

*Faculté des Sciences et Techniques de Fès*



*Département de Génie Industriel*



*LST de Génie Industriel*

## **Projet de Fin d'Etudes**

**L'optimisation des paramètres de l'extraction  
par diffusion  
- Cas de la sucrerie de Sidi Bennour -**

**Lieu : COSUMAR à Sidi Bennour  
Référence :6 /15GI**

**Préparé par :  
- AMRANI SOUHLY khaoula**

**Soutenu le 16 Juin 2015 devant le jury composé de :**

- Pr. F. GADI (Encadrant FST)
- Pr. D. KAGHAT (Examineur)
- Pr. D. SQALLI (Examineur)
- Mlle. M. AITOMAR (Encadrant Société)

## *Dédicace :*

*A la mémoire des êtres les plus chers à mon cœur,*

*A ceux qui m'ont appris à croire et à ne jamais perdre l'espoir,*

*A qui seront toujours là pour m'aider et fêter ma gloire,*

*A tous les gens que je n'oublierai jamais,*

*A ma mère, mon père et mes frères*

*A toute ma famille.*

Je dédie ce travail

# Remerciement :

Mes sincères remerciements vont à la direction de Cosumar de m'avoir donné l'occasion de réaliser mon projet de fin d'étude au sein de cette entreprise.

J'adresse aussi mes plus sincères remerciements et j'exprime toute ma reconnaissance et gratitude à :

➤ Mr GADI Fouad, professeur chercheur à la faculté des sciences et techniques Fès pour son enseignement méthodologique, pour son encadrement, et le sens de dialogue durant la période de mon projet.

➤ Mlle Aitomar mina, pour son encadrement durant tout la période de travail, pour les discussions profondes qu'il m'a réservées et les conseils fructueux qu'il m'a prodigués et qui m'a fait bénéficier de sa large expérience.

➤ L'administration et l'ensemble du corps professoral de la faculté des sciences et techniques, pour leurs efforts à nous garantir la continuité et l'aboutissement de ce programme de formation en licence génie industriel.

➤ Je remercie les membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail.

## Table de matière :

Dédicace.....	2
Remerciement.....	3
Liste des figures.....	6
Liste des tableaux .....	7
Introduction générale.....	9
<b>Chapitre I : Revue bibliographique.....</b>	<b>10</b>
I. Présentation del'usine.....	11
II. Etapes de production de sucre en sucrerie de betteraves.....	12
1- Généralité.....	12
2- Service agricole.....	13
3- Réception et stockage.....	13
4- Lavage des betteraves.....	14
5- Découpage et Extraction.....	14
4-1 Découpages .....	14
4-2 Extractions .....	14
4-3 Séchage des pulpes .....	15
6- Epuration .....	15
7- Evaporation .....	15
8- Cristallisation .....	15
9- Turbinage (essorage) .....	16
10- Epuisement des arrières produits .....	16
11- Séchage de sucre .....	16
12- Conditionnement .....	16
III. Processus d'extraction de sucre .....	16
1. Objectif d'opération .....	16
2. Description de l'atelier de Découpage .....	17
2.1. la trémie a betterave .....	17
2.2. les coupe-racines .....	17
2-2.1. Les attentes .....	17
2-2.2. Les matériels .....	17
2.3. Principe de découpage .....	19
2.4. L'atelier de découpage à la sucrerie de SIDI BENNOUR .....	20
3. Echaudage.....	21
4. Diffusion.....	22
4-1. Les attentes .....	22
4-2. Alimentation de la diffusion en eau .....	22
4-3. Principe de phénomène de la diffusion .....	23
4-4. Technologie de la diffusion .....	24
4-5. Paramètre opératoire de la diffusion .....	25
4-5.1. Le soutirage .....	26
4-5.2. Qualité de découpage .....	26
4-5.3. Le temps de séjour .....	26
4-5.4. La température .....	26
4-5.5. Le pH .....	27

4-5.6.	L'infection microbienne .....	27
5.	Pressage .....	25
<b>Chapitre II : Matériels et méthodes</b> .....		29
I.	Introduction .....	30
II.	Problématique et objectif .....	30
III.	Plan de travail .....	31
IV.	Modèle de SILINE .....	31
V.	le plan d'échantillonnage .....	32
1.	Pour le suivie du constante de SILINE .....	32
2.	Pour le suivi de temps de séjour.....	33
3.	Pour le suivie de soutirage.....	34
4.	Pour le suivi de la température .....	35
5.	La richesse des cossettes.....	35
<b>Chapitre III : résultats et discision</b> .....		36
I.	Modélisation de la diffusion.....	37
1-	L'influence da la qualité de découpage.....	37
2-	L'influence du temps de séjour.....	38
3-	L'influence du soutirage.....	38
4-	L'influence de la température.....	39
5-	Conclusion.....	40
II.	Suivi de la variation des pertes en fonction des paramètres de diffusion.....	41
1.	suivi des grandeurs de diffusion pour le diffuseur RTA.....	41
1-1	suivi de l'influence de découpage sur les pertes en diffusion.....	41
1-2	suivi de l'influence du temps de séjour sur les pertes en diffusion.....	42
1-3	suivi de l'influence de soutirage sur les pertes en diffusion.....	43
1-4	suivi de l'influence de température sur les pertes.....	44
2.	Suivi des grandeurs de diffusion pour le diffuseur RTB.....	45
2-1.	Suivi de l'influence de découpage sur les pertes en diffusion.....	45
2-2.	Suivi de l'influence de temps de séjour sur les pertes en diffusion .....	46
2-3.	Suivi de l'influence de de soutirage sur les pertes .....	47
2-4.	Suivi de l'influence de la température sur les pertes en diffusion.....	48
3.	conclusion..	
III.	Suivi de la qualité de découpage pour chaque coupe-racines.....	50
4-1.	Suivi de la qualité de découpage pour coupe-racines n°1.....	50
4-2.	Suivi de la qualité de découpage pour coupe-racines n°2.....	51
4-3.	Suivi de la qualité de découpage pour coupe-racines n°3.....	53
4-4.	Conclusion.....	54
IV.	Solutions proposés.....	55
<b>Conclusion générale</b> .....		57
Annexe n°1.....		58

## Liste de figure

**Figure n°1** : betterave sucrière

**Figure n°2** : les stades de fabrication de sucre

**Figure n°3** : forme faitière de cossettes

**Figure n°4** : principe de fonctionnement de coupe-racines (putsch)

**Figure n°5** : porte couteau TSM 2200

**Figure n°6** : exemple d'une gamme de couteaux

**Figure n°7** : principe de découpage des

**Figure n°8** : schéma des coupe-racines à la sucrerie de Sidi Bennour

**Figure n°9** : cellule de betteraves dont on extrait le saccharose

**Figure n°10** : principe de fonctionnement d'échaudage

**Figure n°11** : Extraction à contre courant

**Figure n°12** : principe de fonctionnement de diffuseur RT

**Figure n°14** : schéma d'une presse verticale

**Figure n°15** : schéma d'une presse horizontale

**Figure n°16** : modèle de variation des pertes en fonction de la longueur

**Figure n°17** : modèle de variation des pertes en fonction du temps de séjour

**Figure n°18** : modèle de variation des pertes en fonction de soutirage

**Figure n°19** : modèle de variation des pertes en fonction de la température

**Figure n°20** : variation des pertes de diffusion en fonction de la longueur(RTA).

**Figure n°21** : variation des pertes de diffusion en fonction du temps de séjour(RTA)

**Figure n°22** : variation des pertes de diffusion en fonction de soutirage

**Figure n°23** : variation des pertes de diffusion en fonction de la température (RTA)

**Figure n°24** : variation de pertes de diffusion en fonction de la longueur(RTB)

**Figure n°25** : variation de pertes de diffusion en fonction de temps se séjour(RTB)

**Figure n°26** : variation de pertes de diffusion en fonction de soutirage (RTB)

**Figure n°27** : variation de pertes de diffusion en fonction de la température (RTB)

**Figure n°28** : variation des pertes en fonction de la longueur donnée par CR1

**Figure n°29** : variation des pertes en fonction de la longueur donnée par CR2 (les autres paramètres sont fixes)

**Figure n°30** : variation des pertes en fonction de la longueur donnée par CR2

**Figure n°32** : variation des pertes en fonction de la longueur donnée par CR2 (les autres paramètres sont fixes)

**Figure n°33** : variation des pertes en fonction de la longueur donnée par CR3

**Figure n°34** : variation des pertes en fonction de la longueur donnée par CR3(les autres paramètres sont fixes)

**Figure n°35** : variation des pertes en fonction de la longueur des cossettes pour CR1, CR2 et CR3

### *Liste des tableaux*

**Tableau n°1** : fiche technique de COSUMAR

**Tableau n°3** : les moyennes des résultats des échantillons pour les deux diffuseurs RTA et RTB  
**Tableau n°4** : suivi la variation des pertes en fonction des paramètres de diffusion (RTA)

**Tableau n°5** : suivi la variation des pertes en fonction des paramètres de diffusion (RTB).71

**Tableau n°6** : la variation des pertes en fonction de la longueur/CR1

**Tableau n°8** : la variation des pertes en fonction de la longueur/ CR1 en fixant les autres paramètres

**Tableau n°9** : la variation des pertes en fonction de la longueur/CR2

**Tableau n°10** : la variation des pertes en fonction de la longueur/ CR2 en fixant les autres paramètres

**Tableau n°11** : la variation des pertes en fonction de la longueur/CR3

**Tableau n°12** : la variation des pertes en fonction de la longueur/CR3 en fixant les autres paramètres

## *Nomenclature*

- Coss : cossettes
- $j_v$  : jus vert
- bett : betterave
- $j_d$  : jus de diffusion
- Pd : pertes en diffusion
- $t_s$  : temps de séjour
- $C_f$  : cossettes fraîches
- CR : coupe-racines
- Ph : pulpes humide
- Pp : pulpes pressés
- Sv : soutirage volumique
- a : soutirage poids
- n : soutirage poids
- g/ g cos : gramme / gramme cossettes
- m% g coss : mètre % gramme cossette
- cellu : cellulaire

# *Introduction générale*

Pour garder sa dominance, la COSUMAR s'engage dans l'amélioration continue de sa production par un contrôle des différentes opérations techniques et une bonne optimisation de sa consommation d'énergie, de la matière première et de l'eau

Au cours de ces dernières campagnes, la sucrerie des DOUKKALA Sidi Bennour a connu un déclin notable en rendement de production du sucre, cela revient à l'augmentation des pertes au niveau de la diffusion, dont les paramètres de fonctionnement ont un effet non négligeable sur la sécherie.

Le présent travail, consiste à mener une réflexion approfondie sur ce sujet, en vue de relever les paramètres indispensables au dysfonctionnement probable au système d'atelier d'extraction de jus par diffusion, proposer des actions de structuration pour atteindre un seuil minimal acceptable en perte. Cette étude a été menée en succession des étapes:

- le chapitre I, une partie bibliographique portant sur des notions de base des étapes de processus, ainsi que des études théorique d'ateliers de la conduite d'extraction.
- le chapitre II, les matériels, les méthodes de travail et paln d'échantillonnage sont définie
- au chapitre III, une compagne des mesures a été effectuée soigneusement sur une série d'échantillons pour la détermination des paramètres indispensables à la conduite d'extraction, ainsi des essais de contribution à l'optimisation et des tests d'influence des actions correctives et des propositions ont été formulées.

En terme résultats, l'évaluation de la conduite d'extraction a montré que quelques étapes de la conduite sont mal maitrisées et qui affectent nettement son rendement.

# *Chapitre I: Revue bibliographique*

## I. Présentation de l'usine:

Le Groupe COSUMAR, est spécialisé dans l'extraction, le raffinage et le conditionnement du sucre. La production issue des neuf sites industriels provient du raffinage du sucre brut importé et du traitement des plantes sucrières (betterave et canne à sucre). Il est devenu l'unique opérateur sucrier après l'acquisition de SUTA, SUCRAFOR, SUNABEL et SURAC en 2005. Cette organisation permet au Groupe d'assurer l'approvisionnement du Royaume en sucre, à travers une gamme variée : pains de sucre, morceaux, lingots, granulés.

Tableau n°1 : fiche technique de COSUMAR [3]

Forme juridique	Société anonyme
Date de création	1929
Capitale	5 810,9 millions dirhams
Périmètre agricoles	Doukkala, Tadla, Gharb, moulouya, Loukos,
Site industriels	9 sites
Capacité de traitement	4 millions Tonne / an des plantes sucrières
Marché : <ul style="list-style-type: none"><li>• Besoins</li><li>• Consommation</li><li>• Production</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 1,2 million de tonne de sucre blanc / an</li><li>• 36 kg / hab/ an</li><li>• 1,8 % / an en moyenne</li></ul>
Effectifs	2400 personnes dont 105 cadres
Adresse	RT El-Jadida- Sidi Bennour
Site web	<a href="http://www.COSUMAR.co.ma">www.COSUMAR.co.ma</a>
Téléphone	06 00 01 15 28

## II. Etapes de production de sucre en sucrerie de betteraves:

### 1. Généralités:

Le sucre (saccharose) est produit à partir de la betterave sucrière ou de la Canne à sucre. Ainsi, par exemple, la production mondiale, qui se chiffrait à 130,5 millions de tonnes en 2000-2001, se répartit pour environ 72 % à partir de la canne à sucre et 28 % à partir de la betterave. Dans les deux cas, du début de la filière à la production du sucre final, l'objectif des sucreries est de partir d'une matière première la plus pure possible et de produire, avec un rendement Optimum, un sucre de qualité. La sucrerie est donc principalement une Industrie de séparation et de purification. Un grand nombre d'opérations de séparation sont ainsi mises en œuvre, par exemple, en sucrerie de betterave :[8]

- l'atelier de lavage élimine les impuretés extérieures à la matière première
- l'extraction par diffusion limite le transfert des impuretés dans le jus
- l'épuration calco-carbonique précipite une partie des impuretés dissoutes
- la concentration par évaporation multiple-effet élimine une partie de l'eau du jus
- enfin la cristallisation permet de séparer le saccharose sous forme d'un cristal pur à partir d'un sirop contenant encore des impuretés.

La matière première:

La betterave est une matière première vivante sujette à de nombreuses réactions de dégradation. Sa durée de conservation est limitée et la sucrerie est donc une industrie saisonnière avec des durées de campagne de deux à trois mois par an.

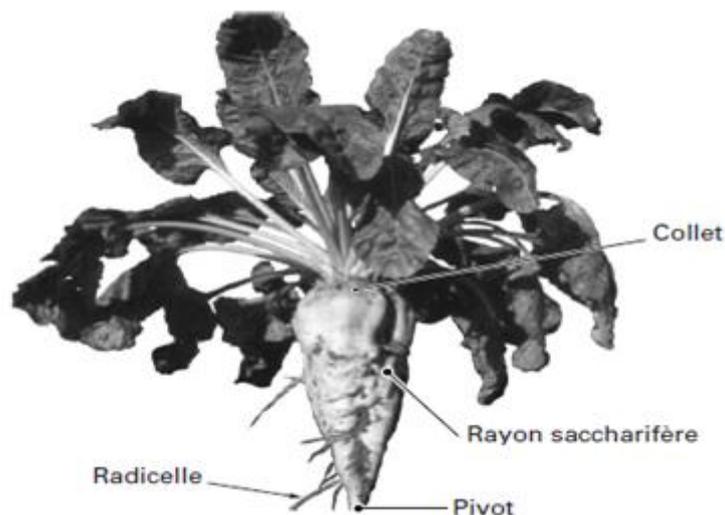


Figure n°1 : betteraves sucrière [6]

La culture de la betterave (figure 1) pour le sucre ne comporte que la phase végétative. La racine est la réserve où s'accumule le sucre élaboré par le bouquet foliaire. La qualité de la betterave est un paramètre important. En effet, à côté du saccharose noté (S) et de l'eau notée (E), la betterave contient des non-sucre (autres que saccharose notés NS) qui limitent le

rendement d'extraction. Parmi ces composés, on peut citer le potassium, le sodium, le glucose, le raffinose et l'azote sous forme  $\alpha$ -aminé.

Les stades de la fabrication de sucre, depuis la culture de la betterave sucrière jusqu'au conditionnement du produit fini, sont schématisés comme suit :

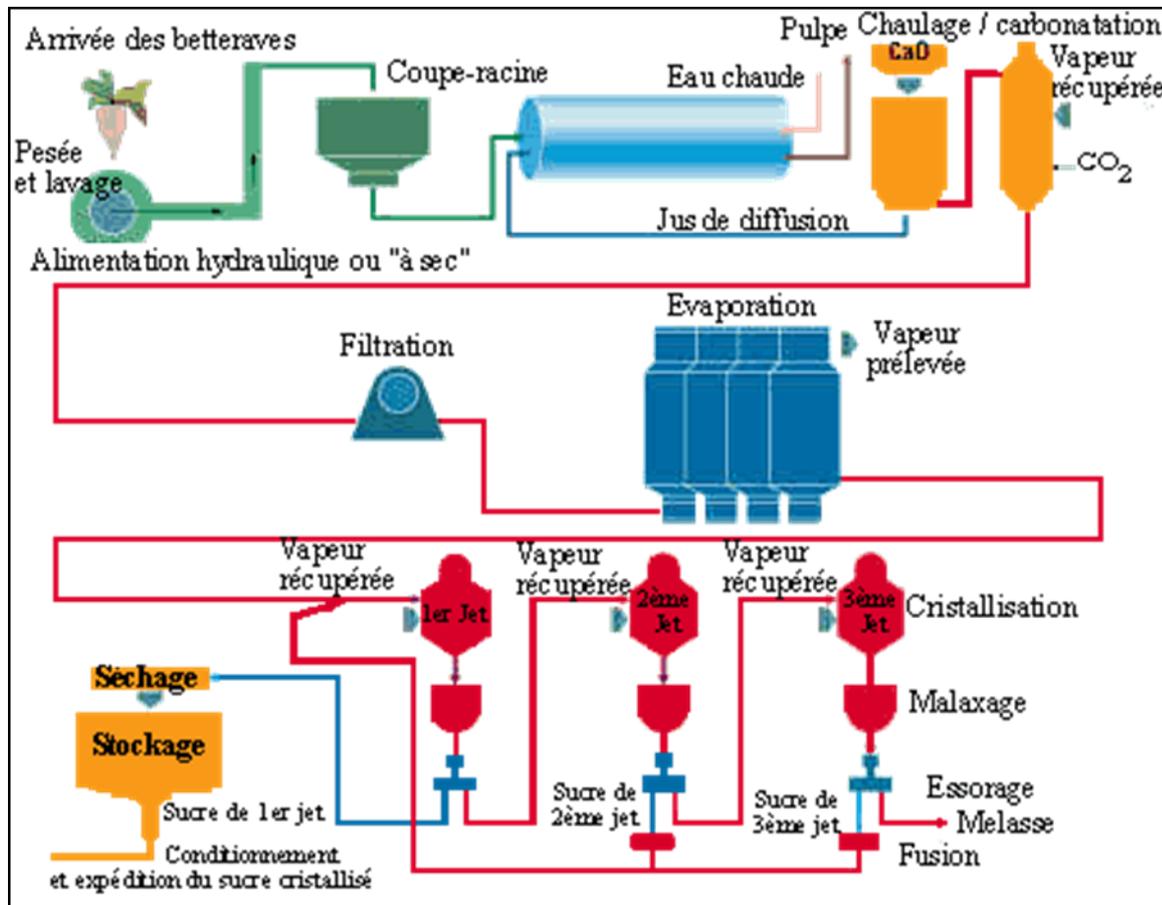


Figure n°2 : les processus de fabrication de sucre [8]

## 2. service agricole :

Le service agricole a contribué aux excellents rendements des dernières campagnes tout en maîtrisant les effets de l'activité agricole sur l'environnement par la mise en place d'une charte de qualité et de progrès. Les contrôles portent notamment sur les points suivants :

- Amélioration de la qualité des betteraves (richesse).
- Contrôle de l'azote résiduel avant les semis et conseil de la fumure optimale à apporter en complément.

## 3. réception et stockage:

La réception constitue le point de jonction entre les agriculteurs et l'usine. Elle doit donc assurer une alimentation continue en betteraves tout en évitant la détérioration de sa qualité à un temps de stockage prolongé. les betteraves sont payées en fonction de trois critères :

- Teneur en saccharose
- Poids net
- Taux d'impureté

Le stockage des betteraves s'effectue au bord des champs et en usine :

- au bord des champs, il s'agit de « silos » qui ressemblent à de simples tas mais dont la structure (hauteur, largeur, orientation) est soignée afin de permettre une bonne aération de l'ensemble
- en usine, la capacité de stockage ne dépasse généralement pas 48 heures et permet un fonctionnement continu de l'usine, même en absence de réception de betterave, la nuit et le week-end. Les usines se chargent de l'organisation de la réception.

