



SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	5
PRESENTATION DE LA COSUMAR	6

CHAPITRE 1

PROCEDE DE FABRICATION DU SUCRE ET PRESENTATION DE LA STATION DE DESUCRAGE DES BOUES

1. Procédé de fabrication du sucre	9
1.1. Réception et stockage du sucre brut	9
1.2. Affinage.....	10
1.3. Epuration	11
1.3.1. Fonte du sucre affiné	11
1.3.2. Carbonatation	11
1.3.3. Filtration mécanique.....	13
1.3.4. Décoloration.....	13
1.4. Evaporation	14
1.5. Cristallisation	14
1.6. Bas produits.....	15
1.7. Produits finis	15
1.7.1. Pains turbinés	15
1.7.2. Lingots et morceaux.....	16
1.7.3. Sucre granulé	16
2. La station de désucrage des boues.....	17
2.1. Filtration.....	17
2.2. Filtres-presse automatiques	17
2.3. Description de la station de désucrage des boues	18
2.4. Déroulement technologique de la filtration.....	19
2.4.1. Remplissage et filtration.....	19
2.4.2. Désucrage	20
2.4.3. Compactage préliminaire.....	20
2.4.4. Compactage intermédiaire.....	20
2.4.5. Lavage des tourteaux.....	20
2.4.6. Compactage final.....	20

2.4.7. Séchage des tourteaux	21
2.4.8. Purge du canal à l'eau boueuse.....	21
2.4.9. Séchage du canal à l'eau boueuse	21
2.4.10. Mise à l'atmosphère et débâtissage du filtre	21
2.5. Nettoyage des toiles de filtration	21
2.6. Séchage d'air comprimé	23

CHAPITRE 2

REDUCTION DE L'HUMIDITE DES TOURTEAUX ET DE LA CONSOMMATION DE L'EAU DANS LA STATION DE DESUCRAGE DES BOUES

1. Réduction de l'humidité des tourteaux.....	25
1.1. Suivie de l'humidité des tourteaux.....	25
1.2. Application de la méthode d'Ishikawa	26
2. Recommandations	33
3. Réduction de la consommation de l'eau	35
3.1. Consommation de l'eau dans la station de désucrage des boues	35
3.2. Réduction de la consommation de l'eau du désucrage et du lavage des tourteaux	36
3.3. Réutilisation de l'eau de nettoyage des toiles de filtration	37
3.3.1. Nombre des cycles de filtration possibles avant de nettoyer les toiles	37
3.3.2. Quantité de l'eau boueuse traitée par la station de désucrage des boues	37
3.3.3. Quantité de l'eau nécessaire par jour pour nettoyer les toiles de filtration.....	41
3.3.4. Réutilisation de l'eau de nettoyage dans la dilution de l'eau boueuse	42
3.3.5. Récupération de l'eau issue de nettoyage des toiles de filtration	43
3.4. Calcul économique.....	46
3.4.1. Gain mensuel.....	46
3.4.2. Coût d'investissement.....	47
3.4.3. Le temps de retour sur l'investissement.....	49
CONCLUSION	51
BIBLIOGRAPHIE.....	52

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Répartition de la production du sucre raffiné parla COSUMAR en 2009	6
Figure 2 : Schéma descriptif du filtre-presse	18
Figure 3 : Représentation graphique des résultats d'analyse des tourteaux.....	25
Figure 4 : Causes pouvant augmenter l'humidité des tourteaux	26
Figure 5 : Pont laveur.....	27
Figure 6 : Barrière photoélectrique	28
Figure 7 : Photo représentatif de la boue emprisonnée entre le plateau et la chambre	29
Figure 8 : Photo représentatif de la boue emprisonnée	29
Figure 9 : Les trous permettant le passage de la boue entre le plateau et la chambre.....	29
Figure 10 : Etat des filtres de l'eau de désucrage	30
Figure 11 : Etat des filtres de l'eau de nettoyage.....	30
Figure 12 : Pont laveur effectuant le nettoyage des toiles. Les cercles rouges représentent les buses colmatés	30
Figure 13 : Photo représente une ouverture à travers de laquelle, la poussière se propage ...	31
Figure 14 : Opérateur libère les tourteaux qui restent collés sur les toiles de filtration.....	32
Figure 15 : Schéma représentatif du circuit de l'air comprimé	33
Figure 16 : Circuit d'air comprimé proposé.....	33
Figure 17 : Variation du pourcentage du sucre dans les tourteaux en fonction du volume d'eau de désucrage et de lavage utilisé	36
Figure 18 : Les entrées et les sorties du réservoir stockant l'eau boueuse diluée	38
Figure 19 : Les entrées et les sorties du réservoir stockant l'eau boueuse sortie des filtres DIASTAR.....	42
Figure 20 : Schéma explicatif de la localisation du réservoir de récupération de l'eau de nettoyage.....	45
Figure 21 : Représentation graphique du prix du réservoir en fonction de son volume pour différents matériaux	48



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Fiche technique de la COSUMAR	7
Tableau 2 : Résumé des causes et conséquences générant l'humidité élevée des tourteaux ..	32
Tableau 3 : Consommation de l'eau dans la station de désucrage des boues	35
Tableau 4 : Les résultats de l'essai effectué sur le commencement du collage des boues	37
Tableau 5 : Caractéristiques du réservoir dimensionné	45
Tableau 6 : Les coûts inclus dans le coût d'investissement.....	49

INTRODUCTION GENERALE

Le sucre est une substance de saveur douce extraite de la canne à sucre. Il est majoritairement formé d'un composé nommé saccharose. Il se trouve que la betterave sucrière et d'autres végétaux permettent également de produire des produits composés essentiellement du saccharose.

Au Maroc, la consommation du sucre est très importante avec une moyenne annuelle de 35 Kg par habitant et qui dépasse largement la moyenne mondiale qui est de 20 Kg. En plus de sa production, le Maroc importe 35% de ses besoins.

La Compagnie Sucrière Marocaine de Raffinage, **COSUMAR**, est l'unique producteur du sucre au Maroc depuis 2005, en produisant environ 3000 Tonnes par jour. Pour garder cette dominance, la **COSUMAR** s'engage dans l'amélioration continue de sa production. Ce qui nécessite le contrôle des différentes opérations techniques effectués et une bonne optimisation de sa consommation d'énergie, de la matière première et de l'eau.

Au niveau de la station de désucrage des boues, les tourteaux déchargés après filtration possède une humidité élevée. Ce qui peut poser des problèmes comme leur collage sur les toiles de filtration, d'où, la nécessité de la réduire. Ainsi, l'optimisation de la consommation de l'eau dans cette station présente une opportunité importante vue la consommation élevée de l'eau à la **COSUMAR**.

Le présent travail a pour objectif, la détermination des causes de l'humidité élevée des tourteaux en proposant des recommandations afin de réduire cette humidité et l'optimisation de la consommation de l'eau dans la station de désucrage des boues.

Cette étude est structurée comme suit :

- Une présentation de la **COSUMAR**.
- Chapitre 1, sera consacré à une description du procédé de fabrication du sucre et une présentation de la station de désucrage des boues.
- Chapitre 2, sera consacré à l'étude effectuée afin de réduire l'humidité des tourteaux et la consommation de l'eau dans la station de désucrage des boues.

PRESENTATION DE LA COSUMAR

La COSUMAR est un groupe marocain, filiale de la Société nationale d'investissement, spécialisé dans l'extraction, le raffinage et le conditionnement du sucre sous différentes formes. Il est devenu l'unique opérateur sucrier marocain après l'acquisition de SUTA, SUCRAFOR, SUNABEL et SURAC en 2005.

La raffinerie fonde son métier sur 3 principales activités :

- L'extraction du sucre à partir des plantes sucrières : canne et betterave à sucre ;
- Le raffinage du sucre brut importé ;
- Le conditionnement sous différentes variétés.

La production annuelle est de :

- 1.119.000 tonnes de sucre ;
- 200.000 tonnes de mélasse ;
- 190.000 tonnes de pulpe.

Le sucre raffiné de la COSUMAR est présenté sous diverses formes pour la vente :

- Pains de sucres de 2 Kg en cartons de 20 et 24 kg ;
- Sucre en lingots et morceaux, en boîtes de 1 kg ou en fardeaux de 5 kg ;
- Sucres granulés en sachets de 1 à 2 kg ou en sacs de 50 kg.

La figure 1 présente la répartition de la production de COSUMAR en 2009.

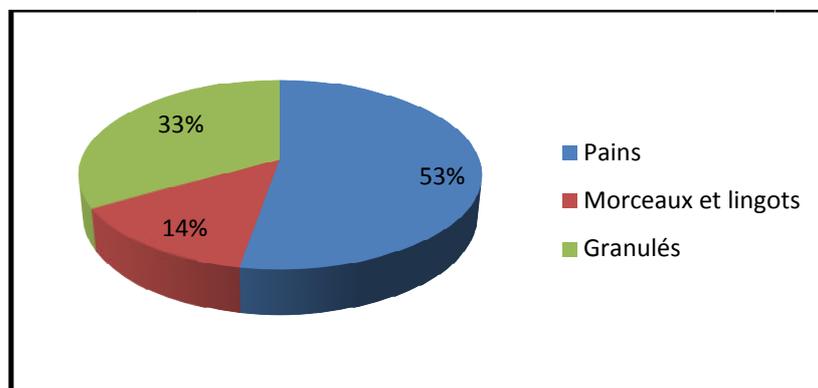


Figure 1 : Répartition de la production du sucre raffiné par la COSUMAR en 2009

La COSUMAR commercialise aussi les bas produits cités ci-dessous :

- La mélasse : utilisée comme substrat pour la fabrication de levures ;
- Les pellets : (ou pulpe déshydratée), largement utilisés comme matière première pour l'alimentation animale et du bétail en particulier.

La COSUMAR commercialise ses produits sous la marque PANTHERE. Ainsi, la distribution de ses produits à l'intérieur du pays se fait à travers un réseau commercial constitué d'agences dans les principales villes (Rabat, Casablanca, Fès, Agadir et Safi).

Le tableau 1 présente la fiche technique de la COSUMAR

Tableau 1 : Fiche technique de la COSUMAR

Forme juridique	Société anonyme.
Date de création	1929
Capitale	4.188.600.000 DH dont 1.300.000.000DH de subvention.
Capacité de production	Plus de 3000 tonnes de sucre raffiné par jour.
Effectif	2400 personnes dont 105 cadres.
Adresse	8, Rue EL Mouatamid Ibnou Abbad, BP 3098 Ain Sebaa, 20300 Casablanca.
Téléphone	05 22 40 13 63
Fax	05 22 24 10 71
Site web	www.cosumar.co.ma



CHAPITRE 1

PROCEDE DE FABRICATION DU SUCRE

ET PRESENTATION DE LA STATION DE

DESUCRAGE DES BOUES

CHAPITRE 1

PROCEDE DE FABRICATION DU SUCRE ET PRESENTATION DE LA STATION DE DESUCRAGE DES BOUES

Le procédé de fabrication du sucre contient les différentes opérations permettant d'obtenir un sucre raffiné le plus pur possible et une mélasse contenant le maximum d'impuretés venant du sucre brut et le minimum de sucre. Ceci dans les conditions les plus économiques possibles.

Ces opérations permettent :

- De retirer les impuretés extérieures au cristal, c'est l'affinage.
- De retirer les impuretés intérieures au cristal de sucre brut après la fonte du cristal de sucre affiné, c'est la clarification.
- De retirer les colorants de la fonte par passage d'un absorbant.
- De recristalliser le saccharose pour obtenir un cristal pur à partir de la solution purifiée par les opérations précédentes.

