

SOMMAIRE

GLOSSAIRE

LISTE DES UNITES

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Contexte général, objectif et intérêts de l'étude

Chapitre II : Les bonbons durs

Chapitre III : Le sucre

Chapitre IV : Le sirop de sucre-Le sirop de glucose

Chapitre V : Traitement de la solution de sucre issue de la dissolution des bonbons durs

CONCLUSION PARTIELLE

DEUXIEME PARTIE : ETUDES EXPERIMENTALES

Chapitre I : Processus de valorisation des déchets de bonbons durs en sirop de sucre

Chapitre II : Les essais préliminaires

Chapitre III : Optimisation des différents paramètres mis en jeu

Chapitre IV : Réactivation thermique du charbon actif

Chapitre V : Caractérisation du sirop de sucre obtenu

CONCLUSION PARTIELLE

TROISIEME PARTIE : ETUDES ECONOMIQUES

CONCLUSION PARTIELLE

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES

ANNEXES

TABLE DES MATIERES

GLOSSAIRE

Absorbance : également appelée densité optique ou extinction, l'absorbance est une grandeur sans unité qui mesure la capacité d'un milieu à absorber la lumière qui le traverse.

Exhausteur de goût : substance qui, sans avoir une saveur propre prononcée, ne modifie pas le goût mais augmente l'intensité de la perception olfacto-gustative (goût et/ou l'odeur) d'une denrée alimentaire.

Fermentation : réaction biochimique de conversion de l'énergie chimique contenue dans une source de carbone, souvent du glucose, en une autre forme d'énergie, directement utilisable par la cellule en l'absence de dioxygène (milieu anaérobie).

Glycogène : substance glucidique stockée dans certains tissus où elle constitue une forme de réserve pour l'organisme humain ou animal.

Hygroscopique : adjectif qualifiant une substance ayant tendance à absorber l'humidité de l'air, par absorption ou par adsorption.

Ose : ou monosaccharide, monomère des composés glucidiques.

Photon : quantité élémentaire d'énergie lumineuse, composant les ondes électromagnétiques, des ondes radio aux rayons gamma en passant par la lumière visible.

Polysaccharide : polymère constitué de plusieurs oses liés entre eux par des liaisons O-osidiques.

Rhomboïde : quadrilatère dont les côtés opposés sont parallèles deux à deux.

Transmittance : en général, c'est le rapport caractérisant la transmission d'une grandeur dans un système. Elle se calcule par le rapport entre la grandeur en entrée et en sortie.

LISTE DES UNITES

°Brix : Degré Brix : unité de mesure du pourcentage de matières sèches solubles dans un liquide

°C : Degré Celsius : unité de mesure de la température

Ar : Ariary : Unité monétaire Malgache

Aw : Activity of Water : unité de mesure de l'activité de l'eau

cpoise : centipoise : unité de mesure de la viscosité

g : Gramme : unité de mesure de la masse

g/mol : Gramme par mole : unité de mesure de la masse molaire

kg : Kilogramme : unité de mesure de la masse

kWh : Kilowattheure : unité de mesure de l'énergie électrique

L : Litre : unité de mesure du volume

m²/g : unité de mesure de la surface spécifique

mg : Milligramme : unité de mesure de la masse

mg/L : milligramme par litre : unité de mesure de la concentration massique d'une solution

mL : Millilitre : unité de mesure du volume

mm : Millimètre : unité de mesure de la longueur

mn : Minute : unité de mesure du temps

T : Tonne : unité de mesure de la masse équivalent à 1000kg

µm : micromètre : unité de mesure de la longueur

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

A : Absorbance

BTEX : Benzène, Toluène, Ethyl-benzène et Xylènes

Cm : Concentration massique

E : Echelle de couleur à une longueur d'onde λ donnée

CAG : Charbon Actif en Grain

CAP : Charbon Actif en Poudre

D : La diminution de l'intensité de coloration de la solution par rapport à la solution de référence (solution étalon N°6)

D.E : Dextrose Equivalent

HRE : Humidité Relative d'Equilibre

IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry

MS : Matières Sèches

PACs : Poly-hydrocarbures Aromatiques

pH : Potentiel hydrogène, mesure de l'acidité ou de la basicité d'une solution

P : Pourcentage de charbon actif ou de terre décolorante par rapport à la quantité de déchets bonbons

P.S. : Pouvoir Sucrant

QAD : Quantité de l'Agent de Décoloration

QCA : Quantité du Charbon Actif

QCAG : Quantité de Charbon Actif en Grain

QCAP : Quantité de Charbon Actif en Poudre

QDB : Quantité de Déchets Bonbons

QEF : Quantité de l'Eau Froide

QTD : Quantité de la Terre Décolorante

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N° 01 : Les différentes phases du sirop de sucre	21
Tableau N° 02 : Les types de sirop de glucose	25
Tableau N° 03 : Les techniques de filtration	32
Tableau N° 04 : Matériels et produits nécessaires, leurs utilisations.....	39
Tableau N° 05 : Les différents types de bonbons durs, leur parfum et leur couleur	40
Tableau N° 06 : Les caractéristiques du charbon actif	46
Tableau N° 07 : Résultats des essais préliminaires pour les déchets bonbons « JOK ».....	47
Tableau N° 08 : Observations en fonction de P (1)	48
Tableau N° 09 : Résultats des essais préliminaires pour les déchets bonbons « OLE»	49
Tableau N° 10 : Observations en fonction de P (2)	49
Tableau N° 11 : Résultats des essais préliminaires pour les déchets bonbons « PECTO».....	50
Tableau N° 12 : Observation en fonction de P (3).....	51
Tableau N° 13 : Les caractéristiques de la terre décolorante.....	52
Tableau N° 14 : Résultats des essais préliminaires avec la terre décolorante	52
Tableau N° 15 : Observations en fonction de P (4)	53
Tableau N° 16 : Tableau de Comparaison des colorants des bonbons durs	54
Tableau N° 17 : Les paramètres de mesure pour la spectroscopie UV-visible.....	58
Tableau N° 18 : Les paramètres invariables (1)	60
Tableau N° 19 : Les résultats de l'optimisation de la quantité de déchets bonbons QDB	61
Tableau N° 20 : Les paramètres invariables (2)	62
Tableau N° 21 : Résultats de l'optimisation de la quantité de charbon actif en grain.....	62
Tableau N° 22 : Les paramètres invariables (3)	63
Tableau N° 23 : Résultats de l'optimisation du type de charbon actif	64
Tableau N° 24 : Les paramètres invariables (4)	65
Tableau N° 25 : Résultats de l'optimisation de la quantité de charbon actif en poudre (1)	65
Tableau N° 26 : Résultats de l'optimisation de la quantité de charbon actif en poudre (2)	66

Tableau N° 27 : Résultats de l'optimisation de la quantité de charbon actif en poudre (3)	67
Tableau N° 28 : Les paramètres invariables (5)	69
Tableau N° 29 : Résultats de l'optimisation de la quantité de charbon actif en poudre (4)	69
Tableau N° 30 : Les paramètres invariables (6)	70
Tableau N° 31 : Résultats de l'optimisation du temps d'agitation	71
Tableau N° 32 : Les paramètres invariables (7)	72
Tableau N° 33 : Résultats de l'optimisation de la quantité de charbon actif en poudre (5)	72
Tableau N° 34 : Les paramètres invariables (8)	73
Tableau N° 35 : Résultats de l'optimisation du temps d'agitation (2).....	74
Tableau N° 36 : Les paramètres invariables (9)	75
Tableau N° 37 : Résultats de l'optimisation de la quantité de charbon actif en poudre (6)	75
Tableau N° 38 : Les paramètres invariables (10)	77
Tableau N° 39 : Résultats de l'optimisation avec la terre décolorante	77
Tableau N° 40 : Les paramètres invariables (11)	79
Tableau N° 41 : Tableau récapitulatif de l'optimisation avec le charbon actif en poudre	79
Tableau N° 42 : Les matériels à utiliser pour la réactivation thermique	80
Tableau N° 43 : Résultats des essais de réutilisation du charbon actif réactivé	81
Tableau N° 44 : Résultats de l'optimisation avec le charbon actif non réactivé	82
Tableau N° 45 : Les caractéristiques du sirop de sucre obtenu	83
Tableau N° 46 : Les paramètres de production.....	84
Tableau N° 47 : Résultats de l'analyse descriptive du sirop de sucre	85
Tableau N° 48 : Résultats de la mesure d'acceptabilité du sirop de sucre	86
Tableau N° 49 : Les paramètres généraux de l'évaluation économique.....	89
Tableau N° 50 : Données économiques concernant les matières premières.....	90
Tableau N° 51 : Evaluation des matières premières	91
Tableau N° 52 : Données économiques concernant l'eau et l'électricité	92
Tableau N° 53 : Eau et énergie nécessaires à la valorisation.....	93

Tableau N° 54 : Evaluation du salaire des ouvriers.....	94
Tableau N° 55 : Coût total de valorisation pour 25g/100ml.....	94
Tableau N° 56 : Quantité annuelle de sucre obtenue.....	95
Tableau N° 57 : Coût total d'importation d'une tonne de saccharose.....	95
Tableau N° 58 : Estimation de la valeur de sucre obtenu par valorisation.....	95
Tableau N° 59 : Le bilan économique pour 25g/100ml.....	96

LISTE DES FIGURES

Figure N° 01 : Formule topologique du rouge de betterave	6
Figure N° 02 : Colorants alimentaires	6
Figure N° 03 : Arômes alimentaires	9
Figure N° 04 : Cristaux de sucre blanc.....	9
Figure N° 05 : Bonbons durs	10
Figure N° 06 : Diagramme de fabrication d'un bonbon dur	11
Figure N° 07 : Mise en forme du bonbon.....	13
Figure N° 08 : Molécule de saccharose dans le cristal (structure 3D)	14
Figure N° 09 : Saccharose en représentation polygonale	14
Figure N° 10 : Saccharose en représentation de Haworth.....	15
Figure N° 11 : Hydrolyse d'une molécule de saccharose en glucose et en fructose	15
Figure N° 12 : Sirop de glucose	21
Figure N° 13 : Charbon actif en poudre CAP.....	28
Figure N° 14 : Charbon actif en grain CAG.....	29
Figure N° 15 : Terre décolorante.....	29
Figure N° 16 : Les différentes étapes de l'adsorption	31
Figure N° 17 : Les différentes étapes d'une filtration	35
Figure N° 18 : Diagramme de valorisation des déchets de bonbons durs en sirop de sucre	38
Figure N° 19 : OLE parfum fraise après triage	40
Figure N° 20 : Les déchets bonbons après concassage	41
Figure N° 21 : La balance de précision	41
Figure N° 22 : Dissolution des déchets bonbons dans l'eau froide.....	42
Figure N° 23 : Agitation de charbon actif dans la solution « bonbon+eau »	42
Figure N° 24 : Filtration de la solution traitée.....	43

Figure N° 25 : Evaporateur rotatif.....	43
Figure N° 26 : Sirops de sucre conditionnés	44
Figure N° 27 : Le charbon actif utilisé lors des différentes manipulations	47
Figure N° 28 : Les solutions de bonbon JOK EXOTIQUE et JOK GRENADINE avant et après filtration	48
Figure N° 29 : Les solutions de bonbon OLE FRAISE et OLE « fraise+banane » avant et après filtration	50
Figure N° 30 : Les solutions de bonbon PECTO ROUGE avant et après filtration.....	51
Figure N° 31 : La terre décolorante utilisée lors des différentes manipulations	52
Figure N° 32 : Les solutions de bonbon PECTO JAUNE avant et après filtration.....	53
Figure N° 33 : Les solutions de bonbon JOK ANANAS avant et après décantation.....	53
Figure N° 34 : La courbe d'étalonnage	59
Figure N° 35 : Temps de filtration en fonction de la concentration de la solution	61
Figure N° 36 : Diminution de l'intensité de la couleur en fonction de la quantité de charbon actif en grain	63
Figure N° 37 : Diminution de l'intensité de la couleur en fonction du type de charbon actif	64
Figure N° 38 : Diminution de l'intensité de coloration en fonction du pourcentage de charbon actif en poudre (1).....	66
Figure N° 39 : Diminution de l'intensité de coloration en fonction du pourcentage de charbon actif en poudre (2).....	67
Figure N° 40 : Diminution de l'intensité de coloration en fonction du pourcentage de charbon actif en poudre (3).....	68
Figure N° 41 : Diminution de l'intensité de coloration en fonction du pourcentage de charbon actif en poudre (4).....	70
Figure N° 42 : Diminution de coloration en fonction du temps d'agitation de la solution (1)	71

Figure N° 43 : Diminution de l'intensité de coloration en fonction du pourcentage de charbon actif en poudre (5).....	73
Figure N° 44 : Diminution de coloration en fonction du temps d'agitation de la solution (2)	74
Figure N° 45 : Courbe de diminution de l'intensité de coloration en fonction du pourcentage de charbon actif en poudre	76
Figure N° 46: Diminution de l'intensité de coloration en fonction du pourcentage de terre décolorante.....	78
Figure N° 47 : Four de réactivation thermique du charbon actif en poudre.....	80
Figure N° 48 : Creuset en porcelaine contenant les charbons actifs réactivés	81
Figure N° 49 : Les sirops de sucre élaborés après valorisation des déchets bonbons durs	83
Figure N° 50: Ballon contenant la solution de sucre à évaporer	84
Figure N° 51 : Profil sensoriel du sirop de sucre.....	85
Figure N° 52 : Evaluation hédonique du sirop de sucre	86
Figure N° 53 : Réfractomètre	a3
Figure N° 54 : Sirop de sucre de couleur jaune.....	a4
Figure N° 55 : Résidus de charbon actif après traitement des déchets bonbons	a5

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Présentation de la société JB	a2
ANNEXE 2 : Détermination de la teneur en matière sèche soluble.....	a3
ANNEXE 3 : Utilisation du bicarbonate de soude	a4
ANNEXE 4 : Les résidus de charbon actif.....	a5
ANNEXE 5 : L'analyse sensorielle.....	a6
ANNEXE 6 : Analyse sensorielle et descriptive du sirop de sucre.....	a8
ANNEXE 7 : Mesure d'acceptabilité du sirop de sucre	a9

INTRODUCTION

Les bonbons durs, encore appelés sucres cuits, par leurs saveurs agréables et leurs formes très diversifiées, font partie des confiseries les plus appréciées par toute catégorie de consommateurs, en particulier les enfants ; et cela, non seulement dans les pays étrangers, mais également à Madagascar. En effet, la Grande-Ile bénéficie, elle aussi, d'une industrie agroalimentaire très renommée, et qui n'est autre que la société JB. Etant parmi les premiers producteurs de bonbons durs qui se trouvent au premier rang des ventes à Madagascar (JOK, PECTO, OLE...), l'usine JB se doit de produire constamment des bonbons durs concurrentiels, adaptés à la demande et au besoin des consommateurs, ainsi qu'à leur sécurité. Elle doit également être très stricte au niveau de la production, donc de la qualité de ses produits finis.

Les unités de transformation ne peuvent alors se passer des déchets bonbons de sucres cuits, atteignant en moyenne, des centaines de kilogrammes par mois, pour chaque type et pour chaque parfum. Or, ceux qui n'ont pu être recyclés n'ont plus aucune utilité, et seront directement jetés.

La question se pose alors sur l'existence d'autres moyens de diminution de la quantité des déchets jetés, donc d'autres procédés de valorisation de ces déchets de bonbons durs. C'est dans ce cadre que se situe la présente étude intitulée : « Contribution à la valorisation des déchets de bonbons durs de la société JB en sirop de sucre ».

Le travail sera divisé en trois grandes parties :

- ❖ La première, se rapportant à l'étude bibliographique, présentera les généralités sur les bonbons durs et les sirops de sucre ;
- ❖ La seconde concerne les différentes études expérimentales ;
- ❖ Et la troisième partie sera consacrée à la caractérisation du sirop de sucre obtenu et à l'étude économique.

Première partie : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : CONTEXTE GENERAL, OBJECTIF ET INTERETS DE L'ETUDE

I. Contexte général

Les produits élaborés par les industries agroalimentaires doivent avoir des qualités et des propriétés fixes (gout, taille, forme, ...), quelques soient les matières premières et les procédés adoptés, afin d'être compétitifs sur le marché national ou international ; et surtout pour garantir la sécurité des consommateurs et la satisfaction de la clientèle. Il faut alors réaliser un tri rigoureux avant la mise en vente ; et pour cela, des déchets matières existent constamment au niveau d'une usine de transformation. La valorisation de ces déchets constitue, pour cette dernière, une alternative aux décharges, permet d'éviter le rejet des matières non-recyclées et le gaspillage des matières premières, ainsi que des ressources énergétiques qui ont été nécessaires pour l'élaboration. Ces nombreuses raisons font que l'on est amené à réduire au minimum les déchets matières au sein d'une unité de transformation, donc de contribuer à la valorisation des déchets bonbons de sucres cuits de la société JB (PECTO, JOK, OLE).

II. Objectif et intérêts de l'étude

L'objectif de cette étude est la valorisation des déchets de bonbons durs de la société JB, en sirop de sucre, réutilisé en tant que matière première ou ingrédient de fabrication, au sein même de l'usine JB. Une étude qui, non seulement, va contribuer à la réduction de la quantité des déchets, mais qui permettra également de fournir des gains et des bénéfices à partir des déchets matières inutilisables et non recyclés. La finalité du projet sera donc de présenter des technologies de transformation des déchets bonbons en sirop de sucre, directement utilisable.

Les intérêts de l'étude résident également sur plusieurs autres points :

- ❖ La réduction de la consommation en sirop de glucose et sucre importés, donc la diminution du coût des matières premières.
- ❖ La facilité d'obtention de sirop de sucre : disponibilité sur place en cas de rupture de stock ou de retard de livraison.
- ❖ L'existence d'une autre source de sirop de glucose et de sucre pour la société.

Chapitre II : LES BONBONS DURS

I. Généralités sur les bonbons

1. Définition et orthographe [1], [2]

Un bonbon est une confiserie, généralement aromatisée avec divers goûts sucrés. Selon le *Petit Larousse*, il s'agit d'une « confiserie, friandise, plus ou moins dure, sucrée ou aromatisée ». Le principal point commun des bonbons est donc la présence de sucre dont la cuisson sera essentielle. De plus, les bonbons sont classés par les confiseurs en plusieurs familles.

Le mot bonbon apparaît au début du XVI^e siècle. Il serait la répétition de l'adjectif français « bon », du latin *bonus*, « bienveillant », et ne s'écrit donc pas selon la règle générale, c'est-à-dire avec un *m* devant le *b*. Cette dernière ne s'applique qu'aux mots d'origine latine.

2. Historique [3], [4]

A l'origine de tous les bonbons, il y a Alexandre le Grand, qui, au VI^e siècle, ramène avec lui des "roseaux qui donnent du miel sans le secours des abeilles"; il s'agit bien évidemment de la canne à sucre, découverte par les Perses deux siècles plus tôt.