#### 4. Lavage des betteraves :

Le lavage comprend de nombreuses étapes qui visent à séparer les betteraves de la terre, des pierres, des gravillons et des herbes. L'atelier de lavage comprend généralement:

- un cylindre éboueur couramment appelé « trommel »
- un épierreur où les betteraves sont séparées des pierres par flottation
- un tapis balistique sur lequel des jets puissants sont pulvérisés sur les betteraves pour évacuer les impuretés adhérant encore aux betteraves, en particulier les gravillons dans le rayon saccharifère.

#### 5. découpage et Extraction

##### 5-1 découpages

Les betteraves sont découpées en «cossettes» avec une forme« faitière » (figure 3) pour éviter que les morceaux ne se collent les uns aux autres dans le diffuseur. L'épaisseur des cossettes varie de 0,9 mm à 1,3 mm

Exemple, pour la campagne 2001, la longueur moyenne était de 9,2 m/100 g (entre 4,6 et 12,5 m/100 g) et le taux moyen de râpures de 7,0 g/100 g (entre 1,9 et 15,9 g/100 g).Le découpage des cossettes s'effectue dans des coupe-racines à tambour ou à plateau. Les capacités de traitement par appareil sont importantes (de 4 000 à 8 500 t/j).

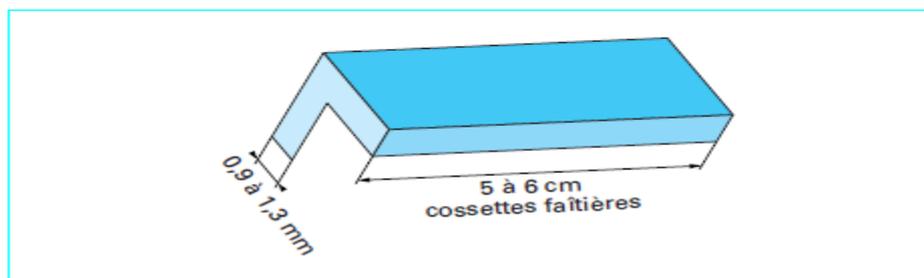


Figure n°3 : forme faitière de cossettes [6]

##### 5-2 extractions :

L'extraction est réalisée par diffusion en plongeant les betteraves, découpées en cossettes, dans de l'eau chaude. Le principe de diffusion est basé sur le mouvement des molécules d'une région à concentration élevée (cossette) vers une autre à faible concentration (eau chaude).la

diffusion se fait a contre-courant dans laquelle le jus circule en sens inverse de celui des cossettes et deux fois plus rapidement qu'elles.

Les technologies utilisées en diffusion sont RT1, RT2 et BMA chaque un exige des longueurs des cossettes spécifiques.

### **5-3 Séchage des pulpes :**

A la sortie de la diffusion, les pulpes contiennent environ 92% d'eau. Ces pulpes humides sont pressées pour extraire une partie de l'eau (eau de presse) qui sera recyclée en diffusion vu qu'elle contient encore de sucre, Elles prennent le nom de pulpes sur pressées et contiennent entre 20 et 30% de matières sèches. Ces pulpes peuvent être vendues en état, ou mélangées avec de la mélasse et séchées sous forme de pellets qui sont d'une digestibilité élevée, riches en énergie, et qui conviennent très bien à l'alimentation des bétails.

### **6. Epuration :**

Le jus sortant des diffuseurs contient environ de sucre et toutes les impuretés solubles contenues dans les betteraves. Pour éliminer les impuretés, il faut soumettre le jus à une purification. L'agent d'épuration employé est la chaux, produite par calcination de pierres calcaires dans un "four à chaux", puis transformée en lait de chaux. Ce lait, mélangé au jus de diffusion, amorce la séparation des impuretés, mais ne permet pas leur décantation. Le "jus chaulé" doit encore être soumis, dans des appareils à carbonater, à l'action du gaz carbonique récupéré par aspiration au sommet du four à chaux. La chaux précipite alors sous forme de carbonate de chaux, dont les grains entraînent les impuretés les plus fines. Impuretés et chaux sont éliminées par filtration. La chaux chargée d'impuretés, appelées écumes, constitue le meilleur amendement calcaire pour les terres agricoles

### **7-évaporation :**

L'objectif principal est de concentrer par ébullition le jus épuré jusqu'au sirop à une concentration proche de la saturation. L'évaporation est réalisée dans une batterie de corps tubulaires, chacun travaillant à une température plus basse que le précédent. Le dernier corps travaille sous vide partiel, à environ 85° pour éviter la caramélisation du sucre, mais aussi pour utiliser au maximum l'énergie calorifique de la vapeur servant au chauffage. A la sortie de la station d'évaporation, on obtient un sirop. Cette série d'évaporation est à l'origine des eaux condensées (condensats).

### **8-Cristallisation :**

Le but est de former la masse cuite par cristallisation du sucre contenu dans le sirop. L'introduction des très fins cristaux dans le sirop amorce la cristallisation du sucre, puis le sirop cristallise et se transforme en masse cuite, sirop coloré contenant des cristaux de sucre entourés de leur eau mère.

## **9- Turbinage (essorage):**

Cette opération consiste à séparer les deux phases de la masse cuite par centrifugation. La force centrifuge développée par les turbines sépare les cristaux de l'eau mère (égoutture), en les retenant dans un panier perforé. Les cristaux, parfaitement purs et blancs, sont dirigés vers le séchage. Les "eaux-mères" ou égouts composés d'eau, de sucre et de quelques impuretés, contiennent encore beaucoup de sucre. Elles sont soumises à une nouvelle cuisson, avec formation de cristaux et à un nouvel essorage : c'est le 2ème jet.

## **10- Epuisement des arrières produits:**

Les égouts de 2ème jet, toujours riches en sucre, sont cuits lors d'une étape ultime pour donner du sucre roux qui remonte en cuisson de 2ème jet après refonte et de la mélasse. Celle-ci est fortement énergétique et elle est incorporée à certains aliments destinés à la nourriture animale (production des pellets) et également utilisée pour la fabrication d'alcool et de levure de panification.

## **11- Séchage de sucre:**

Le sucre cristallisé blanc est évacué du fond de la turbine. Encore chaud (45- 60 °C) et humide (1%), le sucre est séché par de l'air chaud dans des cylindres – séchoirs rotatifs, puis refroidi afin d'atteindre une teneur en eau comprise entre 0.03 et 0.06%.

## **12- Conditionnement:**

Les ateliers de conditionnement, de stockage et d'expédition emploient près de la moitié des effectifs à la préparation des sucres destinés à la consommation familiale et industrielle. Dans ces ateliers, le sucre est tamisé, ensaché ou transformé après moulage en pains de sucre. Le sucre est stocké dans des silos équipés d'un soufflage d'air déshydraté et réchauffé à 25 – 30°C pour éviter sa prise en masse

### **III. Processus d'extraction de sucre:**

#### **1. Objectif d'opération :**

L'extraction du sucre à partir de la betterave, utilise depuis plus d'un siècle le procédé par diffusion.

L'objectif général de la section de procédé extraction du jus est d'extraire le maximum du saccharose présent dans la structure cellulaire de la betterave sous forme de solution aqueuse (suc cellulaire) à l'aide d'eau et par le biais d'un procédé d'extraction économiquement efficace.

Mais avant de continuer sur la diffusion et sur ses différents paramètres de la conduite, nous analyserons l'atelier du découpage. Cet atelier conditionne la bonne marche de la diffusion.

## **2. Description de l'atelier de Découpage :**

Le découpage est d'une importance capitale dans la fabrication, sa qualité dépend directement

- Le soutirage (énergie).
- Les épuisements (pertes de sucre).
- La qualité du jus (épuration et cristallisation).
- Le débit journalier (tassages et égouttage).

Cet atelier en dehors des paramètres de réglage et d'entretien analysés ci-après, dépendra de la qualité du nettoyage des betteraves et des corps étrangers qui viendront perturber la marche des coupe-racines. [6]

L'atelier de découpage comprend :

- La trémie de stockage des betteraves,
- les coupe-racines
- les équipements de préparation des couteaux
- la production d'air comprimé de débouillage.

### **2-1. la trémie a betterave**

La trémie constitue une capacité tampon pour une alimentation régulière de la diffusion continue.

La trémie doit être remplie au niveau le plus haut possible pour limiter la casse des betteraves par une chute trop importante et assurer une charge suffisante et régulière pour gaver les coupe-racines.

### **2-2. les coupe-racines**

#### **2-2.1. Les attentes**

- Obtenir une qualité de cossettes optimale compatible avec le type de diffusion. C'est à dire, longueur maximale de cossettes et râpures minimale. Le tout peut être mesuré par un test d'égouttage et par le nombre de siline (voir plus loin partie : résultats et discussion). Cette qualité dépend en particulier de l'efficacité du lavage.
- Obtenir un débit de cossettes suffisant et régulier.

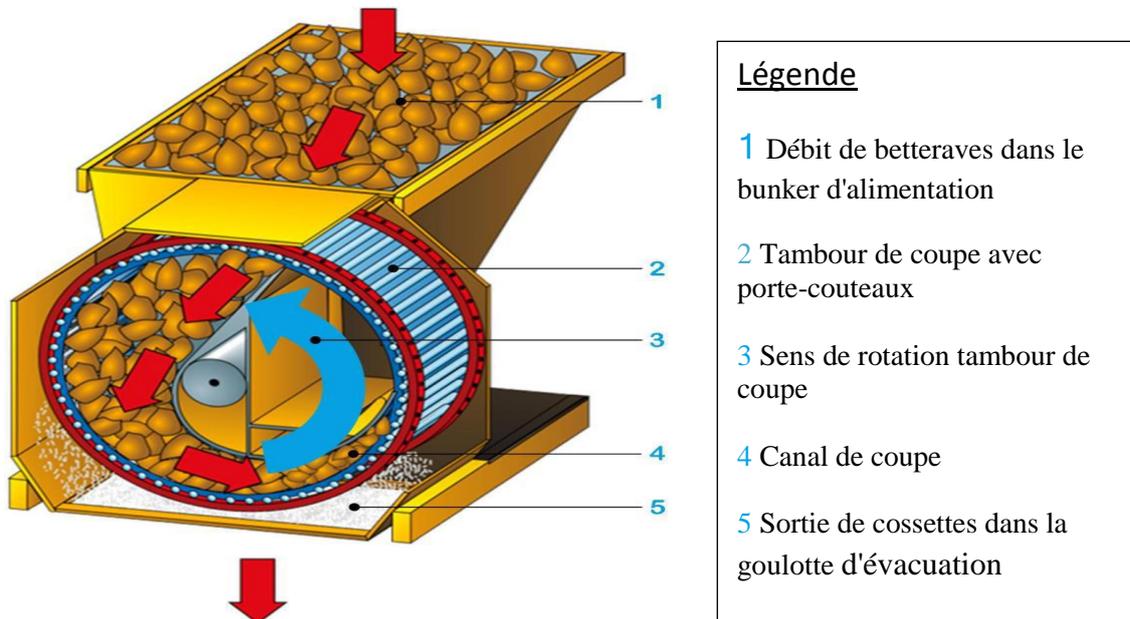
#### **2-2.2. Les matériels**

Il existe deux types de coupe-racines :

- Coupe-racines à plateau.
- Coupe-racines à tambour

Le premier type de coupe-racines est plus ancien, la sucrerie de sidi bennour utilise le deuxième type.

**Coupe-racines à tambour/exemple (putsch) [4]**



- Légende**
- 1 Débit de betteraves dans le bunker d'alimentation
  - 2 Tambour de coupe avec porte-couteaux
  - 3 Sens de rotation tambour de coupe
  - 4 Canal de coupe
  - 5 Sortie de cossettes dans la goulotte d'évacuation

**Figure n°4 : principe de fonctionnement coupe-racines à tambour (putsch)**

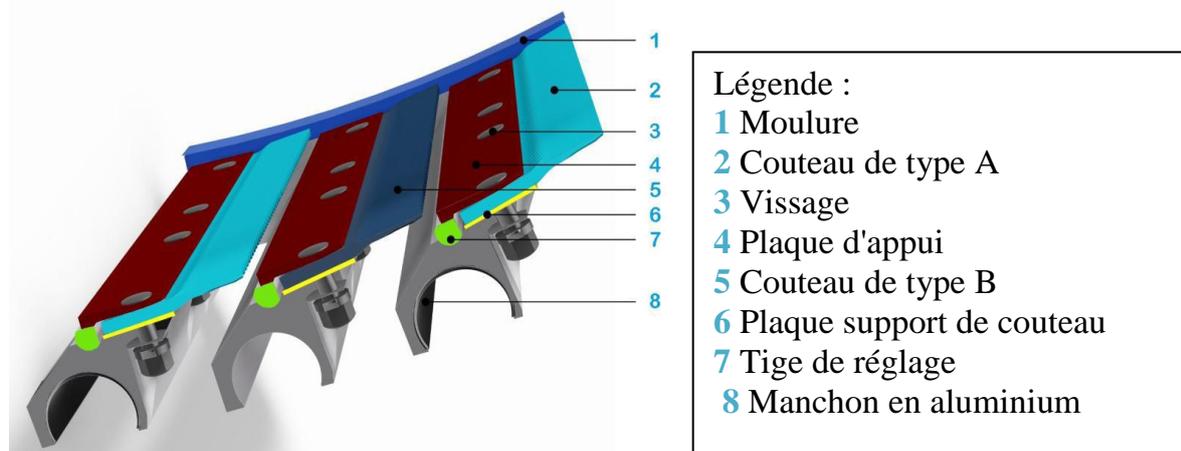
Les betteraves à sucre sont déversées dans le bunker. Elles parviennent ensuite à l'intérieur du coupe-racines à tambour par le biais de la trémie d'alimentation (1).

Le tambour de coupe (2) est équipé de 22 porte-couteaux. Le canal de coupe (4) est positionné à un angle d'attaque supérieur à 180°. Ainsi, plus de la moitié des couteaux sont en action simultanément. Les betteraves à sucre sont alors sectionnées en cossettes dans le canal de coupe.

Les cossettes chutent ensuite par l'orifice (5) de la machine dans la goulotte d'évacuation. Enfin, les cossettes tombent sur les tapis d'évacuation. Elles parviennent à l'étape suivante du traitement.

**Porte couteau et couteau :**

La figure suivante représente un porte-couteau équipé.



- Légende :**
- 1 Moulure
  - 2 Couteau de type A
  - 3 Vissage
  - 4 Plaque d'appui
  - 5 Couteau de type B
  - 6 Plaque support de couteau
  - 7 Tige de réglage
  - 8 Manchon en aluminium

**Figure n°5 :Porte-couteaux TSM 2200, coupe [4]**

Les porte-couteaux Putsch® Smart sont fabriqués en alliage de fonte d'aluminium à résistance élevée. Les 22 porte-couteaux du TSM accueillent par rangée 3 couteaux Koenigsfeld (2, 5) qui sont fixés sur une plaque d'appui (4). Un porte-couteau comprend 3 rangées de couteaux. Les rangées sont équipées alternativement de couteaux de type A (2) et de couteaux de type B (5).

Les tiges de réglage (7) et les plaques de support de couteaux (6) réglables permettent de modifier la géométrie de la découpe et de l'adapter à la qualité des betteraves sucrières. La plaque d'appui et le couteau ont aussi leur importance.

Un mécanisme de verrouillage est situé sur le côté des porte-couteaux. Il sert à fixer les porte-couteaux dans le tambour de coupe et à le débloquer le cas échéant pour le remplacer.

Des manchons en aluminium (8) amovibles situés dans les évidements et inférieurs des porte-couteaux Smart les protègent de l'usure et assurent leur parfait glissement sur l'axe du tambour de coupe.

Les porte-couteaux Putsch® Smart peuvent désormais recevoir les données du système de diffusion « Smart Slicing », ce qui était impossible avec les modèles précédents.



---

Figure n°6 : exemple d'une gamme des couteaux

### **2-3. Principe de découpage: [1]**

Les porte-couteaux ont 2 rangées de 3 couteaux, soit un montage de 3 couteaux A et de 3 couteaux B. Ce montage contribue fortement à l'obtention de la cossette faîtière

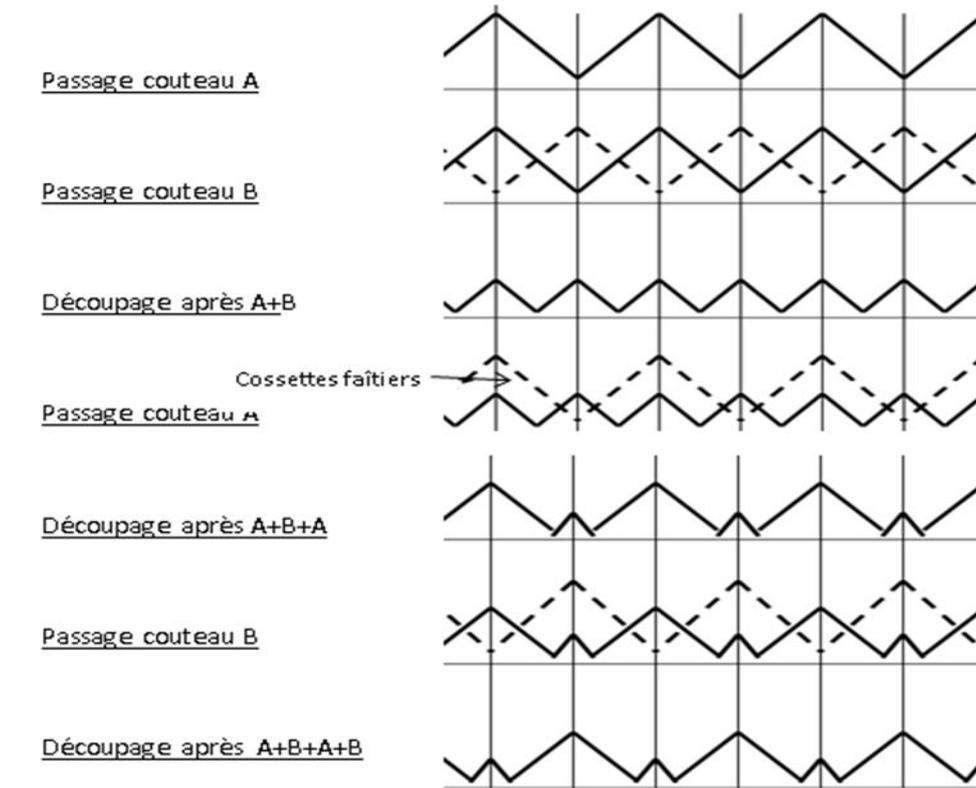


Figure n°7 : principe de découpage des betteraves [1]

## 2-4. L'atelier de découpage à la sucrerie de Sidi Bennour

L'atelier des coupes racines à la sucrerie des DOUKKALA se présente comme suit :

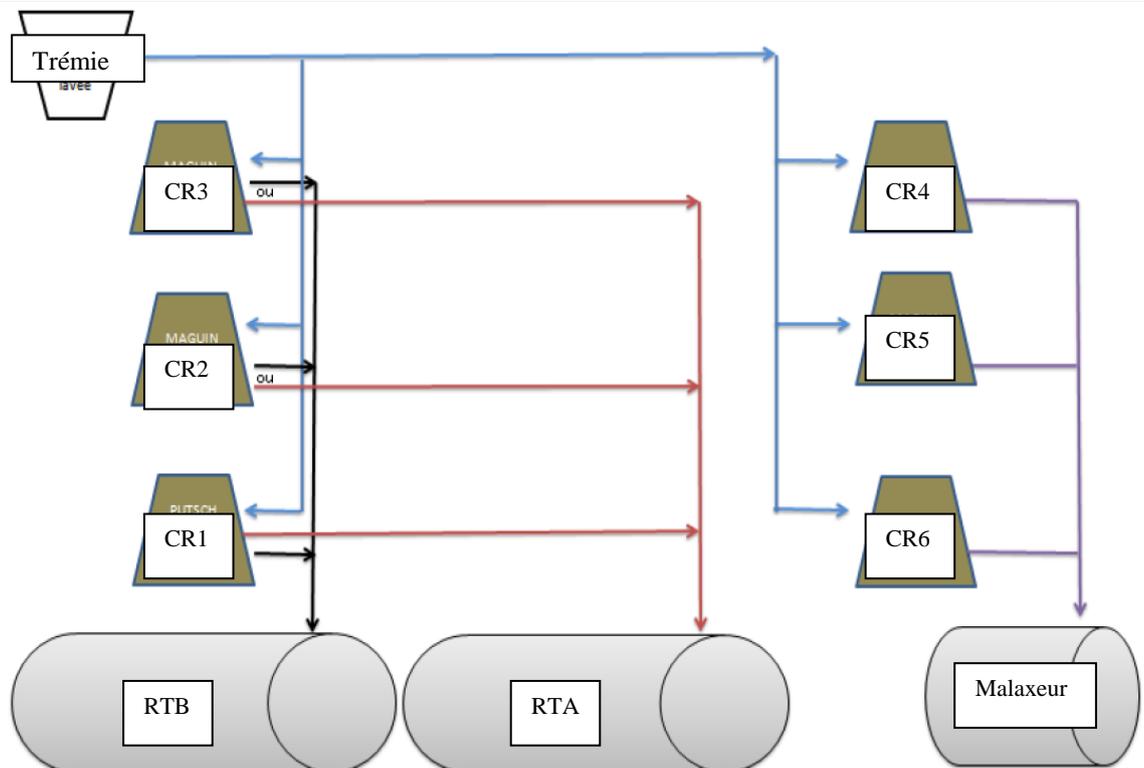


Figure n°8 : Schéma des coupe-racines à la sucrerie de sidi bennour [7]

### 3. Echaudage :

La betterave est constituée d'une multitude de cellules microscopiques séparées par une paroi cellulosique perméable (structure de soutien constituée de cellulose et d'hémicellulose), tapissée d'un protoplasme. Entre la paroi cellulosique et le protoplasme se trouve une autre paroi ectoplasme semi-perméable (se laisse traverser par l'eau et abrite les substances dissoutes dans le jus cellulaire). A l'intérieur de la cellule on trouve le noyau et des vacuoles, qui constituent les espaces occupés par une solution sucrée impure (jus sucré).