Dans la suite de ce chapitre, nous présentons :

- Le procédé de fabrication du sucre ;
- La station de désucrage des boues.

1. Procédé de fabrication du sucre

1.1. Réception et stockage du sucre brut

Le sucre brut constitue la matière première de la raffinerie, il est stocké dans des grands magasins "silos" dont la capacité est de 75000 tonnes.

Le sucre est transféré vers la station d'affinage grâce à des bandes transporteuses en passant par deux servo-balances, un aimant pour éliminer les métaux ferreux, et un tamis pour isoler les grosses impuretés.

1.2. Affinage

L'affinage sert à débarrasser les cristaux de sucre brut de la pellicule séchée de mélasse ou d'égout impur qui les entourent (impuretés externe).

Le sucre brut issu du silo de stockage passe par un aimant et un tamis vibreur installés afin d'extraire respectivement les débris métalliques et les grosses particules (morceaux de sucre solide).

Deux étapes sont nécessaires pour la réalisation de cette opération :

- Empattage ;
 - Turbinage.
-
- **Empattage**

Le sucre brut est transporté successivement par des bandes et tamisé pour retenir les grosses particules. Dans un malaxeur muni d'une double enveloppe, le sucre se mélange avec « l'égout riche d'empattage » pour éliminer les impuretés externes de la molécule. Nous obtenons un magma appelé « masse cuite d'empattage ».

Remarque :

A ce niveau, la température est un facteur très important, elle permet de réduire la viscosité permettant ainsi d'accélérer la diffusion des non sucres, et facilitant le pompage de la masse cuite vers l'étape suivante.

Pour empêcher l'inversion de saccharose en glucose le pH doit être maintenu entre 8 et 8.5 par l'ajout du lait de chaux (chaux + eau). Ainsi, la température ne doit pas être trop élevée.

- **Turbinage**

Le turbinage consiste à séparer l'égout des cristaux afin d'obtenir du sucre qui va être fondu par la suite. Les turbines utilisées à la COSUMAR sont des centrifugeuses essoreuses discontinues BMA de marque allemande. Elles sont au nombre de 6 de charge maximale 1500 kg chacune. La turbine est constituée de plusieurs sous-ensemble et éléments dont un organe moteur situé à la partie supérieure, commandant un arbre

vertical qui porte un panier. Ce panier est conçu pour recevoir la masse cuite d'empattage.

Le cycle se caractérise par une succession d'opération permettant une séparation phase liquide (égout) de la phase solide (sucre affiné). Le cycle de turbinage comprend 5 étapes :

- Le chargement de la masse cuite d'empattage à une vitesse de 240 tr/min.
- L'accélération avec clairçage par l'eau sucrée chaude.
- L'essorage à une vitesse de 1000 tr/min.
- Le déchargement de sucre essoré à une vitesse de 160 tr/min.
- Le lavage des paniers.

1.3. Epuration

L'épuration est le fait d'éliminer les impuretés incluses dans le système cristallin de sucre affiné, en ajoutant certains produits à la fonte pour rassembler les impuretés et faciliter la filtration.

1.3.1. Fonte du sucre affiné

Nous procédons à la dissolution du sucre affiné afin de défaire le système cristallin et pouvoir attaquer ses impuretés.

Cette opération s'effectue dans des fondoirs où le sucre est mélangé avec les eaux sucrées sous-saturées qui ne contiennent pas de sels minéraux solubles (qui risquent d'augmenter la concentration de la fonte en cendres).

Remarque :

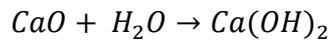
- Le débit des eaux sucrées est réglé de façon à atteindre un Brix voulu.
- Le sirop de la fonte obtenu est appelé Commune non carbonatée.

1.3.2. Carbonatation

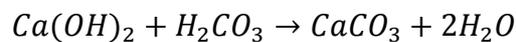
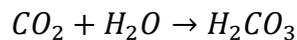
C'est le procédé de précipitation du carbonate de calcium dans la fonte sous une forme gélatineuse, il permet de séparer les gommes, les résines et quelques cendres assurant ainsi une décoloration partielle du sirop qui peut arriver jusqu'à 60% et donnant à la fin un sirop qu'on appelle commune carbonatée.

La fonte commune est chauffée puis pompée dans des cuves appelées « chaudières à carbonater » qui sont au nombre de trois. Avant d'entrer dans la

chaudière, la fonte commune est mélangée au lait de chaux appelé aussi chaux éteinte, obtenue par la réaction suivante :



Le mélange obtenu est appelé « commune carbonatée ». Cette dernière entre dans la chaudière dans laquelle est injecté du gaz carbonique obtenu par traitement des fumées de chaudière de la centrale thermique. Le barbotage du sirop permet la formation d'un précipité (carbonate de calcium) qui va adsorber une grande proportion des impuretés du sirop suivant les réactions :



La carbonatation a donc pour objectif la formation d'un précipité de carbonate de calcium qui a un double rôle d'une part : il adsorbe les matières colorantes et précipite les sels minéraux et d'autre part, il joue le rôle d'adjuvant de filtration.

Remarque :

Le bon déroulement de la carbonatation dépend de plusieurs paramètres, il est fonction de la qualité de sirop à l'entrée et à la sortie (la coloration, pH et le taux de cendres). Ces paramètres sont :

- La concentration en lait de chaux, plus elle augmente, plus le taux de décoloration augmente, cependant il reste limité par le volume du gaz.
- Le volume de gaz.
- La température : au cours du travail, la température est optimisée de façon à ne pas convertir le saccharose dans le cas d'une température élevée ou bien ralentir la réaction dans le cas contraire. Elle est donc comprise entre 60°C et 65°C ce qui réduit aussi la formation de sels de chaux solubles à ces températures.
- Le pH : à la sortie de la dernière chaudière, le pH doit être compris entre 8.5 et 9.5 car un pH plus élevé rend le carbonate de calcium pulvérulent.

1.3.3. Filtration mécanique

La filtration permet l'élimination des précipités formés contenus dans le sirop carbonaté.

Après la carbonatation, le sirop doit passer par la filtration mécanique sur des toiles synthétiques filtrantes (8 filtres DIASTAR de capacité de 30 m³ chacun commandés par l'automatisme) chacun enveloppé d'une toile qui laisse passer le sirop seulement, alors que le carbonate de calcium s'accumule autour de la toile, en formant un gâteau d'une certaine épaisseur, qui facilite d'avantage la filtration, on obtient donc un sirop limpide, envoyé vers le bac de la commune filtrée puis vers les colonnes de décoloration.

Une fois le gâteau épaissi, on fait un débâtissage selon les étapes suivantes :

- Vidange sirop.
- Remplissage eaux boueuses.
- Soufflage, et vidange sirop.
- Remplissage sirop.

La boue issue de cette opération est mélangée à une eau adoucie, puis filtrée et désucriée dans des filtres presse au niveau de la station de désucrage des boues. L'eau sucrée récupérée sera utilisée dans les différentes étapes de la production.

1.3.4. Décoloration

Cette opération permet l'élimination des fines particules d'impuretés telles que les cendres et les sels minéraux, qui n'étaient pas précipitées lors de la carbonatation et qui pourront maculer la blancheur du sucre. Elle consiste en l'adsorption des particules sur les résines échangeuses d'ions.

Avant d'atteindre les colonnes de résine, la commune filtrée passe tout d'abord par des filtres dits de protection avec des mails de 50 µm de diamètre pour empêcher le passage des particules en suspension qui pourraient encombrer la résine et réduire ainsi sa durée de vie qui est de l'ordre de 4 ans.

Pendant la phase de décoloration, la résine se charge en matières colorantes et en anions divers, elle se sature au cours du temps.

Il est nécessaire d'extraire les impuretés ainsi retenues, pour cela on fait une régénération à contre courant, il existe deux types de régénération :

- Régénération basique : par un mélange de la (saumure « NaCl + NaOH »), elle se fait après chaque cycle.
- Régénération acide : à l'aide de l'acide chlorhydrique (HCl), elle se fait après dix cycle, puis on fait un rinçage suivi d'une régénération basique pour éliminer des impuretés organiques retenues sur la résine et pour neutraliser le pH.

1.4. Evaporation

A ce niveau, la raffinade est prête à être cristallisée, mais il est intéressant de la réchauffer, et de l'évaporer afin d'augmenter son Brix de 65 à 74. Cette opération se fait dans des chaudières appelées CEFT (Corps Evaporateur à Flux Tombant).

Ces dernières sont alimentées par la vapeur parvenue du bouilleur. C'est un appareil producteur de la vapeur, il est alimenté par la vapeur d'échappement issue des turboalternateurs ou de la vapeur à haute pression directement après une détente (de 41 bars à 1.5 bars) et de l'eau parvenue de la bêche chaufferie (un collecteur des condensas). Les fluides vapeur-eau passent à contre courant à travers un faisceau tubulaire situé en bas du bouilleur. Ainsi vaporisée, la raffinade est envoyée à la station de cristallisation.

1.5. Cristallisation

La cristallisation a pour but, la formation de maximum des cristaux à partir de la raffinade concentrée, dans des appareils à cuire appelés cuites. Ces cuites possèdent un système de chauffage sous forme d'un faisceau tubulaire placé en bas de l'appareil. L'alimentation des cuites en sirop se fait donc par le bas, de façon à couvrir le faisceau. La quantité de sirop introduite de cette manière s'appelle le « pied de cuite ».

Le cuiseur procède ensuite à la concentration de ce pied de cuite tout en ajoutant le sirop. La concentration du sirop est alors augmentée jusqu'à un Brix de 81%, arrivant ainsi à l'étape de « grainage ». Celle-ci se fait en introduisant une quantité de sucre, finement broyé, mélangé à de l'alcool, qui va servir comme germes pour amorcer la formation des premiers cristaux.

Enfin, on fait le malaxage, c'est à dire que la masse cuite est coulée vers un malaxeur horizontal qui va l'agiter un certains temps et cela afin de compléter la formation des cristaux, ici le Brix est égale à 83,4%. Le produit de cristallisation est appelé masse cuite où on a les cristaux et égout mère.

1.6. Bas produits

Le travail des bas produits est l'un des plus importantes opérations de l'industrie du raffinage, c'est la dernière phase dans laquelle on récupère le maximum du sucre retenu dans les impuretés.

Le sucre est retiré par cristallisation successive du sirop jusqu'à l'obtention d'un produit incristallisable : c'est la Mélasse.

1.7. Produits finis

1.7.1. Pains turbinés

L'usine assure une production du pain de sucre par turbinage, la séparation des cristaux de leur eau mère se fait par des turbines. L'eau mère est appelée ici sirop 1.

La masse cuite des appareils à cuire est envoyée aux deux stations de soutirage après 1h30min de cuisson. Chaque station comporte deux doseurs à 6 alvéoles. Le doseur remplit 6 formes de pains coniques métalliques de capacité 2,2 litres. Les wagons contenant 60 formes avancent sous les doseurs automatiquement.

Les wagons chargés de formes remplies de masse cuite se dirigent vers les emplis. Ce sont 2 enceintes où sont stockées les formes de pains pour permettre l'épuisement de l'égout mère. La masse cuite se modifie dans l'empli chaud partiellement et sa température baisse de 100 à 70°C. Puis elle passe dans l'empli froid et se refroidit à une température de 42 à 45°C. Le temps de séjour dans les emplis est de 6 h.