Au XI^e siècle, l'Europe découvre la canne à sucre grâce aux croisés : c'est le début de la confiserie. D'une part le sucre a été utilisé en tant que remède, et vendu cher chez les apothicaires (pharmaciens) ; d'autre part, il était employé comme un moyen de conservation du fruit.

Ce n'est qu'à la fin du XIV^e siècle, alors que l'Europe organise son commerce de sucre, qu'un réel essor de la confiserie est possible. De nouvelles recettes apparaissent : les fruits confits se développent à l'arrivée des Papes en Avignon alors que naissent les dragées, les nougats et les pralines.

A partir du XVII^e siècle, pastilles, marrons glacés apparaissent... Les confiseurs ouvrent leur boutique à Paris. Leurs magasins sont le rendez-vous de la société de la riche bourgeoisie.

Ce n'est qu'au XIX^e siècle que le sucre se démocratise réellement, grâce à l'apparition du sucre de betterave. C'est une véritable révolution... et depuis, les confiseurs n'ont cessé de créer de nouveaux bonbons et de nouvelles spécialités, issus de la tradition et de tout leur savoir-faire, dont la plupart existent encore aujourd'hui.

II. La composition chimique des bonbons [5]

Le bonbon peut prendre de multiples formes, couleur, texture et goût. Pourtant les compositions de ces différentes sucreries ne sont pas très variées. Les principaux ingrédients, c'est-à-dire, ceux que l'on retrouve le plus souvent sont :

- **Les additifs alimentaires**
- **Les arômes**
- **Le sucre**

1. Les additifs alimentaires [2], [6], [7]

1.1. Définition

Les additifs alimentaires sont des substances naturelles ou artificielles, et que l'on peut rajouter à un aliment pour en modifier ses propriétés. Cela peut être pour en prolonger la durée de conservation, ou encore, pour améliorer le goût, l'aspect ou la texture. Les additifs alimentaires sont nombreux et variés : il en existe plus de 350 autorisés en Europe et sont tous codés de la même manière : la lettre "E" suivie de 3 chiffres qui les caractérise. Cette lettre renvoie à « l'Europe ». Les additifs sont rangés par classes que voici :

- Les colorants alimentaires
- Les conservateurs
- Les acidifiants ou régulateurs alimentaires de pH

1.2. Les colorants alimentaires

Les colorants sont des substances solubles dans les solutions auxquelles ils donnent leurs couleurs. Ce sont généralement des composés organiques. Les colorants sont ajoutés aux bonbons en faibles quantités (20 à 200mg/kg), pour leur donner un aspect appétissant et une couleur plus attrayante, dans le but d'attirer des clients potentiels, ou tout simplement pour leur rendre leur couleur naturelle. Ces produits n'apportent aucun goût, ni aucune transformation du goût ou de la texture ; ils jouent simplement un rôle lors de la dégustation, et de la vision de la friandise. Les colorants sont identifiés par un code, allant d'E100 à E180 : la lettre "E" commune à tous les additifs alimentaires, suivie du chiffre "1" caractérisant les colorants. Les 2 chiffres suivants déterminent la couleur spécifique du colorant (exemple : E100, curcumine, colorant jaune).

Il existe 3 sortes de colorants différents :

- ❖ **les colorants naturels** : ils sont issus de certains animaux ou de végétaux comme le rouge de betterave de formule brute $C_{24}H_{27}N_2O_{13}$ et dont le code est le E162.

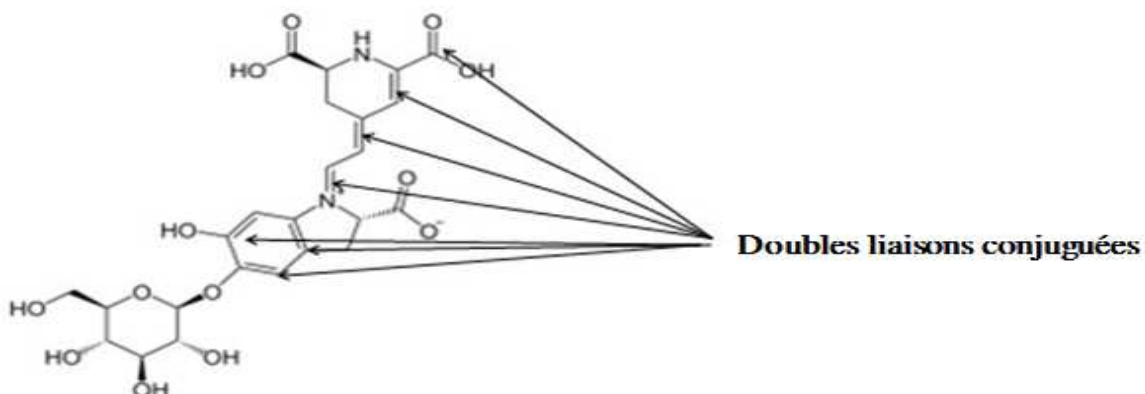


Figure N° 01 : Formule topologique du rouge de betterave

- ❖ **les colorants de synthèse** : leurs structures moléculaires sont identiques à ceux présents dans la nature mais ils sont synthétisés en laboratoire. L'utilisation des colorants synthétiques présente plusieurs intérêts, et sont donc plus souvent utilisés dans les industries de bonbons : ils sont plus résistants, plus faciles à utiliser, moins chers que les colorants naturels, et on peut réaliser beaucoup plus de couleurs. Les possibilités sont infinies en combinant les couleurs primaires afin d'obtenir toutes les couleurs que l'on souhaite.

Exemple de colorants de synthèse :

E122 : rouge

E153 : bleu

E104 : jaune

- ❖ **les colorants artificiels** : ils n'ont pas d'équivalent existant dans la nature.

Il faut faire attention à certains colorants. On peut voir inscrit sur certains emballages : "*Peut avoir des effets indésirables sur l'activité et l'attention des enfants*". Ceci concerne surtout les colorants azoïques qui sont le jaune orangé E110, le jaune de quinoléine E104, ou encore la Tartazine E102.



Figure N° 02 : Colorants alimentaires

1.3. Les conservateurs

Les conservateurs alimentaires sont des substances chimiques minérales ou organiques. Ajoutés aux aliments, ils permettent, comme leur nom l'indique, de les conserver plus longtemps. Ils agissent comme des antimicrobiens, limitant la prolifération des microbes et des champignons. Les agents conservateurs sont donc des substances dont l'effet direct retarde ou empêche d'indésirables modifications microbiologiques dans les denrées alimentaires, en particulier leur altération. Ils sont codés par la lettre "E" et le chiffre "2" (E200 à E297), les 2 chiffres suivants variant en fonction du conservateur en question. Il s'agit de produits de synthèse.

Des exemples de conservateurs

- **conservateurs organiques**
 - acide acétique E260
 - acide lactique E270
 - acide malique E296
- **conservateurs minéraux**
 - anhydride sulfureux E220
 - sulfite de calcium E226
 - nitrate de potassium E252

1.4. Les acidifiants ou régulateurs alimentaires de pH

Les acidifiants ou régulateurs alimentaires de pH sont des additifs alimentaires, permettant de régler l'acidité d'un aliment, donc de contrôler le pH (acide, neutre ou basique). Dans notre cas, il s'agit plutôt de le rendre acidulé. On distingue les agents acidifiants, comme les acides organiques ou minéraux, les agents correcteurs d'acidité (sel d'acide), les agents neutralisants ou bien les agents tampons. Leur code varie mais est toujours composé de la lettre « E ».

L'acidifiant le plus courant est l'acide citrique. Il peut être trouvé naturellement dans le citron. Il est le principal responsable de son acidité. Etant un additif alimentaire, il bénéficie d'un code qui est E330.

Un autre acidifiant très courant est l'acide malique dont le code est E296, et qui peut être trouvé naturellement dans certains fruits comme la pomme, la poire ou encore le raisin mais en faible quantité. L'acide acétique (E260) ou encore l'acide phosphorique (E338) sont également d'autres acidifiants couramment utilisés.

Les sels d'acide couramment utilisés sont le citrate de sodium (E331), le lactate de potassium (E326) ou encore le malate de potassium (E351).

2. Les arômes

2.1. Définition [2], [8]

D'après Lamy DEHOVE, l'arôme alimentaire est tout produit ou substance destinée à être ajoutée à des denrées alimentaires pour leur donner une odeur, un goût ou à la fois, une odeur et un goût.

L'arôme est la sensation perçue par le système olfactif, par rétro-olfaction lorsque l'on mange. En effet, les arômes suivent une trajectoire passant à l'arrière du palais pour atteindre les fosses nasales. On parle aussi de fumet, de parfum, de bouquet etc., la notion d'arôme s'applique plus particulièrement aux produits alimentaires. Les fruits, légumes, épices, aromates, viandes, poissons, produits laitiers, ont des arômes, que les industriels de l'agroalimentaire souhaitent reproduire, standardiser, et renforcer.

2.2. Utilisation des arômes alimentaires [9]

Un arôme alimentaire confère ses qualités aux aliments. Cette incorporation se fait soit sous forme liquide, soit en poudre. Les arômes alimentaires sont principalement utilisés pour :

- Renforcer ou modifier la saveur d'un aliment
- Aromatiser les aliments sans goût et sans odeur
- Dissimuler les saveurs désagréables de certains aliments.

2.3. Classification des arômes [9]

On distingue trois types d'arôme alimentaire : les arômes naturels, les arômes de synthèse et les arômes de fumées. Ceux qui interviennent dans la création des bonbons sont les arômes naturels et les arômes de synthèse.

- Les arômes naturels

Les arômes naturels proviennent des matières premières d'origine végétale (plantes, aromates, fruits, légumes...) et animale. Les arômes issus des réactions biochimiques (réaction enzymatique, fermentation...) sont aussi considérés comme arômes naturels. Les arômes naturels coûtent plus cher que les arômes de synthèse en raison de la complexité de l'extraction et du rendement qui est très faible.

- **Les arômes de synthèse**

Les arômes de synthèse peuvent être divisés en deux sous-groupes : les arômes artificiels et les arômes identiques aux naturels.

Le premier sous-groupe regroupe les arômes obtenus par voie chimique. Ils n'existent pas dans la nature. Le deuxième sous-groupe regroupe les arômes obtenus par hémisynthèse. Dans ce cas, c'est seulement la matière première qui est naturelle, mais les arômes obtenus sont chimiquement identiques aux naturels. L'exemple le plus courant est la synthèse de la vanilline à partir de la lignine.

Les arômes de synthèse sont les plus employés dans les préparations alimentaires parce qu'ils sont plus rentables du point de vue économique.



Figure N° 03 : Arômes alimentaires

3. Le sucre [7], [10]

Le sucre est l'ingrédient de base du bonbon. "Le sucre" fait partie de la famille des glucides. Dans le langage courant, il est synonyme de "saccharose" qui n'est autre que le sucre de table issu de la betterave sucrière ou de la canne à sucre.



Figure N° 04 : Cristaux de sucre blanc

III. Les bonbons durs [11], [12]

1. Généralités sur les bonbons

Les professionnels distinguent seize familles 'types' de bonbons qui sont :

- | | |
|-------------------------------|----------------------------|
| ✓ Les bonbons durs | ✓ Les dragées |
| ✓ Les caramels et toffees | ✓ Les pralines |
| ✓ Les pâtes de fruits | ✓ Le nougat |
| ✓ Les gommes et les réglisses | ✓ Les fruits confits |
| ✓ Les fondants | ✓ Les marrons glacés |
| ✓ Les gélifiés | ✓ Les pastilles, tablettes |
| ✓ Les confiseries orientales | ✓ La pâte d'amande |
| ✓ Les bonbons à la liqueur | ✓ Le chewing-gum |

Le sucre cuit est la famille de bonbon regroupant les sucres d'orge, les sucettes, les berlingots, les rocks... Ils peuvent être pleins, aérés, fourrés, acidulés, translucides ou opaques.



Figure N° 05 : Bonbons durs

2. Propriétés d'un bonbon dur

Un bonbon dur a pour caractéristiques principales d'être dur et cassant comme du verre. Le sucre-cuit est dur parce qu'il contient très peu d'eau : entre 1 et 3% de sa masse. Il est cassant comme du verre car le sucre n'a pu recristalliser et son état s'est figé sous une forme amorphe, une structure intermédiaire entre liquide et solide. Les molécules de sucre restent isolées tant que le milieu où elles se trouvent est épais et visqueux. Il se dissout lentement dans la bouche et dégage les différentes saveurs apportées par le sucre et les arômes.

3. Procédé général de fabrication d'un bonbon dur

La fabrication d'un bonbon dur est représenté par le diagramme suivant :

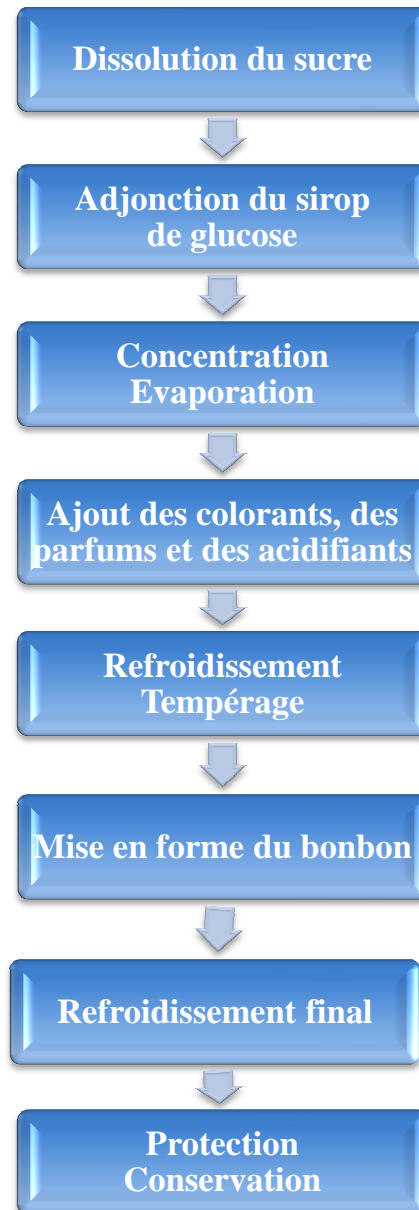


Figure N° 06 : Diagramme de fabrication d'un bonbon dur

Première opération: Dissolution du sucre ou saccharose

Cette opération a pour but de séparer les molécules de sucre entres-elles, en effet dans le sucre cristallisé, les molécules de sucre sont reliées pour constituer un assemblage ayant une forme particulière ordonnée (système monoclinique sphénoïdal).

La dissolution du sucre s'effectue dans de l'eau. La quantité d'eau est le tiers de la quantité de sucre. La dissolution s'effectue sous agitation et en chauffant ce mélange jusqu'à 110°C.

Durant cette opération, la solution se concentre petit à petit jusqu'à une teneur en sucre de 80%. Il y a élimination d'eau sous forme de vapeur.

Deuxième opération: Adjonction du sirop de glucose

Le sirop de glucose, issu de l'hydrolyse de l'amidon de maïs, est un anticristallisant. Ces molécules complexes sous forme de chaîne rendent le milieu très visqueux. Les molécules de sucre ne pourront se rapprocher pour reformer un cristal, elles resteront isolées. La température de cette nouvelle solution est comprise entre 80 et 85°C.

Troisième opération: Concentration, évaporation

Les bonbons durs possèdent très peu d'eau, entre 1 et 3%. La solution précédemment obtenue en contient 20%. Il faudra donc éliminer par chauffage cet excédent d'eau de la solution sucre/sirop de glucose le plus rapidement possible. Plusieurs techniques sont disponibles :

- la cuisson à feu nu
- la cuisson sous vide
- la cuisson en couche mince

Quatrième opération : Ajout des colorants, des parfums et des acidifiants

Après la « cuisson » (concentration et évaporation de l'eau), c'est le moment d'ajouter les ingrédients qui apporteront goûts et couleurs. Ils sont ajoutés en toute petite quantité, entre 0,1 et 2% de la masse. L'acidifiant est en général l'acide citrique.

Les colorants sont dilués dans une petite quantité d'eau ; les parfums peuvent être des huiles essentielles, des concentrés aromatiques. Tous ces ingrédients sont mélangés vigoureusement et rapidement.

Cinquième opération : Refroidissement et tempérage

La pâte obtenue est encore à une température élevée, de l'ordre de 110 à 120°C. Elle a encore la consistance d'un fluide épais. Cette pâte est refroidie sur un marbre, table froide, bande inox pour abaisser sa température. La conductibilité de cette pâte est faible, le transfert de chaleur est lent. Pour empêcher que le produit au contact de la paroi froide ne croûte et que quelques millimètres au dessus, il reste fluide et chaud, il faut le retourner et l'homogénéiser plusieurs fois. La masse obtenue doit être de consistance égale, donc de température égale, environ 85°C, dans toute l'épaisseur. La plasticité de la pâte permettra le formage du bonbon.

Sixième opération : Mise en forme du bonbon

Cette masse plastique doit être effilée, calibrée, estampée pour donner la forme du bonbon. Suivant le matériel de mise en forme utilisé, la pâte passera par des jeux de laminoirs pour obtenir soit une bande, soit un boudin d'épaisseur ou de diamètre réguliers.

Sous ces formes régulières, la masse peut être pressée entre deux cylindres creusés aux formes finales du bonbon, ou pressée entre deux pistons également aux formes finales du bonbon. Les matériels utilisés pour la mise en forme sont des cylindres en laiton montés sur un bâti, des berlingotières, des presses à pistons.

NB : Il est possible de donner la forme définitive du bonbon en coulant la pâte encore liquide (125°C) directement dans des moules ; on parle alors de bonbons coulés.

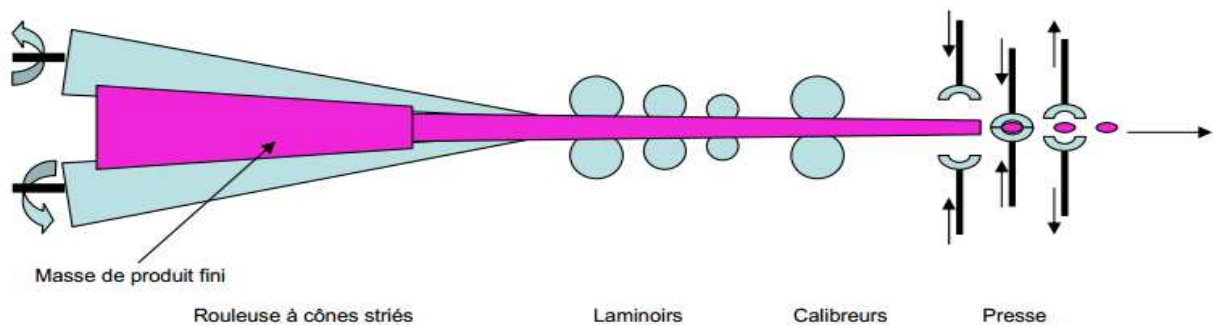


Figure N° 07 : Mise en forme du bonbon

Septième opération : Refroidissement final

À la sortie des appareils de formage, la température du produit est de l'ordre de 80°C. Le produit est encore malléable et doit être refroidi pour éviter qu'il se déforme, s'écrase, se colle aux autres. Le refroidissement doit être lent pour permettre à la chaleur de diffuser et éviter de fissurer le sucre en surface. L'air soufflé est aux environs de 20°C et doit être sec pour éviter l'absorption d'humidité par le produit.