L'extraction du jus par diffusion est basée sur le principe de l'osmose (diffusion entre deux solutions de concentration différente, à travers une membrane perméable ou semi-perméable, En effet, la répartition du saccharose dans la structure cellulaire n'est pas homogène, c'est la vacuole qui constitue le véritable espace accumulateur.

Les molécules de saccharose doivent traverser deux parois pour passer de la vacuole vers le liquide d'extraction. Si la paroi cellulosique est perméable, la membrane cytoplasmique semi perméable et s'oppose au passage du saccharose.

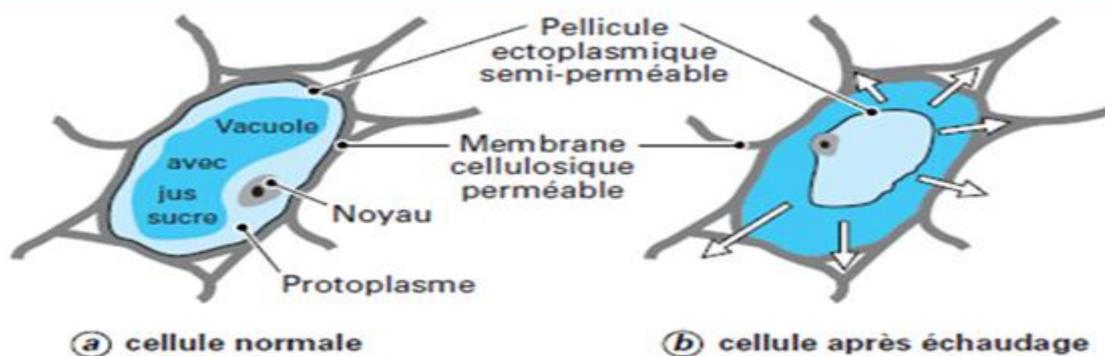


Figure n°9 : cellule de betterave dont on extrait le saccharose [6]

Pour rendre l'extraction possible, il faut transformer cette structure en dénaturant les protéines (éléments constitutifs du cytoplasme). Cette dénaturation s'obtient par action de la chaleur (échaudage) qui permet d'avoir une structure perméable qui laisse passer le sucre vers le liquide d'extraction.

L'échaudage permet également d'inactiver les microorganismes mésophiles et les enzymes responsables du développement dans la coloration et la solubilisation de la pectine: tyrosinase et pectine estérase.

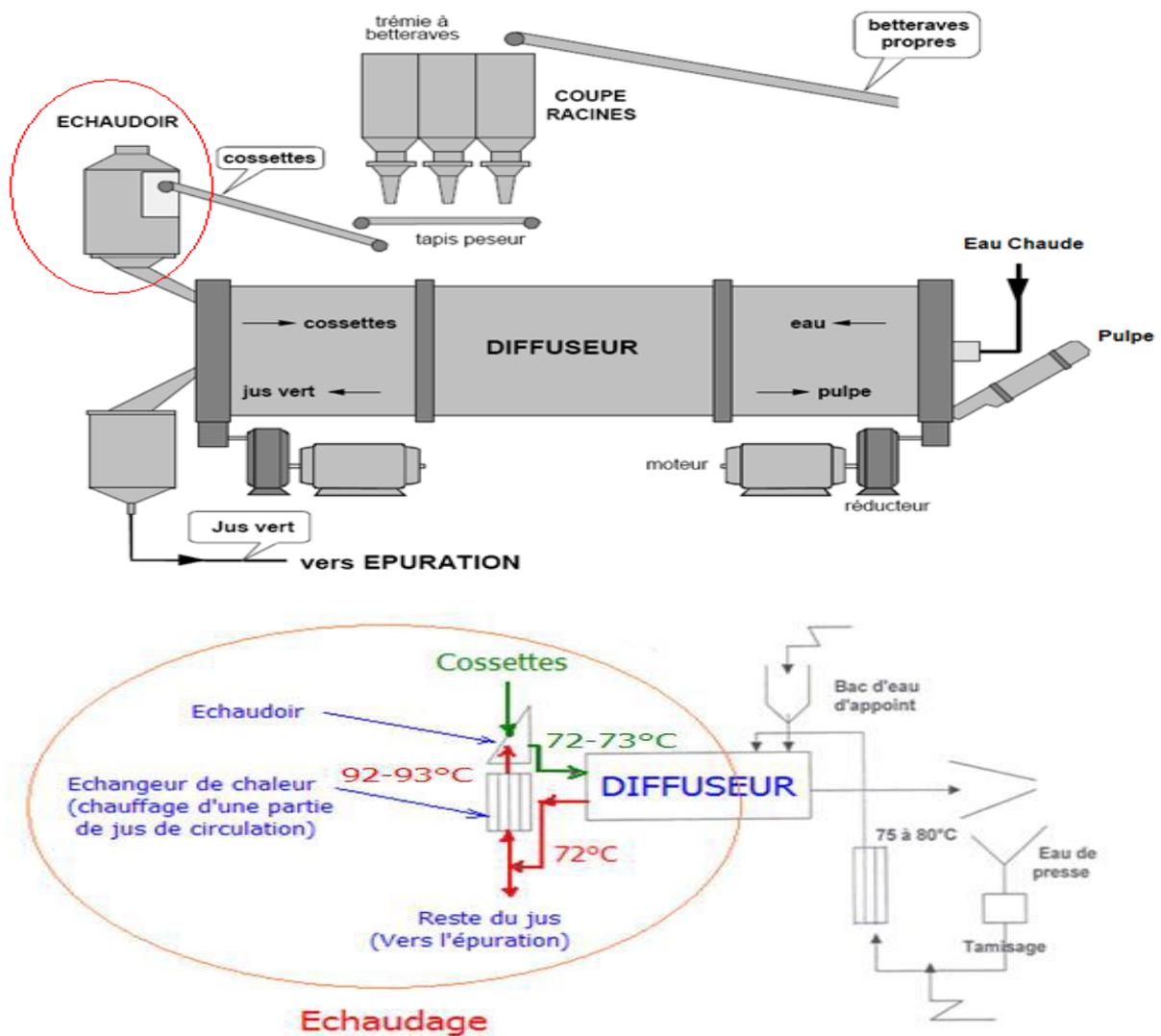


Figure n°10: principe de fonctionnement d'échaudage [7]

## 4. diffusion :

### 4.1. Les attentes :

Une bonne marche de l'atelier de diffusion nous permet d'atteindre les objectifs suivants:

- extraire le maximum de sucre dans les conditions économiques optimales,
- extraire le minimum de non sucres, pour un traitement postérieur économique,
- permettre la meilleure périssabilité des pulpes,
- éviter les dégradations du sucre, qui en plus de pertes en sucre, poseraient des problèmes dans le traitement postérieur.

### 4.2. Alimentation de la diffusion en eau

Les eaux d'alimentation en diffusion se composent de :

- Eaux de presses : qui contiennent encore un peu de sucre, sont tamisées, pasteurisées et désinfectées avec du formol avant d'être introduit dans la diffusion.

- Eaux fraîche : provenant des condensats, conditionné avec du gypse et acidifié avec l'acide sulfurique afin d'obtenir un jus de diffusion à ( $5,8 < \text{pH} < 6,1$ ).

L'ajout du gypse permet de: [9]

- Augmenter la matière sèche des pulpes au niveau des presses et diminuer la consommation de l'énergie au niveau du séchage
- Augmenter la rigidité des cossettes pour éviter le risque de colmatage au niveau des presses et favoriser une meilleure extraction de sucre et une diminution des non sucres.

L'alimentation est séparée : chaque eau se trouvent seul dans un bac et introduite indépendamment de l'autre.

### 4.3. Principe de phénomène de la diffusion:

Principe: Dans cette opération, le sucre est extrait des cossettes par diffusion en utilisant de l'eau chaude (solvant) tout en limitant le transfert des impuretés dans le jus. Le phénomène de diffusion est basé sur le mouvement des molécules d'une région à concentration élevée (sucre emmagasiné dans le tissu cellulaire de la betterave) vers une autre à faible concentration (eau chaude).

Le phénomène de diffusion est limité par l'équilibre des concentrations.

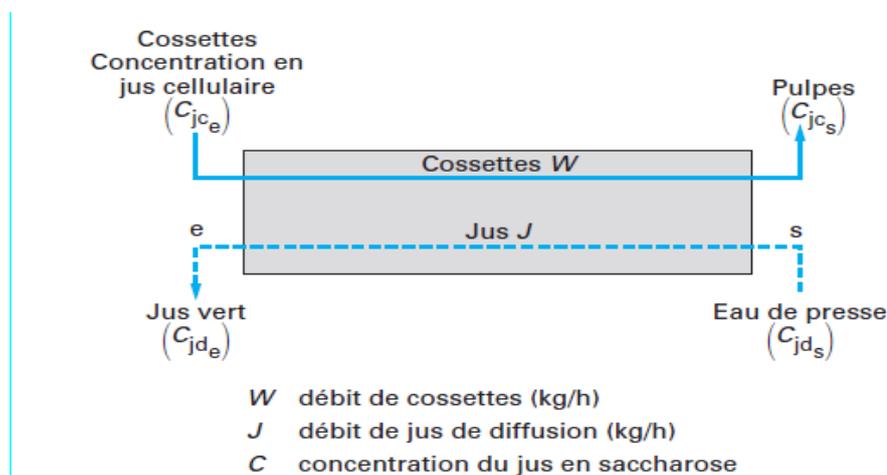


Figure n°11 : Extraction a contre-courant [9]

L'appareil reçoit à une extrémité, par exemple l'entrée (e), les cossettes (à un débit  $W$ ) dont le jus cellulaire a une concentration moyenne en sucre. À cette même extrémité, sort le jus de diffusion (à un débit  $J$ ) de concentration en sucre. À la sortie du diffuseur (s), l'eau de presse de concentration en sucre pratiquement nulle, et les cossettes épuisées (c'est-à-dire les pulpes) dont le jus cellulaire a une concentration en sucre, sortent.

Si le poids de jus à l'intérieur des cossettes est supposé invariable au cours de la diffusion, de même que les débits massiques de cossettes ( $W$ ) et de jus de diffusion ( $J$ ), le rapport des deux débits, exprimé en %, caractérise le soutirage ( $\sigma$ ) :

$$\partial = \frac{J}{W} \quad [6]$$

- $\partial$  : Soutirage exprimé en kg ou litres de jus de diffusion pour 100 kg cossettes
- $W$ : débit de cossettes (kg/h),
- $J$  : Débit de jus de diffusion (kg ou L/h).

Pour vraiment refléter la réalité, les modèles de diffusion du sucre dans un diffuseur industriel sont relativement complexes. Par contre, il est possible d'étudier l'influence des principaux paramètres opératoires à l'aide de modèle de SILINE (partie matériels et méthodes)

#### 4.4. Technologie de la diffusion :

Il y a 4 types de diffuseurs dans la sucrerie de Sidi Bennour :

- Le diffuseur RT horizontal a tube tournant
- Le diffuseur BMA tour vertical

Le choix du type de diffuseur dépend du rendement de l'extraction, de la qualité du jus, de la flexibilité du fonctionnement de l'usine, de l'espace disponible à l'usine, du coût de l'investissement, et du coût de la maintenance.

##### Diffuseur à tube tournant RT :

C'est un tambour horizontal, monté sur galets, qui tourne lentement sur lui même (20 à 50 tours / heure, le type de diffusion, RT1 – RT2 – RT4 – RT5 - etc.....).

##### Principe de fonctionnement : [4]

À la sortie des coupe-racines, les cossettes tombent sur un tapis peseur dont la vitesse d'avancement est réglée par le conducteur de diffusion ou le système de contrôle informatique.

Ces cossettes tombent dans l'échaudoir où circule du jus de diffusion dit de « circulation » réchauffé au préalable à une température de 92 à 95 °C.

Le but de cet échaudage est de réchauffer rapidement les cossettes afin qu'elles soient à la température de diffusion (c'est-à-dire à 72 °C) dès leur entrée dans le diffuseur. La température du jus de circulation est directement liée au débit de cossettes et à leur température. Le jus de circulation est réchauffé dans une série d'échangeurs avec de la vapeur prélevée à différents niveaux de l'évaporateur multiple-effet.

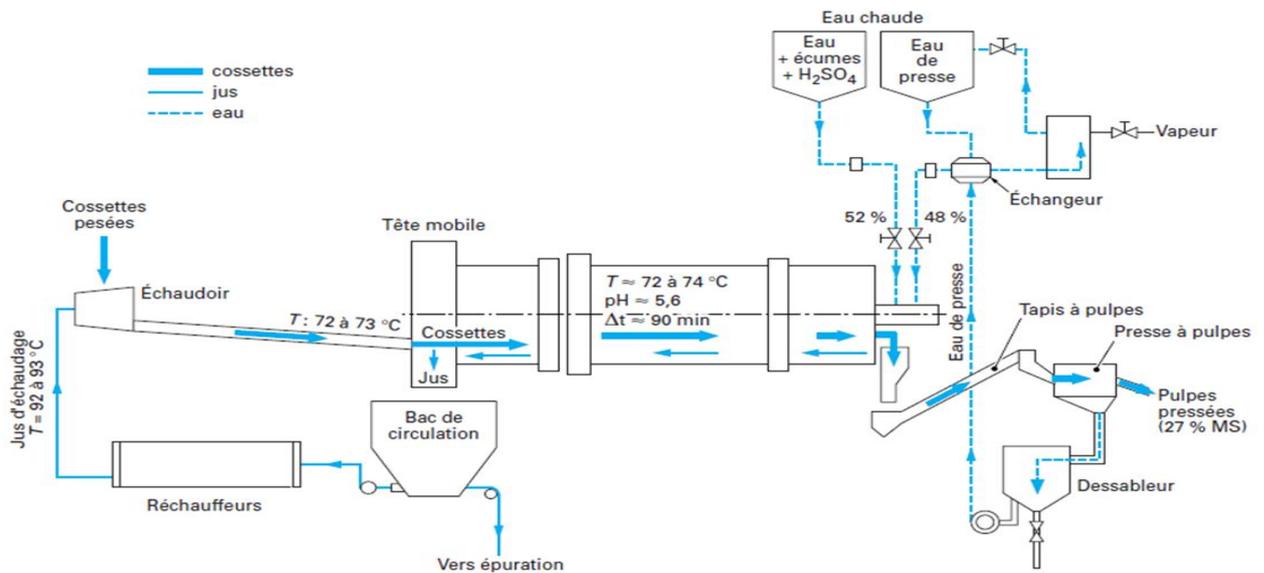


Figure n°12 : principe de processus de diffusion (exemple diffuseur à tombeur)

Les cossettes introduites dans le diffuseur avancent alors que le jus circule à contre-courant. Ainsi le liquide s'enrichit de plus en plus en sucre de la queue du diffuseur à la tête mobile, alors que les cossettes s'épuisent à contre-courant. En queue de diffuseur les pulpes sont reprises par un ensemble d'hélices qui les répartit sur des presses. Les pulpes sont pressées pour atteindre une teneur en matière sèche (MS) d'environ 25 %. C'est également en queue que l'on introduit l'eau de diffusion. Cette eau est constituée d'une part des eaux de presses (pour 48 %) qui, au préalable, ont été désherbées afin d'éliminer les pulpes « folles » et dessablées.

Soulignons à ce sujet qu'un mauvais nettoyage des betteraves entraîne, outre de gros problèmes aux coupe-racines, un encrassement du diffuseur et une usure importante des tuyauteries et filières

#### 4.5. Paramètre opératoire de la diffusion

Il existe plusieurs modèles mathématiques pour décrire l'extraction à contre-courant en technologie sucrière mais le plus courant est celui de SILINE (Ingénieur de sucrerie Soviétique et directeur de l'institut de Kiev).

$$\frac{n}{n-1} \cdot \log \left( \frac{n-1+C_s}{n \cdot C_s} \right) = K \cdot \theta \cdot L \cdot t \quad [1]$$

- **C<sub>s</sub>** : Pertes en sucre pour 1kg de jus.
- **n** : Soutirage en poids pour 1kg de jus. (kg jus /1kg jus cellulaire)
- **L** : longueur des cossettes en mètre pour 100 g
- **θ** : facteur de température (ne pas confondre avec la température) qui est une fonction de la température moyenne de la diffusion et de la viscosité.
- **t<sub>s</sub>**: temps de séjour en minutes des cossettes en diffusion

On applique le modèle de SILINE pour savoir l'influence de la variation de chacun des quatre paramètres de fonctionnement de la diffusion sur les pertes en sucre;

D'après ce modèle les paramètres sont : la qualité de découpage, la température, le soutirage et le temps de séjour. Aussi, il faut tenir compte des autres facteurs qui affectent le fonctionnement de la diffusion et qui n'apparaissent pas dans le modèle de SILINE tel que l'état sanitaire des diffuseurs, le taux de recyclage des eaux de presse et le taux de recyclage de jus vers échaudoir, la qualité de l'eau d'alimentation et l'effet de variation de pH .

#### **4-5.1. Le soutirage: (facteur n)**

Un des paramètres les plus importants dans la conduite de la diffusion est le soutirage.

Le soutirage est le débit de jus sortant de la diffusion, exprimé en litres pour 100 kg de cossettes entrant en diffusion (l % kg bett). A l'échelle industrielle, le débit de soutirage varie de 105 à 130L/100kg et souvent entre 110 et 120L/kg [1]

#### **4-5.2. Qualité de découpage: (facteur L)**

L'augmentation de la finesse de la cossette, reflétée par la longueur de 100 g de cossette, favorise l'extraction du sucre du fait de la diminution du trajet de diffusion et de l'augmentation de la surface d'échange. Mais là aussi il y a une limite. En effet, plus la cossette est fine et plus le taux de pectines solubilisées, du fait du nombre des cellules ouvertes, est important. De plus, les risques d'adhésion entre cossettes augmentent. Enfin il n'est pas toujours facile d'avoir une bonne qualité de coupe.

#### **4-5.3. Le temps de séjour : (facteur t)**

Une augmentation de t revient à augmenter les dimensions du diffuseur pour une vitesse de rotation constante, avec coût d'investissement élevé, Pour une diffusion installée, une augmentation de t se traduit par une diminution de la capacité de traitement. D'autre part un temps de séjour exagérément élevé affecte la qualité du jus extrait. En effet, au cours de l'extraction la solubilisation des substances colloïdales et particulièrement la pectine, augmente avec le temps de séjour à une température donnée.

#### **4-5.4. La température : (facteur T)**

La température au cours de la diffusion est importante son augmentation améliore l'extraction de sucre. Mais si elle est trop élevée on assiste à un abaissement de la pureté du jus. Car là aussi on est limité par la fragilité du Marc.

Les températures élevées favorisent la solubilisation des substances colloïdales (pectine).

Il existe également d'autres facteurs à surveiller dans la conduite de la diffusion et qui n'apparaissent pas dans la formule de SILINE, tels le pH, la qualité de l'eau d'alimentation, le taux de recyclage des eaux de presses et l'état microbiologique du diffuseur.

