * g * Q * H_{MT}) / r \quad \text{soit : } P = 216 \text{ Kw}$$

La puissance du moteur est : 250 KW.

II.3 Canalisations de récupération d'eau vers le bassin des eaux claires

La récupération de l'eau claire des bassins se fait au point bas de ces bassins. L'eau récupérée par les exutoires est acheminée vers le bassin de récupération des eaux afin d'être pompée vers la laverie. Les conduites seront enterrées. Il faudra donc les dimensionner de manière à réduire la probabilité de tout problème.

Certes, l'utilisation d'une seule conduite reliant l'eau récupérée de chaque bassin permet de minimiser les longueurs et de réduire le coût des canalisations mais si un problème est survenu au niveau d'une seule cheminée (fuites de boue...), l'eau récupérée dans les autres bassins en différents stades de séchage sera condamnée. On a vécu ce problème lors de la fissure de la cheminée du bassin 4 dont la conduite de récupération est raccordée avec celle des bassins 5 et 6. Par conséquent, seuls les autres bassins (1,2 et 3) pouvaient assurer une récupération d'eau.

Il est donc préférable que chaque cheminée soit munie d'une conduite de récupération d'eau avec une vanne vers une conduite collectrice située à la sortie

des murs des bassins pour acheminer l'eau vers le bassin de collecte d'eau claire.

II.3.1 Tracé des conduites

Le tracé des conduites de récupération d'eau doit tenir compte du débit circulant dans ces conduites qui ne sera pas constant : l'écoulement doit pouvoir s'effectuer quel que soit le débit (le débit est très faible quand la pulpe commence à sécher). Pour cela, les conduites devront avoir une pente gravitaire sur toute leur longueur.

II.3.2 Dimensionnement

La vitesse de l'eau sera prise à 1 m/s (une vitesse supérieure à 0,5 m/s évite le dépôt des particules en suspension et une vitesse inférieure à 1.5 m/s minimise les pertes de charges).

Le débit d'eau susceptible d'être récupéré est :

$$Q = 1000 \text{ m}^3/\text{h} \\ = 0,278 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_L = 24\,000 \text{ m}^3/\text{j} \quad \text{soit}$$

On a :

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}$$



$$D = 600 \text{ mm}$$

Le choix de la nature des nouvelles conduites sera porté sur le Béton Précontraint PMS10 (convenable pour les diamètres supérieurs à 400 mm).

La rugosité des parois (K) sera prise égale à 1 mm pour les conduites en BP, cette valeur élevée permet de prendre en compte les risques d'entartrage par les eaux brutes qui sont chargées de particules en suspension.

II.4 Dimensionnement du circuit de retour de l'eau à la laverie

L'eau est acheminée du bassin de récupération de l'eau vers la laverie à l'aide d'une pompe. Cette pompe fonctionne de manière intermittente, selon la hauteur d'eau claire dans la retenue d'eau.

La canalisation utilisée pour le transport de l'eau relie le bassin de récupération des eaux au bassin d'approvisionnement en eau de la laverie (bassin 51). Sa longueur approximative est de 2000 mètres. Elle part de la côte 755 pour aboutir à la côte 791.

Pour la détermination du diamètre on suivra la même démarche qu'en partie (II.3.2).

L'utilisation d'une seule conduite nécessite un diamètre de $D = 600$ mm sur une distance de **2000** m. le calcul du diamètre économique de la conduite de récupération des eaux d'épandage des boues de lavage donne :

$D_{eco} = 480$ mm qui est très inférieur à $D = 600$ mm

Il est donc préférable d'utiliser deux pompes chacune refoule un débit de $Q = 500 \text{ m}^3/\text{h} = 0,139 \text{ m}^3/\text{s}$