Les formes sont mises dans les alvéoles des turbines. Chaque turbine possède 150 alvéoles ayant la forme des pains. L'essorage du pain se fait par les turbines tournant à 600 tr/min. On sépare l'égout mère ou sirop 1 servant à la fabrication des lingots et morceaux. Le cycle de la turbine dure 6 min.

A la station de lôchage, on démoule manuellement le pain de sa forme. Les formes vides sont remises sur le wagon pour être lavées.

A l'aide des scies automatiques tournant à une vitesse de 300 tr/min, on enlève une partie de la base des pains de sucres. Les pains sciés de même poids (entre 2030 et 2035 g) sont acheminés vers l'étuve.

Pour sa bonne conservation, on élimine l'eau contenue dans le pain par un courant d'air chaud. La durée de séchage est de 16 h.

Les pains sont emballés avec du papier violet. Ils sont ensuite étiquetés, misent en carton pour la commercialisation. Le poids des cartons est contrôlé avant leur expédition.

1.7.2. Lingots et morceaux

Le sucre, lingots et morceaux, a former à partir du sirop 1 obtenu pendant le turbinage, il est récupéré dans des bacs de stockage pour être pompé vers la cuite lingots automatique et vers les cuites manuelles en cas de besoin.

La masse cuite ainsi formée est coulée à un Brix de 90,6 et une pureté de 97,9 à 90°C dans un malaxeur d'une capacité de 300 hl. Après épuisement de l'eau mère, la masse cuite est distribuée par un ragot dans quatre turbines compact de capacité de 600 Kg chacune, le clairçage se fait avec de l'eau froide afin d'éviter la dissolution du saccharose. Le sucre ainsi turbiné retient une humidité de 1,5 à 2 pour faciliter le moulage qui se fait dans des moules sous forme de gros morceaux et petits morceaux, puis envoyés vers un sécheur après démoulage. Enfin, le sucre lingots et morceaux sont emballés dans des boîtes d'un Kg, puis dans des fardeaux de 5 Kg.

1.7.3. Sucre granulé

Le granulé est obtenu à partir du sirop 1 dans un appareil à cuire automatique. La masse cuite est coulée à 92 de Brix et 95,5 de pureté puis versée dans deux turbines de capacité 1500 Kg chacune. L'égout séparé de la masse cuite lors du turbinage : nommé sirop 2, est envoyé vers les cuites des bas produits, et le sucre produit est dirigé à travers des bandes vers un sécheur, ensuite vers des tamis. Le sucre granulé tamisé et ensaché après dans des sacs de 50 Kg et les sacs en polyéthylène de 2 Kg.

2. La station de désucrage des boues

2.1. Filtration

Le but d'une opération de filtration est la séparation d'une phase continue (liquide ou gazeuse) et d'une phase dispersée (solide ou liquide), initialement mélangées.

Suivant les cas, on cherche à récupérer :

- Soit la phase continue débarrassée au maximum de la phase dispersée (filtration de l'air ou de l'eau, d'une huile motrice ou d'un liquide alimentaire, etc.) ;
- Soit la phase dispersée (récupération d'un précipité cristallin, des poussières ou du métal précieux, etc.) ;
- Soit l'une et l'autre phase si leur intérêt économique le justifie.

Pour séparer les deux constituants, On amène la suspension au-dessus d'un support (grille, toile, membrane, etc.) sur lequel, les particules vont se déposer sous la forme d'un gâteau ou tourteau d'épaisseur croissante. Le filtrat sera plus ou moins pur suivant les dimensions des particules, la texture du support et le temps.

La filtration sur support est également appelée filtration en surface, sur membrane, ou à gâteau (cake filtration).

On l'utilise en général pour la filtration de suspensions assez fortement chargées en matières solides.

2.2. Filtres-presse automatiques

Les filtres-presse ont connu un regain d'activité dans leurs applications comme extracteurs, en particulier dans les traitements des eaux résiduaires.

Les très grandes quantités de boues à retenir et la fréquence de débâtissage ont conduit à rechercher leur automatisation intégrale.

La figure 2 représente un schéma descriptif du filtre-presse automatique

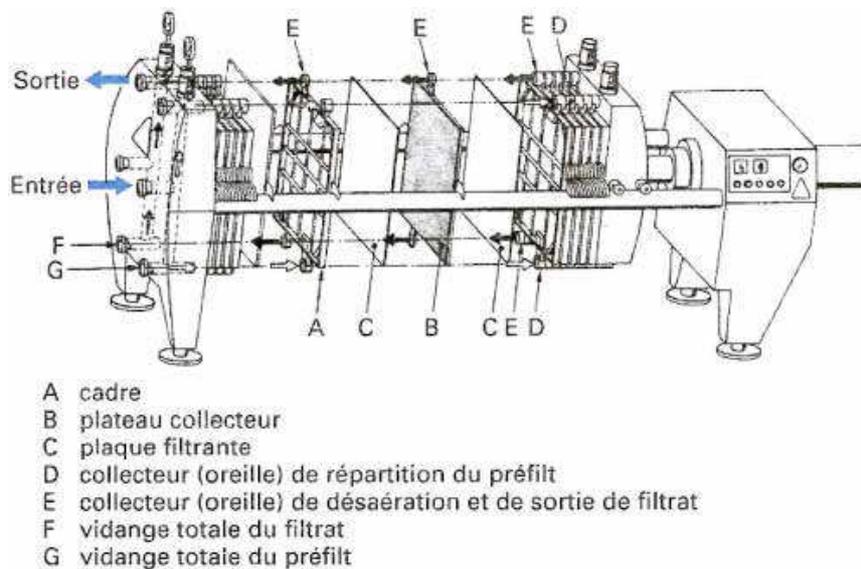


Figure 2 : Schéma descriptif du filtre-presse

Divers systèmes de débâtissage automatique existent, composés généralement de crochets entraînés par une chaîne sans fin et permettant de dégager et débâtir les cadres un à un.

Les cadres sont équipés de membranes de compression dans lesquelles on insuffle de l'air sous pression, juste avant le débâtissage pour parfaire la déshydratation du gâteau. Des membranes semblables peuvent équiper les filtres-presse classiques à plateaux chambrés.

2.3. Description de la station de désucrage des boues

La station de désucrage des boues a pour but, l'élimination de la boue contenue dans l'eau boueuse, sous forme des tourteaux, afin de récupérer une eau sucrée qui est recyclée et mélangée en amont avec le sucre brut au niveau de l'étape de l'affinage. La station contient deux filtres-presse qui fonctionnent en alternance en marche discontinue.

L'eau boueuse est stockée dans un bac de 35 m³ qui alimente les deux filtres presse à l'aide d'une pompe centrifuge. Le filtrat est récupéré dans un bac de 25 m³ alors que les tourteaux sont déchargés dans un terrain au-dessous des filtres presses afin de les charger et les transporter par des camions. L'eau de lavage et de nettoyage est stockée dans un bac de 25 m³ et pompée à travers des filtres avant son utilisation au niveau des

filtres-presse. La station offre de l'air comprimé à l'aide de deux compresseurs qui alimente un réservoir d'air comprimé de 10 m³ en passant par des sécheurs frigorifiques.

Le filtre-presse fonctionne en discontinu en tant que filtre-presse à membranes. Un cycle de filtration comporte les étapes suivantes :

- Remplissage ;
- Filtration ;
- Désucrage ;
- Compactage préliminaire ;
- Compactage intermédiaire ;
- Lavage des tourteaux ;
- Compactage final ;
- Séchage des tourteaux ;
- Purge du canal à l'eau boueuse ;
- Séchage du canal à l'eau boueuse ;
- Mise à l'atmosphère du filtre ;
- Débâtissage du filtre.

2.4. Déroulement technologique de la filtration

2.4.1. Remplissage et filtration

A partir de la vitesse de base, la pompe à eau boueuse monte en rotation par une rampe d'intégration (temps réglable) à un régime sélectionné. Une régulation du débit est utilisée pour l'alimentation de l'eau boueuse avec une consigne saisissable en m³/h. la régulation du débit s'arrête quand la pression de filtration a atteint la valeur sélectionnée (pression de fin de filtration).

Pendant la filtration, l'eau boueuse entrent dans le filtre-presse. Après avoir atteint la quantité de boues réglable, les filtrats commence à s'évacuer vers le bac à filtrats.

Lors de la filtration, une quantité minimum de matière sèches doit être pompée dans le PKF afin d'éviter un endommagement des membranes. Si pendant la filtration, la quantité de boues fixée n'est pas atteinte, les membranes ne seront pas gonflées lors du cycle, l'alarme déclenchée et la filtration est terminée.

2.4.2. Désucrage

L'eau boueuse résiduelle dans le canal en fin de filtration sont rincées à l'eau qui rentre dans le filtre-presse. L'eau se trouvant ainsi dans le PKF est chassée vers le bac à filtrats par les sorties filtrats.

2.4.3. Compactage préliminaire

Les membranes sont gonflées à l'air comprimé à une pression auparavant sélectionnée (2,5 bar). Cette pression est maintenue durant un temps réglable. Les filtrats extraits des tourteaux s'écoulent vers le bac à filtrats.

2.4.4. Compactage intermédiaire

Après écoulement du temps de compactage préliminaire sélectionné, la pression de gonflage des membranes augmente à 4,5 bars. Cette pression est maintenue durant un temps réglable. Les filtrats extraits des tourteaux s'écoulent vers le bac à filtrats.

2.4.5. Lavage des tourteaux

Une quantité d'eau de lavage déterminée est pompée dans le PKF. Dans cette étape, l'eau ne peut sortir du PKF qu'en traversant tout le tourteau. Le sucre encore présent dans le tourteau est ainsi extrait par l'eau. Les filtrats de lavage du tourteau sont conduits vers le bac à filtrats.

La pression de l'eau et son débit sont réglables par la vitesse de rotation de la pompe. Le temps de lavage du tourteau est contrôlé. Ce temps de contrôle est réglable et déclenche une alarme si la quantité d'eau de lavage fixée n'a pas traversé le tourteau dans le laps de temps imposé.

2.4.6. Compactage final

Durant cette étape, la pression de gonflage des membranes augmente à 6,5 bars. Les filtrats extraits des tourteaux sous l'effet de la pression s'écoulent vers le bac à filtrats.

2.4.7. Séchage des tourteaux

Dans cette étape, de l'air comprimé rentre dans le PKF. Cet air comprimé ne peut sortir du PKF qu'en traversant obligatoirement tout le tourteau. A la sortie du PKF, l'air comprimé est conduit vers un hydrocyclone au-dessus du bac à boues.

2.4.8. Purge du canal à l'eau boueuse

Dans cette étape, le canal à l'eau boueuse est nettoyé à l'air comprimé. L'air entre dans le PKF, puis en bout du canal à l'eau boueuse sur la pièce de queue du PKF. Après avoir traversé le canal à l'eau boueuse, l'air sort du PKF sur la pièce de tête et est conduit vers l'hydrocyclone au-dessus du bac à boues. La durée du nettoyage du canal à l'eau boueuse est contrôlée.

2.4.9. Séchage du canal à l'eau boueuse

Une fois la durée de purge du canal à l'eau boueuse écoulée, ce canal est séché à l'air qui rentre directement dans le canal à l'eau boueuse à partir de la pièce de tête. L'air introduit sort du PKF, puis, est conduit vers l'hydrocyclone au-dessus du bac à boues.