#### **4-5.5. Le pH :**

L'optimum est d'avoir un pH de 5,6 à 5,8 c'est-à-dire un pH légèrement acide. Acidité qui permet une bonne perméabilité des parois cellulaires, en augmentant leur porosité sans toutefois, une extraction excessive des pectines. La pressabilité des cossettes est donc améliorée en augmentant la rigidité des cossettes. D'autre part, de fortes acidités sont à éviter pour empêcher l'inversion du saccharose en fructose et en glucose, nuisant aussi bien à la qualité qu'au rendement en sucre et causant ainsi une corrosion du matériel. D'où il s'avère nécessaire de garder le profil acide à l'optimum.

#### **4-5.6. L'infection microbienne:**

L'infection microbienne peut être à l'origine de pertes relativement importantes souvent mises sur le compte des pertes indéterminées.

### **5. Le pressage:**

A la sortie de la diffusion RT les cossettes épuisées appelées pulpes humides, ont une teneur élevée en eau de 92 à 88 % d'eau suivant le type et la conduite de la diffusion, soit en pourcentage de matière sèche de 8 à 12 %.Elles sont alors acheminées vers des presses qui alimentent les sécheries en pulpes pressées et le diffuseur en eau de presse

#### **Les attentes du pressage**

Les objectifs du pressage sont :

- l'augmentation de la teneur en matières sèches des pulpes à un pourcentage de matière sèche, compatible avec un sécheur qui utilise des gaz à haute température
- la réduction des coûts énergétiques en déshydratation par la diminution des quantités d'eaux à évaporer
- la réduction des tonnages à transporter (réduction du coût de transport)
- l'optimisation de la conservation des pulpes pour l'ensilage ( $22\% < MS < 25\%$ )
- la diminution des pertes en sucre dans les pulpes, par le recyclage des eaux de presses.

#### Deux technologies des presses [1]

Presses horizontales à fûts auto- drainés, et des presses verticales.

La plupart des presses utilisées sont à double vis avec un carter profilé afin que le profil de compression soit régulier.

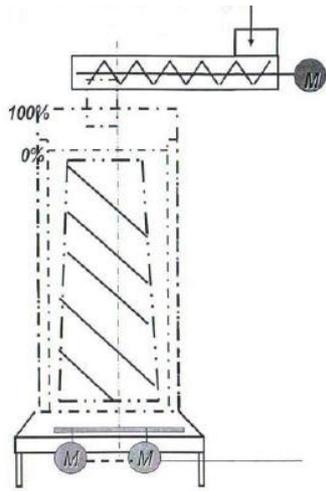


Figure n°14: schéma d'une presse verticale

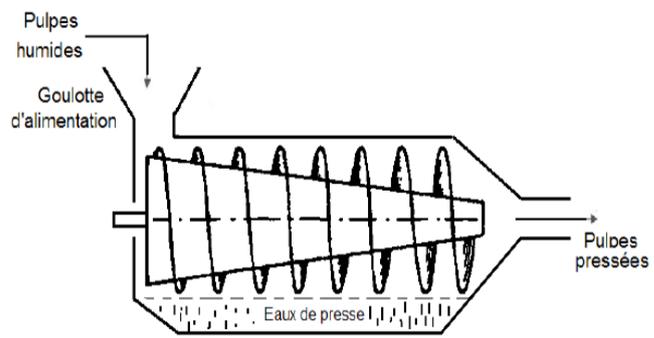


Figure n°15: schéma d'une presse horizontale

## ***CHAPITRE II : Matériels et Méthodes***

## **I. Introduction:**

De nos jours, toutes les recherches portent sur les domaines de l'économie d'énergie, de l'optimisation des procédés et des traitements des rejets. Afin d'affronter les difficultés susceptibles d'être générées par cette mondialisation de l'économie, toutes les sucreries fournissent plus d'effort pour minimiser les pertes en sucre et en combustible et augmenter par la suite le rendement à son seuil maximal.

Pour les sucreries de betteraves, le niveau de la production du sucre dépend essentiellement des conditions de son traitement technologique, notamment de la conduite d'extraction de sucre. C'est pour cela, qu'on donne un grand intérêt à la conduite des étapes d'extraction et de valorisation des sous produits, spécialement les pulpes.

## **II. Problématique et objectif:**

Le but ultime de la sucrerie des DOUKKALA à sidi Bennour est d'obtenir un produit fini de bonne qualité et à moindre coûts, chaque dysfonctionnement à une étape de la production pousse à réfléchir sur les sources des pertes en sucre/ ou en énergie,

Durant ces dernières campagnes les pertes en diffusion ont dépassé le seuil acceptable qui est de 0,25 %bett

De ce fait, dans le cadre de la contribution à l'optimisation de la conduite d'extraction pour une réduction des pertes en sucre en diffusion, Le but du présent travail est de mener une réflexion approfondie sur ce sujet, en vue de relever les dysfonctionnements probables et de proposer des actions d'amélioration permettant de redresser la situation et d'atteindre un seuil minimal acceptable en perte. En général, ce travail cherche à:

Evaluer les paramètres qui affectent le bon fonctionnement et qui permettent de:

- Extraire le maximum de sucre en favorisant l'épuisement dans des conditions économiques optimales.
- Extraire le minimum de non sucres, pour un traitement postérieur économique.
- Permettre une meilleure périssabilité des pulpes.
- Réduire des coûts énergétiques en déshydratation par la diminution des quantités d'eaux à évaporer.
- Diminuer les pertes en sucre dans les pulpes.

Adopter des actions correctives en réalisant des essais d'optimisation.

## **III. Plan de travail:**

Afin de répondre aux objectifs fixés auparavant on a adopté la méthode suivante de :

- Modélisation des conditions de diffusion et détermination des paramètres à contrôler
- Diagnostic et suivi de l'atelier d'extraction et identification des paramètres affectant négativement les pertes de diffusion

- Détermination des actions correctives à conduire lors du pilotage des ateliers

#### IV. Modèle de siline

La diffusion, est un phénomène naturel tendant à rétablir l'équilibre dès qu'il y a un gradient de concentration entre deux milieux, le transport entre ces milieux est régi par la loi de FICK (Loi de transfert de matière).

Il existe plusieurs modèles mathématiques pour décrire l'extraction à contre-courant en technologie sucrière mais le plus courant est celui de SILINE (ingénieur de sucrerie Soviétique et directeur de l'institut Kiev)

On vise à avoir un modèle donnant l'évolution du niveau de l'épuisement des cossettes ( $C_s$ ) en fonction :

- Des caractéristiques du diffuseur.
- Des conditions de conduite.

$$\frac{n}{n-1} \cdot \log \left( \frac{n-1+C_s}{n.C_s} \right) = K \cdot \theta \cdot L \cdot t = \gamma \quad [1]$$

$$\Rightarrow C_s = \frac{n-1}{n \cdot 10^{(n-1) \cdot \gamma / n - 1}}$$

- $C_s$  : Pertes en sucre pour 1kg de jus.
- $n$  : Soutirage en poids pour 1kg de jus. (kg jus /1kg jus cellulaire)
- $L$  : longueur des cossettes en mètre pour 100 g
- $\theta$  : facteur de température (ne pas confondre avec la température) qui est une fonction de la température moyenne de la diffusion et de la viscosité. Ce facteur
- $t_s$ : temps de séjour en minutes des cossettes en diffusion
- Le facteur K : coefficient de SILINE : Constante théoriquement liée aux caractéristiques physiques du diffuseur et à la qualité de la betterave, elle est égale à :  
 $K = 7,9 \cdot 10^{-5} \quad [1]$

Les paramètres qui sont contrôlés et analysés régulièrement et qui peuvent influencer la qualité des produits entrants et/ou sortants des diffuseurs sont principalement d'après le model de SILINE :

- le rapport de soutirage
- La qualité de découpage

- Le temps de diffusion
- La température

En rassemblant ces paramètres, on cherche à avoir un intervalle optimal de chaque grandeur dans lequel on atteint l'objectif désirée en perte (qui doit être inférieur à 0,25%bett).

La formule de SILINE tabulée et mise sous forme de pertes en fonction de pertes sucre dans le pulpe pour différents paramètres, ce qui permet d'évaluer avec une précision acceptable l'incidence d'une variation des facteurs **n**, **θ**, **L**, **t** sur les pertes en diffusion, en calculant d'abord la constante de SILINE **Y** puis déduire les pertes dans les pulpes pressées **Cs** % sucre cossette, et puis% betterave afin d'évaluer les pertes en diffusion.

Perte sucre % Betterave = perte sucre dans les pulpes pressées \* richesse cossette

$$Pd = Cs * Richesse\ cossette \quad [1]$$

Pour voir l'influence de chaque paramètre on varie à chaque fois l'un des paramètres dans l'intervalle de ses valeurs (déduite à partir des recherches déjà faites) et on fixe les autres, afin de modéliser le phénomène de la diffusion et pour déduire les intervalles de chaque grandeur avec lesquels on peut atteindre un maximum de rentabilité avec un objectif désiré en perte.

L'objectif en pertes est fixé à 0,25 %bett, dans les dernières années, et pour améliorer en plus la rentabilité, notre objectif en pertes sera 0,1%bett)

A l'aide d'une simple simulation par Excel, et en appliquant le modèle de SILINE on peut concrétiser l'influence des paramètres de la diffusion sur les pertes. Cette étape est sollicitée avant d'entamer l'étude dans le cas de la sucrerie des DOUKKALA. Pour juste avoir une idée et faciliter la compréhension du phénomène, on se limite à l'étude d'un seul diffuseur RTA. Pour les autres diffuseurs, c'est la même procédure.

## V. le plan d'échantillonnage :

Le plan d'échantillonnage est établi comme suit :

### 1. Pour le suivie de la constante de SILINE :

Pour chaque diffuseur RT On prend un prélèvement de cossettes fraîches à l'entrée de l'échaudoir, l'échantillon ne doit pas être en un seul jet de cout de main, il doit être repartie à différent points du tapis,

#### ➤ Le contrôle de découpage cossettes

La longueur de 100g de cossettes permet d'évaluer la qualité du découpage, facteur important pour la marche de la diffusion. A travers ce contrôle, on détermine :

- La finesse des cossettes (facteur favorisant la diffusion) par mesure de la longueur
- Le pourcentage en poids de râpure ou débris dont la présence peut nuire à la qualité du jus. ?
- La forme en V de cossettes (facteur facilitant la diffusion).

**Matériel :**

Balance ; planche à rainures longueur 1m et 5 rainures longitudinales de largeur 7 mm et de 3 mm de profondeur.

**Mode opératoire :**

- Prélever sur la bande à cossettes, de chaque diffuseur, environs 1 kg de cossettes.
- Peser environs 100 g de cossettes. Soit P1 le poids exact.
- Aligner bout à bout sur la planche à rainures tous les bouts supérieurs ou égaux à 2 cm. (On prendra les morceaux coupés entre 1 et 2 cm s'ils sont bien formés). Les « fils » ne doivent pas être alignés même s'ils ont plus de 2 cm.
- Peser les débris non alignés ou râpure. Soit P2 le poids de cette râpure et L1 la longueur des cossettes alignées

En ce qui concerne le % en cossettes faitières, on cherche les cossettes qui ont la forme en V bien déterminée et on les pèse et puis calculer le % par rapport à la masse initiale.

**Expression des résultats :**

$$\text{Longueur L de cossettes en m\% g cossettes} = 100 \times L / (P1 - P2) \quad [9]$$

$$\text{Râpure en g \% g cossettes} = 100 \times P1 / P2$$

**2. Pour le suivi de temps de séjour**

Avant d'analyser la qualité de cossettes, on note la vitesse de rotation du diffuseur pour calculer le temps de séjour nécessaire à la diffusion de cet échantillon de cossettes prélevé

Pour savoir comment calculer le temps de séjour de diffuseur, il faut d'abord maîtriser son fonctionnement interne, le diffuseur RTA contient 33 compartiments et le diffuseur RTB contient 31 compartiments, 2 paniers pour chaque compartiment

Pour chaque tournée de diffuseur (RTA) des grilles d'égouttage remontent les cossettes et les font glisser, par des couloirs inclinés, vers le compartiment suivant, donc pour que les cossettes sortent de diffuseurs, ce dernier doit faire 33 tours.

Exemple : la vitesse de rotation de diffuseur est : 22tr/h

Le nombre de compartiment pour le diffuseur RTA 33

22 tr =====> 60 min

33 tr =====> t<sub>s</sub> (min)=90min

$$\text{Donc : } \mathbf{ts} = \frac{\text{nombre de compartiments}}{\text{vitesse de rotation du diffuseur} \left( \frac{\text{tr}}{\text{min}} \right)}$$

### 3. Pour le suivie de soutirage :

**n** : Le soutirage en poids exprimé en kg jus par un kg cellulaire

**a** : le soutirage en poids exprimé en kg jus par 100 kg cossettes

Sachant que la composition de la betterave en eau est de 93%, cette grandeur s'exprime comme suit :

$$\mathbf{n} = \frac{\mathbf{a}}{100 \times 0,93} \quad [1]$$

Il y a deux valeurs à prendre pour calculer le soutirage: le tonnage exprimé en tonne/h et le débit de soutirage (volume) exprimé en m<sup>3</sup>/h

#### Exemple :

Débit de soutirage : 125m<sup>3</sup>/h

Tonnage de cossettes 110 T/h

➤ Le soutirage en volume exprimé en litre de jus pour 100 kg de cossettes est :

$$Sv = 100.125. \frac{10^3}{110.10^3} = 113,63 \text{ l \% kg cossettes}$$

➤ Le soutirage en poids exprimé en kg de jus pour 100 kg de cossettes :

$$\mathbf{a} = Sv \times (\text{densité de jus de diffusion} = 1,068) = 121,35$$

➤ Le soutirage en poids exprimé en kg de jus pour 1 kg de jus cellulaire:

$$\mathbf{n} = \frac{\mathbf{a}}{100 \times 0,93} = \frac{121,35}{100 \times 0,93} = 1,304$$

### 4. Pour le suivi de la température

La température de jus de diffusion est exprimé en °C, elle est prise en parallèle avec le soutirage

**θ** : facteur de température :

On peut déterminer le facteur de température à l'aide d'une table ou de la formule simplifiée suivante :

$$\mathbf{\theta} = (2,35 \times \text{température}^\circ\text{C}) - 81,0273 \quad [1]$$

## 5. La richesse des cossettes

### ➤ L'analyse de sucre dans les cossettes et pulpes

La détermination du sucre dans les cossettes basé sur la diffusion à froid du sucre des cossettes broyées à grande vitesse dans une solution aqueuse de acétate de plomb, jouant le rôle de déféquant. Le résultat est exprimé en g sucre/ 100 g de cossettes.

#### **Matériels:**

Mixer (Turmix).- Balance. - Burette automatique de 330 ml (burette Sachs Le Docte).- Saccharimètre à poids normal de 26. - Entonnoir de filtration et papier filtre.

#### **Mode opératoire:**

Peser 80 g +/- 0,1 g de cossettes et les introduire dans le bol du mixer.

- Mesurer 330 ml de solution diluée de sous acétate de Plomb à l'aide de la burette (310 ml d'eau distillée et 20 ml de solution de sous acétate de plomb).
- Les introduire dans le bol du mixer.
- Démarrer progressivement, et faire tourner l'appareil pendant 3 minutes.
- Laisser ensuite reposer pendant 5 minutes afin que la suspension se refroidisse.
- Filtrer sur papier filtre (filtrat doit être clair)
- Polariser le filtrat au saccharimètre (tube 200 mm), position 26.
- Nettoyer à chaque fin de poste la burette avec de l'eau acidulée à l'acide acétique.

#### **Expression des résultats :**

$$\text{SUCRE \% (cossettes)} = \text{LECTURE} * 1,3 \quad [1]$$

## *Chapitre III: Résultats et discussion*

## I. Modélisation des conditions de diffusion

### 1. L'influence de la qualité de découpage

Pour voir l'influence de la qualité de découpage en fixe les autres paramètres et on fait varier la longueur

$T = 75^{\circ}\text{C}$ ,  $t_s = 74,7 \text{ min}$ ,  $S_v = 120 \text{ l jus \%bett} \rightarrow a = 128,16 \text{ kg jus \%kg bett} \rightarrow n = 1,38 \text{ kg jus / jus cellu}$

En calculant les pertes de diffusion en fonction d'une série de valeurs de la longueur de 100 g de cossettes, l'allure obtenue est la suivante :

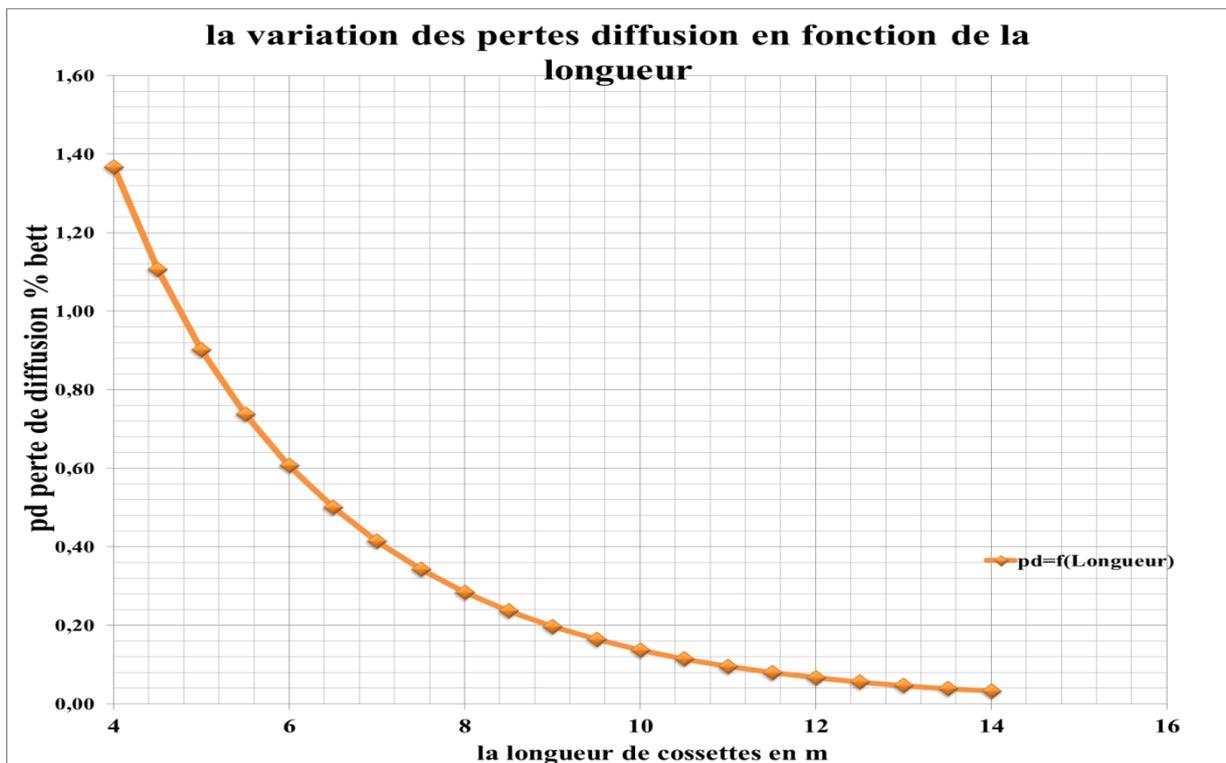


Figure n°16 : modèle de la variation des pertes en fonction de la longueur

On peut noter d'après le graphe que la longueur de SILINE a une influence très importante sur les pertes, ces derniers augmentent avec la diminution de la longueur de Siline, ils atteignent une valeur de 1,37% bett avec une longueur de 4 m%g coss. Mais aussi il diminue jusqu'à une valeur de 0,04 avec une longueur de 14 m%g coss. Donc c'est un paramètre qu'il faudrait prendre en considération au cours de la conduite de diffusion

## 2. Influence de temps de séjour sur les pertes :

Pour voir l'influence du temps de séjours sur les pertes en fixe les autres paramètres

Dans ce cas, on fait varier la valeur du temps de séjour en fixant les autres grandeurs tels que :  
 $T=75^{\circ}\text{C}$ ,  $L=12\text{m}$ ,  $Sv=120\text{ l jus \%bett}$  →  $a=128,16\text{ kg jus \%kg bett}$  →  $n=1,38\text{ kg jus / jus cellu}$