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}$$



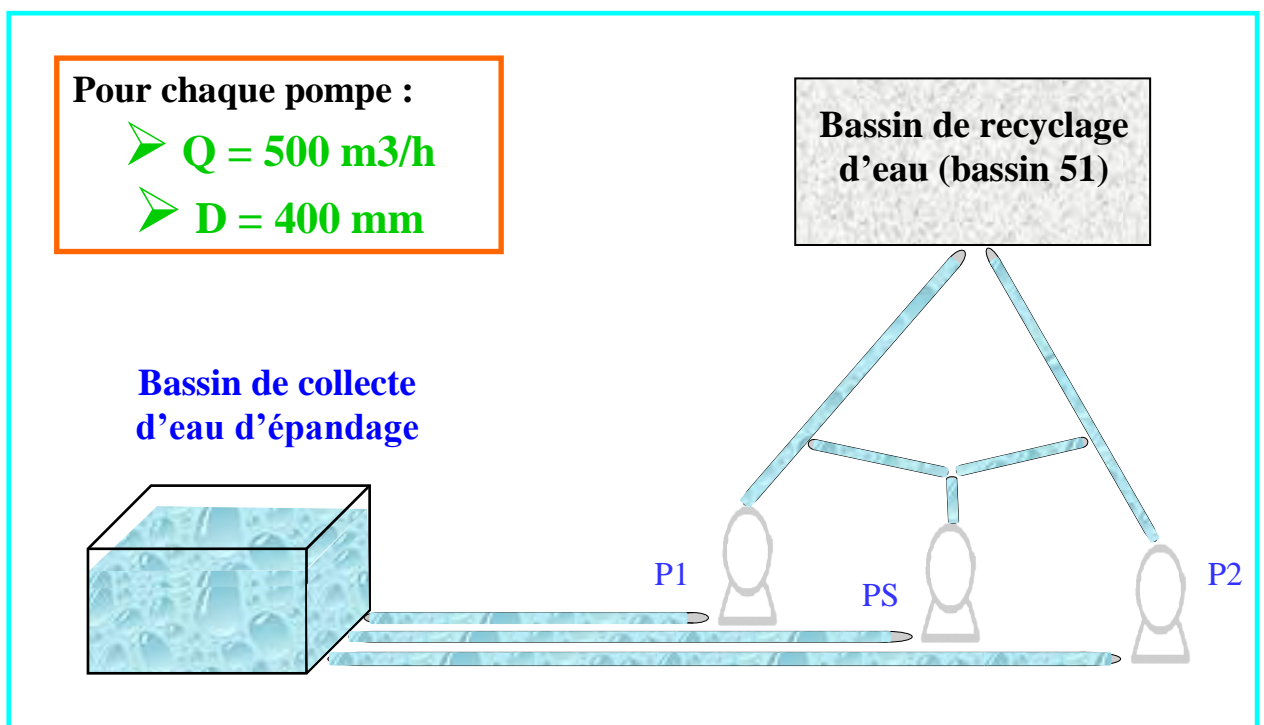
$D = 420$ mm

Le diamètre économique correspondant à ce débit est de :

$D_{eco} = 350$ mm qui reste relativement proche de D .

On utilisera donc deux pompes P1 et P2 avec une pompe secours PS en stand by.

On retient donc la configuration suivante :



Calcul de la hauteur manométrique :

- Calcul des pertes de charge linéaires :

$$\delta H \ell = \frac{\lambda * v^2 * L}{2 * g * D}$$

Avec :

- $v = 1 \text{ m/s}$
- $L = 2000 \text{ m}$
- $D = 0,400 \text{ m}$
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- $\lambda = 0,018$ coefficient des pertes de charge linéaires. (voir annexe 8-2).

Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

POMPE A EAU

Débit	500 m ³ /h	
Hauteur de charge	1,0 m	
Hauteur de refoulement	38,0 m	
Pression au refoulement	0 bar	
Tuyauterie	Aspiration	Refoulement
Longueur tuyauterie	2 m	2000 m
Diamètre nominal	300 mm	400 mm
Matériaux	Acier	Acier
Rugosité	0,25	0,25
Singularité	2	7
	1 Convergent	3 Coudes 90 °
	1 Vanne (ouverte)	2 Clapet anti-retour
		1 Divergent
		2 Vannes (ouvertes)
Nombre de Reynolds	574339	452969
Vitesse d'écoulement	1,87 m/s	1,16 m/s
Pertes singulières	0,1 m	0,3 m
Pertes tuyauterie	0,1 m	6,2 m
Total pertes	0,2 m	6,5 m
Hauteur statique	37, 0 m	
Pertes de charge	6,7 m	
HMT	43,7 m	

Il faudra donc choisir une pompe répondant à ces caractéristiques ($Q = 500 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 44 \text{ m}$) et dont le rendement maximum r correspondra au mieux à ce couple.

Pour $r = 68,6 \%$ on a la puissance absorbée par la pompe est $P = (\rho P \cdot g \cdot Q \cdot HMT)/r$ soit : $P = 87 \text{ kW}$

La puissance du moteur est de 110 KW.

III. ETUDE ECONOMIQUE

Nous avons estimé les coûts de terrassement et d'aménagement des digues et de réalisation des cheminées en fonction des coûts réels d'un projet similaire à Youssoufia.

Nous utiliserons donc ces données en les adaptant à notre cas.

III.1 Coût d'investissement

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix Unitaire (en DH)	Prix Total (en MDH)
Terrassement et aménagement des digues :				
<i>Volume déblais</i>	Mm^3	4,4	15	66
<i>Remblais sur plate forme</i>	Mm^3	1,8	17,5	31,5
<i>Remblais mur</i>	Mm^3	2,2	19,5	42,9
<i>Evacuation excédent déblais</i>	Mm^3	0,4	12	4,8
Total terrassement	----	----	----	145,2
Pompe d'alimentation en pulpe	/	3	420 000	1,26
Canalisations en acier pour l'alimentation en pulpe (350 mm)	m	7800 (×2)	1200	18,7

Pompes pour le retour de l'eau vers la laverie	/	3	200 000	0,6
Canalisations en acier pour le recyclage d'eau (400 mm)	m	2000 (×2)	1320	5,3
Canalisation en Béton Précontraint des cheminées (600 mm)	m	5000	4000	20
Construction des cheminées	nombre	18	320 000	5,8
Imperméabilisation des digues coté cheminée par film en polyane	m ²	120 000	70	8,5
Total				205

Le calcul du coût du volume de déblais fait intervenir toutes les opérations de terrassement y compris la foration et le sautage (3 DH/m³).

La surface qui sera imperméabilisée est d'environ **120 000 m²** :

Le périmètre concerné est d'environ 6700 m et la hauteur de la digue est 18 m (pour une profondeur de 10 m).

III.2 Frais d'exploitation

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix Unitaire (en DH/an)	Prix Total (en DH)/an
Frais d'énergie	KWh	5 000 000	1,09	5 450 000
Frais de personnel	OE	12	100 000	1 540 000
	TAMCA	2	170 000	
Frais d'entretien	5 % de l'investissement (sur les pompes et canalisations)			2 280 000
Total				9 270 000

Frais de personnel

Pour l'entretien des installations du site de stockage, il faut prévoir :

- ☯ 3 agents petite catégorie par poste
- ☯ 3 agents grande catégorie

Pour les OE, le salaire annuel est de 100 000 Dh/agent soit au total :

$$Ca = 12 * 100\ 000 = 1,2\ MDH$$

- ☯ 1 agent petite maîtrise
- ☯ 1 agent haute maîtrise

Pour les TAMCA, le salaire annuel est de 303 000 Dh/agent soit au total :

$$Ca = 2 * 170\,000 = 0,34 \text{ MDH}$$

III.3 Gains escomptés

Les gains relatifs à l'aménagement de nouveaux bassins sont liés à la récupération d'eau :

Le volume d'eau susceptible d'être récupéré est d'environ 17 400 m³/j (moyenne de $V_r = 10\,440 \text{ m}^3/\text{j}$ pour le traitement de la C2 et $V_r = 24\,360 \text{ m}^3/\text{j}$ pour le traitement de la C3)

Le prix du m³ d'eau étant 2,2 DH on a donc des économies de **14 MDH/an**.