Huitième opération : Protection et conservation

Il est important de protéger le produit pour qu'il se conserve correctement dans le temps. Les sucres-cuits ont tendance à reprendre plus ou moins facilement l'humidité de l'air, les rendant collants en surface. Une méthode de protection est le candissage. Le principe est d'enrober le bonbon par des fins cristaux de sucre qui feront barrière entre l'eau contenue dans l'air et le produit. La méthode la plus courante actuellement est d'emballer le produit dans un film protecteur, papier ou plastique.

Chapitre III : LE SUCRE

I. Définition [7], [13]

Le sucre est un terme générique appliqué aux composés chimiques faisant partie du groupe des glucides solubles dans l'eau. Il est généralement incolore, inodore, de saveur plus ou moins sucrée, et cristallisable dans la plupart des cas. D'une manière plus générale, le terme "sucre" peut se rapporter à un ose quelconque mais dans le langage courant, le sucre désigne le saccharose, et, par extension, tous les monosaccharides, disaccharides et trisaccharides. Cette appellation les différencie des polysaccharides tels que l'amidon, la cellulose et le glycogène. Toutefois, d'autres composés de la même famille des saccharides ont également une saveur douce ; comme le glucose, de plus en plus utilisé par l'industrie agroalimentaire. Le saccharose peut être extrait de la betterave sucrière ou de la canne à sucre. Il peut aussi se trouver sous différents noms comme reiniose ou encore sucrose.

II. Propriétés physico-chimiques du saccharose [14], [15], [16], [17], [18], [19]

Le saccharose a une masse moléculaire de 342 g/mol et sa formule brute est $C_{12}H_{22}O_{11}$.

1. Formule de la molécule de saccharose

Selon la nomenclature officielle IUPAC- IUB, le saccharose est un α -D-glucopyranosyl-(1-2)- β -D-fructofuranoside. La structure du saccharose regroupe huit fonctions hydroxyles dont trois sont primaires (C-6, C-6', C-1'), et les cinq autres sont secondaires (C-2, C-3, C-3', C-4, C-4'). La structure cristalline est consolidée par deux liaisons hydrogènes intramoléculaires (O2...HO1') et (O5...HO6').

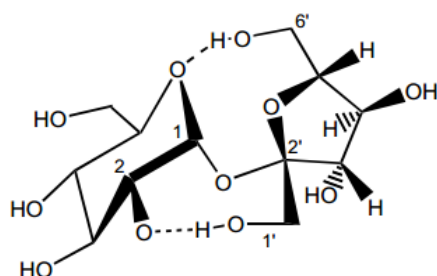


Figure N° 08 : Molécule de saccharose dans le cristal (structure 3D)

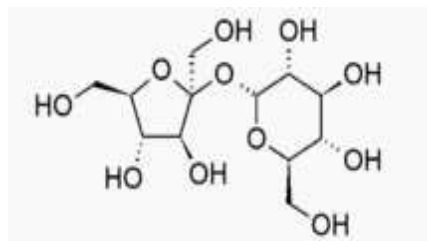


Figure N° 09 : Saccharose en représentation polygonale

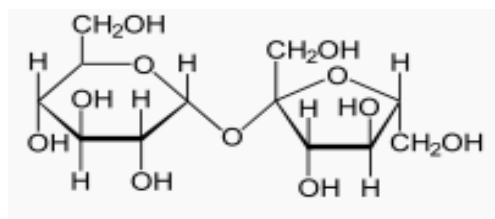


Figure N° 10 : Saccharose en représentation de Haworth

2. Hydrolyse

La molécule de saccharose appartient à la famille **des alcools** avec le groupement caractéristique **–OH**, et est composée de carbone (C), d'oxygène (O) et d'hydrogène (H). L'hydrolyse du saccharose par voie chimique (sous l'influence d'un acide ou à haute température) ou enzymatique donne un mélange équimolaire de glucose et de fructose : le sucre inverti. C'est en fait, la décomposition de la molécule de saccharose par l'eau, grâce aux ions **H₃O⁺** et **OH⁻**.

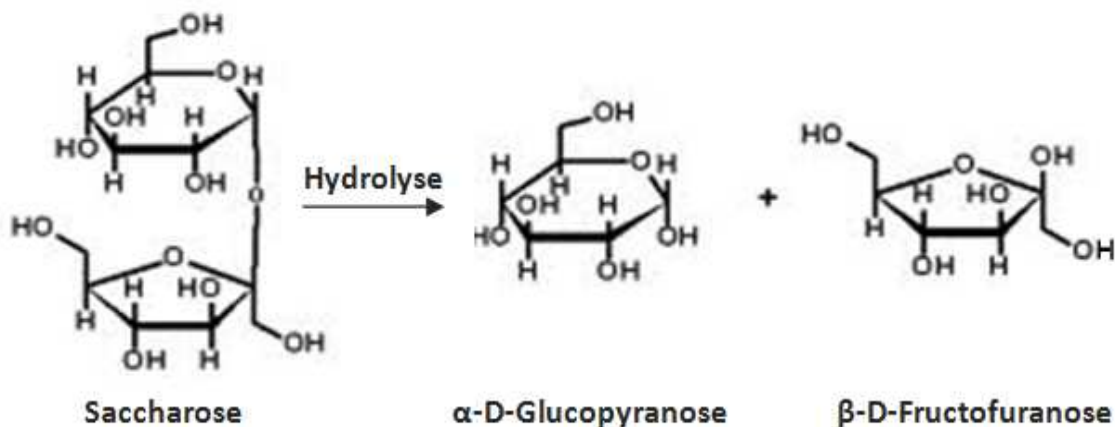


Figure N° 11 : Hydrolyse d'une molécule de saccharose en glucose et en fructose

Lorsque le saccharose est en présence d'eau et d'une enzyme invertase, appelée saccharase, à une température d'environ 37 °C, il y a une hydrolyse. Cette enzyme va couper le saccharose en une molécule de fructose et une molécule de glucose. C'est une protéine qui va jouer un rôle de **catalyseur** ; c'est à dire une substance qui va être capable d'accélérer la réaction chimique sans pour autant en modifier ses propriétés.

3. Solubilité

Le saccharose est très soluble dans l'eau. A 0°C, on peut dissoudre jusqu'à 180g de sucre dans 100g d'eau pure (concentration de plus de 64% en poids total). Par contre, il est pratiquement insoluble dans l'alcool pur.

4. Aspect commercial

Le sucre du commerce se présente sous la forme d'une matière cristalline blanche et brillante (prismes rhomboïdes), non hygroscopique. Il est inodore et de saveur sucrée. Son humidité est très faible, de l'ordre de 0,05%, avec une très grande stabilité au stockage.

5. Typologie

Les principales formes de sucre normalisées les plus connues sont :

- **Sucre blanc** : doit contenir plus de 99,8 % de saccharose purifié, blanchi et cristallisé, c'est celui qu'on appelle couramment sucre cristal (ou cristallisé) ou sucre semoule, selon la taille des cristaux.
- **Sucre mi-blanc** : doit contenir plus de 99,6 % de saccharose.
- **Sucre glace, sucre en poudre ou sucre impalpable** : cristaux de sucre blanc moulus en une poudre très fine.
- **Sucre en morceaux** : cubes, ou parallélépipèdes rectangles de sucre, obtenus en liant des cristaux de sucre avec du sirop de sucre ; à dissoudre dans un liquide chaud.
- **Sucre roux** : c'est soit du sucre brut cuit (sucre de canne roux véritable), soit du sucre raffiné recoloré avec de la mélasse ou des colorants.
- **Sucre blond** : sucre issu de l'agriculture biologique, c'est un sucre non raffiné dont on a enlevé une partie de la mélasse, puis cristallisé et déshydraté.
- **Cassonade** : sucre granuleux aux reflets dorés, obtenu par cristallisation du sucre de canne roux. Du sucre raffiné recoloré à la mélasse peut être vendu sous cette appellation.
- **Sucre candi (ou candy)** : obtenu par cristallisation lente d'un sirop, ce qui forme de gros cristaux. Son nom vient du mot « sucre » en arabe : « qandi ».
- **Sucre gélifiant** : sucre cristallisé additionné de pectine de fruit et d'acide citrique naturel ; il est utilisé pour la fabrication des confitures.
- **Sucre inversé** : (sucre liquide inversé ou sirop de sucre inversé) solution aqueuse de saccharose partiellement inversée par hydrolyse (décomposé par l'eau, le saccharose se transforme en glucose et en fructose).
- **Vergeoise** : sucre moelleux provenant d'un sirop de betterave recuit.
- **Sucre complet** : sucre non raffiné, totalement pourvu de sa mélasse, cristallisé puis déshydraté.
- **Sucre de canne complet ou sucre intégral** : sucre non raffiné et totalement pourvu de sa mélasse, il est le résultat direct du pressage de la canne, obtenu après évaporation de l'eau.

6. Dégradation thermique

Le saccharose caramélise à 160 °C. En étant chauffé à sec, il commence d'abord à fondre ; puis il se décompose en produits bruns à partir de 160 °C avant de brûler (carboniser) vers 190°C, en donnant un résidu de charbon de sucre. En présence d'air ou d'oxygène, il y a combustion et formation de dioxyde de carbone et d'eau.

7. Chaleurs de dissolution et de cristallisation

Quand on dissout des cristaux de sucre dans l'eau, la température de la dissolution diminue légèrement du fait d'une chaleur de dissolution faiblement négative. A l'inverse, lorsque le sucre cristallise, il y a dégagement de chaleur. Par exemple, en confiserie, la taille des cristaux de sucre, dans une solution sursaturée, est affectée par la température d'agitation. Plus celle-ci est élevée et plus la taille des cristaux est importante.

8. Température d'ébullition et point de congélation

Le point d'ébullition d'une solution de sucre sous pression atmosphérique est toujours supérieur à celui de l'eau pure (100°C) ; et le point de congélation toujours inférieur à 0°C. Ces deux paramètres varient avec la concentration du liquide.

9. Activité de l'eau

L'hygroscopicité s'exprime par l'Humidité Relative d'Equilibre (HRE) ou par l'activité de l'eau (A_w). Elle caractérise l'aptitude d'un produit à retenir ou à absorber l'eau ; plus l'hygroscopicité d'un produit est faible, et plus l'activité de l'eau sera également faible. Le saccharose a une A_w de 0,77, point où bactéries, moisissures et levures peuvent encore se développer. En confiserie, le sucre inverti est utilisé pour englober le saccharose et ainsi le protéger contre l'humidité et l'empêcher de cristalliser.

III. Les propriétés technologiques et organoleptiques du saccharose [20], [21], [22]

Les saccharoses sont dotés de nombreuses propriétés technologiques et organoleptiques qui les rendent attractifs pour l'industrie alimentaire. En effet, outre leur pouvoir sucrant naturel, les sucres sont aussi employés comme colorant, exhausteur d'arômes, agent de texture, de conservation et de fermentation.

1. Pouvoir sucrant

Le saccharose a un pouvoir sucrant plus marqué que le glucose mais inférieur à celui du fructose. Le pouvoir sucrant du saccharose sert de référence dans l'échelle des produits sucrants, c'est-à-dire qu'il est considéré comme égal à 1 par convention. Le saccharose se cristallise facilement et est de ce fait largement utilisé en confiserie.

2. Agent de coloration

Sous l'effet de la cuisson et d'un ensemble de réactions chimiques, le saccharose ou le glucose pur caramélisent aboutissant à la formation de colorants pouvant aller du jaune doré au brun foncé. Les caramels industriels (E 150) à base de saccharose ou de glucose pur sont largement utilisés dans l'industrie alimentaire comme agent de coloration notamment dans les sodas, les bières brunes, les vinaigres, les glaces, les biscuits, les bonbons et les sauces brunes.

3. Exhausteur de goût

En plus de leur pouvoir édulcorant naturel, les sucres possèdent des propriétés exhausteurs de goût qui permettent de renforcer certains arômes et de rétablir l'équilibre entre le sucré et l'acidité. Ainsi on retrouve souvent le sucre dans de nombreux produits à base de fruits tels les jus de fruits, les conserves de fruits, les glaces et les bonbons, afin "d'arrondir" l'acidité en bouche et de souligner les notes fruitées.

4. Agent de texture

La texture finale des produits de confiserie varie en fonction des traitements technologiques que l'on réalise sur les solutions de sucre. Toutes les sortes de sucres sont, en effet, utilisées par l'industrie afin de donner "du corps" aux aliments. Ainsi, les sucres sont quasiment omniprésents dans les aliments à base de céréales où ils favorisent une pâte souple, ou en confiserie où ils confèrent une certaine stabilité et matière aux préparations (le croquant du chocolat, la tenue des mousses et des confitures, le fondant des dragées et autres confiseries).

5. Agent de conservation

Il s'agit là essentiellement du saccharose qui possède la faculté de retarder la dégradation des aliments, à concentration élevée. En effet, de part de sa très faible teneur en eau, le saccharose empêche le développement de la quasi totalité des microorganismes ce qui augmente la durée de conservation des aliments. La conservation par le sucre est un savoir-faire connu depuis de nombreux siècles et que l'on retrouve encore de nos jours dans la fabrication des confiseries et des confitures. L'exemple typique en confiserie est celui des fruits confits. Les fruits sont immergés dans des solutions de concentrations croissantes de sucre aboutissant à un séchage partiel des aliments par osmose.

6. La fermentation

Le saccharose possède une grande faculté de fermentation. Cette fermentation est connue et utilisée depuis fort longtemps, notamment pour la fabrication des boissons alcoolisées. Aujourd'hui encore, les vignerons utilisent parfois le saccharose pour augmenter le degré d'alcool de certains vins doux ou pour donner "le pétillant" au champagne, C'est la fermentation dite "alcoolique". La fermentation s'observe également lors de la fabrication de pâtes levées où les glucides, présents dans les céréales sont transformés, par les levures en bulles de gaz (CO_2), ce qui permet d'obtenir une pâte aérée.

7. Agent de masse

Avant de considérer les interactions qui s'établissent entre le saccharose et les autres composants, il faut noter que le sucre apporte à lui seul une charge, une masse, qui participe au «corps» de tous les produits sucrés. La sensation d'une consistance agréable en bouche ou palatabilité, est fournie par le sucre et est importante pour l'acceptation finale du produit sur le plan organoleptique.

Chapitre IV : LE SIROP DE SUCRE-LE SIROP DE GLUCOSE

I. Le sirop de sucre

1. Définition [23], [24]

Le sirop de sucre ou sirop simple est une solution de saccharose dans l'eau à une concentration voisine de la saturation et d'aspect visqueux. La quantité de sucre utilisée se détermine selon le degré Brix voulu pour la solution. Le sirop de sucre se prépare à chaud ou à froid et sert de base à diverses préparations : confitures, confiseries, biscuits, pâtisseries... On le prépare avec du sucre blanc et de l'eau. Le sirop de sucre doit être INCOLORE, LIMPIDE, TRES SUCRE, INODORE et SANS ARRIERE GOÛT. La viscosité provient des nombreuses liaisons hydrogène entre les molécules de sucre dissoutes, porteuses de groupements hydroxyles, et l'eau. Techniquement, le terme « sirop » est aussi employé pour qualifier des liquides visqueux contenant d'autres choses à part le sucre, comme des arômes ou des colorants.

2. La concentration du sirop [2], [24], [25]

La concentration se mesure en degrés Baumé. Plus elle est élevée, plus sa viscosité augmente. L'aspect et la consistance (viscosité) d'un sirop se définit par des termes comme filet, lissé, perlé, boulé, etc. Par exemple, lorsque la température atteint 100 °C, le sirop est au stade de cuisson du nappé. Il correspond à 20° Baumé. Puis vient le petit filet, puis le petit lissé (25° Baumé), le perlé, le grand lissé (30° Baumé), le filet (35° Baumé), etc. Un sirop léger se fait avec 250 g de sucre par litre d'eau, un sirop concentré peut aller jusqu'à poids pour poids de sucre et d'eau. Pour éviter la cristallisation, il suffit d'ajouter un acide (acide citrique). Du fait de leur très forte teneur en sucre, les sirops se dénaturent très peu par attaque microbienne, et se conservent longtemps. En effet, par osmose, l'eau est attirée vers l'extérieur des germes, ce qui les dessèche.

3. Les degrés de cuisson du sucre [26]

Dans leur grande majorité, les bonbons sont fabriqués à partir du sucre, qui va être travaillé différemment selon le type de bonbons et confiseries à produire. Un travail minutieux qui nécessite précision et savoir-faire : la température de cuisson, la viscosité d'une pâte, l'évaporation de l'eau,... sont des étapes et des paramètres primordiaux. Alors qu'auparavant, les confiseurs n'avaient d'autres solutions que de goûter le sucre lors de la cuisson, la technologie nous permet aujourd'hui de déterminer précisément les stades de cuisson à partir des températures : le sirop passe donc par différentes phases qui ont chacune un nom et une utilisation, elles sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau N° 01 : Les différentes phases du sirop de sucre

Température	Phase	Propriétés et Utilisations
100°C	Le nappé ou petit filet	C'est un simple sirop de sucre.
102°C	Le filet	Le sirop retombe en filet.
109 à 116°C	Le petit boulé	Le sirop forme une sorte de gomme molle. Il sert aux fondants et aux confitures.
120 à 126°C	Le grand boulé	Le sirop versé en goutte dans l'eau froide ne se dilue pas et se roule facilement en boule. Il sert à la cuisson des caramels mous, du nougat, et des guimauves.
145 à 150°C	Le cassé	Le sirop durcit et devient cassant. Il sert à fabriquer tous les bonbons durs comme les berlingots, les pastilles, etc.
151 à 170°C	Le caramel	Le sirop se colore et aromatise tout type de préparation. Il permet également la réalisation de la nougatine, du praliné, etc.

II. Le sirop de glucose

1. Définition [27], [28]

Le sirop de glucose est un ingrédient très utilisé par l'industrie agroalimentaire. Il se présente sous l'aspect d'un sirop épais, INCOLORE et TRANSPARENT, et c'est sous cette forme qu'il est utilisé. Le sirop de glucose, obtenu à partir d'amidon et/ou de fécule, répond aux caractéristiques suivantes :

- ✓ **Matière sèche** : pas moins de 70 % en poids,
- ✓ **Equivalent en dextrose (D.E.)** : pas moins de 20 % en poids calculé sur la matière sèche, exprimé en D-glucose,
- ✓ **Cendres sulfatées** : pas plus de 1% en poids sur matière sèche
- ✓ **Anhydride sulfureux total (SO₂)** : pas plus de 20 mg/kg ; pour l'emploi exclusif dans les produits de confiserie : tolérances jusqu'à 400 mg/kg.