2.4.10. Mise à l'atmosphère et débâtissage du filtre

En fin de cycle de filtration a lieu la détente d'air des membranes et toutes les sorties filtrats sont ouvertes. Le PKF reste environ 10 secondes avec les vannes ouvertes afin de réduire la pression résiduelle dans le PKF. En fin d'étape de mise à l'atmosphère du PKF, la pression hydraulique est réduite et le filtre-presse débâti. Le cycle se termine à la fermeture des panneaux d'égouttures.

2.5. Nettoyage des toiles de filtration

Le nettoyage des toiles de filtration peut être effectué par jet d'eau à haute pression à l'aide du dispositif de lavage automatique (pont laveur) pour éliminer les tourteaux résiduels.

Pour le nettoyage des toiles de filtration, on règle le filtre-presse en mode semi-automatique.

Pour éviter le colmatage des buses de pulvérisation par des impuretés contenues dans l'eau de lavage, cette dernière est filtrée sur des filtres à cartouche (seuil de filtration 200 µm).

En mode de marche semi-automatique, on avance étape par étape jusqu'à ce que le filtre-presse soit ouvert avec le premier ensemble de plateaux ouvert. On démarre ensuite le lavage automatique.

D'abord les toiles de filtration du premier ensemble (côté pièce de queue) sont tout lavées. Le dispositif de lavage se déplace le long des plateaux de filtration par une barrière photoélectrique et dont le nombre est préprogrammé. Il revient ensuite jusqu'en butée à droite (côté pièce de tête). La rampe de buses descend verticalement.

Lorsque le bord supérieur du plateau de filtration est atteint, les buses inclinées pulvérisent l'eau à haute pression pour éliminer les dépôts des tourteaux restés collés sur les toiles de filtration sur les deux faces de la chambre de filtration. Lorsque le bord inférieur des plateaux de filtration est atteint, la rampe de pulvérisation remonte sous l'action du vérin pneumatique. Le robinet d'eau de lavage se ferme lorsque la rampe de pulvérisation atteint le bord supérieur des plateaux de filtration. La rampe de pulvérisation revient jusqu'en butée supérieure.

Le pont laveur est correctement positionné à l'aide de la barrière photoélectrique et de la poignée du plateau de filtration. Le lavage se répète jusqu'à ce que toutes les chambres de filtration du premier ensemble soient nettoyées. Le nombre de lavages est programmé dans l'automatisme.

Lorsque la dernière chambre de filtration du premier ensemble est lavée, le dispositif automatique de lavage revient en position de départ au niveau de la pièce de tête.

Après le nettoyage des toiles de filtration du premier ensemble, on ouvre le deuxième ensemble en mode de marche semi-automatique puis on redémarre le pont laveur.

Les toiles de filtration du deuxième ensemble (côté pièce de tête) sont ensuite lavées selon la même procédure que pour le premier ensemble.

Lorsque que la dernière chambre de filtration du deuxième ensemble est lavée, le dispositif automatique de lavage revient en position de départ au niveau de la pièce de tête. On arrête la pompe à haute pression et on ferme la vanne manuelle de la conduite de l'eau.

Après le lavage, on contrôle le montage correct de tous les joints sur les plateaux de filtration car ils risquent d'avoir été emportés sous l'effet du jet à haute pression.

Après commutation sur « mode de marche automatique », le filtre-presse est à nouveau prêt au démarrage.

2.6. Séchage d'air comprimé

Le séchage d'air comprimé est une opération technique qui est utilisé pour réduire le taux d'humidité relative de l'air comprimé et éviter les problèmes liés à l'eau condensée ou à la corrosion dans un réseau d'air comprimé. Les sècheurs d'air ambiant sont généralement appelés déshumidificateurs.

L'air atmosphérique ambiant contient toujours une certaine quantité d'eau, variable en fonction de sa température et de sa pression. Cette teneur en eau est généralement de l'ordre de quelques grammes d'eau par kilogramme (ou m³) d'air. Dans un compresseur, l'air ambiant subit une augmentation de sa température et une réduction de son volume l'amenant à la saturation. De ce fait, tout refroidissement provoque de la condensation. Les sècheurs d'air sont utilisés pour abaisser le taux d'humidité de l'air comprimé et éviter ce phénomène.

Nous avons présenté les différentes étapes du procédé de fabrication du sucre en détaillant l'opération de désucrage des boues. Cette opération consomme une quantité importante de l'eau et génère des tourteaux dont l'humidité est élevée. Le chapitre 2 sera consacré pour une étude permettant la réduction de l'humidité des tourteaux et de la consommation de l'eau dans la station de désucrage des boues.



CHAPITRE 2

REDUCTION DE L'HUMIDITE DES TOURTEAUX ET DE LA CONSOMMATION DE L'EAU DANS LA STATION DE DESUCRAGE DES BOUES

CHAPITRE 2

REDUCTION DE L'HUMIDITE DES TOURTEAUX ET DE LA CONSOMMATION DE L'EAU DANS LA STATION DE DESUCRAGE DES BOUES

Dans le présent chapitre, nous présentons :

- Les travaux effectués pour déterminer les causes de l'humidité élevée des tourteaux produits dans la station de désucrage des boues.
- Les recommandations proposées pour réduire l'humidité des tourteaux.
- Une optimisation de la consommation de l'eau dans la station de désucrage des boues.

1. Réduction de l'humidité des tourteaux

1.1. Suivi de l'humidité des tourteaux

En analysant les différents échantillons des tourteaux déchargés après filtration dans la station de désucrage des boues. La figure 3 représente les résultats obtenus.

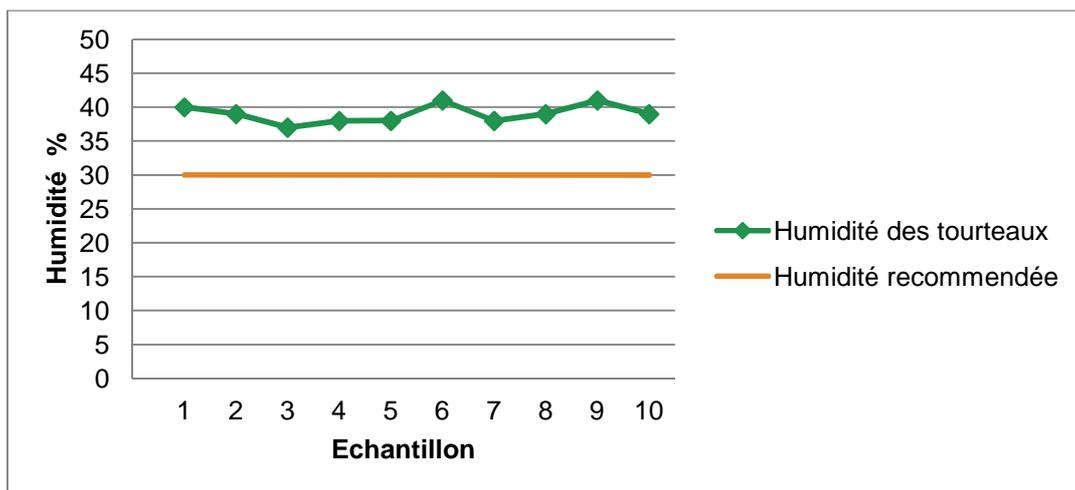


Figure 3 : Représentation graphique des résultats d'analyse des tourteaux

Nous remarquons que l'humidité des tourteaux est élevée par rapport à la valeur recommandée qui est de 30%. Chose qui indique la présence d'un problème lors du séchage des tourteaux.

Le mauvais rendement de séchage des tourteaux peut être causé par une mauvaise qualité de l'air de séchage, le colmatage des toiles ou leur déchirure ce qui perturbe l'opération de séchage, ou bien encore, suite à une erreur de manipulation.

Pour déterminer les causes de ce problème, nous allons vérifier les points suivants :

- La matière ;
- La méthode de travail ;
- Le matériel ;
- Le milieu du fonctionnement ;
- La main d'œuvre.

La vérification de ces points sera faite par la méthode d'Ishikawa.

1.2. Application de la méthode d'Ishikawa

Nous effectuons une analyse de la méthode d'Ishikawa pour déterminer les sources du problème détecté. La figure 4 représente les différentes causes qui peuvent augmenter l'humidité des tourteaux.

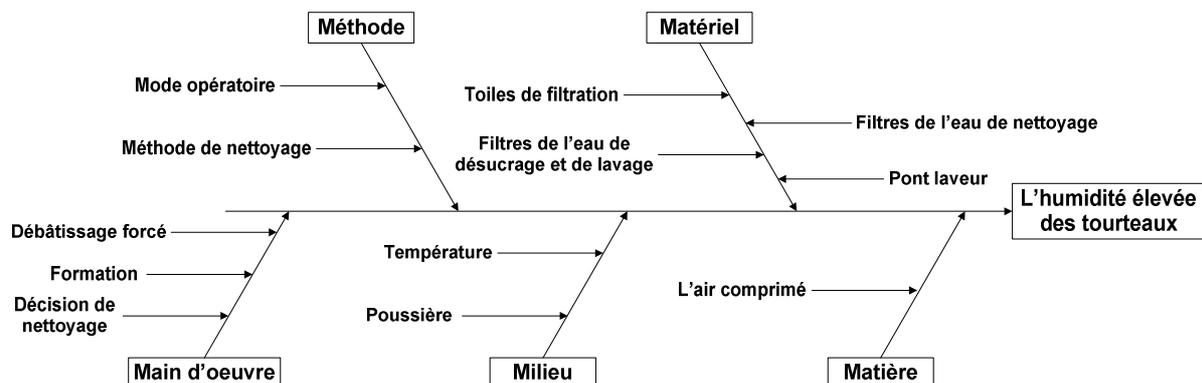


Figure 4 : Causes pouvant augmenter l'humidité des tourteaux

Nous allons analyser alors chaque cause pour pouvoir détecter la source du problème en question.

➤ Matière

Le séchage des tourteaux s'effectue grâce à l'air comprimé qui doit être bien séché et ne contient pas de la vapeur d'eau. En vérifiant le circuit de l'air de séchage, nous avons remarqué le dysfonctionnement du sécheur d'air comprimé. Par conséquent, l'air, et après sa compression, possède toujours une humidité élevée, et par la suite, l'air ne peut pas réduire parfaitement l'humidité des tourteaux dans les filtres-presse.

➤ Méthode

- Le mode opératoire

Le mode opératoire se déroule d'une manière automatique et l'opérateur n'intervient qu'au démarrage ou l'arrêt des filtres-presse, ou bien lors d'un défaut survenant pendant le fonctionnement du filtre-presse. Ce qui nécessite une bonne connaissance technique des différentes étapes effectuées lors du fonctionnement des filtres-presse pour intervenir correctement et corriger le défaut survenant.

- Le nettoyage des toiles de filtration

Le nettoyage des toiles se fait par un pont laveur (Figure 5) après la commande de l'opérateur.



Figure 5 : Pont laveur

La figure 5 présente le pont laveur effectuant le nettoyage des toiles de filtration par injection de l'eau à haute pression en se déplaçant verticalement entre les plateaux. La détermination de la position du pont laveur est faite par une barrière photoélectrique qu'on présente dans la figure 6.