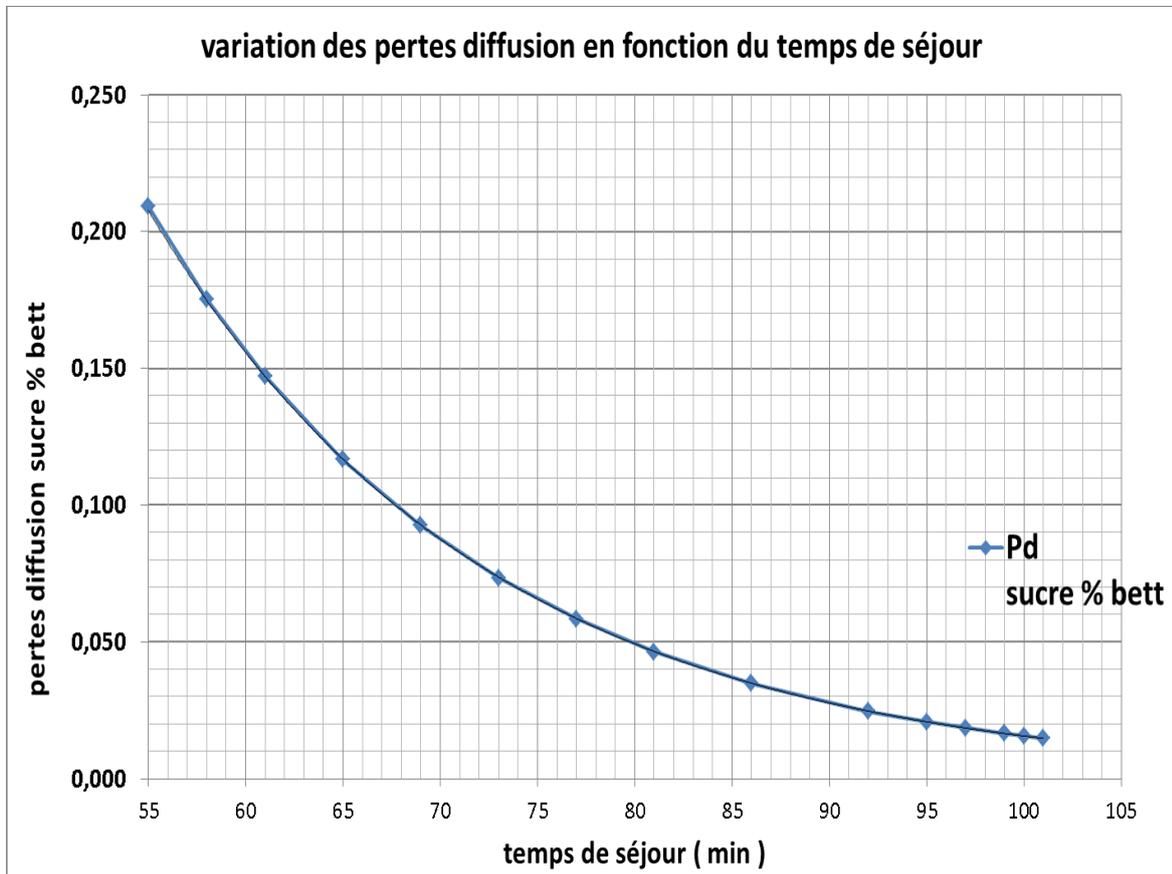


Figure n° 17: modèle de la variation des pertes en fonction du temps de séjour

D'après la courbe on voit que le temps de séjour n'influence que très peu les pertes en diffusion, ce dernier prend des valeurs inférieures à 0,22%bett avec des valeurs de temps de séjour supérieures à 55 min,

## 3. influence de soutirage sur les pertes

Pour voir l'influence de soutirage sur les pertes en fixe les autres paramètres

Pour voir l'influence de soutirage sur les pertes, on fait varier la valeur de soutirage et en fixant les autres grandeurs tel que ;

$T=75^{\circ}\text{C}$ ,

$L=12\text{m}$ ,

$t_s=74,7\text{ min}$ .

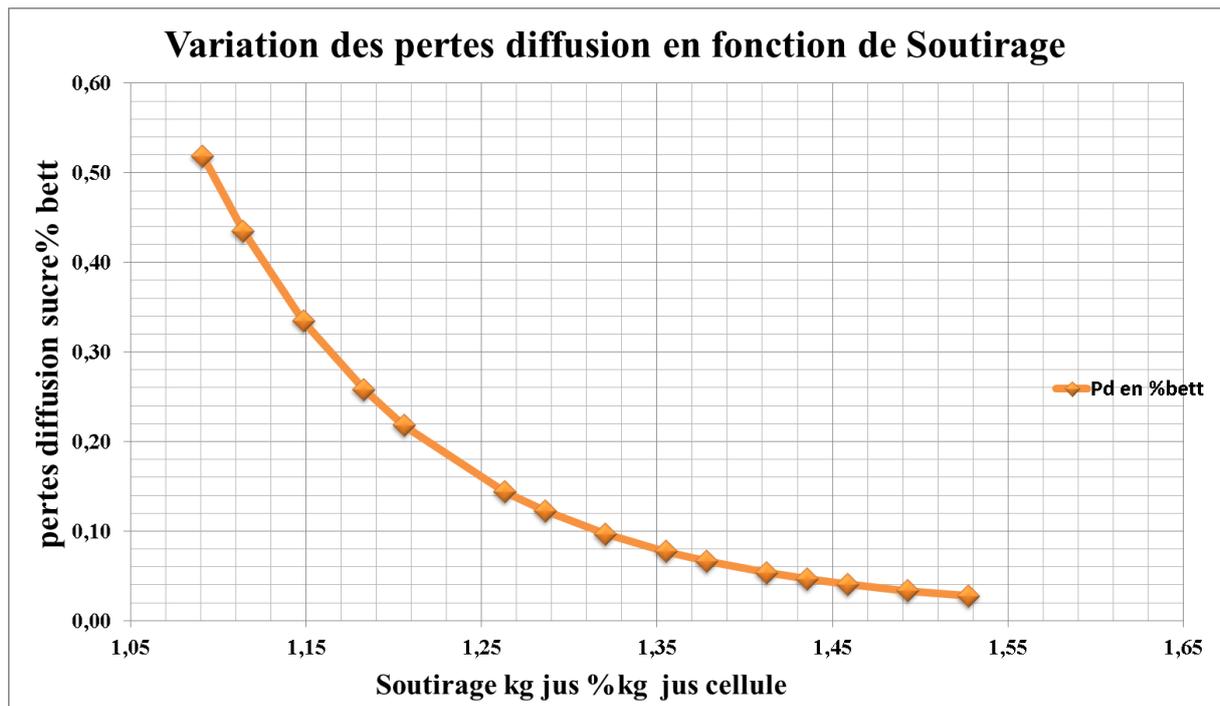


Figure n°18 : la variation des pertes en fonction de soutirage

D'après cette courbe on remarque que le soutirage affecte d'une façon notable et très importante les pertes au cours de l'extraction, en effet les pertes diminuent avec l'augmentation de soutirage, ils atteignent la valeur maximale lorsque le soutirage est égale à 1,10

Donc il faut prendre en considération la grandeur de soutirage dans l'optimisation de la conduite d'extraction.

#### 4. l'influence de la température sur les pertes

Dans ce cas on fait varier la valeur de température et en fixant les autres paramètres tel que :

$S_v=120$  l jus % beth  $\rightarrow a=128,16$  kg jus %kg beth  $\rightarrow n=1,38$  kg jus / jus cellu

$L=12$ m,

$T_s=74,7$  min.

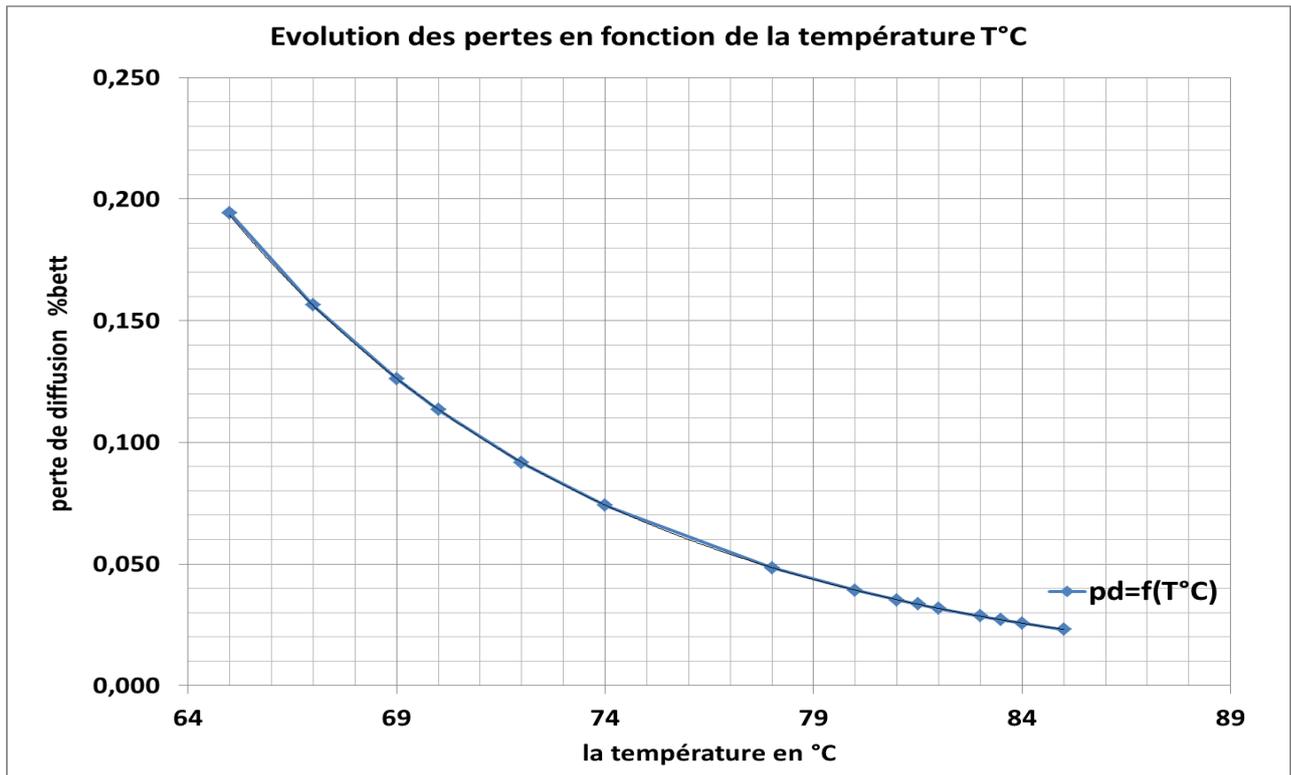


Figure n°19 : modèle de variation des pertes en fonction de la température

D'après la courbe on voit que la température n'influence que très peu les pertes en diffusion ; la valeur des pertes reste en zone acceptable même si la valeur de température est faible ( $T_{\min}=64^{\circ}\text{C}$ ), mais si on augmente la température au-delà d'une valeur de  $84^{\circ}\text{C}$  les pertes diminuent jusqu'à  $0,025\% \text{bett}$

### 5. conclusion :

Pour avoir des pertes en sucre égale à  $0,1\% \text{bett}$ , il faut que les 4 paramètres prennent des valeurs suivantes :

$$\left. \begin{array}{l} T^{\circ}\text{C} = 72^{\circ}\text{C}. \\ n = 1,31 \text{ kg jus / kg jus celle.} \\ L = 11,5 \text{ m \% g coss.} \\ T_s = 68 \text{ min.} \end{array} \right\} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \left\{ Pd = 0,1\% \text{bett} \right.$$

D'après ces régressions on constate que la longueur et le soutirage sont les deux paramètres les plus influents sur les pertes en diffusion, donc il faut les prendre en considération dans l'optimisation de la conduite d'extraction

## II. Suivi de la variation des pertes en fonction des paramètres de la diffusion

Après la modalisation du processus de diffusion, et la définition du Bilan matière, un suivi rigoureux des paramètres de diffusion a été fait.

Les résultats des analyses des échantillons prélevés sont dans l'annexe n°1

### 1. Suivi les grandeurs de diffusion pour le diffuseur RTA

#### 1-1. Suivi de l'influence de découpage sur les pertes en diffusion

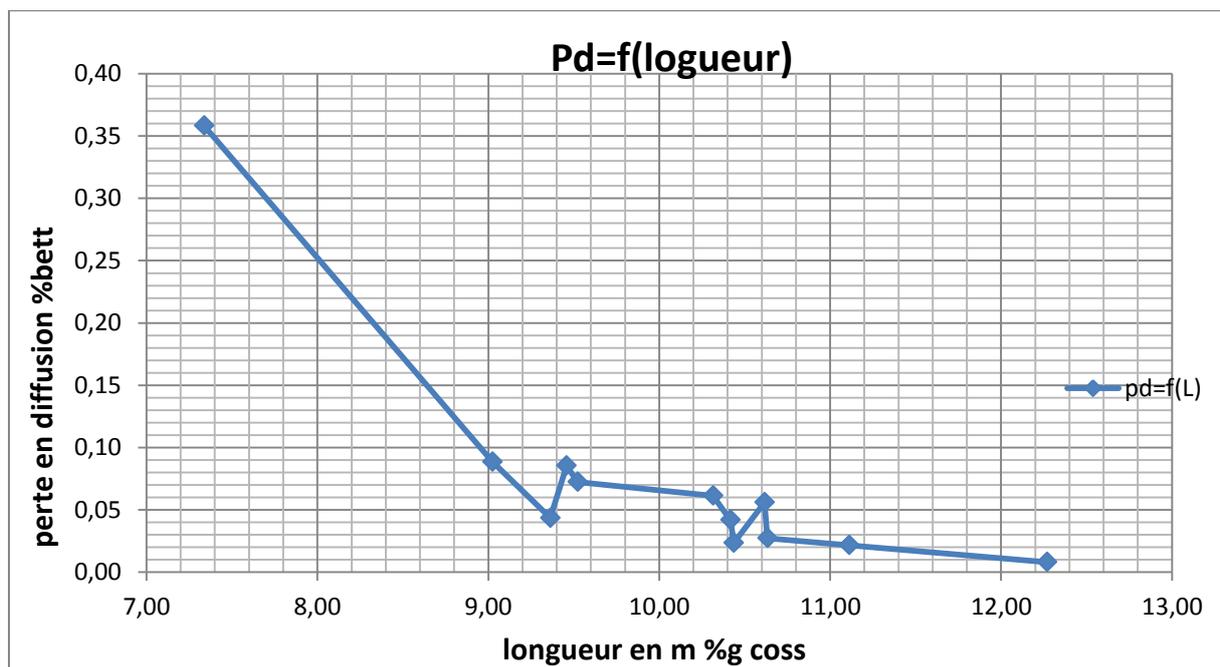


Figure n°20 : variation des pertes en diffusion en fonction de la longueur(RTA)

Le traitement des données de la qualité de découpage, pour le diffuseur RTA montre qu'il y a une diminution des pertes avec l'augmentation de la longueur; cette régression sera plus nette et significative si on opérerait avec des valeurs fixes pour les autres grandeurs.

- **Zone de variation:**

[(7,34m %g coss ; 0,36 %bett) ; (12,27 m %g coss ; 0,008 %bett)]

- **Les pertes :**

Valeur des pertes min : 0,008 %bett -->12,27 m %g coss.

- (Valeur min de perte correspond au valeur maxi de la longueur ce qui est normale).

Valeur des pertes max : 0,358 %bett -->7,34 m %g coss.

Valeur max de pertes correspond à la valeur min de la longueur.

La moyenne de la longueur= 10,04 m %g coss se situe dans la fourchette trouvés dans la littérature qui est 10-15 m %g coss pour les diffuseurs RT, avec cette moyenne on a une moyenne des pertes =0,072 %bett légèrement inférieur à 0,1 %bett.

## 1-2 l'influence du temps de séjour sur les pertes en diffusion

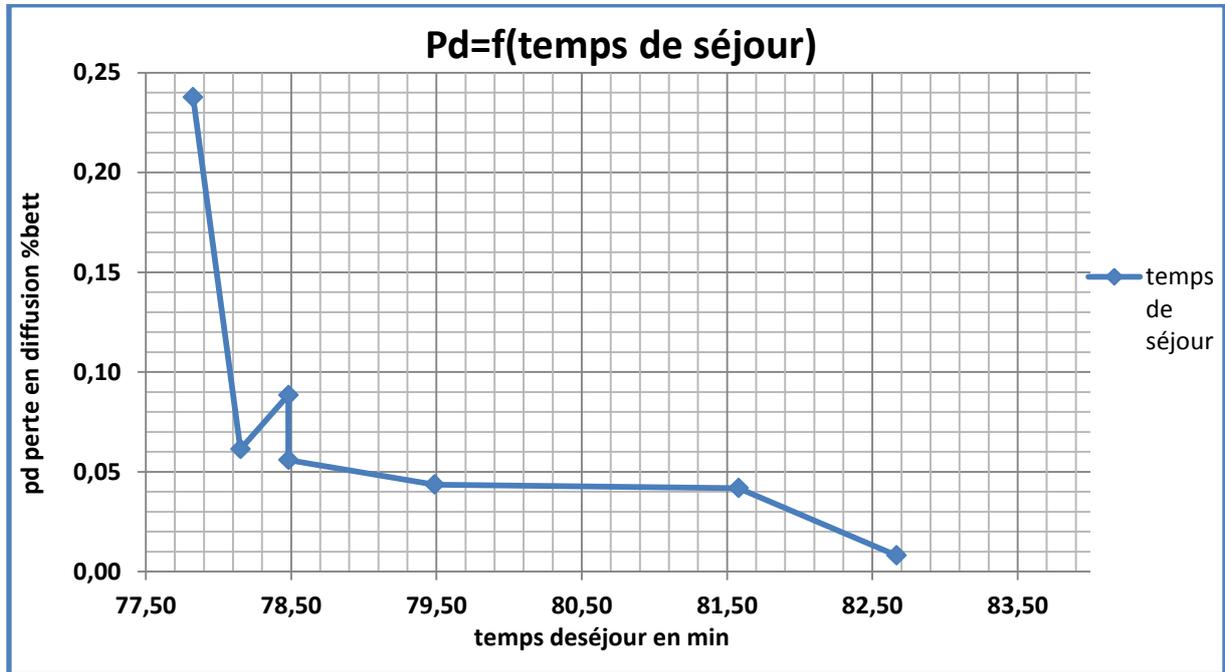


Figure n°21 : la variation des pertes en fonction de temps de séjour(RTA)

Le traitement des données de temps de séjour pour le diffuseur RTA, montre qu'il y a une diminution des pertes avec l'augmentation de temps de séjour,

- **Zone de variation de temps de séjour :**

[(77,82min, ou 0,24%bett) ; (82,67min, 0,01%bett)]

Intervalle de variation de temps de séjour est très limité

- **Les pertes:**

Valeur maximal des pertes: 0,24%bett ----->77,82 °C

- (une valeur min de temps de séjour  $t_s = 77,82$  min donne une valeur max de pertes ce qui est normale

Valeur minimal des pertes: Min : 0,01%bett----->82,67 min ce qui 'est normale

Avec une moyenne de temps de séjour = 79,62 on remarque qu'on peut avoir des pertes=0,08%bett inférieure à 0,1 % bett, donc l'usine travail avec un intervalle des valeurs de temps de séjours acceptable en diffusion

### 1-3. Suivi de l'influence de soutirage sur les pertes en diffusion

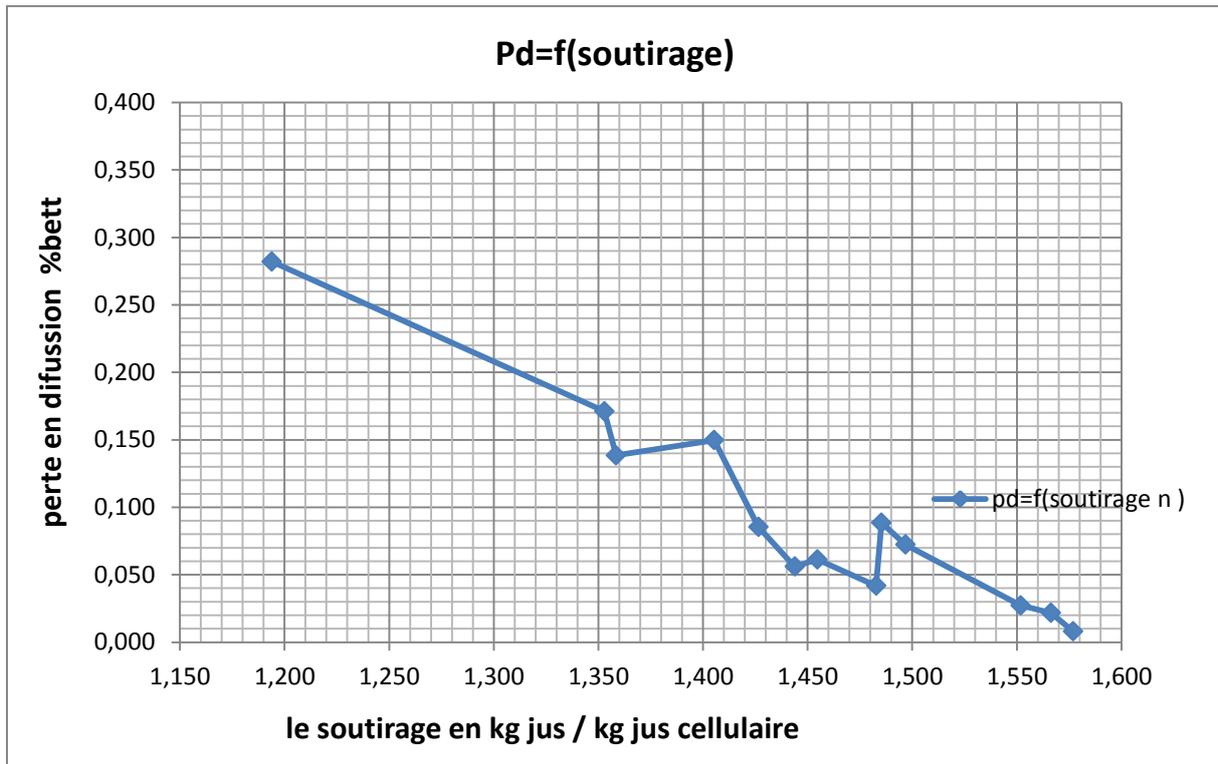


Figure n °22 : variation des pertes en fonction de soutirage(RTA)

A partir de la courbe on voit que les pertes diminuent avec l'augmentation de soutirage ; cette régression sera plus nette et significative si on opérerait avec des valeurs fixes pour les autres grandeurs.