Figure N° 12 : Sirop de glucose

2. Les caractéristiques du sirop de glucose [29]

2.1. Le Dextrose équivalent ou D.E

Le Dextrose Equivalent (D.E) est le nombre de grammes de sucres réducteurs exprimés en D-glucose pour 100grammes de matières sèches. Il permet de mesurer le degré d'avancement d'une hydrolyse, donc le degré de dégradation de l'amidon : plus le D.E est élevé, plus le sirop contient plus de glucose, et plus forte est la saveur sucrée. Suivant les D.E, on distingue :

- ❖ **les dextrines** : de 0 à 20 D.E
- ❖ **les sirops de glucose** : 20 à 95 D.E
- ❖ **le dextrose** : 95 à 100 D.E

L'amidon dont les chaînes sont très longues a un D.E égal à 0. Le dextrose qui est « l'unité » a un D.E de 100. Le maltose constitué de 2 dextroses a un D.E de 50.

Le DE indique également le pouvoir de rétention d'eau d'un sirop de glucose : plus le D.E sera élevé, plus le sirop retiendra l'humidité et inversement.

2.2. Composition des sirops de glucose

La composition des sirops de glucose dépend du degré d'avancement de l'hydrolyse, mais aussi de la nature de l'hydrolyse effectuée. Les sucres composants les sirops de glucose sont tous des assemblages de dextrose :

- **le dextrose, ou D-glucose** : l'unité
- **le maltose** : 2 unités
- **le maltotriose** : 3 unités
- **le maltotétraose** : 4 unités
- **le maltopentaose** : 5 unités
- **le maltohexaose** : 6 unités
- **le maltoheptaose** : 7 unités
- **les polysaccharides supérieurs** : plus de 7 unités

2.3. Matières sèches

Les sirops de glucose couramment utilisés ont une teneur en matières sèches voisine de 80%, ce qui correspond à l'ancien 43°Baumé, et ce bien entendu quelque soit le Dextrose Equivalent (D.E). Cependant, certains types de sirops de glucose, en particulier des sirops à bas D.E, existent avec un taux de matières sèches supérieur à 80%, 82% ou 85% par exemple.

2.4. La densité

La densité du sirop de glucose varie avec la matière sèche, le Dextrose Equivalent et le type d'hydrolyse. Les sirops habituellement utilisés ayant une matière sèche voisine de 79%, ont une densité proche de 1,420 à 15°C.

2.5. La teneur en SO₂

Le SO₂ ou anhydride sulfureux permet d'éviter la coloration au cours de la fabrication, il se combine aux sucres réducteurs, particulièrement au dextrose, ce qui limite les risques de coloration. Le SO₂ est en grande partie éliminé au cours de la cuisson.

2.6. Le pH

Le pH est ajusté à 5, et ceci de façon à éviter toutes les réactions chimiques secondaires qui pourraient se produire.

2.7. La teneur en cendres

La teneur en cendres est représentée dans leur presque totalité par le chlorure de sodium, provenant de la neutralisation de l'acide utilisé pour l'hydrolyse.

2.8. Le pouvoir rotatoire

Le pouvoir rotatoire varie avec le Dextrose Equivalent (D.E). Il diminue quand le D.E augmente.

3. Propriétés physiques

Le sirop de glucose a un pouvoir sucrant moins élevé que celui du sucre et une texture assez visqueuse.

3.1. Aspect et couleur

A température d'environ 22°C, le sirop de glucose se présente sous l'aspect d'un sirop visqueux, incolore, transparent et épais.

3.2. Saveur

La saveur sucrée est proportionnelle au Dextrose Equivalent (D.E).

Exemple : le sirop de glucose à 60 D.E. a un pouvoir sucrant (P.S.) de 0,5, c'est-à-dire, la moitié que celui du saccharose, dont le P.S. égal à 1 sert de références pour tous les édulcorants.

4. Propriétés technologiques et organoleptiques [29]

4.1. La viscosité

La viscosité dépend de la longueur des molécules. Elle augmente quand le Dextrose Equivalent (D.E) diminue : le sirop de glucose à D.E bas (autour de 30) a une texture assez visqueuse, pâteuse et collante alors qu'à l'inverse, le sirop de glucose à D.E élevé (autour de 70) est plus fluide. En fait, la viscosité dépend de la composition du sirop de glucose ; ou plus précisément du rapport entre sucres à chaînes courtes et sucres à chaînes longues. Le chauffage diminue la viscosité des sirops de glucose à haute densité. Outre la température et le Dextrose Equivalent, la matière sèche du sirop de glucose a une grande influence sur la viscosité du sirop. C'est pourquoi, il est difficile de donner des relations pour exprimer des valeurs sa viscosité du fait de ces trois paramètres.

Exemples :

A 20°C, 28 D.E, MS 78,5% : 360000 cpoise

A 20°C, 60 D.E, MS 78,5% : 18000 cpoise

A 50°C, 28 D.E, MS 78,5% : 7000 cpoise

A 50°C, 60 D.E, MS 78,5% : 800 cpoise

Un sirop de glucose de haute viscosité (bas D.E) a plus de « pouvoir liant », donnant plus de cohésion au produit auquel il est incorporé. La viscosité accentue l'effet d'anticristallisant du sirop de glucose et limite la tendance à la déformation du produit.

4.2. Pouvoir anticristallisant

Le sirop de glucose permet d'empêcher la cristallisation du saccharose, qui se trouve en saturation, dans la grande majorité des produits de confiserie. Il y a donc des risques importants de cristallisation. Les sirops de glucose à bas Dextrose Equivalent ont un pouvoir anticristallisant supérieur à celui des hauts Dextrose Equivalent. Il est à noter également que le sirop de glucose joue le rôle d'anticristallisation de l'eau lors de sa congélation.

4.3. Hygroscopicité et influence sur l'humidité relative d'équilibre

L'hygroscopicité des sirops de glucose dépend de la composition, donc du Dextrose Equivalent. Elle croît avec le D.E, ceci étant directement lié au poids moléculaire. Les petites molécules abaissent l'humidité relative d'équilibre, alors que les polysaccharides sont moins hygroscopiques. Aussi, les sirops à haut Dextrose Equivalent sont utilisés dans les produits ayant tendance à la dessiccation, et les bas D.E dans les produits ayant tendance à remouiller.

4.4. Pouvoir sucrant et rehaussement des arômes

Le pouvoir sucrant des sirops de glucose est inférieur à celui du saccharose. Cette valeur sucrée diminue dans le même sens que le Dextrose Equivalent. Le sirop de glucose est rarement utilisé seul mais en mélange. Dans ce cas, la saveur sucrée du mélange est généralement supérieure à celle de ces composants. Les sirops de glucose à bas Dextrose Equivalent, par la présence des grosses molécules peuvent cacher certains arômes ou composants des arômes au niveau des papilles gustatives.

4.5. Brunissement

Les sirops de glucose ont tendance à intervenir dans les réactions de Maillard, et ce d'autant plus qu'ils sont réducteurs. Les sirops de glucose à haut D.E ont une plus grande influence sur la coloration que les sirops à bas D.E.

5. Les types de sirop de glucose

Le Dextrose Equivalent (D.E) est représentatif de la composition en sucres pour un type d'hydrolyse donné (acide, enzymatique ou mixte). Quatre types de sirop de glucose sont principalement utilisés ; ils sont représentés dans le tableau suivant, avec chacun leur mode d'obtention :

Tableau N° 02 : Les types de sirop de glucose

Types	Valeur du D.E	Mode d'obtention
Les très bas D.E	20-28	par voie acide ou enzymatique
Les bas D.E	36-38	par voie acide ou enzymatique
Les D.E « standards »	40-44	par voie acide ou enzymatique
Les hauts D.E	60-64	par voie enzymatique ou acide-enzyme (à la fois acide et enzymatique)

Les sirops de glucose obtenus par voie enzymatique, de Dextrose Equivalent voisin de 42, sont souvent appelés « sirop de glucose à haute teneur en maltose » (high maltose). Dans ce cas, la teneur en maltose varie de 40 à 50%.

6. Obtention du sirop de glucose [27]

Les sirops de glucose peuvent être obtenus par hydrolyse enzymatique ou acide d'une matière amylacée, essentiellement d'amidons et de féculs extraits du maïs, de la pomme de terre, du blé de l'orge. A l'état naturel, l'amidon apparaît sous la forme de granules microscopiques qui, disséminées dans l'eau, sont insolubles et constituent une suspension appelée "lait d'amidon" ou "empois d'amidon". Pour pratiquer l'hydrolyse, ce lait d'amidon doit être chauffé fortement de manière à faire éclater les granules et libérer les molécules d'amidon. L'hydrolyse est ensuite effectuée sur cet empois et peut être orientée par voie acide et/ou enzymatique (même principe que la digestion de l'amidon par l'Homme).

6.1 L'hydrolyse acide

L'hydrolyse acide s'effectue sous pression et chauffage (110°C), à partir d'une suspension d'amidon de maïs dans de l'eau distillée, dont le pH a été amené à 2,5 environ, par addition d'acide chlorhydrique pur (ou autre). La chaîne moléculaire de l'amidon est rompue au hasard, un jus plus ou moins concentré en glucose s'écoule.

6.2 L'hydrolyse enzymatique

L'hydrolyse enzymatique s'effectue également à chaud et sous pression. L'amidon traité est mis en présence d'enzymes, qui peuvent être du glucamylase ou de l'amyase.

Chapitre V : TRAITEMENT DE LA SOLUTION DE SUCRE

ISSUE DE LA DISSOLUTION DES BONBONS DURS

L'objectif de cette étude est l'obtention de sirop de sucre à partir des déchets de bonbons durs. Lors de la refonte ou dissolution de ces derniers, la solution obtenue, est encore dotée de couleur et d'odeur, du fait de la présence de colorants alimentaires et d'arômes. Pour avoir les spécifications requises pour le sirop de sucre, il est alors nécessaire de traiter la solution sucrée avec des agents de décoloration et de désodorisation. Les agents de traitement les plus utilisés sont le charbon actif et la terre décolorante.

I. Les agents de traitement

1. Le charbon actif

1.1. Définition [30], [31]

Le charbon actif est un carbone microporeux inerte qui a subi un traitement pour augmenter sa surface spécifique. Il possède ainsi une très grande surface spécifique pouvant aller de 100 à 2000 m².g⁻¹ d'où sa grande capacité d'adsorption. La structure du charbon actif est proche de celle du graphite, ordonnée sous la forme d'un empilement de couches successives planes d'atomes de carbone disposés en hexagones réguliers. Le charbon actif est un adsorbant non spécifique avec une structure poreuse bien développée formée majoritairement par des micropores et des mésopores de différents diamètres.

Le charbon actif est un adsorbant, c'est-à-dire il a la capacité d'attirer et de fixer à sa surface certains composés avec lesquels il entre en contact, et il est donc en mesure d'éliminer de la solution de sucre les impuretés y contenues, parmi lesquelles les substances non voulues responsables de couleur et d'odeur. Cette caractéristique dérive de la surface active extrêmement étendue qui est le résultat d'une porosité très fine et développée. Les paramètres qui peuvent influencer le traitement de décoloration sont:

- **la quantité de charbon utilisé qui augmente lorsque les impuretés à éliminer augmentent;**
- **la température de traitement. Lorsque la température augmente, la viscosité de la solution de sucre diminue, améliorant l'accès des impuretés aux porosités du charbon actif et donc leur élimination;**

- le temps de contact nécessaire pour garantir l'accès des impuretés aux porosités du charbon actif. D'après la littérature, un temps de contact de 30 minutes est considéré optimal;
- le pH qui peut entraîner la dissolution de cendres inorganiques ou adsorber de préférence un constituant acide ou basique de la solution.

1.2. Utilisations des charbons actifs

Dans les industries alimentaires et les industries des boissons, le charbon actif est utilisé pour :

- ✓ Décolorer les sirops de sucre de canne et de betteraves, purifier le glucose, le fructose et les édulcorants.
- ✓ Décolorer et purifier les acides organiques et les acides aminés issus de procédés fermentaires.
- ✓ Éliminer les composés odorants et colorants indésirables.
- ✓ Éliminer les goûts, les composés odorants ou colorants indésirables des boissons alcoolisées telles que le vin, la vodka, le vermouth, la bière.

Le charbon actif peut adsorber les substances solubles suivantes :

- ✓ substances organiques et non polaires comme les huiles minérales, les BTEX, les polyhydrocarbures aromatiques (PACs), les phénols (chlorure)
- ✓ substances halogénées : Iode, Brome, Chlore et Fluor
- ✓ odeur, goût, levures, divers produits de fermentation
- ✓ substances non polaires (non solubles dans l'eau)

1.3. Différents types de charbon actif

1.2.1. Charbon actif en poudre (CAP) [32]

Le charbon actif en poudre présente une granulométrie inférieure à 100 micromètres ($<100\mu\text{m}$) avec un diamètre moyen situé entre 15 et 25 μm . Ils ont une large surface externe et une faible profondeur de diffusion, ce qui engendre une vitesse d'adsorption très rapide.



Figure N° 13 : Charbon actif en poudre CAP

1.2.2. Charbon actif en grain (CAG) [31]

La forme granulaire du charbon est caractérisée par une taille des particules supérieure à 1 millimètre (>1 mm), un faible diamètre des pores, une grande surface interne, et une externe relativement faible. Il en résulte que les phénomènes de diffusion à l'intérieur des pores prennent une grande importance dans le processus d'adsorption.



Figure N° 14 : Charbon actif en grain CAG

2. La terre décolorante [34], [35], [36]

La terre décolorante est une poudre généralement blanche, inodore, insipide, plus dense que l'eau, dotée d'une capacité d'adsorption et disposant d'un pouvoir décolorant. Sa grande surface de contact (surface spécifique) lui confère une haute capacité absorbante. La terre décolorante est généralement de l'argile ou du kaolin activé, ou de la terre de diatomée. Elle peut être utilisée pour le raffinement et la purification des huiles minérales et végétales, telles que l'huile de palme, de colza, de soja et de coton. Du fait de son pouvoir décolorant, elle peut aussi être employée pour décolorer des solutions sucrées.



Figure N° 15 : Terre décolorante

II. Le phénomène d'adsorption [32], [37], [38], [39]

Le phénomène physique généralement présent dans le traitement de la solution obtenue par dissolution des bonbons durs est le phénomène d'adsorption.

1. Définition

L'adsorption est un phénomène de surface, pouvant être définie comme une opération exploitant l'aptitude de certains solides à fixer spécifiquement à leur surface les constituants d'un mélange (liquide ou gazeux), permettant ainsi leur séparation. Elle est basée sur des interactions spécifiques (thermodynamique et / ou cinétique), privilégiée et sélective, entre la surface d'un matériau (adsorbant) et une substance chimique (adsorbat).

2. Les types d'adsorption

On distingue deux types d'adsorption qui sont le plus souvent mis en jeu simultanément :

2.1. Adsorption physique (physisorption)

L'adsorption physique ou adsorption de van der Waals est un phénomène réversible qui résulte des forces intermoléculaires d'attraction entre les molécules du solide et celle de la substance adsorbée. Ce phénomène contrôlé par la diffusion des molécules atteint son équilibre rapidement (quelques secondes à quelques minutes), mais peut se prolonger sur des temps très longs pour les adsorbants microporeux en raison du ralentissement de la diffusion de l'adsorbat dans ses structures de dimensions voisines du diamètre des molécules de l'adsorbant.

2.2. Adsorption chimique (chimisorption)

L'adsorption chimique ou adsorption activée résulte d'une interaction chimique qui se traduit par un transfert d'électrons entre le solide et l'adsorbat. Il y a alors formation d'un composé chimique à la surface de l'adsorbant. Ce type d'adsorption se développe à haute température et met en jeu une enthalpie de transformation élevée.

3. Les différentes étapes de l'adsorption

Si l'adsorption de l'adsorbat se fait sur un solide à la fois finement divisé et ayant une porosité interne, elle se décompose suivant différentes étapes schématisées ci-après :

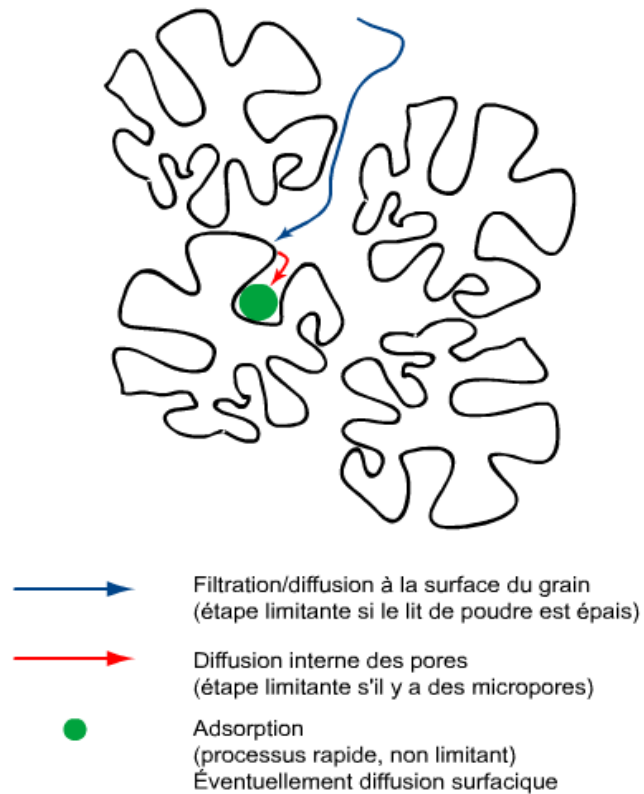


Figure N° 16 : Les différentes étapes de l'adsorption

III. La filtration [2]

La filtration est une étape très importante après le traitement avec le charbon actif ou la terre décolorante. La filtration détermine le temps global du procédé et la qualité du produit final.

1. Définition

La filtration est une opération plus qu'indispensable dans la valorisation des bonbons durs. C'est une technique très utilisée dans le domaine de l'agroalimentaire, et permet de séparer les constituants d'un mélange, possédant une phase liquide et une phase solide, à travers un milieu poreux. L'utilisation d'un filtre permet de retenir les particules du mélange hétérogène qui sont plus grosses que les mailles du filtre. Le liquide ayant subi la filtration se nomme filtrat, et ce que le filtre retient se nomme un résidu, aussi communément appelé « gâteau » ou « retentât ».

2. Classification

2.1. Classification selon le mode de passage du fluide

Il existe deux principales techniques de filtration qui sont représentées dans le tableau suivant:

Tableau N° 03 : Les techniques de filtration

Désignation	PRINCIPE
La filtration frontale (la plus connue)	Elle consiste à faire passer le fluide à filtrer perpendiculairement à la surface du filtre. Les particules étant retenues par le filtre, cette technique est limitée par l'accumulation des particules à sa surface, qui finissent peu à peu par le boucher : on parle de colmatage du filtre.
La filtration tangentielle	Elle consiste à faire passer le fluide tangentiellement à la surface du filtre. C'est la pression du fluide qui permet à celui-ci de le traverser. Les particules, dans ce cas, restent dans le flux de circulation tangential, et le bouchage s'effectue ainsi beaucoup moins vite. Cependant, cette technique est réservée à la filtration des très petites particules, d'une taille allant du nanomètre jusqu'au micromètre.