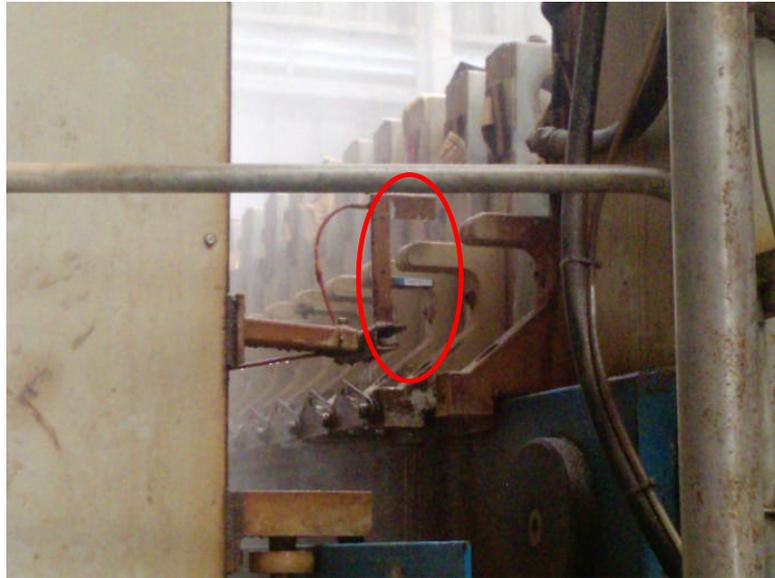


Figure 6 : Barrière photoélectrique

La barrière photoélectrique qui est fixée sur le pont laveur détermine la position dans laquelle, le pont laveur se déplace verticalement entre les toiles afin de les nettoyer. Suite à une erreur de positionnement de la barrière photoélectrique, le pont laveur peut se déplacer verticalement en effectuant des frottements sur les toiles et par la suite en causer des déchirures. L'erreur de positionnement survient dans le cas où la barrière photoélectrique est souillée.

➤ **Matériel**

- **Les toiles de filtration**

Des toiles de filtrations n'ont pas été changées depuis plus de 2 ans malgré leur colmatage, ce qui perturbe l'opération du séchage des tourteaux. Ainsi, nous avons remarqué l'existence d'une quantité de boue entre un plateau et une chambre comme le montre la figure 7.

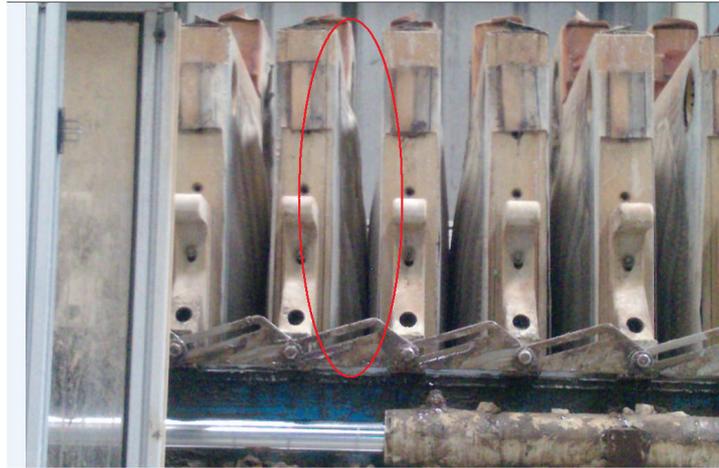


Figure 7 : Photo représentatif de la boue emprisonnée entre le plateau et la chambre

Après changement de la toile en question, nous avons remarqué la grande quantité de boue emprisonnée (figure 8), ainsi que des trous qui ont permis le passage de la boue entre le plateau et la chambre comme le montre la figure 9.



Figure 8 : Photo représentatif de la boue emprisonnée



Figure 9 : Les trous permettant le passage de la boue entre le plateau et la chambre

- Les filtres de l'eau

Les filtres de l'eau de désucrage, de lavage et de nettoyage sont éliminés et ne fonctionnent plus. Et par conséquent, l'eau utilisée peut contenir des substances qui favorisent le colmatage des toiles et des buses du pont laveur. Les figures 10 et 11 représentent l'état de ces filtres.



Figure 10 : Etat des filtres de l'eau de désucrage et de lavage



Figure 11 : Etat des filtres de l'eau de nettoyage

- Pont laveur

La figure 12 présente une photo du pont laveur avec des buses colmatées.



Figure 12 : Pont laveur effectuant le nettoyage des toiles. Les cercles rouges représentent les buses colmatées

Nous remarquons l'existence des buses colmatées qui empêchent la sortie de l'eau. Chose qui peut causer la non efficacité du nettoyage, et par la suite, le risque de colmatage des toiles.

➤ Milieu

- La température

La température de fonctionnement des filtres-presses est d'environ 70°C. C'est une température convenable à la filtration.

- La poussière

La présence de la poussière, qui se propage dans la salle de filtration à partir du terrain des tourteaux qui se trouve au-dessous des filtres-presses à travers des ouvertures comme celui présenté dans la figure 13, peut favoriser le colmatage des toiles de filtration.



Figure 13 : Photo représente une ouverture à travers de laquelle, la poussière se propage

➤ Main d'œuvre

- Débâtissage forcé des tourteaux

Dans le cas où les tourteaux ne se décharge pas après l'ouverture des cadres et restent collés sur les toiles de filtration, l'opérateur utilise un bâton pour pousser les tourteaux à se décharger comme le montre la figure 14. Le frottement qui se passe entre le bâton et les toiles de filtration peut causer la déchirure de ces derniers.



Figure 14 : Opérateur libère les tourteaux qui restent collés sur les toiles de filtration

- Décision de nettoyage

L'opérateur procède au nettoyage seulement dans le cas où il remarque que les tourteaux commencent à se coller sur les toiles de filtration. Alors que le nettoyage doit éviter ce collage. Chose qui favorise le colmatage des toiles de filtration.

- Formation

La formation des opérateurs est insuffisante. Ce qui peut causer une erreur d'intervention.

A partir de cette analyse, nous pouvons résumer les causes et les conséquences générant l'humidité élevée des tourteaux dans le tableau 2.

Tableau 2 : Résumé des causes et conséquences générant l'humidité élevée des tourteaux

Causes	Conséquences	Effet
Dysfonctionnement du sécheur	Humidité élevée de l'air de séchage	Humidité élevée des tourteaux
Erreur de positionnement du pont laveur	Déchirure des toiles de filtration	
Déchargement forcé des tourteaux		
Poussière	Colmatage des toiles	
Nettoyage des toiles insuffisant		
Non changement des toiles colmatées	Mauvais rendement de séchage	
Dysfonctionnement des filtres de l'eau de lavage et de nettoyage	Colmatage des toiles et des buses du pont laveur	
Formation insuffisante des opérateurs	Erreur d'intervention	

2. Recommandations

➤ Réparation et repositionnement des sècheurs d'air

La réparation des sècheurs d'air comprimé est nécessaire pour obtenir un air comprimé sec et pouvoir diminuer l'humidité des tourteaux jusqu'à 30%.

Nous proposons aussi de changer le positionnement des sècheurs d'air afin d'augmenter les cas de fonctionnement et minimiser les cas de dysfonctionnement.

Le positionnement actuel des sècheurs est représenté dans la figure 15.

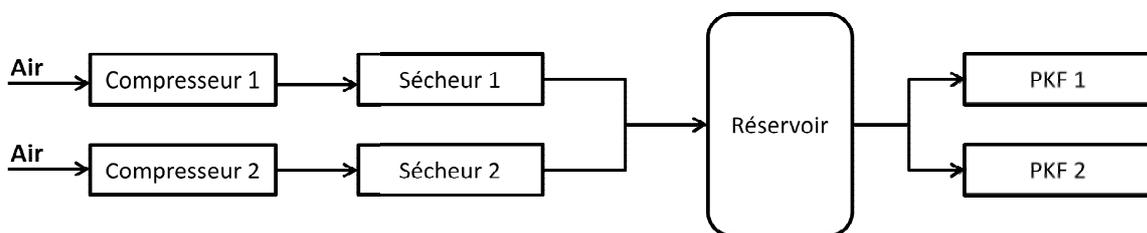


Figure 15 : Schéma représentatif du circuit de l'air comprimé

Avec ce positionnement (figure 15), l'air passe par le compresseur, le sècheur puis le réservoir avant d'arriver au filtre-pressé, et qui nous offre seulement 4 possibilités de fonctionnement :

- Compresseur 1 - Sécheur 1 - Réservoir - PKF 1 ;
- Compresseur 1 - Sécheur 1 - Réservoir - PKF 2 ;
- Compresseur 2 - Sécheur 2 - Réservoir - PKF 1 ;
- Compresseur 2 - Sécheur 2 - Réservoir - PKF 2.

Alors que nous pouvons avoir 8 possibilités de fonctionnement avec le positionnement représenté dans la figure 16 dans laquelle, le sècheur est positionné en aval du réservoir.

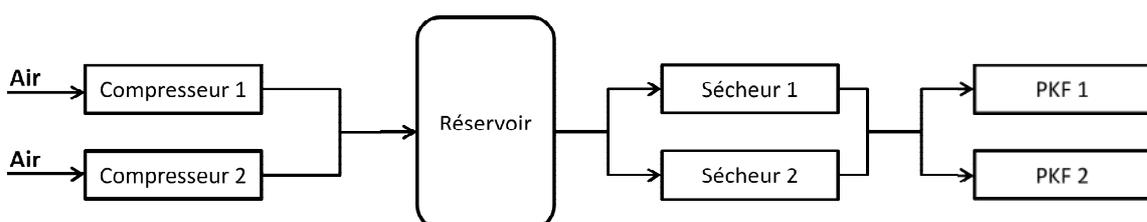


Figure 16 : Circuit d'air comprimé proposé

Les 8 possibilités de fonctionnement avec le montage représenté dans la figure 16 sont :

- Compresseur 1 - Réservoir - Sécheur 1 - PKF 1 ;
- Compresseur 1 - Réservoir - Sécheur 1 - PKF 2 ;
- Compresseur 1 - Réservoir - Sécheur 2 - PKF 1 ;
- Compresseur 1 - Réservoir - Sécheur 2 - PKF 2 ;
- Compresseur 2 - Réservoir - Sécheur 1 - PKF 1 ;
- Compresseur 2 - Réservoir - Sécheur 1 - PKF 2 ;
- Compresseur 2 - Réservoir - Sécheur 1 - PKF 1 ;
- Compresseur 2 - Réservoir - Sécheur 2 - PKF 2.

En suivant le montage représenté dans la figure 16, nous allons minimiser les cas de dysfonctionnement et augmenter les cas de fonctionnement quand l'un des compresseurs ou des sécheurs tombe en panne.

➤ **Nettoyage de la barrière photoélectrique**

Le nettoyage de l'œil de la barrière photoélectrique avant chaque utilisation du pont laveur évitera l'erreur de positionnement.

➤ **Changement et nettoyage régulière des toiles de filtration**

Vue l'ancienneté des toiles actuelles et leur colmatage, leur changement est nécessaire. Chose qui a été réalisée pour le filtre-presse PKF1.

Aussi, nous conseillons de procéder au nettoyage régulièrement afin de protéger les toiles de filtration contre le colmatage et éviter le collage des tourteaux. La fréquence de nettoyage des toiles sera mentionnée dans la suite de ce chapitre (voir : § 3.3.1).

➤ **Changement des filtres de l'eau de désucrage, de lavage et de nettoyage**

Afin d'utiliser une eau qui ne favorise pas le colmatage des buses et des toiles, nous proposons de changer les filtres.

➤ **Eviter l'accès de la poussière**

Isoler la salle de filtration de toute source de poussière surtout celle qui se propage à partir du terrain de débâtissage des tourteaux en installant des plaques métalliques afin de fermer les ouvertures qui permettent la propagation de la poussière à l'intérieure de la salle de filtration.