En plus de ces gains, le recyclage de cette quantité d'eau assure la continuité de la marche de la laverie et préserve l'image de marque de l'OCP par la protection de l'environnement.

IV. AUTRES POSSIBILITES DE STOCKAGE

IV.1 Aménagement des bassins moins profonds curés périodiquement

Cette variante consiste à aménager des bassins sur une profondeur de 1,5 m qui va nous permettre d'avoir des murs de faible hauteur et donc de gagner en superficie potentiellement capable de constituer un endroit de stockage (possibilité d'avoir plus de nombre de bassins). Une fois la pulpe est séchée, on la retire et on la stocke sur un site à proximité. Ceci va réduire le coût d'investissement mais en revanche, les coûts d'exploitation seront considérables.

Ce mode de stockage impose diverses contraintes :

- Trouver un site susceptible de stocker la pulpe séchée. Ce site doit présenter une dépression naturelle, afin de faciliter le versement de la pulpe.
- Les bassins doivent être aménagés, afin de permettre l'accès aux engins qui cureront le bassin.
- Il faut s'assurer que la pulpe est suffisamment sèche pour la circulation des engins, et éviter leur enlèvement. En hiver et en période de pluie, il serait difficile d'avoir suffisamment de temps pour assurer le séchage de la pulpe ce qui risque de perturber le cycle de stockage des boues.
- Le problème du colmatage des bennes des engins extracteurs et transporteurs de la pulpe doit également être étudié. Pour réduire les coûts de transport, il faut envisager l'installation d'une trémie pour le

déversement des boues séchées et les acheminer par convoyeurs vers une mise à teruil.

Cette variante de bassins moins profond et curés lors du cycle d'exploitation peut être examinée et approfondie en tenant compte des conditions pluviométrique et les contraintes techniques et économiques de gestion :

- ⊕ Aménagement de trémies et de convoyeurs pour le stockage dans les mises à terrils.
- ⊕ Les problèmes et la logistique des moyens de chargement et de transport.

IV.2 Stockage dans les gisements exploités

La boue pourrait être stockée dans d'anciennes tranchées occupant ainsi le vide laissé par l'exploitation. Deux possibilités ont été étudiées :

IV.2.1 Pompage des boues dans la double tranchée de la RIV

Dans cette variante les boues seront refoulées vers un site constitué en général de cavaliers, séparés au milieu par une double tranchée de 25 m de hauteur et de 100 m de largeur en moyenne avec un circuit de tracé de pompage de 9 km de la laverie présentant une hauteur géométrique de 25m. Ceci sur une superficie de 77 Ha soit une capacité volumique de 19 Mm³ prête à accueillir les boues. Les bassins seront confectionnés par des mûrs de séparations dans la tranchée.

IV.2.2 Pompage des boues vers UZ

Une telle solution de stockage nécessite le transport de la pulpe sur une distance de 5 km de la laverie présentant une dénivelée de 92 m.

- ⊕ La surface totale disponible est d'environ 110 Ha
- ⊕ Le volume des déblais à déplacer pour la confection des mûrs et le nivelage des bassins est de 6 Mm³
- ⊕ La capacité totale des bassins est de 11 Mm³, équivalente à 4,5 ans de stockage

IV.2.3 Conclusion

Compte tenu de la forte dénivelée entre UD et UZ (92m), le pompage vers les tranchées de la recette IV resterait plus intéressant.

Mais cette solution reste tributaire de l'exploitation des niveaux C3 pour libérer l'aire de stockage des boues.