2.2. Classification selon la dimension des particules

On peut aussi nommer différemment l'opération de filtration suivant la taille des pores du filtre :

- **Filtration clarifiante** : lorsque le diamètre des pores se situe entre 10 et 450 micromètres.
- **Microfiltration** : lorsque le diamètre des pores se situe entre 10^{-2} et 10 micromètres.
- **Ultrafiltration** : lorsque le diamètre des pores se situe entre 10^{-3} et 10^{-2} micromètres.
- **Osmose inverse** : lorsque le diamètre des pores se situe entre 10^{-4} et 10^{-3} micromètres.
- **Filtration stérilisante** : lorsque le diamètre des pores est inférieur à 0,22 micromètres (permet la rétention de Micro-organisme).

3. Mécanismes de filtration

3.1. Le criblage ou tamisage

C'est un phénomène mécanique, autrement appelé filtration en surface. Le filtre est une membrane perforée par des pores calibrés et de diamètres voisins. Le filtre retient toutes les particules dont le diamètre est supérieur au diamètre des pores. On parle de filtre écran ou de filtre membrane. L'avantage de cette technique est qu'elle ne retient pas les liquides.

Les inconvénients du criblage peuvent être les suivants :

- **Possibilité de colmatage du filtre. Pour y pallier, on augmente le diamètre du filtre et/ou on utilise un préfiltre de diamètre supérieur.**
- **Faible capacité de rétention.**

3.2. La filtration en profondeur

Ce mécanisme consiste à retenir à l'intérieur du réseau poreux du filtre, des particules dont la taille peut être inférieure au diamètre des pores.

C'est un phénomène physique, avec 2 facteurs principaux :

- **Réseau poreux chargé électriquement, constitué par de longs et fins canalicules fortement contournés.**
- **Filtres constitués de cellulose, laine, coton.**

L'avantage principal est la grande capacité de rétention.

Les inconvénients sont les suivants :

- **Possibilité de relâcher les particules (relarguage ou désorption).**
- **Absorption de liquides.**
- **Difficulté de définir la porosité.**

4. Caractéristiques physiques des filtres

4.1. Capacité de rétention

Elle correspond au diamètre de la plus grande particule solide qui passe à travers le filtre. Selon le mécanisme, on parlera de **diamètre moyen des pores** (pour le criblage) ou de **seuil de rétention** (pour la filtration en profondeur).

- Diamètre moyen des pores

La porosité est le diamètre maximum des particules retenues par le filtre. La porosité est déterminée par la mesure d'une pression, selon la formule suivante :

$$d = 4 \frac{K \alpha}{P} \quad \begin{cases} d, & \text{Diamètre des pores} \\ K, & \text{Constante des conditions opératoires} \\ \alpha, & \text{Tension superficielle du liquide} \\ P, & \text{Pression} \end{cases}$$

Il y a une arrivée d'air comprimé dans un tube hermétiquement clos qui contient le filtre à étudier. De l'eau est apportée pour humecter la partie supérieure du filtre. Puis, on augmente progressivement la pression de l'air et on note la pression nécessaire pour faire apparaître la première bulle d'air, c'est le point de bulle, permettant de déterminer la taille des particules les plus grosses pouvant passer à travers le filtre et donc, sa spécificité. Après avoir encore augmenté la pression, des bulles apparaissent sur l'ensemble de la surface, et on obtient le diamètre moyen des pores.

Grâce à la formule, on calcule deux valeurs de porosité :

1. le diamètre des plus gros pores
2. la porosité proprement dite du filtre

- Seuil de rétention

C'est le diamètre de la plus grande particule sphérique solide qui passe au travers du filtre dans des conditions données. Il correspond à 1 % des particules d'un diamètre donné retenues par le filtre.

4.2. Débit de filtration

Il correspond à la quantité de filtrat recueillie pendant une unité de temps. La formule de Poiseuille permet théoriquement de le déterminer :

$$V = \frac{N.dP.R^4}{8.\eta.L} \quad \begin{cases} V, & \text{Debit en mL/min} \\ N, & \text{Nombre de canaux (proportionnel la surface)} \\ dP, & \text{Difference de pression entre les deux faces du filtre} \\ R, & \text{Rayon moyen des pores} \\ L, & \text{épaisseur du filtre} \end{cases}$$

Le débit augmente avec la surface, la pression et le diamètre des pores. Il diminue avec la viscosité du fluide et la longueur du filtre.

Ce débit n'est pas constant, car il se produit un phénomène de colmatage. Le colmatage ralentit la filtration par augmentation de l'épaisseur du filtre, mais aussi par réduction du diamètre des pores.

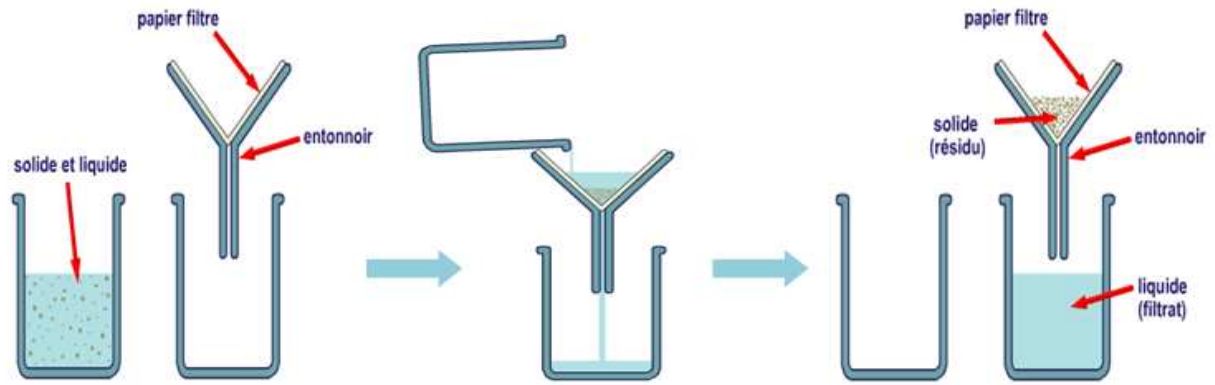


Figure N° 17 : Les différentes étapes d'une filtration

CONCLUSION PARTIELLE

Cette première partie nous renseigne sur les caractéristiques des bonbons durs à valoriser, du sirop de sucre, produit final attendu, ainsi que des agents adsorbants comme le charbon actif et la terre décolorante. Les constituants des bonbons durs sont généralement le sucre, les arômes et les colorants. Un sirop de sucre, par contre, doit être incolore, limpide, très sucré, inodore et sans arrière-goût. La valorisation des déchets de bonbons durs en sirop de sucre consiste alors à la décoloration et la désodorisation de la solution initiale, avec des opérations telles que la dissolution des bonbons durs, la filtration, et éventuellement l'évaporation. Pour cela, les agents de traitement qui vont être utilisés lors des différentes expérimentations sont le charbon actif et la terre décolorante.

Deuxième partie : ETUDES EXPERIMENTALES

Chapitre I : PROCESSUS DE VALORISATION DES DECHETS DE BONBONS DURS EN SIROP DE SUCRE

I. Diagramme de valorisation

Plusieurs essais expérimentaux ont permis d'établir un procédé de valorisation des déchets de bonbons durs en sirop de sucre. A titre de rappel, l'objectif de l'étude est de décolorer et désodoriser la solution sucrée issue de la dissolution des déchets de bonbons durs. Le processus général de traitement de ces déchets bonbons peut être représenté par le diagramme suivant :



Figure N° 18 : Diagramme de valorisation des déchets de bonbons durs en sirop de sucre

II. Les matériels et les produits nécessaires

Les matériels et les produits qui ont été nécessaires durant les diverses manipulations sont listés dans le tableau suivant :

Tableau N° 04 : Matériels et produits nécessaires, leurs utilisations

N°	DESIGNATION	UTILISATION
01	Marteau	Concassage des déchets bonbons
02	Balance de précision (120g max)	Pesage des déchets bonbons
03	Spatule	Prélèvement des déchets bonbons
04	Eprouvette graduée de 100ml	Prélèvement d'eau froide
05	Pipette graduée de 10ml	Prélèvement d'eau froide
06	Béchers de 250ml et de 800ml	Dissolution des déchets bonbons
07	Agitateur magnétique	Agitation
08	Barreau aimanté	Agitation
09	Papiers filtres	Filtration de la solution
10	Entonnoirs	Filtration de la solution
11	Ballon	Evaporation sous vide
12	Balance (>120g)	Pesage du ballon avant évaporation sous vide
13	Evaporateur rotatif	Evaporation pour l'obtention du sirop
14	Réfractomètre	Détermination du degré BRIX
15	Charbon actif	Traitement de la solution
16	Terre décolorante	Traitement de la solution
17	Mortier	Concassage du charbon actif

III. Le prétraitement des déchets de bonbons durs

Les trois opérations qui constituent le prétraitement des déchets de bonbons durs avant leur valorisation sont les suivantes :

- ❖ Le triage
- ❖ Le concassage
- ❖ Le pesage

1. Le triage des déchets bonbons

Le triage consiste à répartir les déchets bonbons durs selon leur type et leur parfum, afin de pouvoir ensuite les concasser et les peser. Il est à noter que les déchets peuvent être des bonbons durs dont les critères ne sont pas conformes à la qualité requise : masse insuffisante ou bonbon dur mal emballé par exemple ; des poudres de bonbons durs ou encore des pâtes de bonbons non adaptées, formées au moment de la production proprement dite. Le tableau ci-dessous donne les différentes sortes de bonbons durs à traiter, avec respectivement leur parfum et leur couleur :

Tableau N° 05 : Les différents types de bonbons durs, leur parfum et leur couleur

TYPE	PARFUM	COULEUR
JOK	Exotique	Violette
	Fruit magique	Bleue
	Grenadine	Rose
	Ananas	Jaune
	Litchi	Blanche
OLE	Caramel	Marron
	Fraise	Rose
	Jaune	Jaune
	Lait	Blanche
PECTO	Menthol	Rouge
	Menthol	Noir
	Gingembre-citron-miel	Jaune



Figure N° 19 : OLE parfum fraise après triage

2. Le concassage des déchets bonbons

Le concassage des bonbons durs consiste à les réduire en petits morceaux, dans le but de faciliter leur dissolution dans l'eau froide. A l'échelle de laboratoire, le matériel à utiliser est un marteau. Cette opération s'avère être indispensable, car plus la taille des déchets de bonbons durs sont réduits, plus leur surface spécifique est élevée, et plus faible sera le temps de dissolution.

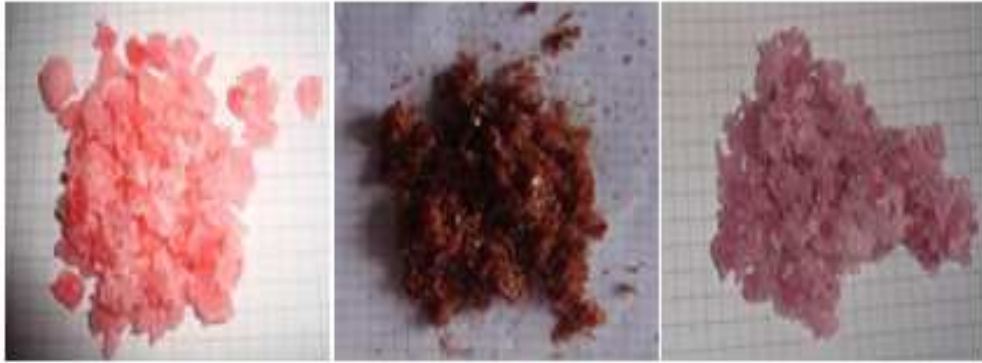


Figure N° 20 : Les déchets bonbons après concassage

3. Le pesage des déchets bonbons

Cette opération est nécessaire afin de déterminer la masse de chaque type de bonbon à traiter. Le pesage des déchets matières s'effectue à l'aide d'une balance de précision à l'échelle de laboratoire.



Figure N° 21 : La balance de précision

IV. Le traitement des déchets de bonbons durs

Les différentes opérations qui constituent le traitement des déchets bonbons sont les suivantes :

- ❖ La dissolution
- ❖ L'ajout de l'agent de traitement
- ❖ L'agitation
- ❖ La filtration
- ❖ L'évaporation
- ❖ Le conditionnement et le stockage

1. La dissolution des déchets bonbons

Il s'agit d'agiter, donc de dissoudre dans de l'eau froide les déchets de bonbons durs contenus à l'intérieur d'un récipient ou d'une cuve. A l'échelle de laboratoire, on utilise pour cela un agitateur magnétique ainsi qu'un barreau aimanté. Il faut dissoudre totalement les bonbons dans l'eau ; cela permettra de bien y répartir les colorants, et donc de favoriser l'activité ultérieure des agents de traitement.



Figure N° 22 : Dissolution des déchets bonbons dans l'eau froide

2. L'ajout de l'agent de traitement et agitation

Après pesage de l'agent de traitement (charbon actif ou terre décolorante), on l'introduit à l'intérieur du récipient ou de la cuve contenant la solution « bonbon+eau ». On procède ensuite à l'agitation du mélange, encore avec les mêmes matériels qui ont été utilisés lors de la dissolution des déchets bonbons dans l'eau. Selon leurs propriétés, le charbon actif et la terre décolorante vont jouer le rôle d'agent de décoloration et/ou de désodorisation.



Figure N° 23 : Agitation de charbon actif dans la solution « bonbon+eau »

3. La filtration

L'opération de filtration consiste à faire passer le mélange, qui vient d'être traité, à travers un filtre, pour retenir le charbon actif ou la terre décolorante, utilisé en tant qu'agent de traitement, et donc de les séparer. A l'échelle de laboratoire, on emploie des papiers filtres. Cette opération nécessite également l'utilisation d'un entonnoir.



Figure N° 24 : Filtration de la solution traitée

4. L'évaporation

L'évaporation, quant-à elle, permet d'évaporer l'eau de la solution traitée, pour augmenter la teneur en matière sèche, afin d'obtenir le sirop de sucre. L'évaporation se fait sous vide à une température allant de 40 à 60°C ; et ceci pour éviter tout risque de caramélisation ou de dégradation du produit à élaborer. A l'échelle de laboratoire, l'appareil à utiliser est un évaporateur rotatif.



Figure N° 25 : Evaporateur rotatif

Les éléments essentiels d'un évaporateur rotatif sont les suivants :

- **Une pompe à vide** : pour la création de vide.
- **Un système de réfrigération** : pour condenser l'eau évaporée.
- **Un ballon** : pour contenir la solution à évaporer.
- **Un ballon de récupération** : pour récupérer l'eau condensée par le système de réfrigération.
- **Une cuve de bain-marie** : pour chauffer le ballon contenant la solution à évaporer.
- **Un rotor** : lié au ballon contenant la solution pour lui conférer un mouvement de rotation afin de favoriser l'évaporation.

5. Conditionnement et stockage

Après l'évaporation sous vide, le sirop de sucre obtenu ; se trouvant dans le ballon, doit être transvasé à l'intérieur d'un bocal en verre puis stocké. Pour assurer la conservation du produit, on le place à l'intérieur d'un congélateur, afin d'éviter toute dénaturation ou fermentation du produit obtenu.



Figure N° 26 : Sirops de sucre conditionnés

Chapitre II : LES ESSAIS PRELIMINAIRES

I. Objectifs et intérêts des essais préliminaires

Les essais préliminaires, ou encore essais qualitatifs, ont pour but de vérifier si, pratiquement, les agents de traitement de la solution de sucre à utiliser (terre décolorante et charbon actif) sont capables de décolorer et/ou désodoriser la solution. Les essais préliminaires permettront également d'avoir une vue globale ou généralisée sur l'étude à faire :

- Détermination des propriétés des colorants pour chaque type de déchets bonbons à valoriser.
- Détermination de la différence ou de la similitude entre les différents colorants pour chaque type de bonbon et pour chaque parfum.
- Détermination des comportements des colorants vis-à-vis des agents de traitement ou inversement.

Les agents de traitement qui ont été accessibles durant les travaux pratiques sont le charbon actif et la terre décolorante.

II. Mode opératoire des essais préliminaires

La mise en œuvre des essais préliminaires ou des essais qualitatifs, pour la valorisation des déchets de bonbons durs, peut être détaillé par le mode opératoire suivant :

- Le triage des déchets bonbons durs à traiter : triage selon le type (JOK, OLE ou PECTO), et selon le parfum (fraise, caramel, exotique...)
- Le concassage puis pesage des déchets bonbons de sucres cuits.
- Le prélèvement d'eau froide à l'aide d'une éprouvette graduée de 100ml.
- La mise en solution des déchets bonbons à l'intérieur d'un bécher.
- L'agitation du mélange, par l'intermédiaire d'un agitateur magnétique et d'un barrot aimanté, jusqu'à dissolution totale des bonbons.
- Le pesage de l'agent de traitement avec une balance de précision : charbon actif ou terre décolorante, puis son introduction dans la solution « **bonbon+eau** ».
- L'agitation du mélange « **bonbon+eau+agent de traitement** », encore avec l'agitateur magnétique et le barrot aimanté. Pour les essais qualitatifs, le temps d'agitation adopté est de 5 à 20 minutes.
- La filtration de la solution à travers un papier filtre et à l'aide d'un entonnoir.
- La récupération du filtrat obtenu suivie des analyses et des interprétations des différents résultats obtenus.