➤ **Organiser des séances de formation des opérateurs**

Ces formations vont permettre aux opérateurs de bien connaître leur travail et les outils nécessaires pour améliorer le rendement, non seulement du séchage des tourteaux, mais aussi de la station de désucrage des boues.

3. Réduction de la consommation de l'eau

3.1. Consommation de l'eau dans la station de désucrage des boues

Le tableau 3 représente la consommation de l'eau pour le désucrage des tourteaux, le lavage des tourteaux et du nettoyage des toiles de filtration.

Tableau 3 : Consommation de l'eau dans la station de désucrage des boues

Opération	Quantité d'eau consommée (m³)
Désucrage des tourteaux	3
Lavage des tourteaux	2
Nettoyage des toiles	4

L'eau consommée au niveau des opérations du désucrage et du lavage des tourteaux s'ajoute au filtrat produite après la filtration. Alors que l'eau de nettoyage des toiles est rejetée et ne s'exploite pas après son utilisation. Nous allons essayer de réduire la quantité d'eau consommée lors du désucrage et du lavage des tourteaux et trouver une solution pour réutiliser l'eau consommée au cours du nettoyage des toiles de filtration.

3.2. Réduction de la consommation de l'eau de désucrage et de lavage des tourteaux

Après changement des toiles de filtrations du filtre-presse PKF1, nous avons essayé de varier les volumes des eaux consommées lors du désucrage et du lavage des tourteaux afin de voir l'influence de cette variation sur le pourcentage du sucre qui reste dans les tourteaux après la fin du cycle de filtration. La figure 17 représente les résultats obtenus.

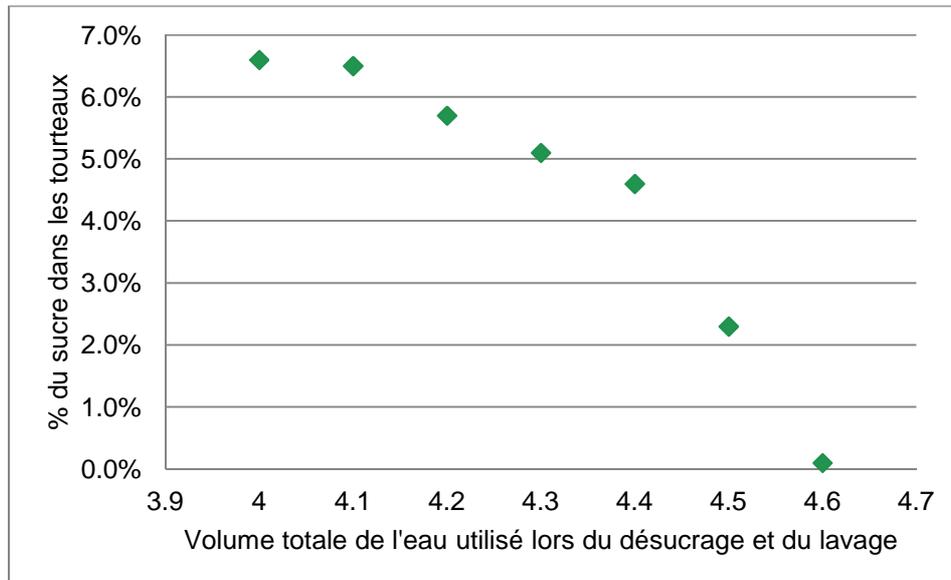


Figure 17 : Variation du pourcentage du sucre dans les tourteaux en fonction du volume d'eau de désucrage et de lavage utilisé

Nous remarquons que le pourcentage du sucre restant dans les tourteaux diminue en augmentant le volume d'eau de désucrage et de lavage des tourteaux. Ainsi, des quantités d'eau de désucrage et de lavage de 2.8 m³ et de 1.8 m³ successivement donnent un pourcentage de sucre dans les tourteaux de 0,1%. Ce qui présente un pourcentage acceptable.

Sachant que pour le même pourcentage du sucre restant dans les tourteaux, la consommation de l'eau avant le changement des toiles du PKF1 étaient de 3 m³ pour le désucrage des tourteaux et 2 m³ pour le lavage. Nous pouvons calculer la quantité de l'eau réduite par cycle de filtration.

Alors, nous avons économisé un volume total de 0,4 m³ d'eau par cycle de filtration.

3.3. Réutilisation de l'eau de nettoyage des toiles de filtration

3.3.1. Nombre des cycles de filtration possibles avant de nettoyer les toiles

Après changement des toiles de filtration du filtre-presse PKF1, nous avons essayé de déterminer le nombre des cycles de filtrations possibles avant de procéder au nettoyage des toiles. Pour cela, nous avons effectué différents essais dans lesquels, nous avons déterminé le cycle à partir duquel, le collage des tourteaux sur les toiles de filtration, commence.

Le tableau 4 présente les résultats des essais effectués.

Tableau 4 : Les résultats de l'essai effectué sur le commencement du collage des boues

Essai	Nombre de cycle à partir duquel le collage commence
1	13 ^{ème}
2	14 ^{ème}
3	14 ^{ème}
4	13 ^{ème}
5	15 ^{ème}

Ces résultats montrent qu'au moins, à partir du 13^{ème} cycle, le collage des tourteaux sur les toiles commence.

Nous constatons qu'un nettoyage après 12 cycles de filtration évitera le collage et protégera les toiles contre le colmatage.

3.3.2. Quantité de l'eau boueuse traitée par la station de désucrage des boues

La station de désucrage des boues reçoit de l'eau boueuse à partir de la station de carbonatation qui contient 8 filtres DIASTAR dont le rôle est de faire une séparation entre le sirop du sucre et la boue (Carbonate de calcium). 7 filtres fonctionnent, alors qu'un se trouve en phase de préparation. Ce dernier fonctionne quand l'un des autres filtres termine son cycle de fonctionnement. Chaque filtre DIASTAR passe un cycle de fonctionnement de 140 min et passe en phase de préparation qui dure 20 min. C'est le temps qui passe entre deux déchargements successifs de l'eau boueuse comme le montre la figure 18.

La boue formée au niveau du filtre DIASTAR est évacuée à l'aide d'environ 27 m³ de l'eau boueuse de concentration 200 g/l en carbonate de calcium, stockée dans un

réservoir de 30 m³. Ce qui produit une eau boueuse de 242 g/l à la sortie du filtre DIASTAR et qui nécessite une dilution par l'eau pour arriver à une concentration de 200 g/l. L'excès de l'eau boueuse par rapport au réservoir de stockage qui reçoit l'eau boueuse diluée est envoyé vers la station de désucrage des boues. La figure 18 représente les entrées et les sorties du réservoir stockant l'eau boueuse diluée.

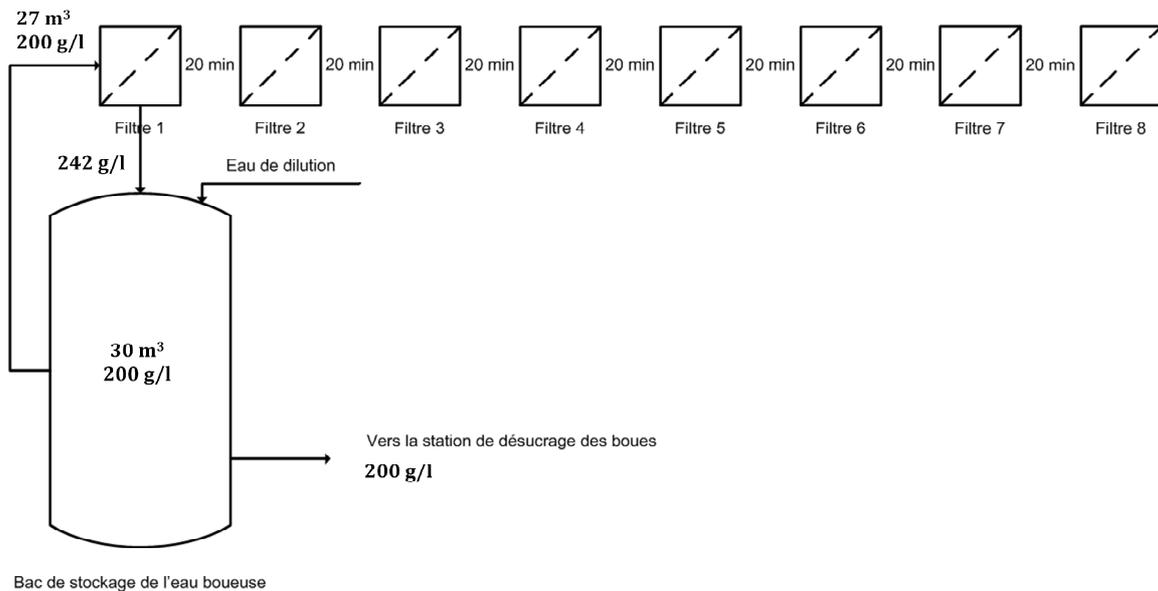


Figure 18 : Les entrées et les sorties du réservoir stockant l'eau boueuse diluée

En effectuant un bilan de matière sur le filtre DIASTAR, nous pouvons calculer le volume de l'eau boueuse sortie du filtre DIASTAR :

$$(C_{réservoir} * V_i) + M = C_{sortie\ filtre} * \left(V_i + \frac{M}{\rho_{CaCO_3}} \right) \quad (1)$$

Avec :

M : Masse de la boue formée dans le filtre DIASTAR ;

ρ_{CaCO_3} : La masse volumique de $CaCO_3$, égale 2700 Kg.m^{-3} ;

$C_{réservoir}$: Concentration de l'eau boueuse dans le réservoir de stockage, égale à 200 g.l^{-1} ;

$C_{sortie\ filtre}$: Concentration de l'eau boueuse sortie du filtre DIASTAR, égale à 242 g.l^{-1} ;

V_i : Volume de l'eau boueuse de 200 g.l^{-1} utilisée pour éliminer la boue formée dans le filtre DIASTAR, égale à 27 m^3 .

La masse de la boue formée dans le filtre DIASTAR est donnée par :

$$M = \frac{V_i (C_{\text{sortie filtre}} - C_{\text{réservoir}})}{\left(1 - \frac{C_{\text{sortie filtre}}}{\rho_{\text{CaCO}_3}}\right)}$$

$$M = 1245,6 \text{ Kg}$$

Le volume de l'eau boueuse sortie du filtre DIASTAR est donnée par :

$$V_{\text{sortie filtre}} = V_i + \frac{M}{\rho_{\text{CaCO}_3}}$$

$$V_{\text{sortie filtre}} = 27,46 \text{ m}^3$$

Le volume de l'eau de dilution nécessaire pour diluer l'eau boueuse issue du filtre DIASTAR à 200 g/l est :

$$C_{\text{sortie filtre}} * V_{\text{sortie filtre}} = C_{\text{réservoir}} * (V_{\text{eau de dilution}} + V_{\text{sortie filtre}}) \quad (2)$$

Avec :

$V_{\text{eau de dilution}}$: Volume de l'eau nécessaire pour diluer l'eau boueuse à 200 g/l .

$$V_{\text{eau de dilution}} = \frac{C_{\text{sortie filtre}} * V_{\text{sortie filtre}}}{C_{\text{réservoir}}} - V_{\text{sortie filtre}}$$

$$V_{\text{eau de dilution}} = 5,77 \text{ m}^3$$

Le réservoir peut stocker 30 m^3 de l'eau boueuse. L'excès de l'eau boueuse est envoyé vers la station de désucrage des boues.