- **zone de variation de soutirage :**

- [(1,194kg jus /kg jus cellu; 0,282%bett) ;(1,577kg jus /kg jus cellu, 0,008%bett)]

- **les pertes:**

Pertes Min : 0,008 %bett ----->1,577 kg jus / kg jus cellu.

- (la valeur max 1,57kg jus % kg jus cellulaire de soutirage donne une valeur min de perte 0,008%bett

Pertes max : 0,282 %bett -----> 1,19kg jus / kg jus cellu.

La valeur maximale de perte 0,282 %bett correspond à la valeur minimale de soutirage 1,19 kg jus / kg jus cellu.

La moyenne de soutirage égale à 1,446 kg jus / kg jus cell, cette moyenne se situe bien dans l'intervalle de la littérature-→entre 1,21 et 1,49kg jus/kg jus cell. Cette valeur provoque une moyenne des pertes=0,093 %bett < 0,1%bett.

1-4. Suivi de l'influence de la température sur les pertes en diffusion :

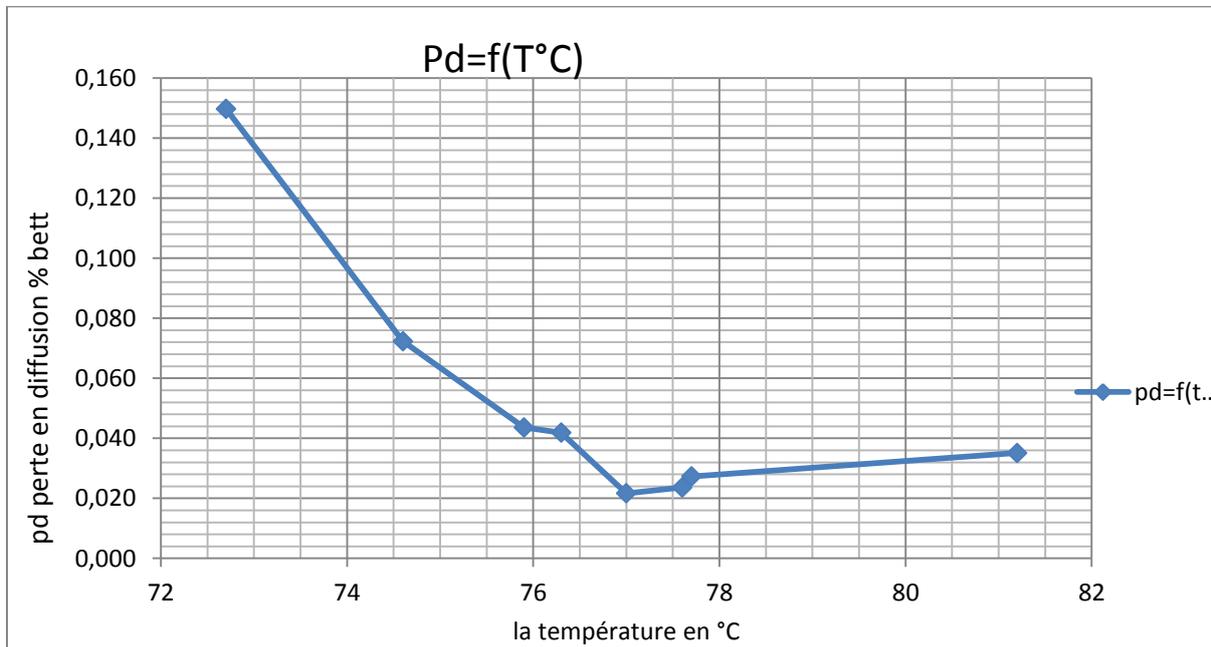


Figure n°23 : la variation des pertes en fonction de la température(RTA)

D'après l'allure de la courbe, on peut déduire qu'il y a un déclin des pertes avec l'augmentation de la température; cette régression sera plus nette et significative si on opérerait avec des valeurs fixes pour les autres grandeurs.

- Zone de variation de la température :
- [(72,7°C ; 0,15% bett) ; (81,2°C ; 0,035% bett)]
- les pertes

Perte max : max : 0,15% bett ----->72,7 °C. (Valeur minimal)

Perte min : min : 0,022 %bett ----->77 °C. (Valeur au milieu de l'intervalle de variation de la température), Au-delà de cette valeur les pertes commencent à augmenter, on peut expliquer cette augmentation par une diminution des valeurs des autres paramètres.

La moyenne de la température =76,62 °C dépasse la valeur supérieur de l'intervalle de la température rencontrée dans la littérature → 72 -76°C, mais elle donne une moyenne des pertes= 0,052 %bett inférieure à 0,1 %bett qui est notre objectif.

## 2. Suivi des grandeurs de diffusion pour le diffuseur RTB

### 2-1. l'influence de découpage sur les pertes en diffusion

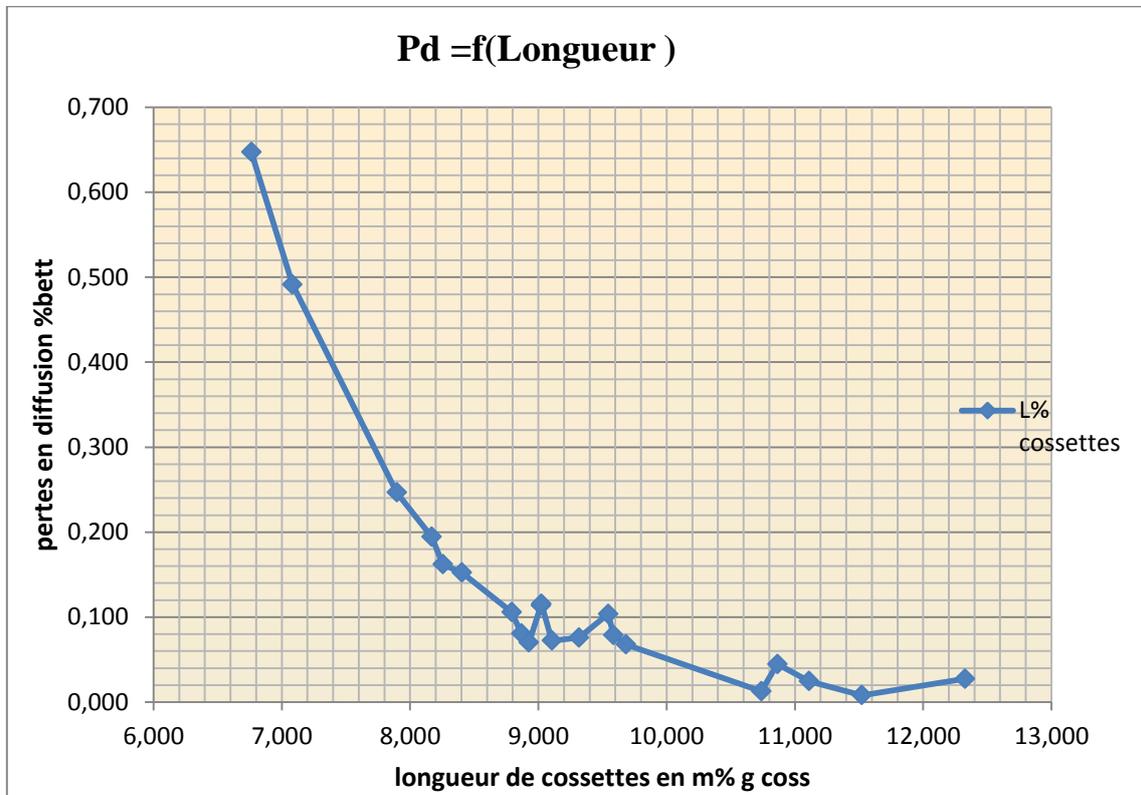


Figure n°24 : variation des pertes en diffusion en fonction de la longueur(RTB)

L'allure de cette courbe  $Pd=f(L)$  montre bien qu'il y a une relation importante entre les pertes en sucre et la variation de la longueur des cossettes dont l'augmentation de la longueur provoque une diminution importante des pertes en sucre durant la diffusion.

- Zone de variation

La longueur des cossettes varie entre : **6,76m%g coss** -----→**0,647% bett**.

**12,33m%g coss** ----→**0,027% bett**.

- Les pertes

La valeur maximale de  $Pd= 0,647$  %bett correspond à une longueur faible :  $L= 6,76$  m%g coss et la valeur minimale de  $Pd= 0,027$  %bett. Correspond à une longueur élevée =  $12,33$ m%g coss, ce qui est normale.

La valeur moyenne de la longueur= $9,28$  m%g coss n'appartient pas à l'intervalle de variation de la longueur trouvée dans la littérature

Avec cette valeur on a une moyenne des pertes= $0,138$ %bett ce chiffre dépasse notre objectif désiré en pertes qui est égale à  $0,1$  %bett

## 2-2. Suivre de L'influence du temps de séjour sur les pertes en diffusion

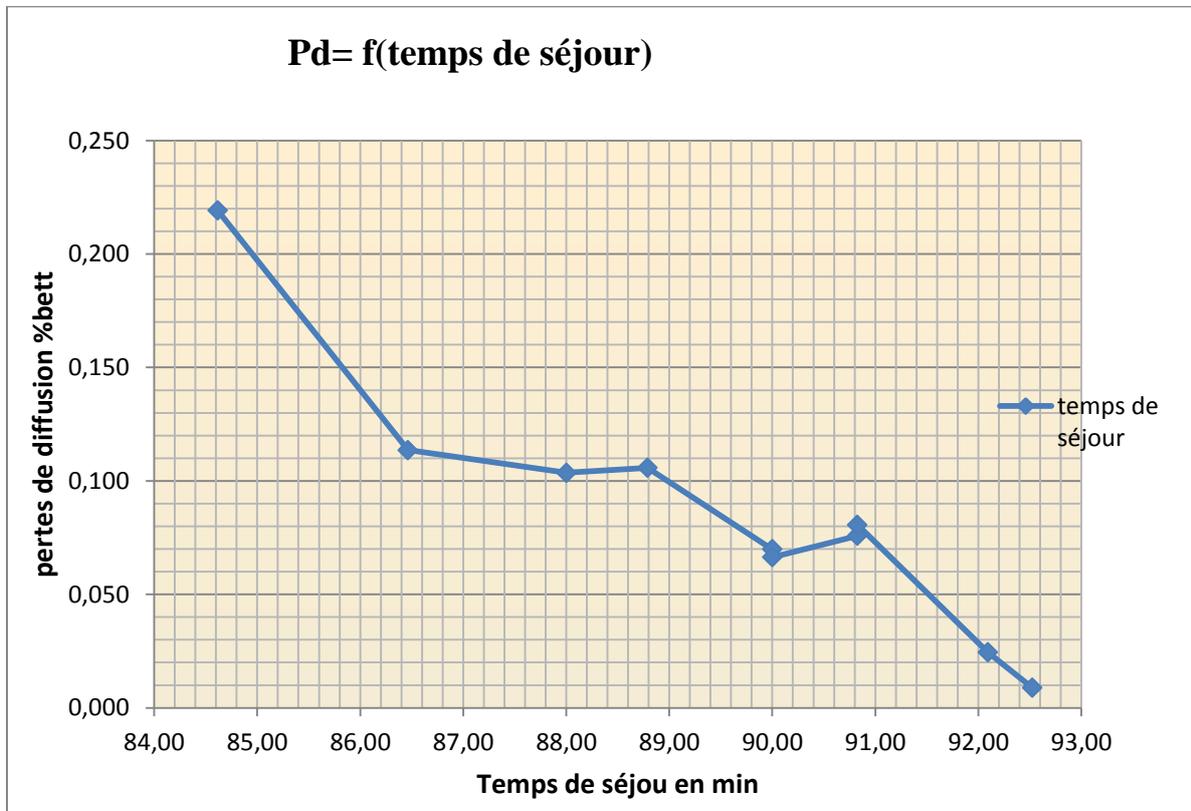


Figure n°25 : La variation des pertes en fonction du temps de séjour(RTB)

D'après l'analyse de ces données on peut conclure que l'augmentation du temps de séjour crée une diminution des pertes en diffusion.

- **Zone de variation**

Le temps de séjour des cossettes varie entre :

**84,62min-----→0,219% bett et**

**92,52 min-----→0,009 % bett.**

- **Les pertes**

- La valeur maximale des pertes = 0,219% bett. Correspond à un temps de séjour plus ou moins faible estimé à 84,52min

- La valeur minimale des pertes = 0,001 % bett. Correspond à une valeur élevée de  $t_s=92,52\text{min}$ .

- on a une moyenne des pertes égale à 0,087%bett (< 0,1% bett objectif) avec une moyenne du temps de séjour=89,41 min C {la littérature 60----110 min }

## 2-3. L'influence de soutirage sur les pertes en diffusion

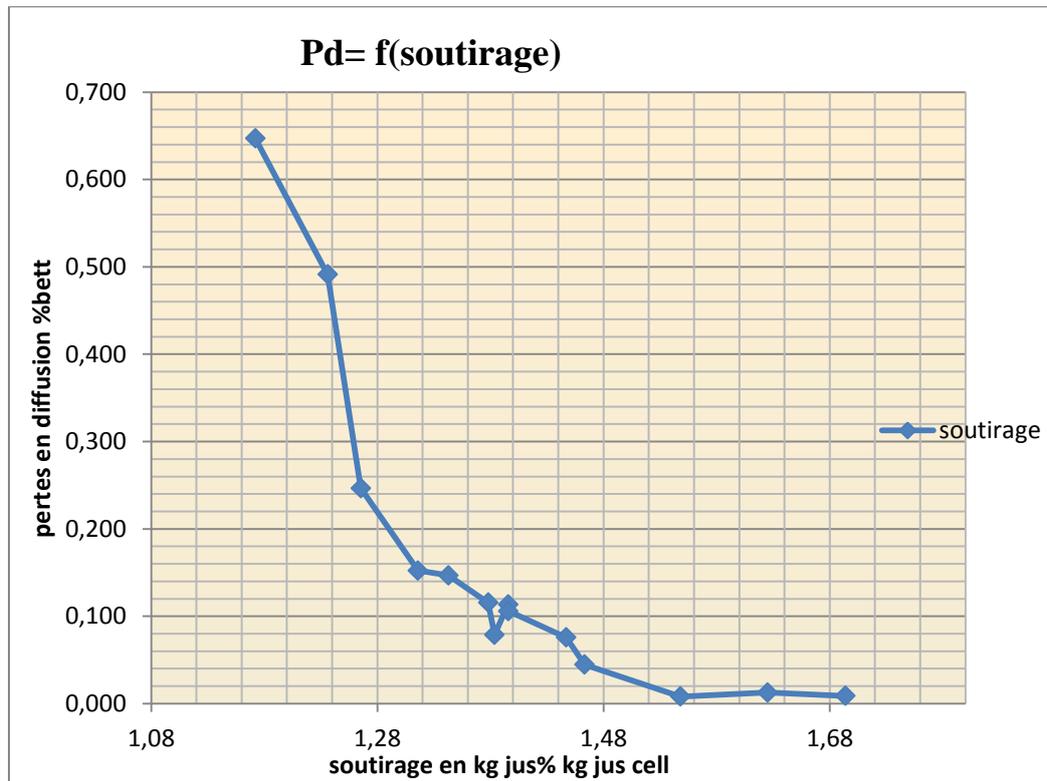


Figure n°26 : la variation des pertes en diffusion en fonction de soutirage(RTB)

D'après l'analyse de la courbe :  $Pd = f(\text{soutirage})$ , on remarque qu'il y a une corrélation significative entre la variation des pertes en diffusion et celle de soutirage car l'augmentation de soutirage provoque une diminution importante des pertes en sucre.

- **Zone de variation**

le soutirage prends des valeurs entre :

**1,17kg jus/ kg jus cellulaire -----→0,647% bett et**

**1,69kg jus / kg jus cellulaire -----→0,009% bett.**

- **Les pertes**

- La valeur maximale des pertes = 0,647 % bett. Correspond à une valeur de soutirage minimal 1,17 kg jus/ kg jus cellulaire, ce qui est normale car la diminution de soutirage conduit à une augmentation des pertes.

- La valeur minimale des pertes = 0,008% bett. Correspond à une valeur de soutirage élevée = 1,69kg jus / kg jus cellulaire.

- la valeur moyenne de soutirage est 1,4 kg jus / kg jus cell. Elle correspond à Une moyenne des pertes 0,167%bett cette valeur des pertes est supérieur a notre objectif qui est égale à 0,1%bett

## 2-4. L'influence de la température sur les pertes en diffusion

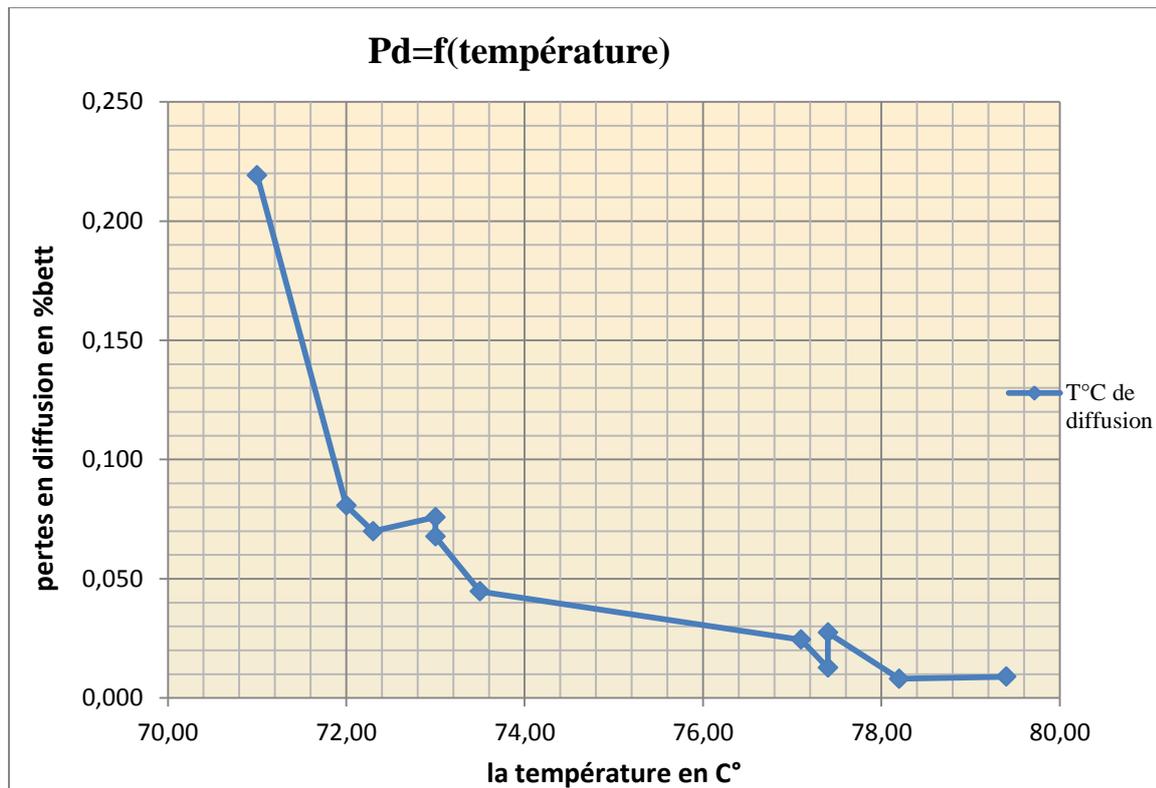


Figure n°27 : la variation des pertes en diffusion en fonction de la température

Le traitement de ces données montre qu'il y a une corrélation significative entre les pertes en diffusion et la variation de la température. En effet on constate une diminution des pertes en diffusion avec l'augmentation de la température.