III. Les paramètres considérés dans les essais préliminaires

Les éléments cités ci-dessous sont les paramètres mis en jeu lors des essais préliminaires, tant avec le charbon actif qu'avec la terre décolorante :

- **La couleur initiale et l'apparence finale de la solution (résultats) :** permettant d'effectuer une certaine comparaison et d'avoir une vue globale sur l'efficacité de l'agent de traitement vis-à-vis de la solution de sucre à traiter.
- **La quantité de déchets bonbons QDB :** caractérisant la masse de déchets matières utilisée lors des essais préliminaires.
- **La quantité d'eau froide QEF :** représentant le volume d'eau froide à prélever pour ces essais préliminaires.
- **La quantité de l'agent de traitement :** définissant la quantité de charbon actif en grain QCAG ou de terre décolorante QTD à employer.
- **Le pourcentage P :** désignant le pourcentage de charbon actif ou de terre décolorante par rapport à la quantité de déchets bonbons à recycler. Cette valeur P est donnée par la formule suivante :

$$P = \frac{QCA}{QDB} * 100 \quad \text{ou} \quad P = \frac{QTD}{QDB} * 100$$

IV. Les essais préliminaires avec le CHARBON ACTIF

1. Les caractéristiques du charbon actif

Les caractéristiques du charbon actif utilisé lors des différentes manipulations sont données par le tableau suivant :

Tableau N° 06 : Les caractéristiques du charbon actif

Marque	« Active Carbon/Aktiv-kohle/Carbon Activo » ; « hydraffin 23e »
Couleur	Noire
Apparence d'origine	Sous forme granulé
Apparence après broyage	Sous forme de poudre fine
Granulométrie après broyage	<100µm



Figure N° 27 : Le charbon actif utilisé lors des différentes manipulations

2. Les résultats des différents essais qualitatifs

2.1. Les déchets bonbons JOK

Plusieurs essais ont été réalisés afin de tester l'efficacité du charbon actif vis-à-vis des solutions de bonbons JOK. Il est à noter que le rapport de la quantité de déchets bonbons QDB par la quantité d'eau froide QEF constitue la concentration massique des bonbons. Elle sera notée C_m et exprimée en g/mL. La concentration massique des bonbons durs dans l'eau froide est alors déterminée par la formule suivante :

$$C_m = \frac{QDB}{QEF}$$

Les résultats de ces différents essais préliminaires sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau N° 07 : Résultats des essais préliminaires pour les déchets bonbons « JOK »

PARFUM	Couleur initiale de la solution	QDB [g]	QEF [mL]	C_m [g/mL]	QCAG [g]	P [%]	RESULTATS
Grenadine	Rose	14	50	0,28	2	14,29	Incolore et limpide
Grenadine	Rose	14	100	0,14	1	7,14	Incolore et limpide
Exotique	Violette	14	50	0,28	2	14,29	Incolore et limpide
Grenadine-Exotique	Violette	30 (20/10)	70	0,43	1	3,33	Filtrat violet clair
Fruit magique	Bleue	14	50	0,28	2	14,29	Incolore et limpide
Ananas	Jaune	14	50	0,28	2	14,29	Incolore et limpide

QDB : Quantité de Déchets Bonbons [g]

QEF : Quantité d'Eau Froide [mL]

C_m : Concentration massique des déchets bonbons [g/mL]

QCAG : Quantité de Charbon Actif en Grain [g]

P : Pourcentage de charbon actif par rapport à la quantité de déchets bonbons QDB [%]

➔ Interprétations des résultats pour les déchets bonbons JOK

Tableau N° 08 : Observations en fonction de P (1)

Pourcentage P [%]	OBSERVATIONS
3	Filtrat violet clair : décoloration incomplète
7 à 14	Filtrat incolore et limpide : décoloration réussie

Pour les essais de décoloration des solutions de bonbons JOK, le filtrat obtenu est généralement incolore et limpide, sauf pour une valeur de P, pourcentage de charbon actif par rapport aux déchets matières, égale à 3%. On peut donc dire que le charbon actif, insoluble dans la solution, est doté d'un pouvoir de décoloration, et peut donc être utilisé en tant qu'agent de traitement des solutions de déchets bonbons, notamment pour les JOK. Les essais préliminaires effectués nous ont également permis de démontrer l'efficacité du charbon actif vis-à-vis de tout type de bonbons JOK et de ce fait, on pourra procéder au traitement du mélange. Néanmoins, de nombreuses optimisations et rectifications doivent encore être apportées au niveau des différents paramètres mis en jeu; comme la quantité de charbon actif, le temps d'agitation du mélange « bonbon+eau+agent de traitement », et bien d'autres encore.

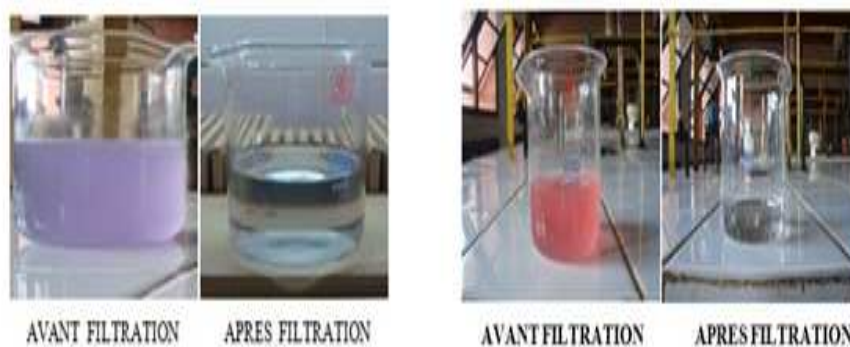


Figure N° 28 : Les solutions de bonbon JOK EXOTIQUE et JOK GRENADINE avant et après filtration

2.2. Les déchets bonbons OLE

Quant aux bonbons durs type « OLE », les résultats des essais qualitatifs sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau N° 09 : Résultats des essais préliminaires pour les déchets bonbons « OLE »

PARFUM	Couleur initiale de la solution	QDB [g]	QEF [mL]	Cm [g/mL]	QCAG [g]	P [%]	RESULTATS
Fraise-Banane	Orange	14	100	0,14	1	7,14	Rose clair et limpide
Caramel	Marron orangé	14	150	0,09	2	14,29	Jaune et trouble
Fraise	Rose	15	75	0,2	1,5	10	rose très clair et trouble

QDB : Quantité de Déchets Bonbons [g]

QEF : Quantité d'Eau Froide [mL]

Cm : Concentration massique des déchets bonbons [g/mL]

QCAG : Quantité de Charbon Actif en Grain [g]

P : Pourcentage de charbon actif par rapport à la quantité de déchets bonbons QDB [%]

➔ Interprétations des résultats pour les déchets bonbons OLE

Tableau N° 10 : Observations en fonction de P (2)

Pourcentage P de charbon actif par rapport à la quantité de déchets bonbons [%]	OBSERVATION
7 à 14	décoloration incomplète

Généralement, on a pu constater la présence de trouble et les solutions sont à moitié décolorées, même à une valeur de P, pourcentage de charbon actif par rapport aux déchets bonbons, aux environs de 7 à 14%. Ceci peut être dû à l'insuffisance de la quantité de charbon actif ou du temps d'agitation. On peut alors dire qu'une différence existe entre les comportements des colorants des bonbons JOK et OLE : le charbon actif est moyennement efficace vis-à-vis des solutions de bonbons OLE, plus difficiles à décolorer que celles des bonbons JOK. Toutefois, un virement de coloration a pu être observé : il est donc nécessaire de procéder à plusieurs optimisations des paramètres mis en jeu.

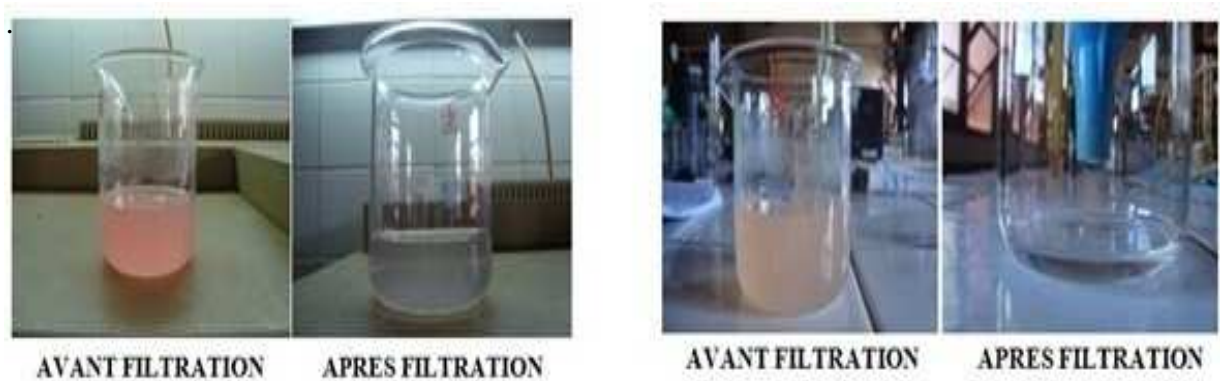


Figure N° 29 : Les solutions de bonbon OLE FRAISE et OLE « fraise+banane » avant et après filtration

2.3. Les déchets bonbons PECTO

Les essais préliminaires de traitement des bonbons PECTO avec le charbon actif sont donnés par le tableau suivant :

Tableau N° 11 : Résultats des essais préliminaires pour les déchets bonbons « PECTO »

Couleur PECTO	Couleur initiale de la solution	QDB [g]	QEF [mL]	Cm [g/mL]	QCAG [g]	P [%]	RESULTATS
rouge	Rouge	20	60	0,33	1	5	Filtrat rouge
noir	Bleue	10	750	0,01	2	20	Filtrat bleu
jaune	Jaune	7	100	0,07	2	28,57	Filtrat jaune très clair
jaune	Jaune	20	80	0,25	2	10	Filtrat jaune
jaune	Jaune	14	500	0,03	2	14,29	Filtrat jaune clair
jaune	Jaune	14	750	0,02	2	14,29	Filtrat jaune clair

QDB : Quantité de Déchets Bonbons [g]

QEF : Quantité d'Eau Froide [mL]

Cm : Concentration massique des déchets bonbons [g/mL]

QCAG : Quantité de Charbon Actif en Grain [g]

P : Pourcentage de charbon actif par rapport à la quantité de déchets bonbons QDB [%]

➡ Interprétations des résultats pour les déchets bonbons PECTO

Tableau N° 12 : Observation en fonction de P (3)

Pourcentage P de charbon actif par rapport à la quantité de déchets bonbons [%]	OBSERVATION
5 à 28	décoloration non réussie ou incomplète

Quant aux déchets bonbons PECTO, la majeure partie des essais préliminaires ont présenté des résultats négatifs : les solutions de bonbons PECTO sont donc les plus difficiles à traiter parmi les trois types de bonbons durs, leurs couleurs sont les plus persistantes. Généralement, aucun virement de la coloration n'a pu être constaté : filtrat non décoloré, sauf pour le cas des PECTO JAUNES, dont une faible diminution de l'intensité de la couleur initiale a été observée. Les causes possibles des résultats obtenues peuvent être les suivantes :

- L'insuffisance de la quantité de charbon actif
- L'insuffisance du temps d'agitation
- Le comportement des colorants des bonbons PECTO vis-à-vis du charbon actif

Il est donc indispensable d'optimiser les différents paramètres à considérer.



AVANT FILTRATION



APRES FILTRATION

Figure N° 30 : Les solutions de bonbon PECTO ROUGE avant et après filtration

V. Les essais préliminaires avec la TERRE DECOLORANTE

1. Les caractéristiques de la terre décolorante

Les caractéristiques de la terre décolorante utilisée lors des essais qualitatifs sont données par le tableau suivant :

Tableau N° 13 : Les caractéristiques de la terre décolorante

Apparence physique	Poudre fine
Couleur	Blanche grisâtre
Origine	Matière première d'une huilerie de Madagascar
Propriétés chimiques	Terre de diatomée constituée de silice amorphe
Densité	Supérieure à 1 (> 1)



Figure N° 31 : La terre décolorante utilisée lors des différentes manipulations

2. Les résultats des différents essais qualitatifs

Les différents résultats concernant les essais préliminaires avec la terre décolorante sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau N° 14 : Résultats des essais préliminaires avec la terre décolorante

TYPE	Couleur initiale de la solution	QDB [g]	QEF [mL]	Cm [g/mL]	QTD [g]	P [%]	RESULTATS
OLE Banane	Jaune	15	100	0,15	5	33,3	INCOLORE
JOK Ananas	Jaune	15	100	0,15	4	26,67	Filtrat Jaune très clair
PECTO rouge	Rouge	10	100	0,1	2	20	Filtrat rouge
PECTO jaune	Jaune	20	80	0,25	9	45	Jaune très clair
OLE Caramel PECTO jaune	Marron	15	300	0,05	3	20	Jaune clair
PECTO noir JOK bleu	Bleue	10	200	0,05	2	20	Plus ou moins INCOLORE
OLE Blanc JOK Blanc	Blanche	10	100	0,1	1	10	INCOLORE

➡ Interprétations des résultats avec la terre décolorante

D'après ces essais préliminaires, on constate que la terre décolorante est également dotée de pouvoir de décoloration vis-à-vis des solutions de déchets de bonbons durs à traiter ; et peut donc être utilisée en tant qu'agent de traitement des solutions de sucre. Il faut procéder à l'optimisation des différents paramètres mis en jeu ; déterminer par exemple pour quelle valeur de P (pourcentage de terre décolorante par rapport aux déchets matières), les solutions de sucre traitées sont parfaitement limpides et incolores. On peut aussi conclure que l'efficacité de la terre décolorante est fonction des déchets bonbons à traiter et on peut alors confirmer la différence de comportements des colorants sur la terre décolorante pour chaque type de bonbon, comme l'indique le tableau suivant :

Tableau N° 15 : Observations en fonction de P (4)

Pourcentage P de terre décolorante par rapport à la quantité de déchets bonbons [%]	Déchets bonbons	OBSERVATIONS
20	Mélange PECTO noir et JOK bleu	Décoloration réussie
45	Pecto rouge	Décoloration non réussie



Figure N° 32 : Les solutions de bonbon PECTO JAUNE avant et après filtration



Figure N° 33 : Les solutions de bonbon JOK ANANAS avant et après décantation

Certains essais préliminaires ont été effectués par simple décantation après traitement avec la terre décolorante en raison de sa densité assez élevée par rapport à celle de l'eau.

VI. Essai de comparaison des comportements des colorants des bonbons durs

Plusieurs essais ont été effectués afin de comparer d'une manière générale les comportements des colorants de chaque bonbon dur. Pour cela, Les paramètres qui ont été fixés sont les suivants :

- **Quantité de Déchets Bonbons : QDB = 7g**
- **Quantité d'Eau Froide : QEF = 100ml**
- **Quantité de Charbon Actif en Grain : QCAG = 1g**

Les résultats des essais de comparaison sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau N° 16 : Tableau de Comparaison des colorants des bonbons durs

TYPE	PARFUM	COULEUR	Observations des résultats	
JOK	Fruit magique	Bleue	Incolore	Limpide
	Exotique	Violette	Incolore	Limpide
	Grenadine	Rose	Incolore	Limpide
	Ananas	Jaune	Incolore	Limpide
	Litchi	Blanche	Incolore	Limpide
OLE	Caramel	Marron	Jaune clair	Trouble
	Fraise	Rose	Rose très clair	Trouble
	Banane	Jaune	Jaune très clair	Trouble
	Lait	Blanche	Incolore	Limpide
PECTO	Menthol	Rouge	Jaune verdâtre	Trouble
	Menthol	Noire	Bleu jaunâtre	Trouble
	Gingembre-citron-miel	Jaune	Jaune assez clair	Trouble

➡ Interprétations du tableau de comparaison

D'après ces différents résultats, en tenant compte de la couleur de la solution traitée et de son aspect extérieur, on peut dire que les colorants de tous les types de bonbons durs n'ont pas les mêmes comportements vis-à-vis de l'agent de traitement. On peut déduire de ce tableau et des essais préliminaires effectués que les colorants des bonbons JOK sont les plus faciles à enlever, viennent ensuite ceux des bonbons OLE, et ceux des bonbons PECTO sont les plus difficiles à enlever.

Chapitre III : OPTIMISATION DES DIFFERENTS PARAMETRES MIS EN JEU

I. Objectifs et intérêts de l'optimisation des différents paramètres

Le principe de l'optimisation des paramètres, dans la valorisation des déchets de bonbons durs, consiste à ne varier qu'un seul des paramètres en question, jusqu'à ce qu'à une certaine valeur, les critères exigés ne sont plus remplis. Les autres paramètres restent fixes. On procède de la même façon pour les autres paramètres pris en compte, en partant de la valeur optimum trouvée précédemment.

II. Méthodologie d'optimisation

1. Le principe de l'optimisation des paramètres

Le principe de l'optimisation des paramètres dans la valorisation des déchets bonbons durs consiste à ne varier qu'un seul des paramètres en question, tout en fixant tous les autres paramètres, jusqu'à ce qu'à une certaine valeur du paramètre variable, les critères exigés pour la solution traitée ne sont plus remplis. Procéder ainsi pour tous les autres paramètres mis en jeu.

2. Les paramètres mis en jeu

Les paramètres à considérer lors de l'optimisation sont les suivants :

- La quantité de charbon actif **QCA**.
- Le type de charbon actif à utiliser : en grain **CAG** ou en poudre **CAP**.
- La quantité de terre décolorante **QTD**.
- La proportion déchets bonbons/eau : Quantité de Déchets Bonbons **QDB** et Quantité de l'Eau Froide **QEF** ; dont le rapport QDB/QEF constitue la concentration massique C_m des déchets bonbons, exprimée en g/mL. Cette dernière est donnée par la formule suivante :

$$C_m = \frac{QDB}{QEF}$$

- Le pourcentage **P** : pourcentage de l'agent de traitement par rapport à la quantité de déchets matières tel que P est donné par la formule suivante :

$$P = \frac{QCA}{QDB} * 100 \quad \text{ou} \quad P = \frac{QTD}{QDB} * 100$$

- Le temps de filtration de la solution t_F .
- Le temps d'agitation t_A de la solution de sucre avec les agents de traitement.
- La concentration C en mg/L des molécules absorbantes à une longueur d'onde λ donnée.
- La diminution D de l'intensité de coloration de la solution par rapport à celle de la solution prise comme référence : la solution étalon N°6 (échelle E6). Le paramètre D est exprimé en pourcentage, et est donné par la formule suivante :

$$D = 1 - \frac{E}{E6}$$

E6 : Echelle représentant l'intensité de coloration de la solution étalon N°06

E : Echelle représentant l'intensité de coloration de la solution traitée

- Les caractéristiques sensorielles de la solution traitée : **l'apparence extérieure, l'odeur et la couleur obtenue.**

3. Détermination de la variation de l'intensité de coloration

L'intensité de coloration de la solution de bonbons durs, qui contient des molécules absorbantes à une longueur d'onde λ donnée, est déterminée par mesure spectroscopique dans le domaine de l'ultraviolet-visible : UV-visible.

3.1. Rappel sur la spectroscopie UV-visible

La spectroscopie ultraviolet-visible ou spectrométrie ultraviolet-visible est une technique de spectroscopie mettant en jeu les photons, dont les longueurs d'onde sont dans le domaine des ultraviolets (200 nm – 400 nm), du visible, et jusqu'au proche infrarouge (750 nm -1 400 nm). Soumises à un rayonnement dans cette gamme de longueurs d'onde, les molécules subissent une transition électronique. L'instrument utilisé pour la spectroscopie ultraviolet-visible est appelé spectrophotomètre ultraviolet-visible. La loi de Beer-Lambert indique que l'absorbance d'une solution est directement proportionnelle à sa concentration. La loi de Beer-Lambert est donnée par la formule suivante :

$$A_\lambda = -\log_{10} \frac{I}{I_0} = \varepsilon_\lambda \cdot \ell \cdot C.$$

Où :

- ❖ I/I_0 est la transmittance de la solution (sans unité)
- ❖ A est l'absorbance ou densité optique à une longueur d'onde λ (sans unité)
- ❖ ε_λ est le coefficient d'extinction molaire, dans le cas de l'utilisation de la table de coefficient d'extinction molaire (en L/mol/cm). Le coefficient d'extinction molaire dépend de la longueur d'onde, de la nature chimique de l'entité et de la température.
- ❖ l est la longueur du trajet optique dans la solution traversée, elle correspond à l'épaisseur de la cuvette utilisée (en cm).
- ❖ C est la concentration molaire de la solution (en mol/L). Dans notre cas, il s'agit de la concentration des molécules absorbantes dans la longueur d'onde donnée, exprimée en mg/L.

Comme l'absorbance est fonction de la concentration, la spectroscopie UV-visible peut donc être utilisée pour déterminer cette concentration, pour les solutions de bonbons durs traitées par charbon actif ou par terre décolorante. Il est alors nécessaire de connaître la variation de l'absorbance avec la concentration des molécules colorantes : pour cela, on a utilisé lors des différentes manipulations une courbe d'étalonnage, servant de références et obtenu à partir d'une solution appelée « solution étalon » ; mais ceci peut se faire également à partir de la table de coefficients d'extinction molaire.