V. IMPACTS DU STOCKAGE DES BOUES

V.1 Impacts environnementaux

V.1.1 Pollution du sous-sol

Une campagne de suivi semestriel est réalisée par le laboratoire environnement du CERPHOS. Elle concerne les eaux de rejets, les eaux de recyclage, un maillage de sept puits aux alentours des digues et un puit de référence dans la commune de Bir Mezoui. Les résultats obtenus permettent d'exclure tout problème environnemental ou risque sanitaire lié au stockage des boues. De plus, la couche de pulpe étalée au fond du bassin agit comme un produit d'imperméabilisation et permet d'empêcher, dès le deuxième remplissage, tout problème d'infiltration en souterrain.

Une étude d'impact sur le comportement à long terme de ces boues doit être menée afin de savoir si ces terrains de stockage pourront être réhabilités en terre arable. Pour cela, une culture sur des boues en laboratoire pourrait être entreprise.

V.1.2 Réhabilitation du site

Divers projets pourraient être réalisés dans le cadre d'une future réhabilitation des lieux, après l'arrêt du stockage des boues sur le site :

- ♣ Le projet le plus simple serait la plantation d'arbres sur le site de stockage, en profitant du large espace disponible.
- ♣ L'apport de terre végétale pourrait permettre une réutilisation de ces bassins par des agriculteurs des villages voisins.

V.2 Impacts sur la population avoisinante

- Le stockage de la pulpe sur ce site ne changera pas la qualité de la nappe. L'eau consommée par la population environnante ne sera pas affectée.
- La présence du grillage tout autour du site de stockage protégera la population de tout accident.
- La réhabilitation après la durée de stockage permettra de créer un espace vert pour les villages voisins

CONCLUSION

L'état des lieux des différents bassins d'épandage des boues de lavage a permis de dégager des difficultés qui entravent et perturbent la bonne gestion de stockage et de récupération d'eau.

Les principales actions d'amélioration proposées afin d'améliorer l'état des bassins et de prolonger leur durée d'autonomie de stockage sont les suivantes :

- ✚ Confortement et rehaussement des murs.
- ✚ Renforcement des passages pour éviter leur affaissement et éboulement.
- ✚ Surélévation des cheminées et installation des passerelles pour y accéder.
- ✚ Ajout des points d'alimentation.
- ✚ Redimensionnement du circuit de pompage et canalisations de boue et de recyclage d'eau claire.

Ces actions permettent d'assurer une capacité supplémentaire d'une année. Le coût d'investissement est de 7,1 MDH et les gains escomptés sont évalués à 7,4 MDH. En plus la réalisation de ces travaux est nécessaire pour assurer la continuité de la marche de la laverie Daoui.

Il est donc impératif de s'orienter vers d'autres solutions pour le stockage des boues. Pour une solution durable de stockage des boues de lavage, deux scénarios sont étudiés dans ce cadre, à savoir :

- ☀ Aménagement de nouveaux bassins près de ceux existants en exploitant les terrains acquis. Quatre zones sont ainsi délimitées et étudiées pour la réalisation de 9 nouveaux bassins.
- ☀ Stockage des boues dans des anciennes zones exploitées :
 - Stockage proche de l'usine de UZ
 - Stockage à la recette IV

Certes, les tranchées présentent un bon site de stockage mais suite à la longueur du circuit de pompage importante et surtout à la présence de la couche 3 qui n'est pas encore exploitée dans ces deux sites, cette solution n'est pas envisageable dans l'immédiat.

D'après cette étude on déduit que l'aménagement de nouveaux bassins à proximité de la laverie, en capitalisant toute l'expérience acquise avec les

bassins existants et ceux conçus à Gantour est la meilleure option en terme de durée de stockage, de coût et de récupération d'eau.

Une étude technico-économique de cette variante nous a permis de ressortir les éléments suivants :

- Coût d'investissement = 205 MDH.
- Frais d'exploitation = 9,3 MDH/an.
- Gains escomptés = 14 MDH/an

En plus de ces gains, le recyclage d'eau assure la continuité de la marche de la laverie et préserve l'image de marque de l'OCP par la protection de l'environnement.