Avant de recevoir l'eau boueuse et l'eau de dilution, le réservoir de stockage de l'eau boueuse est rempli à un niveau de 10% de son volume. Le volume en excès envoyé vers la station de désucrage des boues est donné par :

$$V_{\text{eau boueuse en excès}} = (V_{\text{eau de dilution}} + V_{\text{sortie filtre}} + (0,1 * V_{\text{réservoir}})) - V_{\text{réservoir}} \quad (3)$$

Avec :

$V_{\text{réservoir}}$: Volume de réservoir stockant l'eau boueuse égale à 30 m³ ;

$V_{\text{eau boueuse en excès}}$: Volume de l'eau boueuse en excès à envoyer vers la station de désucrage des boues.

On obtient,

$$V_{\text{eau boueuse en excès}} = \mathbf{6,23 \text{ m}^3}$$

Le temps qui passe entre deux déchargements successifs est de 20 min. Le nombre de déchargement journalier de la boue par les filtres DIASTAR est donné par :

$$N_{\text{fois de déchargement}} = \frac{24 * 60}{20}$$

$$N_{\text{fois de déchargement}} = \mathbf{72}$$

Donc, la quantité de l'eau boueuse reçue par la station de désucrage des boues chaque jour est de :

$$Q_{\text{eau boueuse traitée}} = N_{\text{fois de déchargement}} * V_{\text{eau boueuse en excès}} \quad (4)$$

Avec :

$Q_{\text{eau boueuse traitée}}$: Quantité de l'eau boueuse traitée par jour dans la station de désucrage des boues.

$$Q_{\text{eau boueuse traitée}} = \mathbf{448,56 \text{ m}^3/\text{jour}}$$

3.3.3. Quantité de l'eau nécessaire par jour pour nettoyer les toiles de filtration

Au niveau de la station de désucrage des boues, la quantité de l'eau boueuse traitée par chaque cycle de filtration, qui dure 40 min, est d'environ 13 m³.

Nous pouvons calculer le nombre des cycles de filtration effectués chaque jour au niveau de la station de désucrage.

$$N_{\text{cycles de filtration}} = \frac{Q_{\text{eau boueuse traitée}}}{13}$$

$$N_{\text{cycles de filtration}} = 35$$

Avec :

$N_{\text{cycles de filtration}}$: Nombre de cycles de filtration possibles par jour.

Et sachant que nous avons conseillé de nettoyer les toiles une fois par 12 cycles de filtration, nous pouvons déterminer combien de fois nous devons procéder au nettoyage des toiles de filtration par jour :

$$N_{\text{nettoyage des toiles}} = \frac{N_{\text{cycles de filtration}}}{12}$$

$$N_{\text{nettoyage des toiles}} = 3$$

$N_{\text{nettoyage des toiles}}$: Nombre de fois de nettoyage des toiles de filtration par jour.

Au cours du nettoyage des toiles, la station de désucrage consomme 4 m³ de l'eau. Calculons alors la quantité nécessaire par jour pour nettoyer les toiles de filtration.

$$Q_{\text{eau de nettoyage}} = 4 * N_{\text{nettoyage des toiles}} \quad (5)$$

Avec :

$Q_{\text{eau de nettoyage}}$: Quantité de l'eau de nettoyage nécessaire par jour.

$$Q_{\text{eau de nettoyage}} = 12 \text{ m}^3/\text{jour}$$

Nous signalons que cette quantité d'eau et après son utilisation est rejetée. Ce qui nous pousse à chercher une moyenne pour la réutiliser.

3.3.4. Réutilisation de l'eau de nettoyage dans la dilution de l'eau boueuse

L'analyse de l'eau issue du nettoyage des toiles de filtration a montré qu'elle a une concentration faible de 6 g/l.

Pour vérifier la possibilité de la réutilisation de cette eau au niveau de la station de carbonatation, nous avons fait un bilan de matière sur le réservoir recevant l'eau boueuse sortie du filtre DIASTAR. La figure 19 montre les entrées et les sorties de ce réservoir en utilisant l'eau de nettoyage des toiles de filtration pour diluer l'eau boueuse.

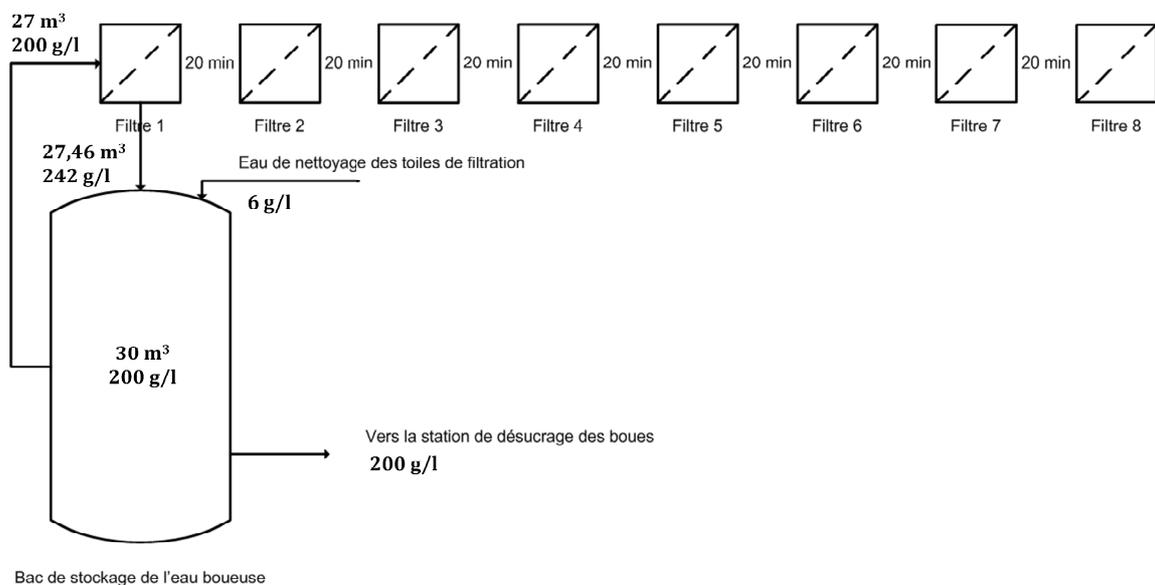


Figure 19 : Les entrées et les sorties du réservoir stockant l'eau boueuse sortie des filtres DIASTAR

Nous calculons la quantité de l'eau issue de nettoyage des toiles nécessaire pour diluer l'eau boueuse issue du filtre DIASTAR à 200 g/l.

$$200 * V_T = C_{\text{sortie filtre}} * V_{\text{sortie filtre}} + C_{\text{eau-nettoyage des toiles}} * V_{\text{eau-nettoyage des toiles}}$$

Avec :

$V_{\text{eau-nettoyage des toiles}}$: Volume de l'eau issue de nettoyage des toiles utilisé pour diluer l'eau boueuse issue du filtre DIASTAR ;

$C_{\text{eau-nettoyage des toiles}}$: La concentration de l'eau issue du nettoyage des toiles de filtration ;

$$V_T = V_{\text{sortie filtre}} + V_{\text{eau-nettoyage des toiles}} ;$$

$$C_{\text{sortie filtre}} = 242 \text{ g/l} ;$$

$$V_{\text{sortie filtre}} = 27,46 \text{ m}^3.$$

$$V_{\text{eau-nettoyage des toiles}} = \frac{V_{\text{sortie filtre}} * (C_{\text{sortie filtre}} - 200)}{200 - C_{\text{eau de nettoyage des toiles}}} \quad (6)$$

$$V_{\text{eau-nettoyage des toiles}} = 5,94 \text{ m}^3$$

Le volume de l'eau de nettoyage produit chaque jour est de 12 m³. Calculons, combien de fois, nous pouvons utiliser cette eau par jour pour diluer l'eau boueuse :

$$N_{\text{utilisation de l'eau de nettoyage}} = \frac{Q_{\text{eau de nettoyage}}}{V_{\text{eau-nettoyage des toiles}}} \quad (7)$$

Avec :

$N_{\text{utilisation de l'eau de nettoyage}}$: Nombre de fois d'utilisation de l'eau issue de nettoyage des toiles par jour ;

$$N_{\text{utilisation de l'eau de nettoyage}} = 2$$

Nous constatons que nous pouvons utiliser l'eau issue du nettoyage des toiles de filtration deux fois par jour pour diluer l'eau boueuse sortie du filtre DIASTAR dans la station de carbonatation.

3.3.5. Récupération de l'eau issue de nettoyage des toiles de filtration

L'opération de nettoyage des toiles des filtres-presse se fait au niveau de la station de désucrage des boues. Alors que l'utilisation de cette eau pour la dilution de l'eau boueuse sera faite au niveau de la station de carbonatation.

3.3.5.1. Dimensionnement du réservoir de récupération de l'eau de nettoyage des toiles

Après chaque nettoyage des filtres-presses, nous récupérons 4 m³ de l'eau de nettoyage. Pour chaque utilisation de cette eau pour diluer l'eau boueuse, nous consommons 5,94 m³ ≈ 6 m³. Donc, nous devons attendre deux opérations de nettoyage des filtres-presses avant d'utiliser cette eau au niveau de la dilution de l'eau boueuse. Par conséquent, le réservoir de récupération de l'eau boueuse doit contenir 8 m³ de volume, c'est le volume utile de ce réservoir.

Le matériau choisi pour dimensionner le réservoir est l'acier vu sa force et sa longévité.

Le volume total du réservoir [1] est défini par l'équation suivante :

$$V_{réservoir} = V_{utile} + \frac{1}{4}V_{utile} \quad (8)$$

Avec :

V_{utile} : Le volume utile du réservoir, égale à 8 m³.

Le ¼ du volume utile ajouté représente le volume de sécurité du réservoir.

$$V_{réservoir} = 10 \text{ m}^3$$

La relation entre la hauteur et le diamètre du réservoir [2] est définie par la relation suivante :

$$H = 2,5 * D$$

Avec :

H : La hauteur du réservoir ;

D : Le diamètre du réservoir.

Le volume du réservoir est défini par :

$$V_{réservoir} = \frac{\pi * D^2}{4} * H \quad (9)$$

Alors :

$$D = 1,72 \text{ m}$$

$$H = 4,3 \text{ m}$$

Nous présentons dans le tableau 5 ci-dessous, les caractéristiques du réservoir dimensionné.

Tableau 5 : Caractéristiques du réservoir dimensionné

Matériau	Acier
Volume	10 m ³
Hauteur	4,3 m
Diamètre	1,72 m

3.3.5.2. Transport de l'eau de nettoyage vers le réservoir de l'eau boueuse

Les filtres-presses au niveau de la station de désucrage des boues se trouvent à une hauteur d'environ 13 m et le bac de stockage de l'eau boueuse dans la station de carbonatation est d'une hauteur d'environ 7 m par rapport au sol. Le réservoir de récupération de l'eau de nettoyage des toiles de filtration est d'une hauteur de 4,3 m.

Nous avons remarqué l'existence d'un emplacement qui convient au réservoir de récupération de l'eau de nettoyage dans le premier étage de la station de carbonatation et qui existe au-dessus du réservoir de l'eau boueuse.

L'installation du réservoir de récupération de l'eau de nettoyage dans la station de carbonatation va nous permettre de transporter l'eau de nettoyage à partir de la station de désucrage des boues par gravité vue la différence de la hauteur entre le niveau de sortie de l'eau de nettoyage et le niveau sur lequel sera installé le réservoir de récupération de l'eau de nettoyage. Le schéma représenté dans la figure 20 explique la localisation choisie pour le réservoir de récupération de l'eau de nettoyage.