3.2. Mode opératoire de préparation de la solution étalon

- Préparation de la solution mère : dissoudre 25g de bonbons durs dans 100ml d'eau froide.
- Le pourcentage massique des bonbons dans l'eau froide est :

$$P \text{ (massique)} = \frac{25g}{25g+100g} = 0,2 = 20\%$$

- Prélever 10 ml de la solution mère.
- Peser les 10ml prélevés à l'aide d'une balance de précision : on trouve

$$m_1 = 12,2669g$$

En effet, après addition des déchets matières, la masse de la solution mère est différente de 100g, et il existe une augmentation du volume.

- Déterminer la masse de bonbons dans 12,2669g de la solution mère. On a :

$$m_2 = 20\% * 12,2669g = 2,4534g$$

- Ramener le volume des 10ml prélevés à 100ml.

- La concentration exacte des 10ml prélevés, puis ramenés à 100ml est alors :

$$C = \frac{2,4534g}{100ml} = 0,0245g/ml$$

- Suivre le même mode opératoire avec des prélèvements de 20, 30, 40 et 50ml.

D'où les différentes solutions étalons :

- **Solution étalon N° 01** : l'eau distillée
- **Solution étalon N° 02** : le prélèvement de 10mL ramené à 100mL
- **Solution étalon N° 03** : le prélèvement de 20mL ramené à 100mL
- **Solution étalon N° 04** : le prélèvement de 30mL ramené à 100mL
- **Solution étalon N° 05** : le prélèvement de 40 ml ramené à 100mL
- **Solution étalon N° 06** : le prélèvement de 50 ml ramené à 100mL

Comme nous n'avons pas eu accès à la quantité des colorants alimentaires utilisés lors de la fabrication des bonbons durs, et qui fait partie du secret industriel, on a alors pris les couleurs des solutions étalons comme couleur de référence à l'aide d'une échelle de 0 à 10. La solution étalon N°06, la plus colorée, représente donc l'échelle de 10, tandis que l'eau distillée, représente celle qui est égale à 0.

3.3. La courbe d'étalonnage

Après le calcul des différentes concentrations, introduire les différentes valeurs obtenues pour chaque prélèvement ramené à 100ml dans le spectrophotomètre, afin de déterminer leur absorbance respective et d'en déduire la courbe d'étalonnage. La longueur d'onde λ est approximativement égale à 410nm pour une solution étalon de couleur rose.

Les paramètres de la spectroscopie UV-visible sont alors donnés dans le tableau suivant :

Tableau N° 17 : Les paramètres de mesure pour la spectroscopie UV-visible

PERKIN-ELMER LAMBDA 10 UV/VIS SPECTROMETER (1.11)				
WAVELENGTH : 410.0nm				
N°	REFERENCES	ABSORBANCE	CONCENTRATION	ECHELLE
01	Eau distillée	0,00006	0,0000mg/L	0
02	Prélèvement de 10 ml ramené à 100ml	0,07253	0,0245mg/L	2
03	Prélèvement de 20ml ramené à 100ml	0,12931	0,0491mg/L	4
04	Prélèvement de 30ml ramené à 100ml	0,24921	0,0736mg/L	6
05	Prélèvement de 40ml ramené à 100ml	0,31776	0,0981mg/L	8
06	Prélèvement de 50ml ramené à 100ml	0,41384	0,1227mg/L	10

La courbe d'étalonnage qui servira de références pour toutes les mesures spectroscopiques est la suivante, tel que l'absorbance est fonction de la concentration, traduite par l'échelle de couleur 0 à 10:

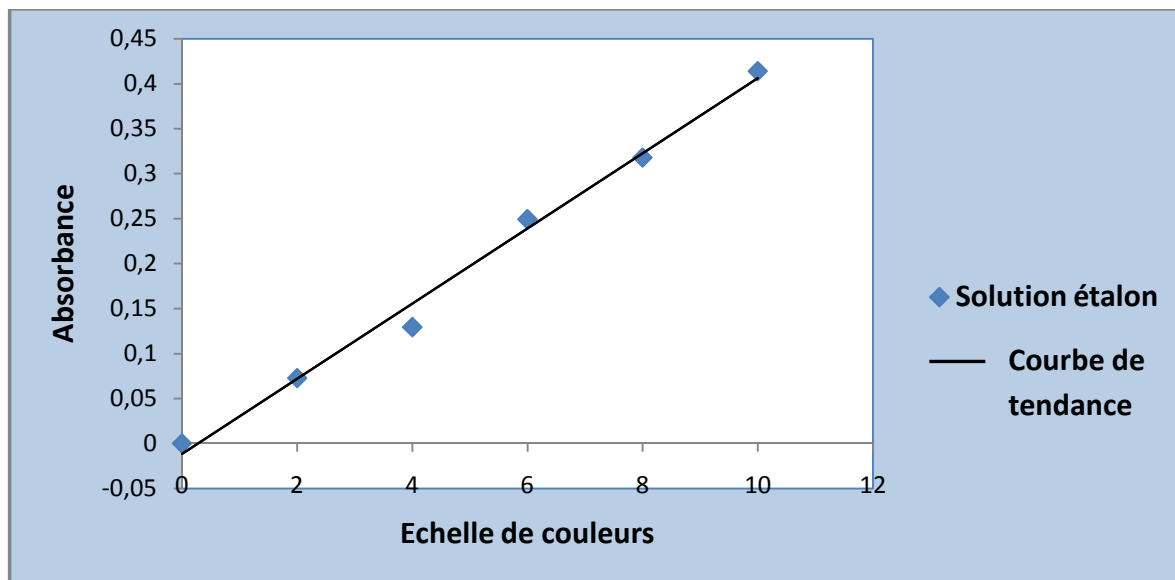


Figure N° 34 : La courbe d'étalonnage

4. Détermination des caractéristiques sensorielles

Dans un premier temps, il est jugé nécessaire de caractériser les solutions traitées. Pour cela, on peut procéder à une évaluation ou analyse sensorielle : une méthode qui, ultérieurement, sera aussi utilisée pour la caractérisation du sirop de sucre obtenu.

4.1. L'odeur

L'odeur sera donnée par notation hédonique sur une échelle numérique de **1 à 10**, tel que le 1 et le 10 représentent les odeurs de référence, et sont respectivement **l'odeur initiale de la solution à traiter** et **l'odeur d'une eau distillée donnée**. On parle alors d'analyse olfactive de la solution, dont 3 ou 4 membres de jury seulement seront suffisants.

4.2. L'apparence extérieure

Il s'agit plus précisément de la limpidité ou de la turbidité de la solution traitée, qui peut être également caractérisée par analyse sensorielle. En termes d'analyse sensorielle, plusieurs vocabulaires sont nécessaires pour les répondants ou panel : on parle de descripteurs. Cependant, cette notion de descripteur ne suffit pas surtout quand l'évaluation sensorielle se fait par comparaison entre deux ou plusieurs produits : d'où la notion de variable. Dans notre cas, les

descripteurs à utiliser sont « LIMPIDE » ou « TROUBLE », tandis que les variables peuvent être « légèrement », « fortement », « plus ou moins », « très », etc.

Exemple

Si le descripteur est « LIMPIDE », et que le variable est « TRES » ; alors, le sujet qualifie la solution traitée de « TRES LIMPIDE ».

4.3. La couleur

A part la mesure spectroscopique, la couleur de la solution traitée par charbon actif ou par terre décolorante peut être également caractérisée par analyse sensorielle. Par analogie à l'apparence extérieure, des descripteurs et des variables peuvent être utilisés : incolore, presque incolore, jaune, légèrement jaune etc.

III. Optimisation avec le CHARBON ACTIF

1. Mélange JOK

1.1. Optimisation de la proportion de déchets bonbons/eau

La quantité d'eau froide (QEF) utilisée sera fixée à 100ml pour toutes les manipulations. Le temps de filtration de la solution traitée est fonction de la quantité de déchets bonbons (QDB). En effet, plus QDB augmente, plus la concentration et la viscosité de la solution augmentent. Et plus la viscosité est élevée, plus lent sera le temps de filtration de la solution. Le but de cette première optimisation est donc de déterminer pour quelle valeur de la proportion déchets bonbons/eau, on aura le temps de filtration optimal. La quantité de déchets bonbons QDB sera alors le paramètre à varier, tandis que les autres paramètres nécessaires et invariables sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau N° 18 : Les paramètres invariables (1)

Paramètre	Quantité d'Eau Froide QEF	Temps d'agitation t_A
Valeur	100mL	30mn

Les résultats de l'optimisation pour le temps de filtration sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau N° 19 : Les résultats de l'optimisation de la quantité de déchets bonbons QDB

Quantité de Déchets Bonbons QDB [g]	Concentration massique C_m [g/mL]	Temps de filtration t_F	
15	0,15	12 minutes	Rapide
20	0,20	12 minutes	Rapide
25	0,25	12 minutes	Rapide
30	0,30	50 minutes	Assez lent
35	0,35	50 minutes	Assez lent
45	0,45	50 minutes	Assez lent
50	0,50	50 minutes	Assez lent
60	0,60	120 minutes	Lent
70	0,70	120 minutes	Lent

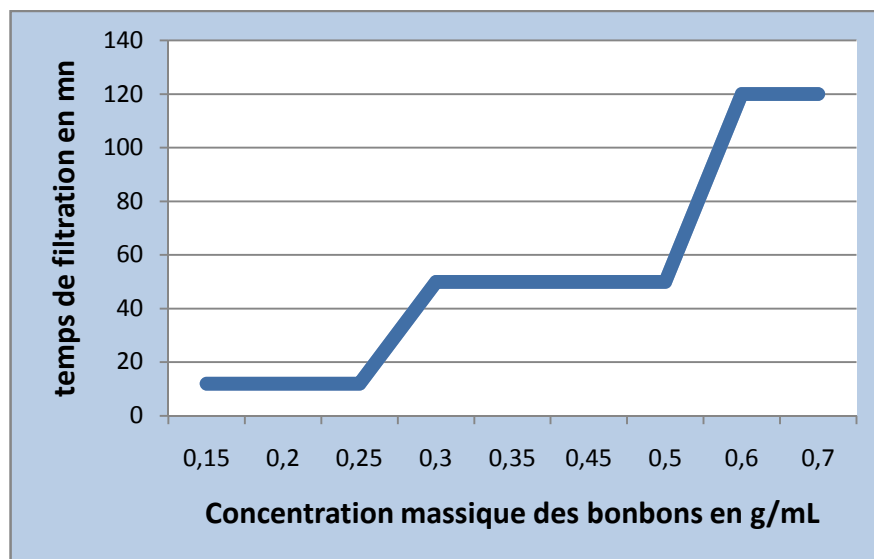


Figure N° 35 : Temps de filtration en fonction de la concentration de la solution

➡ Interprétation des résultats

D'après les résultats de l'optimisation de la quantité de déchets bonbons en fonction du temps de filtration, le temps de filtration dépend de la concentration de la solution de sucre. Plus celle-ci est concentrée, plus lent et le temps de filtration. Autrement dit, la concentration de la solution influe la vitesse de la filtration du procédé. Les proportions de déchets bonbons/eau raisonnables sont 25g/100ml (filtration rapide-évaporation lente), et 50g/100ml (filtration assez lente-évaporation assez rapide), avec respectivement, un temps de filtration de 12 minutes et de 50 minutes.

Pour la suite de l'optimisation, on optera pour le temps de filtration le plus rapide ; c'est-à-dire pour une proportion de déchets bonbons/eau égale à **25g/100mL**, donc une concentration massique C_m de **0,25g/mL**. Mais si aucune contrainte ne se trouvera au niveau de la quantité de charbon actif accessible, les deux cas seront considérés.

1.2. Optimisation de la quantité de charbon actif

La suite de l'optimisation se rapportera à la détermination de la quantité optimale de charbon actif tel que le type de charbon actif qui a été utilisé est le charbon actif en grain ou CAG. Les paramètres invariables sont les suivants :

Tableau N° 20 : Les paramètres invariables (2)

Paramètre	Quantité de Déchets Bonbons QDB	Quantité d'Eau Froide QEF	Concentration massique C_m	Type de Charbon Actif	Temps d'agitation t_A
Valeur du paramètre	25g	100mL	0,25g/mL	charbon actif en grain CAG	30mn

Les résultats de l'optimisation de la quantité de charbon actif en grain sont donnés par le tableau suivant :

Tableau N° 21 : Résultats de l'optimisation de la quantité de charbon actif en grain

QCAG [g]	P [%]	E	A	D [%]	ANALYSE SENSORIELLE		
					Turbidité	Couleur	Odeur
1	4	3,78	0,144	62,2	Trouble	Jaune très claire	2/10
2	8	3,80	0,145	62,0	Trouble	Incolore	5/10
3	12	3,85	0,147	61,5	Trouble	Incolore	5/10
4	16	2,76	0,102	72,4	Limpide	Incolore	5/10

QCAG : Quantité de Charbon Actif en Grain [g]

P : Pourcentage de charbon actif par rapport à la quantité de déchets bonbons QDB [%]

E : Echelle de couleur à une longueur d'onde λ donnée

A : Absorbance

D : La diminution de l'intensité de coloration de la solution par rapport à celle de la solution de référence [%]

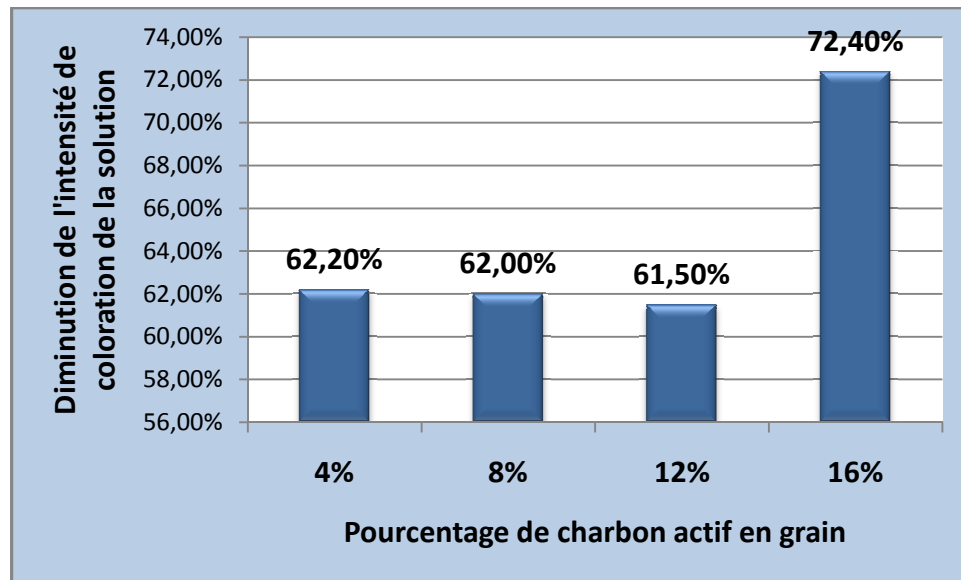


Figure N° 36 : Diminution de l'intensité de la couleur en fonction de la quantité de charbon actif en grain

➡ Interprétations des résultats

D'après les résultats de l'optimisation de la quantité de charbon actif en grain QCAG, pour un temps d'agitation de 30 minutes, la diminution de la concentration des molécules absorbantes est de 72,40% ; et on constate également une assez forte diminution de l'intensité de l'odeur de la solution traitée. Cette dernière n'est à la fois limpide et incolore que lorsque QCAG est de 4g, soit 16% de la quantité de déchets bonbons. C'est cette valeur qui sera considérée dans la suite de l'optimisation en jouant le type de charbon actif à utiliser : en grain ou en poudre.

1.3. Optimisation du type de charbon actif à utiliser

Le type de charbon actif à utiliser est également un paramètre à mettre en jeu. Les paramètres invariables sont donnés par le tableau ci-dessous :

Tableau N° 22 : Les paramètres invariables (3)

Paramètre	Quantité de Déchets Bonbons QDB	Quantité d'Eau Froide QEF	Concentration massique Cm	Temps d'agitation t_A
Valeur du paramètre	25g	100mL	0,25g/mL	30mn

Les résultats de la comparaison entre charbon actif en poudre CAP et charbon actif en grain CAG sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau N° 23 : Résultats de l'optimisation du type de charbon actif

Type Charbon Actif	Quantité Charbon Actif [g]	P [%]	E	A	D [%]	ANALYSE SENSORIELLE		
						Turbidité	Couleur	Odeur
CAG	4	16	2.76	0,102	72,4	Limpide	Incolore	5/10
CAP	4	16	2.44	0,089	75,6	Limpide	Incolore	6,5/10
CAG	3	12	3.85	0,147	61,5	Trouble	Incolore	5/10
CAP	3	12	3.32	0,125	66,8	Limpide	Incolore	6/10

P : Pourcentage de charbon actif par rapport à la quantité de déchets bonbons QDB [%]

E : Echelle de couleur à une longueur d'onde λ donnée

A : Absorbance qui est fonction de la concentration C

D : La diminution de l'intensité de coloration de la solution par rapport à celle de la solution de référence [%]

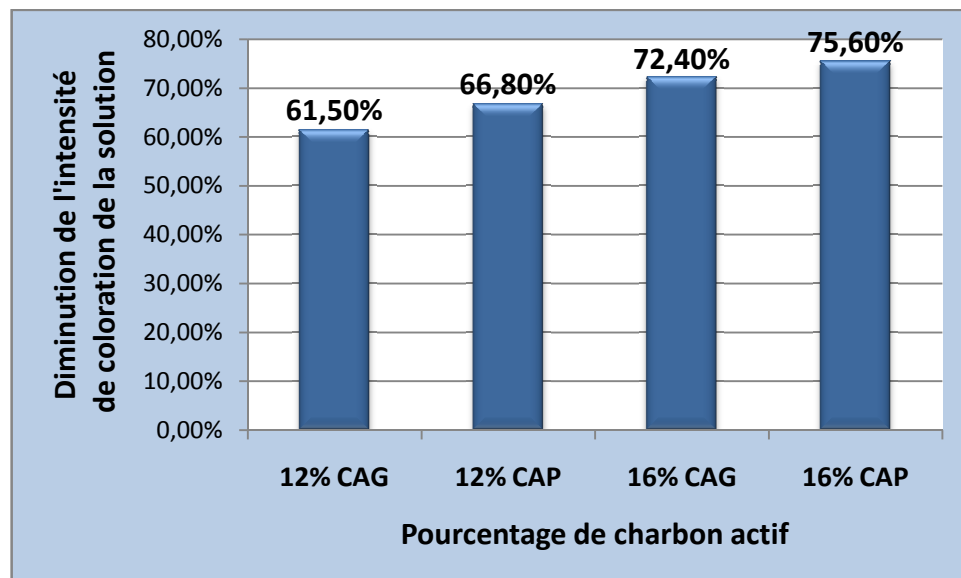


Figure N° 37 : Diminution de l'intensité de la couleur en fonction du type de charbon actif

➡ Interprétations des résultats

Ces résultats nous permettent de dire que le charbon actif en poudre CAP est plus efficace que le charbon actif en grain CAG, avec une diminution de la concentration des colorants de 61,50% contre 66,80% pour 3g de charbon actif, et 72,40% contre 75,60% pour 4g de charbon actif. De plus, plus la granulométrie du charbon actif est faible, plus sa surface spécifique augmente. La granulométrie présente donc une influence sur l'efficacité du charbon actif. Comme la différence entre les deux types de charbon actif est assez significative ; il serait alors préférable d'utiliser le charbon actif en poudre. Pour la suite de l'optimisation, on optera, pour une masse de 3g en considérant le point de vue économique.