- **Zone de variation**

Les valeurs de la température varient entre :

**71,00 °C** -----→**0,219** % bett et

**79,40°C** -----→**0,009** % bett.

- **Les pertes**

- La valeur maximale de Pd= **0,219%** bett. Correspond à une température minimal 71C°.ce qui est normale

- La valeur minimale de Pd= **0,009%** bett correspond à une température maximale = **79,4.**

La valeur moyenne des pertes=0,058 %bett correspond à une moyenne de la température égale à 74,94C° ce dernier chiffre se situe dans la fourchette trouvée dans la littérature, et elle donne une moyenne des pertes=0,058 %bett < 0,1%bett (objectif)

### 3. Conclusion

	longueur cossettes en m%g coss		temps de séjours en min		température en C°		soutirage en kg jus/ kg jus cell	
	moyenne longueur en m%g coss	moyenne en pertes %bett	moyenne de temps de séjour en min	moyenne en pertes %bett	moyenne de la température en C°	moyenne en pertes %bett	moyenne de soutirage en kg jus / kg jus cell	moyenne en pertes %bett
diffuseur RTA de 31 compartiments	10,04	0,074	79,52	0,08	76,62	0,052	1,445	0,089
diffuseur RTB de 33 compartiments	9,28	0,138	89,41	0,087	74,94	0,058	1,4	0,161

Tableau n°3 : les moyennes des résultats des échantillons pour les deux diffuseurs RTA et RTB

En raison du nombre de compartiment le temps de séjour de diffuseur RTB est supérieur à celle de diffuseur RTA.

On remarque d'après le tableau que les pertes en fonction de temps de séjour et de la température en diffuseur RTA sont presque identiques avec ceux en RTB

Malgré que les moyennes des variable (température, temps de séjour) varient de diffuseur a l'autre ts=79,52min en RTA et 89,41 min en RTB mais les pertes se varie légèrement 0,08 %bett en RTA et 0,087 %bett en RTB

Mais pour la longueur et le soutirage une petite variation à ces valeurs peut crier un changement notable en valeurs des pertes.

Le soutirage et la longueur sont donc les deux grandeurs les plus importants à prendre en considération pour l'optimisation de la conduite d'extraction.

Donc il faut bien étudier et analyser tout les conduites et les facteurs qui peuvent influencer sur la qualité de découpage et le soutirage

Pour cela on va faire une étude sur la qualité de découpage pour chaque coupe-racines. Mais le soutirage nécessite une étude profonde pour qu'on puisse trouver l'équilibre entre les facteurs cibles en soutirages (quantité d'eau fraiche, quantité d'eau de presse, tonnage traité, consommation de fuel et le taux de Brix dans le jus de diffusion).

### III. le suivi de la qualité de découpage pour chaque coupe-racines :

#### 3-1. le suivi de la qualité de découpage pour coupe-racines n°1 :(marque : Putsch)

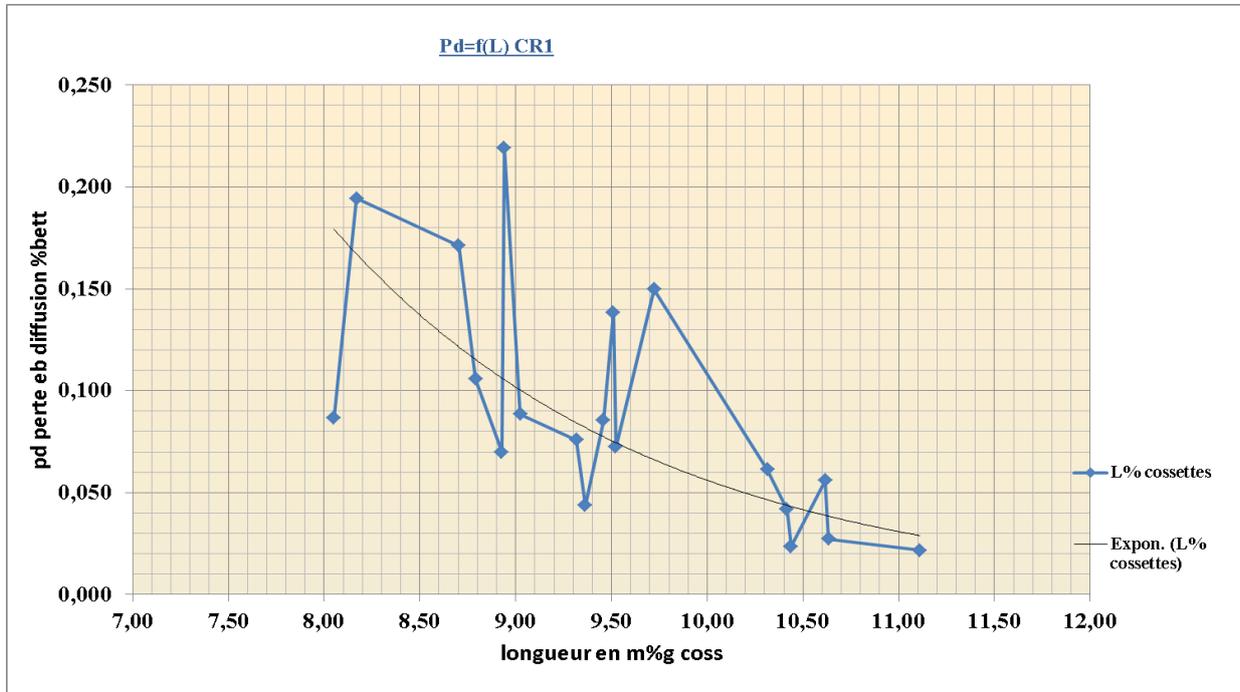


Figure n° 28: variation des pertes en fonction de la longueur de cossettes donnée par CR1

- **Zone de variation:**

[(8,05m; 0,087 %bett) ; (11,11 m ; 0,022 %bett) ]

Cette CR1 donne des valeurs :

- de longueur entre 8,05 m et 11,11 m,
- de râpure entre 5,60 g% g coss et 22,60 g% g coss,
- de la forme de cossettes entre 3,5 g % coss et 20,50 g% g coss.

Les moyennes:

- longueur: 9,53 m% g coss.
- râpure : 10,18 g% g coss.
- forme cossettes faitières : 10,69 g% g coss.

On fixe les valeurs des autres paramètres pour qu'ils n'influencent pas les pertes en diffusion et pour avoir une étude nette sur la qualité de produit donnée par chaque coupe-racines, et voir son influence sur les pertes en diffusion

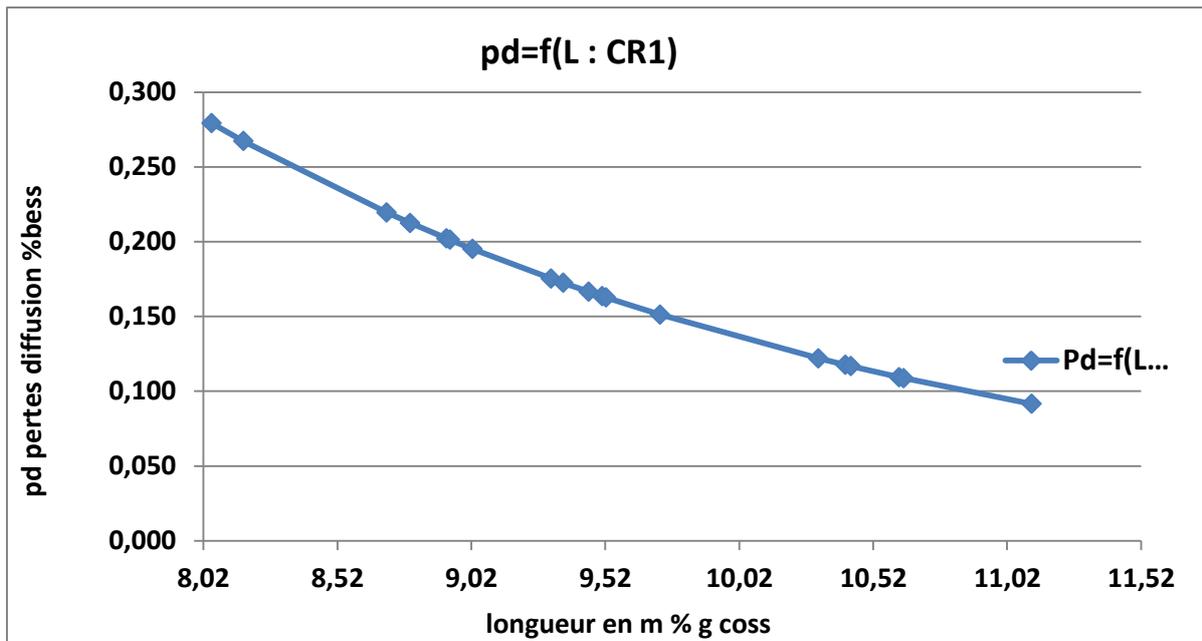


Figure n°29 : variation des pertes de diffusion en fonction de la longueur donnée par CR1 (les autres paramètres sont fixes)

• **Intervalle de variation :**

[(8,05 m%g coss; 0,279 %bett) ; (11,11 m%g coss ; 0,092 %bett)]

Selon les échantillons prélevés on a une moyenne de: perte égale à 0,17 %bett avec une moyenne de longueur 10,18 m%g coss pour le CR n°1.

3-2. Le suivi de la qualité de découpage pour le coupe-racines n°2 :(marque : maguin)

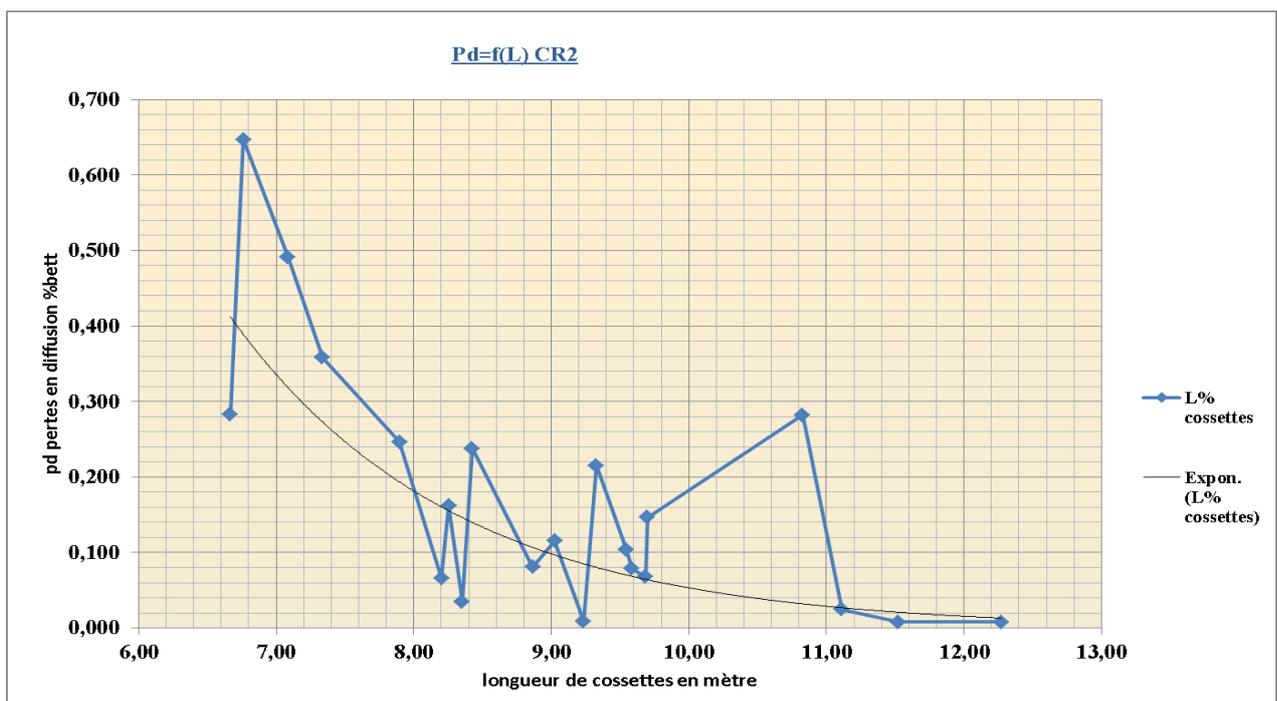


Figure n°30 : variation des pertes en fonction de la longueur de cosses donnée par CR2

- **Zone de variation:**

[(6,67m% coss; 0,283 %bett) ; (11,52m% coss ; 0,008 %bett)]

Ce CR1 donne des valeurs :

- de longueur entre 6,67 m% g coss et 11,52 m% g coss,
- de râpure entre 3,60 % g coss 20,30 % coss
- de la forme de cossettes 2,1 % coss et 39,6 g % g coss

Les moyennes:

- longueur: 9,03 m% g coss.
- râpure : 10,30 g % g coss.
- forme cossettes faitières : 12,79 g% g coss.

Si on fixe les valeurs des autres paramètres On obtient la courbe suivante:

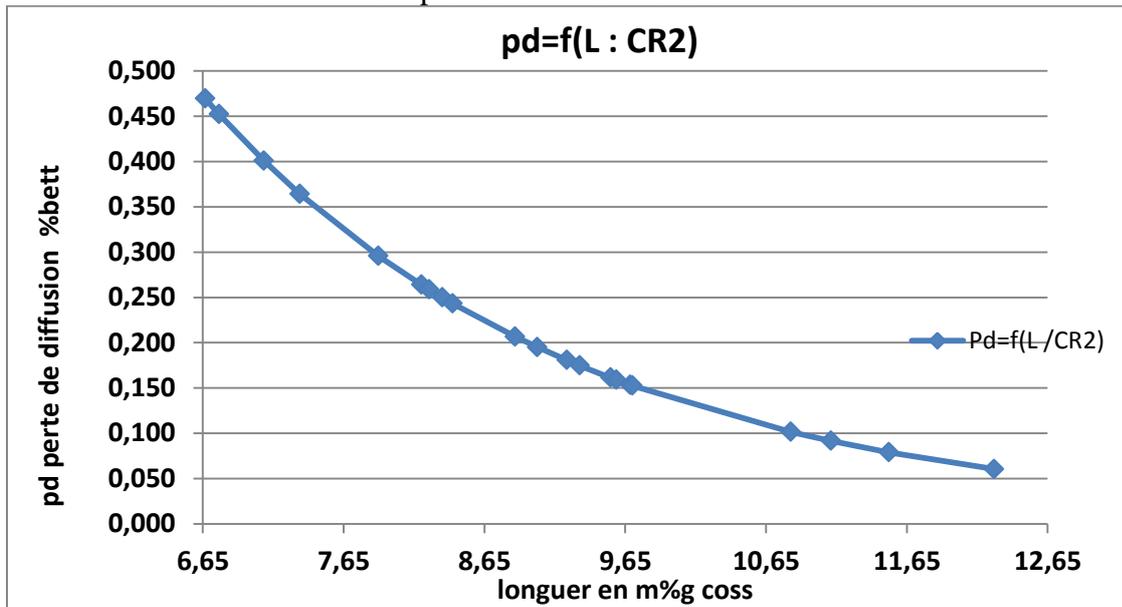


Figure n°31 : variation des pertes de diffusion en fonction de la longueur donnée par CR2 (les autres paramètres sont fixes)

- **intervalle de variation**

[(6,67 m ; 0,469 %bett); (12,27 m ; 0,060 %bett)]

Selon les échantillons prélevés on a une moyenne de perte égale à **0,225%bett** avec une moyenne de longueur **9,03m%g coss**.

### 3-3. Le suivi de la qualité de découpage pour le coupe-racines n°3 :(marque : maguin)

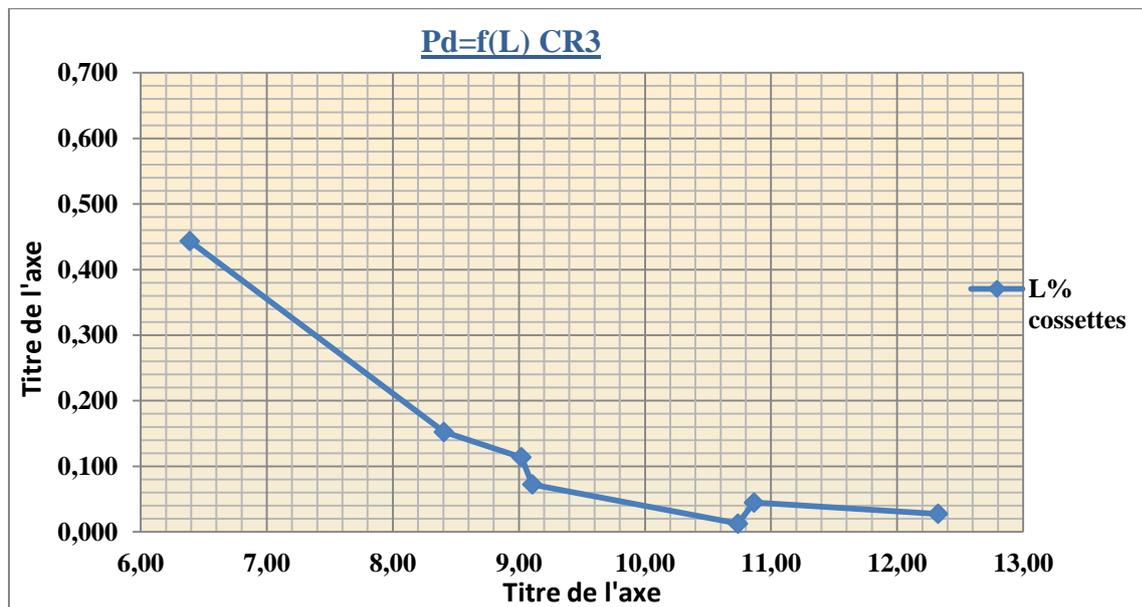


Figure n°32 : variation des pertes en fonction de la longueur de cossettes donnée par CR3

- **zone de variation:**

[(6,39m%g coss; 0,443 %bett) ; (12,33 m%g coss ; 0,027 %bett)]

Ce CR1 donne des valeurs :

- de longueur entre 6,39m et 12,33 m% g coss,
- de râpure entre 5,30 g % coss et 20,90 g% coss,
- de la forme de cossettes 6,39 g % g coss et 12,33 g% coss.

Les moyennes:

- longueur: 9,55 m.
- râpure : 11,84g%g coss.
- forme cossettes faitières : 15,41 g% g coss.

On fixe les valeurs des autres paramètres pour qu'ils n'influencent pas les pertes en diffusion et pour avoir une étude nette sur la qualité de produit donnée par chaque coupe-racines, et voir son influence sur les pertes en diffusion.