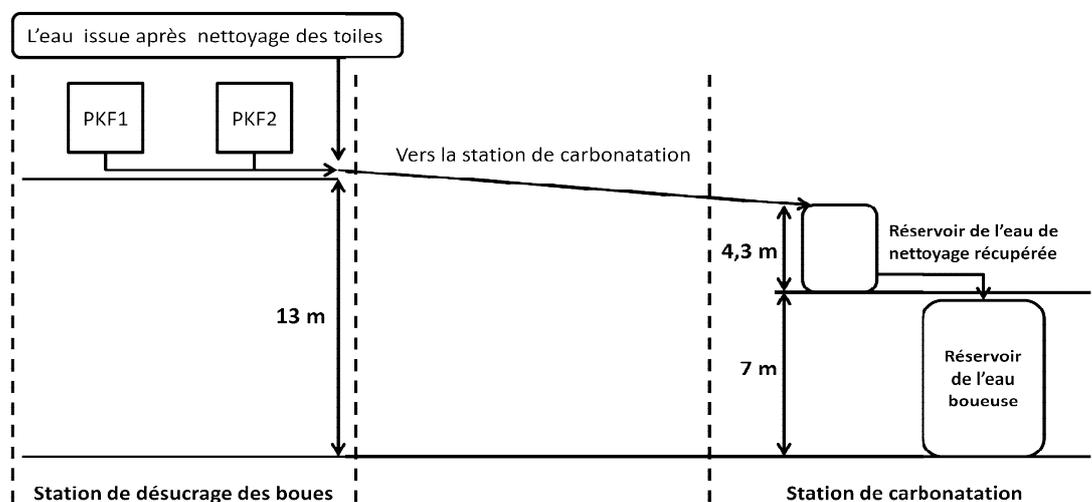


Figure 20 : Schéma explicatif de la localisation du réservoir de récupération de l'eau de nettoyage

Pour transporter l'eau de nettoyage récupérée, nous aurons besoin d'une conduite en acier d'un diamètre extérieur de 104 mm et d'une longueur de 78 m.

Après deux opérations de nettoyage des toiles, nous aurons un volume de 8 m³ dans le réservoir. Chaque opération de dilution de l'eau boueuse a besoin d'environ 6 m³ de l'eau de nettoyage. Pour cela, nous devons utiliser une vanne TOR à la sortie du réservoir qui peut s'ouvrir et se fermer automatiquement après l'utilisation de la quantité de l'eau de nettoyage nécessaire.

3.4. Calcul économique

Dans cette partie, le calcul économique sera fait en exploitant des données de fournisseur pour la détermination du coût de la conduite et de la vanne TOR. Et grâce à un abaque dont le prix est présenté en Dollars, nous allons déterminer le coût du réservoir nécessaire.

3.4.1. Gain mensuel

Au niveau de la station de désucrage des boues, nous avons réduit 0,4 m³ de l'eau consommée par cycle de filtration lors du désucrage et du lavage des tourteaux. Sachant que nous pouvons effectuer 35 cycles par jour, nous pouvons calculer la quantité de l'eau de désucrage et de lavage réduite par jour.

$$Q_{\text{eau de désucrage-lavage réduite}} = 35 * 0,4$$

$$Q_{\text{eau de désucrage-lavage réduite}} = 14 \text{ m}^3/\text{jour}$$

L'eau de nettoyage des toiles de filtration produite par jour est réutilisée dans le processus. La quantité de cette eau est de 12 m³.

Nous utilisons cette eau de nettoyage deux fois par jour pour diluer l'eau boueuse issue du filtre DIASTAR dans la station de carbonatation. Ça veut dire que nous économisons deux fois le volume de l'eau nécessaire pour la dilution de l'eau boueuse, et qui vaut :

$$Q'_{\text{eau de dilution}} = 2 * V_{\text{eau de dilution}} \quad (10)$$

Avec :

$Q'_{\text{eau de dilution}}$: Quantité de l'eau de dilution économisée par jour ;

$$Q'_{\text{eau de dilution}} = 11,54 \text{ m}^3/\text{jour}$$

Nous calculons la quantité totale réduite par jour :

$$Q_{\text{totale réduite}} = Q_{\text{eau de désucrage-lavage réduite}} + Q_{\text{eau de nettoyage}} + Q'_{\text{eau de dilution}} \quad (11)$$

$$Q_{\text{totale réduite}} = 37,54 \text{ m}^3$$

Sachant qu'un m³ de l'eau chaude coûte 13,5 DH, nous pouvons calculer le gain mensuel :

$$\text{Gain mensuel} = Q_{\text{totale réduite}} * \text{Coût}_{1 \text{ m}^3 \text{ de l'eau}} * 30 \quad (12)$$

Avec :

$\text{Coût}_{1 \text{ m}^3 \text{ de l'eau}}$: Coût d'un m³ de l'eau utilisé, égale à 13,5 DH.

$$\text{Gain mensuel} = 37,54 * 13,5 * 30$$

$$\text{Gain mensuel} = 15203,7 \text{ DH/mois}$$

L'optimisation de la consommation de l'eau de désucrage et de lavage pendant l'opération de filtration au sein de la station de désucrage des boues et la réutilisation de l'eau de nettoyage des toiles de filtration dans la dilution de l'eau boueuse au niveau de la station de carbonatation, nous ont permis d'économiser 15203,7 DH par mois.

3.4.2. Coût d'investissement

L'installation qui va permettre la récupération de l'eau de nettoyage est formée à partir de :

- Un réservoir en acier de 10 m³ ;
- Une conduite en acier d'un diamètre extérieur de 104 mm et d'une longueur de 78 m ;
- Une vanne TOR.

Pour déterminer le coût du réservoir nécessaire, nous allons utiliser le graphique [3] représenté dans la figure 21 :

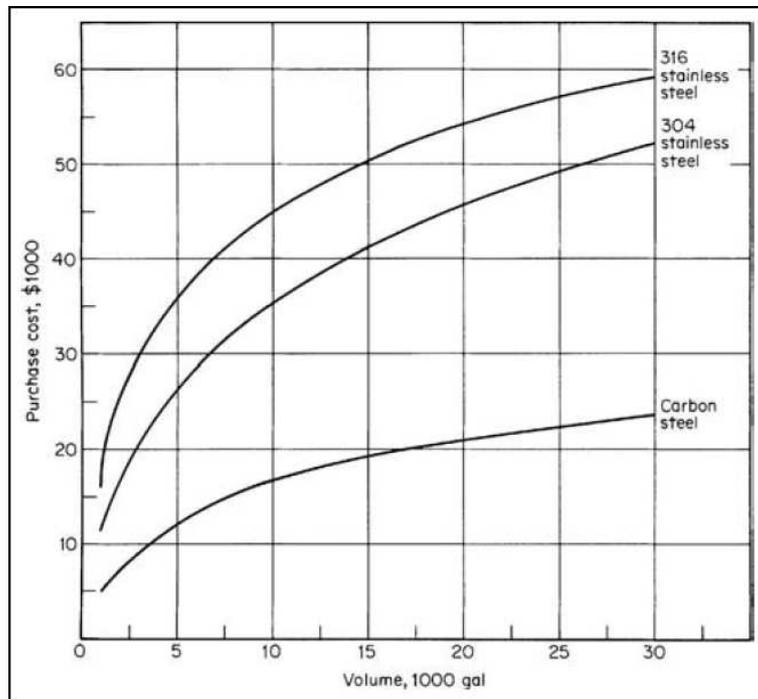


Figure 21 : Représentation graphique du prix du réservoir en fonction de son volume pour différents matériaux

Ce graphique représente le prix du réservoir en fonction de son volume pour différents matériaux. Pour notre cas, le matériau utilisé est l'acier (Carbon steel).

Le volume de notre réservoir est de 10 m^3 , ce qui correspond à $2,6 \cdot 10^3$ gallons. En utilisant le graphique de la figure 20, nous trouvons que ce volume correspond à un prix de 7000 \$, ce qui vaut 57563 DH.

Nous constatons que le prix de notre réservoir est de 57563 DH.

Le coût d'un mètre d'une conduite en acier d'un diamètre extérieur de 104 mm est de 116 DH. Nous avons besoin d'une conduite d'une longueur de 78 m.

$$\text{Coût}_{\text{conduite}} = 78 * 116$$

Avec :

$\text{Coût}_{\text{conduite}}$: Coût de la conduite nécessaire.

$$\text{Coût}_{\text{Conduite}} = 9048 \text{ DH}$$

Le coût d'une vanne TOR dont nous avons besoin est de 5854 DH.

Le tableau 6 représente les différents coûts inclus dans le coût d'investissement.

Tableau 6 : Les coûts inclus dans le coût d'investissement

Objet	Coût (DH)
Réservoir	57563
Conduite	9048
Vanne TOR	5854
Total	72465

Le coût d'investissement est de : **72465 DH**.

3.4.3. Le temps de retour sur l'investissement

Nous pouvons déterminer le temps de retour sur l'investissement à partir de l'équation suivante :

$$T_{\text{retour sur investissement}} = \frac{\text{Coût d'investissement}}{\text{Gain mensuel}} \quad (13)$$

Avec :

$$\text{Coût d'investissement} = 72465 \text{ DH} ;$$

$$\text{Gain mensuel} = 15203,7 \text{ DH}.$$

Alors :

$$T_{\text{retour sur l'investissement}} = 4,77 \approx 5$$

$$T_{\text{retour sur l'investissement}} = \mathbf{5 \text{ mois}}$$

Après une période de 5 mois, nous allons récupérer le montant investi. Et par la suite, commencer à générer un gain mensuel de 15203,7 DH.

Dans ce chapitre, nous avons essayé de réduire l'humidité des tourteaux en proposant des recommandations permettant cette finalité. Ainsi, la réduction de la consommation de l'eau réalisée, nous a permis de générer un gain mensuel de 15203,7 DH avec un temps de retour sur l'investissement de 5 mois.

CONCLUSION GENERALE

Le présent travail avait pour objectif, la détermination des causes de l'humidité élevée des tourteaux en proposant des recommandations afin de réduire cette humidité et l'optimisation de la consommation de l'eau dans la station de désucrage des boues.

Nous avons présenté dans le chapitre 1 les différentes étapes du procédé de fabrication du sucre et la station de désucrage des boues.

Le chapitre 2 a montré, d'une part, les différentes causes qui peuvent générer l'humidité élevée des tourteaux issus après filtration dans la station de désucrage des boues. Ainsi, nous avons proposé des recommandations qui vont permettre de réduire cette humidité.

D'autre part, la réduction de la consommation de l'eau effectuée a permis d'économiser environ 15203,7 DH par mois. Le temps de retour sur l'investissement lié à cette réduction est d'environ 5 mois.

La réalisation des recommandations et des conseils mentionnés dans cette étude vont permettre, non seulement, de réduire l'humidité des tourteaux et de minimiser la consommation de l'eau, mais aussi, d'améliorer le rendement de la station de désucrage des boues.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Pr. Saïd JAMIL, « Cours des opérations unitaires », FSTM, 2010.
- [2] Pr. Saïd JAMIL, « Cours des opérations unitaires », FSTM, 2010.
- [3] Robert H. Perry, Don W. Green, « A Perry's Chemical Engineers' Handbook », Edition : McGraw-Hill, ISBN : 0071422943, 9780071422949, 2008.