On obtient la courbe suivante:

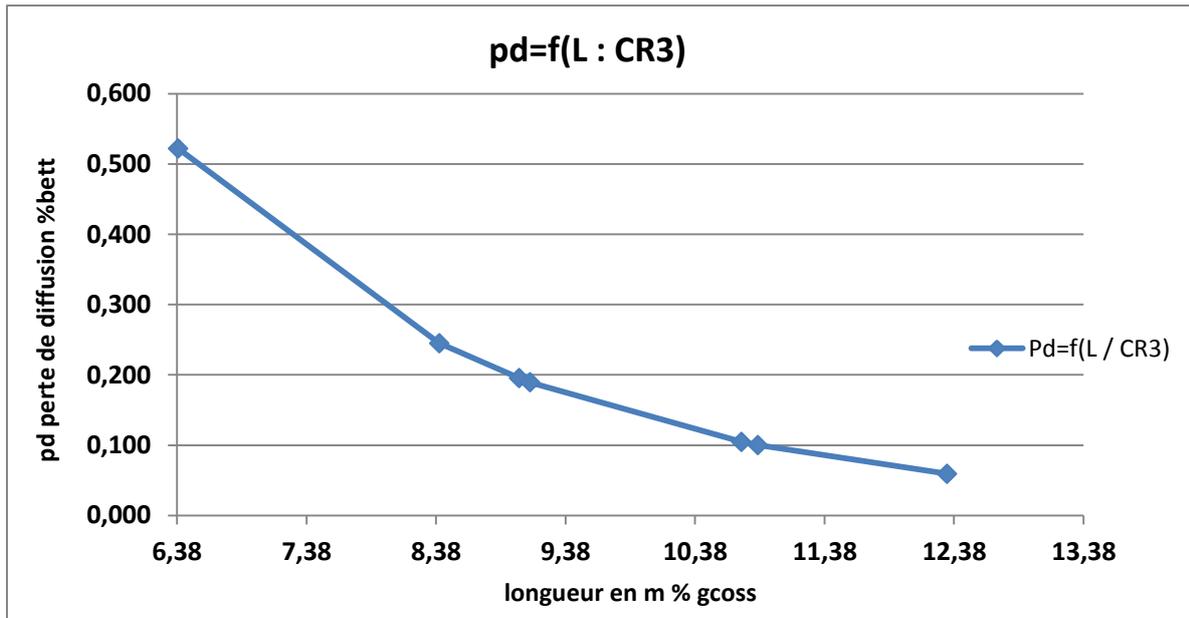


Figure n°33 : variation des pertes de diffusion en fonction de la longueur donnée par CR2 (les autres paramètres sont fixes)

- **zone de variation :**

[(6,39 m% g cooss ; 0,522 %bett) ; (12,33m% g cooss ; 0,059 %bett)]

Selon les échantillons prélevés on a une moyenne de perte égale à 0,202%bett avec une moyenne de longueur 9,55 m%g cooss.

### 3-4. Conclusion

En rassemblant les résultats pour voir clairement les différences entre les degrés de qualité de chaque coupe-racines :

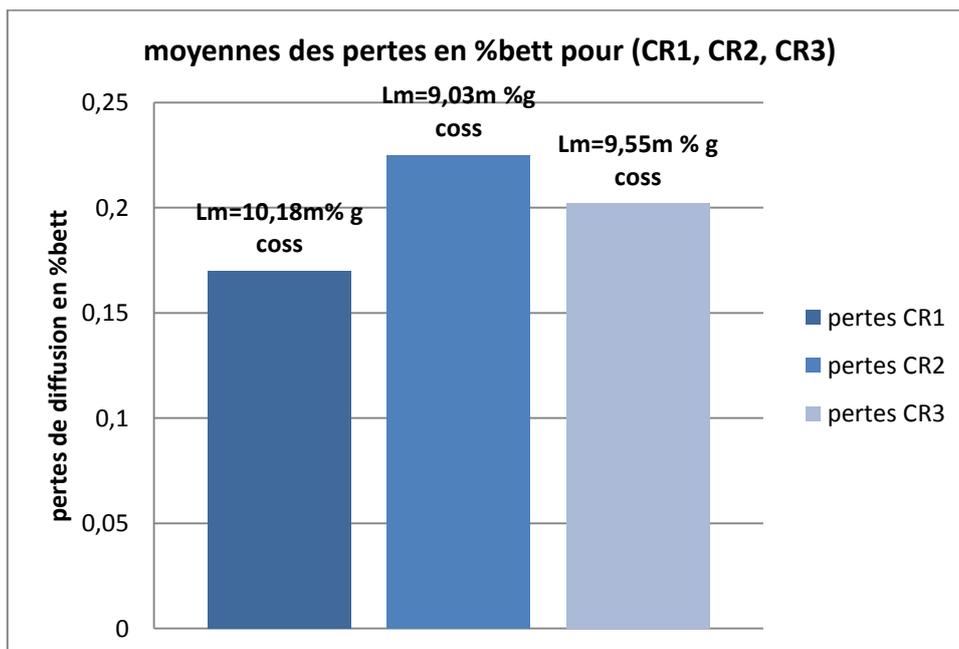


Figure n°34 : les moyennes des pertes en diffusion pour CR1, CR2 et CR3

On peut déduire à partir de graphe que les coupe-racines 2 et 3 (maguin) donnent des résultats presque similaires en pertes CR2--→ 0,225%bett, CR3--→ 0,202%bett avec des moyennes de longueur : CR2-→9,03 m% g coss, CR2-→ 9,55m%g coss

Pour CR1 (putsch), il a comme moyenne de pertes 0,17 %bett, avec une moyenne de longueur égale à 10,18 m% g coss.

Conclusion :

D'après l'analyse des donnée on voie que la marque putsch de coupe-racines n°1 présente des livrables plus au moins acceptables par rapport au coupe-racines maguin n°2 et n°3

$Pd_{moy} (CR n^{\circ}1) < Pd_{moy} (CR n^{\circ}3) < Pd_{moy} (CR n^{\circ}2)$

#### IV. Des solutions proposées

##### ***Pour la qualité de découpage :***

Pour avoir des pertes en diffusion faibles, il faut travailler le maximum possible avec le coupe-racines n°1, on changeant le protocole de travail dans l'atelier de découpage de la manière suivante:

- un réglage et nettoyage permanent du coupe-racine n°1et couteaux de coupe-racines, pour augmenter le temps de disponibilité de cette machine.
- Pour les deux autres machines, il faut renforcer la fréquence de contrôle de ses qualités de découpage, pour pouvoir nettoyer et régler ces couteaux au moment opportun, en évitant le gaspillage de sucre durant une période longue.

##### ***Pour la maîtrise de contrôle des 4 paramètres :***

Au niveau du contrôle des paramètres de diffusion, il faut un calcul horaire des pertes en diffusion pour qu'on soit alerté d'un déclin non voulue en rentabilité.

Donc il faut avoir en chaque atelier un système qui calcul les pertes pour pouvoir réaliser une autocorrection dans chaque atelier.

Encourager la communication entre la sale de contrôle et l'atelier de découpage, et laisser passer les informations entre eux par ce système

En laboratoire il faut avoir un écran électronique qui affiche les résultats des pertes calculés automatiquement pour assurer un passage rapide d'information

En cas des pertes élevés, il faut ordonner les actions d'intervention :

- Contacter la salle de contrôle pour voir est ce qu'il y a un problème au niveau des facteurs de soutirage (débit de cossettes, débit d'eau fraiche, débit d'eau de presse, débit de jus de diffusion...).

- Contacter les personnels d'atelier de coupe pour améliorer la qualité de découpage des betteraves.
- Un recalcul des pertes, nous permet de connaître les facteurs responsables de son augmentation.
- Si on ne trouve pas le chiffre voulu en pertes, donc on décide d'améliorer les autres paramètres: augmenter la température ou/ et le temps de séjour

**Nb1** : Il faut penser d'abord à régler le soutirage et la longueur des cossettes avant de chercher à améliorer le temps de séjour et la température pour éviter un excédent de cossettes à l'entrée de diffuseur et une consommation d'énergie élevée, et d'autre part pour éviter la dégradation du saccharose à l'intérieur du diffuseur en augmentant le temps de séjour,

**Nb2** : on débute par un contrôle de découpage en cas des pertes élevées, parce qu'il est le paramètre le plus important en diffusion et car aussi l'intervention en atelier de découpage ne nécessite pas un investissement. (La maintenance est une fonction permanente en atelier de coupe-racines)

## *Conclusion générale*

Les betteraves doivent se préparer avant de passer à la diffusion, cette préparation nécessite un passage par:

- un découpage
- un échaudage

Les paramètres les plus importants à prendre en considération à l'optimisation de la conduite d'extraction sont:

- La qualité de découpage
- Le soutirage

Pour les solutions on propose les actions d'amélioration suivantes:

- Il faut travailler le maximum possible par le coupe-racines n°1.
- Il faut un calcul horaire des pertes de diffusion.
- Il faut avoir un système qui calcul les pertes en niveau de chaque atelier.
- Il faut ordonner les actions d'intervention en cas des pertes élevées.

## **Références bibliographiques :**

**[1]: Rapport D. KARIM** de perfectionnement sucrerie de betterave Sucrierie SUTA 12 et 13 / 03 /2009.

**[2]: Rapport D. KARIM** de perfectionnement sucrerie de betterave Sucrierie SUTA .2013

**[3]: Rapport annuel (COSUMAR) :** Mohammed FIKRAT : Président Directeur Général (2012 et 2013).

**[4]: Manuel de construction** coupe-racines à tambour TSM type 2200.

**[5]: Manuel de construction** MAGUIN S.A .S. processus et construction.

**[6]: Procédés de transformation en sucrerie** (partie 1) par Martin DECLoux (professeur en Génie de Procédés à l'Ecole National Supérieur des Industries Agricoles et Alimentaires (ENSIA)).

**[7]: Rapport MFE : Mémoire de fin d'études :** contribution à l'optimisation de la conduite d'extraction : pertes en diffusion et énergie de séchage de pulpes : Meryem HOURY : filière IAA en IAV Hassan II, rabat, 2014.

**[8]: Dossier CEDUS :** l'extraction de sucre avec la collaboration de l'université de Reims : professeur, MC : Barbara Rogé.

**[9] : IRIS** institue de recherche industrielle pour les sucreries

# **Annexe n°1**

## **Les tableaux des suivis**

**Tableau n°4 : suivi la variation des pertes en fonction des paramètres de diffusion (RTA)**

<b>n° de prélèvement</b>	<b>L en m%g coss</b>	<b>T°C</b>	<b>soutirage en kg jus/ kg jus cell</b>	<b>Temps de séjour en min</b>	<b>K</b>	<b>⊖ facteur de température</b>	<b>Cs en kg sucre/ kg sucre entrée</b>	<b>Nombre de Siline</b>	<b>Pd en %bett</b>
1	10,83	72,50	1,19	84,55	7,9E-05	89,35	0,0157	6,46	0,282
2	6,67	70,60	1,54	86,92	7,9E-05	84,88	0,0157	3,89	0,283
3	12,27	76,70	1,58	82,67	7,9E-05	99,22	0,0005	7,95	0,008
4	10,44	77,60	1,60	78,15	7,9E-05	101,33	0,0013	6,53	0,024
5	11,11	77,00	1,57	78,15	7,9E-05	99,92	0,0012	6,85	0,022
6	10,63	77,70	1,55	78,15	7,9E-05	101,57	0,0015	6,67	0,027
7	9,02	77,00	1,49	78,48	7,9E-05	99,92	0,0049	5,59	0,089
8	10,62	76,50	1,44	78,48	7,9E-05	98,75	0,0031	6,50	0,056
9	8,70	76,10	1,35	82,67	7,9E-05	97,81	0,0095	5,56	0,171
10	9,36	75,90	1,63	79,49	7,9E-05	97,34	0,0024	5,72	0,044
11	9,52	74,60	1,50	81,58	7,9E-05	94,28	0,0040	5,79	0,072
12	9,46	76,60	1,43	81,58	7,9E-05	98,98	0,0048	6,03	0,086
13	10,42	76,30	1,48	81,58	7,9E-05	98,28	0,0023	6,60	0,042
14	9,51	75,30	1,36	81,22	7,9E-05	95,93	0,0077	5,85	0,139
15	9,72	72,70	1,41	77,82	7,9E-05	89,82	0,0083	5,37	0,150
16	8,05	77,40	1,62	77,82	7,9E-05	100,86	0,0048	4,99	0,087
17	7,34	76,70	1,34	77,82	7,9E-05	99,22	0,0199	4,48	0,358
18	8,42	77,40	1,33	77,82	7,9E-05	100,86	0,0132	5,22	0,238
19	10,32	76,50	1,45	78,15	7,9E-05	98,75	0,0034	6,29	0,061
20	8,35	81,20	1,58	85,71	7,9E-05	109,79	0,0020	6,2	0,035

**Tableau n°5 : suivi la variation des pertes en fonction des paramètres de la diffusion (RTB)**

n° de prélèvement t	L en m%g coss	T°C	soutirage en kg jus/ kg jus cell	temps de séjour en min	K	⊖ facteur de température	Cs en kg sucre / kg sucre entrée	Nomb re de Siline	Pd en %bett
1	8,94	71	1,36	84,62	7,9E-05	85,82	0,0122	5,13	0,2192
2	9,32	73	1,45	90,83	7,9E-05	90,52	0,0042	6,05	0,0758
3	8,87	72	1,50	90,83	7,9E-05	88,17	0,0045	5,61	0,0807
4	9,54	71	1,44	88,00	7,9E-05	85,82	0,0058	5,69	0,1036
5	6,39	76	1,29	90,00	7,9E-05	97,57	0,0246	4,43	0,4434
6	8,93	72,3	1,53	90,00	7,9E-05	88,88	0,0039	5,64	0,0699
7	8,20	74	1,59	90,00	7,9E-05	92,87	0,0037	5,42	0,0664
8	9,02	74,9	1,40	86,46	7,9E-05	94,99	0,0063	5,85	0,1136
9	9,11	74,2	1,49	86,46	7,9E-05	93,34	0,0040	5,81	0,0722
10	10,74	77,4	1,62	83,19	7,9E-05	100,86	0,0007	7,12	0,0127
11	12,33	77,4	1,37	84,62	7,9E-05	100,86	0,0015	8,31	0,0274
12	10,86	73,5	1,46	84,62	7,9E-05	91,70	0,0025	6,66	0,0447
13	9,70	73,2	1,34	84,62	7,9E-05	90,99	0,0082	5,90	0,1467
14	9,68	73	1,50	84,62	7,9E-05	90,52	0,0038	5,86	0,0677
15	7,08	74,5	1,24	88,79	7,9E-05	94,05	0,0273	4,672	0,4913
16	8,26	72,9	1,41	88,79	7,9E-05	90,29	0,0090	5,23	0,1620
17	9,02	73	1,38	92,52	7,9E-05	90,52	0,0064	5,97	0,1155
18	8,17	72,6	1,38	88,79	7,9E-05	89,58	0,0108	5,13	0,1944
19	8,41	79,3	1,32	87,22	7,9E-05	105,33	0,0085	6,10	0,1523
20	11,52	78,2	1,55	87,61	7,9E-05	102,74	0,0004	8,19	0,0080
21	9,23	79,4	1,69	92,52	7,9E-05	105,56	0,0005	7,13	0,0089
22	11,11	77,1	1,40	92,09	7,9E-05	100,16	0,0014	8,10	0,0245
23	8,79	75,6	1,40	88,79	7,9E-05	96,63	0,0059	5,96	0,1058
24	6,76	75,9	1,17	90,83	7,9E-05	97,34	0,0359	4,72	0,6471
25	7,90	77,5	1,27	91,24	7,9E-05	101,10	0,0137	5,75	0,2466
26	9,33	76,2	1,25	86,09	7,9E-05	98,04	0,0120	6,22	0,2151
27	9,59	77,2	1,38	85,71	7,9E-05	100,39	0,0044	6,52	0,0788

## Suivi des coupes racines :

**Tableau n°6 : les pertes en fonction de la longueur pour CR1**

N° prélèvement	L% coss. Calculée m% g coss	% Râpure g%g coss	% cossettes Faitières g%g coss	Pertes en diffusion %bett	<b>longueur trié</b>	L. m%g coss	Pd %bett
1	8,94	6,60	--	0,219		8,05	0,087
2	9,32	6,20	--	0,076		8,17	0,194
3	8,93	5,90	20,50	0,070		8,70	0,171
4	8,17	6,60	13,10	0,194		8,79	0,106
5	8,79	7,30	11,50	0,106		8,93	0,070
6	10,44	6,10	14,80	0,024		8,94	0,219
7	11,11	19,00	7,00	0,022		9,02	0,089
8	10,63	11,60	13,70	0,027		9,32	0,076
9	9,02	7,70	19,70	0,089		9,36	0,044
10	10,62	12,40	10,20	0,056		9,46	0,086
11	8,70	11,30	12,20	0,171		9,51	0,139
12	9,36	12,10	5,10	0,044		9,52	0,072
13	9,52	7,80	3,50	0,072		9,72	0,150
14	9,46	22,60	9,40	0,086		10,32	0,061
15	10,42	8,80	10,50	0,042		10,42	0,042
16	9,51	8,40	7,20	0,139		10,44	0,024
17	9,72	13,00	5,50	0,150		10,62	0,056
18	8,05	5,60	9,20	0,087		10,63	0,027
19	10,32	14,40	8,60	0,061	11,11	0,022	
<b>Moyenne</b>	<b>9,53</b>	<b>10,18</b>	<b>10,69</b>				
	<b>&lt; à la norme</b>	<b>&gt; à la norme</b>	<b>% faible</b>				

**Tableau n°7 : les pertes en fonction de la longueur pour CR1 (avec les autres paramètres fixes)**

L longueur en m%g coss	Pd %bett	L Longueur en m%g coss	Pd %bett
8,05	0,279	9,46	9,167
8,17	0,267	9,56	0,164
8,70	0,220	9,52	0,163
8,79	0,213	9,72	0,151
8,93	0,202	10,32	0,122
8,94	0,201	10,42	0,118
9,02	0,195	10,62	0,109
9,32	0,175	10,63	0,109
9,36	0,173	11,11	0,092

**Tableau n°8 : la variation des pertes en fonction de la longueur (CR2)**

N° prélèvement	L% coss. Calculée m% g coss	% Râpure g% g coss	% cossettes Faitières g% g coss	Pertes en diffusion %bett	Longueur trié	L.enm% g coss	Pd en %bett
1	8,87	11,70	34,50	0,081		6,67	0,283
2	9,54	7,80	29,00	0,104		6,76	0,647
3	8,20	4,30	16,30	0,066		7,08	0,491
4	9,70	13,40	6,60	0,147		7,34	0,358
5	9,68	14,50	2,80	0,068		7,90	0,247
6	7,08	11,90	6,70	0,491		8,20	0,066
7	8,26	9,40	4,20	0,162		8,26	0,162
8	9,02	6,70	7,10	0,116		8,35	0,04
9	11,52	11,30	10,00	0,008		8,42	0,238
10	9,23	8,50	18,80	0,009		8,87	0,081
11	11,11	17,20	5,80	0,024		9,02	0,12
12	6,76	3,60	3,60	0,647		9,23	0,009
13	7,90	7,30	5,00	0,247		9,33	0,215
14	9,33	19,90	2,90	0,215		9,54	0,104
15	9,59	20,30	6,80	0,079		9,59	0,079
16	10,83	10,40	39,60	0,282		9,68	0,068
17	6,67	4,00	36,00	0,283		9,70	0,15
18	12,27	18,50	21,20	0,008		10,83	0,282
19	7,34	4,60	2,10	0,36		11,11	0,024
20	8,42	6,70	7,20	0,24		11,52	0,008
21	8,35	4,20	2,30	0,04	12,27	0,008	
<b>Moyenne</b>	<b>9,03</b>	<b>10,30</b>	<b>12,79</b>				
	<b>&lt; à la norme</b>	<b>&gt; à la norme</b>	<b>% faible</b>				

**Tableau n°9 : la variation des pertes en fonction de la longueur CR2/ les autres paramètres sont fixes**

L longueur en mètre	Pd %bett	L longueur en mètre	Pd en %bett	L longueur en m	Pd En %bett
6,67	0,469	8,87	0,207	11,11	0,092
6,76	0,452	9,02	0,195	11,52	0,079
7,08	0,401	9,23	0,81	12,27	0,060
7,34	0,364	9,33	0,175		
7,90	0,296	9,54	0,161		
8,20	0,264	9,59	0,159		
8,26	0,259	9,68	0,153		
8,35	0,250	9,70	0,153		
8,42	0,243	10,83	0,102		

**Tableau n°10 : la variation des pertes en fonction de la longueur pour le CR3**

N° prelevement	L% coss. Calculée m% g coss	% Râpure g% g coss	% cossettes Faitières g% g coss	Pertes en diffusion %bett	Longueur trié	L .en m%g coss	Pd en %bett
1	6,39	5,30	37,10	0,443		6,39	0,443
2	9,02	9,10	16,60	0,114		8,41	0,152
3	9,11	9,40	16,40	0,072		9,02	0,114
4	10,74	12,00	8,30	0,013		9,11	0,072
5	12,33	20,90	10,60	0,027		10,74	0,013
6	10,86	19,00	12,10	0,045		10,86	0,045
7	8,41	7,20	6,8	0,152		12,33	0,027
<b>Moyenne</b>	<b>9,55</b>	<b>11,84</b>	<b>15,41</b>				
	<b>&lt; à la norme</b>	<b>&gt; à la norme</b>	<b>% faible</b>				

**Tableau n°11 : la variation des pertes en fonction de la longueur pour CR3 / en fixe les valeurs des autres paramètres**

L longueur en mètre	Pd %bett
6,39	0,522
8,41	0,245
9,02	0,195
9,11	0,189
10,74	0,105
10,86	0,100
12,33	0,059