1.4. Optimisation de la quantité de charbon actif en poudre QCAP

Il est nécessaire d'optimiser une nouvelle fois la quantité de charbon actif puisque le type de charbon actif à utiliser est le charbon actif en poudre CAP. Les paramètres invariables sont les suivants :

Tableau N° 24 : Les paramètres invariables (4)

Paramètre	Quantité de Déchets Bonbons QDB	Quantité d'Eau Froide QEF	Concentration massique Cm
Valeur du paramètre	25g	100mL	0,25g/mL

❖ Temps d'agitation $t_A = 30$ minutes

Tableau N° 25 : Résultats de l'optimisation de la quantité de charbon actif en poudre (1)

QCAP [g]	P [%]	E	A	D [%]	ANALYSE SENSORIELLE		
					Turbidité	Couleur	Odeur
3	12	3.32	0,125	66,8	Limpide	Incolore	6/10
2	8	5.07	0,197	49,3	Trouble	Incolore	4/10

QCAP : Quantité de Charbon Actif en Poudre [g]

P : Pourcentage de charbon actif par rapport à la quantité de déchets bonbons QDB [%]

E : Echelle de couleur à une longueur d'onde λ donnée

A : Absorbance qui est fonction de la concentration C

D : La diminution de l'intensité de coloration de la solution par rapport à celle de la solution de référence [%]

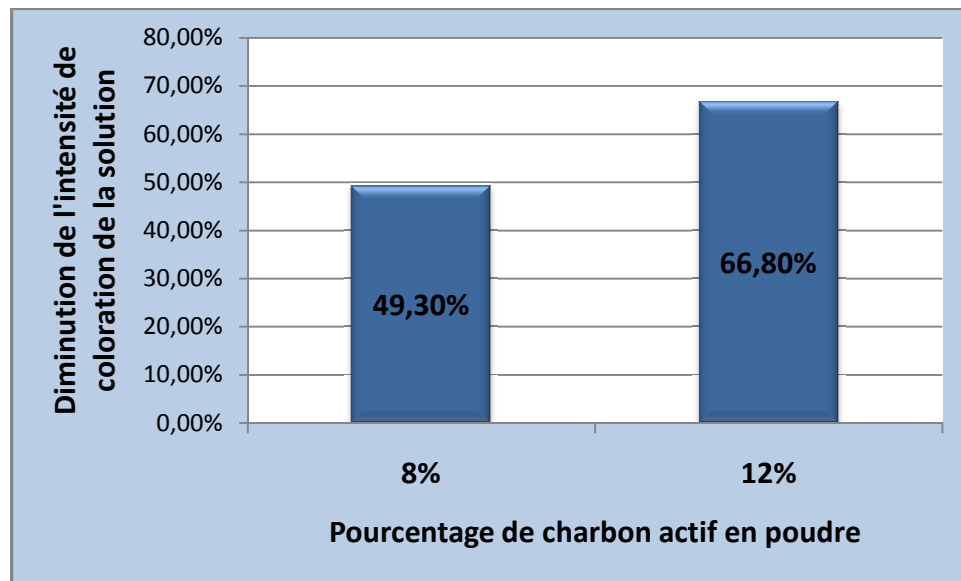


Figure N° 38 : Diminution de l'intensité de coloration en fonction du pourcentage de charbon actif en poudre (1)

➤ Interprétations des résultats

Pour un temps d'agitation de 30 minutes, 25g de déchets bonbons et 100ml d'eau froide, 2g de charbon actif en poudre ne suffisent pas pour rendre limpide la solution de sucre à traiter. La suite de l'optimisation se rapportera alors à l'augmentation du temps d'agitation en partant de 3g de charbon actif en poudre.

❖ Temps d'agitation $t_A = 45$ minutes

Tableau N° 26 : Résultats de l'optimisation de la quantité de charbon actif en poudre (2)

QCAP [g]	P [%]	E	A	D [%]	ANALYSE SENSORIELLE		
					Turbidité	Couleur	Odeur
3	12	3.17	0,119	68,3	Limpide	Incolore	8/10
1	4	5.17	0,201	48,3	Trouble	Incolore	5/10
1,5	6	5.10	0,198	49	Trouble	Incolore	5/10

QCAP : Quantité de Charbon Actif en Poudre [g]

P : Pourcentage de charbon actif par rapport à la quantité de déchets bonbons QDB [%]

E : Echelle de couleur à une longueur d'onde λ donnée

A : Absorbance qui est fonction de la concentration C

D : La diminution de l'intensité de coloration de la solution par rapport à celle de la solution de référence [%]

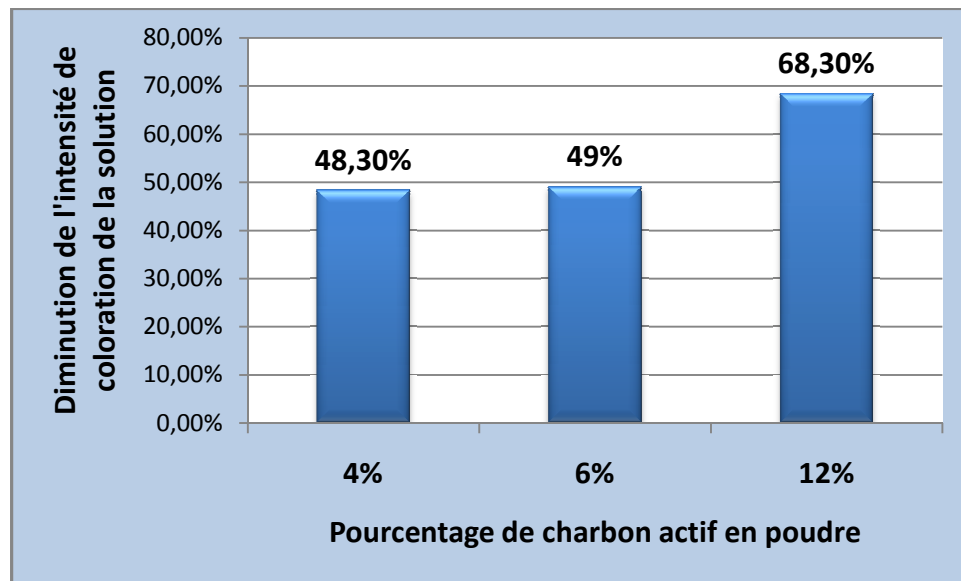


Figure N° 39 : Diminution de l'intensité de coloration en fonction du pourcentage de charbon actif en poudre (2)

➡ Interprétations des résultats

Pour un temps d'agitation égal à 45 minutes, et en partant de 25g de déchets bonbons et 100ml d'eau froide, 1 et 1,5g de charbon actif en poudre ne suffisent pas pour rendre limpide la solution de sucre à traiter. Toujours en partant de 3g de charbon actif en poudre, la suite de l'optimisation se rapportera à un temps d'agitation égale à 60 minutes pour le traitement des solutions de bonbons durs. Pour 3g de charbon actif et 45 minutes d'agitation, on constate une très forte diminution de l'intensité de l'odeur initiale de la solution, soit une note de 8/10.

❖ Temps d'agitation $t_A = 60$ minutes

Tableau N° 27 : Résultats de l'optimisation de la quantité de charbon actif en poudre (3)

QCAP [g]	P [%]	E	A	D [%]	ANALYSE SENSORIELLE		
					Turbidité	Couleur	Odeur
3	12	1.39	0,046	86,1	Limpide	Incolore	8/10
2	8	1.68	0,058	83,2	Limpide	Incolore	7/10
1,5	6	1.71	0,059	82,9	Limpide	Incolore	6/10
1	4	2.32	0,084	76,8	Trouble	Incolore	5/10

QCAP : Quantité de Charbon Actif en Poudre [g]

P : Pourcentage de charbon actif par rapport à la quantité de déchets bonbons QDB [%]

E : Echelle de couleur à une longueur d'onde λ donnée

A : Absorbance qui est fonction de la concentration C

D : La diminution de l'intensité de coloration de la solution par rapport à celle de la solution de référence [%]

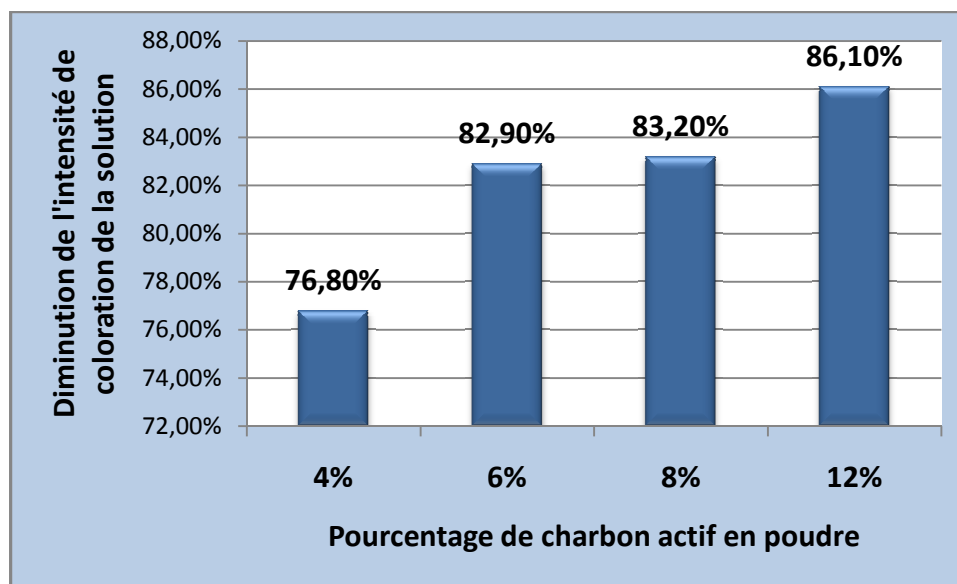


Figure N° 40 : Diminution de l'intensité de coloration en fonction du pourcentage de charbon actif en poudre (3)

➡ Interprétations des résultats

D'après les résultats de l'optimisation pour le mélange des bonbons JOK, 60 minutes d'agitation, 1,5g de charbon actif, soit 6% par rapport aux déchets bonbons, sont les meilleures conditions à adopter pour une proportion déchets bonbons/eau de 25g/100ml. La diminution de l'intensité de la couleur est de 82,90% ; une valeur qui est assez proche des 83,20% et 86,10%, pour respectivement 2 et 3g de charbon actif, et qui permet également de prendre en considération les conditions économiques. De plus, on peut dire que la diminution de l'intensité de l'odeur initiale de la solution est assez élevée.

2. Mélange JOK-OLE

2.1. Optimisation de la quantité de charbon actif en poudre

Les paramètres invariables sont donnés par le tableau suivant :

Tableau N° 28 : Les paramètres invariables (5)

Paramètre	Quantité de Déchets Bonbons QDB	Quantité d'Eau Froide QEF	Concentration massique Cm	Type Charbon Actif	Temps d'agitation t _A
Valeur du paramètre	25g	100mL	0,25g/mL	CAP	60mn

Le paramètre à varier est la quantité de charbon actif en grain. Les résultats de l'optimisation sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau N° 29 : Résultats de l'optimisation de la quantité de charbon actif en poudre (4)

QCAP [g]	P [%]	E	A	D [%]	ANALYSE SENSORIELLE		
					Turbidité	Couleur	Odeur
3	12	1.49	0,050	85,1	Limpide	Incolore	5/10
2	8	1.66	0,057	83,4	Limpide	Rose très claire	5/10
2,5	10	1.56	0,053	84,4	Limpide	Incolore	5/10

QCAP : Quantité de Charbon Actif en Poudre [g]

P : Pourcentage de charbon actif par rapport à la quantité de déchets bonbons QDB [%]

E : Echelle de couleur à une longueur d'onde λ donnée

A : Absorbance qui est fonction de la concentration C

D : La diminution de l'intensité de coloration de la solution par rapport à celle de la solution de référence [%]

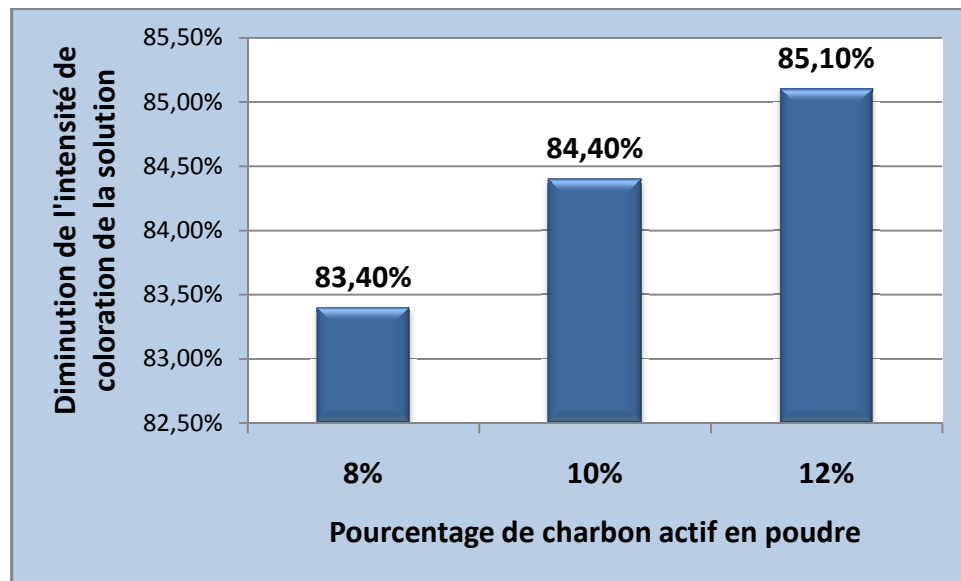


Figure N° 41 : Diminution de l'intensité de coloration en fonction du pourcentage de charbon actif en poudre (4)

➡ Interprétations des résultats

D'après ces résultats, 2g de charbon actif ne suffisent pas pour une décoloration complète des solutions de bonbons JOK-OLE, avec un temps d'agitation de 60 minutes. Pour la suite, on optera pour un pourcentage P égal à 10%, soit 2,5g de charbon actif et une diminution de la concentration C de 84,40% : Ceci pour des raisons économiques et de plus, la différence n'est pas significative pour un pourcentage P égal à 12%, c'est-à-dire pour 3g de charbon actif en poudre. D'après ces résultats, on constate également que le mélange JOK-OLE est plus difficile à désodoriser que le mélange JOK ; l'odeur des bonbons OLE sont en effet plus persistante par rapport à celle des bonbons JOK, notamment celle des bonbons OLE, parfum caramel.

2.2. Optimisation du temps d'agitation

Les paramètres invariables sont les suivants :

Tableau N° 30 : Les paramètres invariables (6)

Paramètre	Quantité de déchets bonbons QDB	Quantité d'eau froide QEF	Concentration massique Cm	Quantité de charbon actif en poudre QCAP	Pourcentage P
Valeur du paramètre	25g	100mL	0,25g/mL	2,5g	10%

Les résultats de l'optimisation du temps d'agitation pour 2,5g de charbon actif sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau N° 31 : Résultats de l'optimisation du temps d'agitation

Temps d'agitation t_A [mn]	E	A	D [%]	ANALYSE SENSORIELLE		
				Turbidité	Couleur	Odeur
45	1.63	0,056	83,7	Limpide	Incolore	5/10
30	1.76	0,061	82,4	Limpide	Incolore	5/10

E : Echelle de couleur à une longueur d'onde λ donnée

A : Absorbance qui est fonction de la concentration C

D : La diminution de l'intensité de coloration de la solution par rapport à celle de la solution de référence [%]

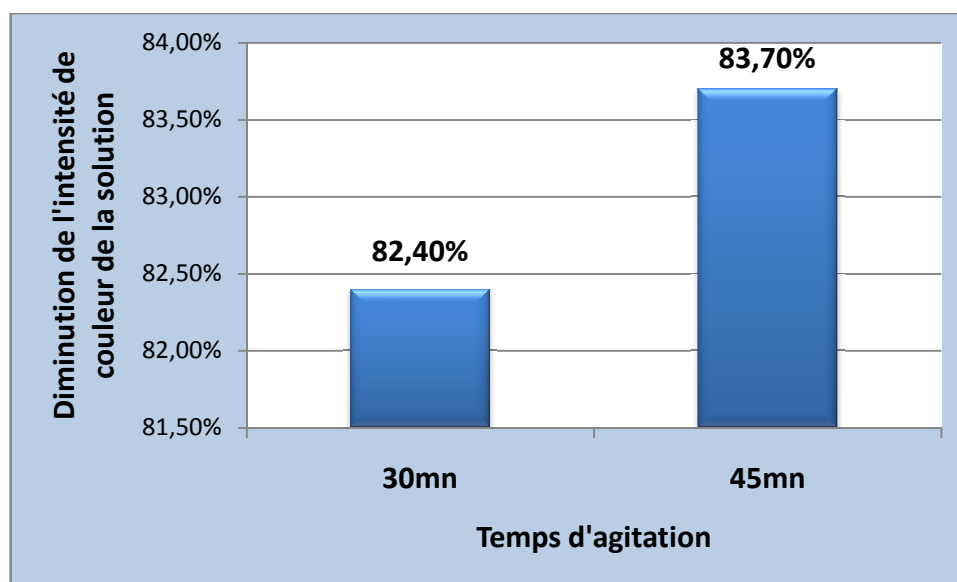


Figure N° 42 : Diminution de coloration en fonction du temps d'agitation de la solution (1)

➡ Interprétations des résultats

D'après les résultats de l'optimisation pour le mélange des bonbons JOK-OLE, 2,5g de charbon actif, soit 10% par rapport aux déchets bonbons, sont les meilleures conditions à adopter pour une proportion déchets bonbons/eau de 25g/100ml, toujours en tenant compte des raisons économiques. Un temps d'agitation de 30 minutes est considéré optimal pour ce mélange JOK-OLE avec une diminution de l'intensité de la couleur de 82,40% ; une valeur non loin des 83,70% pour 45 minutes d'agitation. De plus, la diminution de l'intensité de l'odeur initiale de la solution est la même, que ce soit pour 60, 45 ou 30 minutes d'agitation.

3. Mélange JOK-OLE (banane ; fraise ; lait)

3.1. Optimisation de la quantité de charbon actif en poudre

Les paramètres invariables sont les suivants :

Tableau N° 32 : Les paramètres invariables (7)

Paramètre	Quantité de Déchets Bonbons QDB	Quantité de l'Eau Froide QEF	Concentration massique Cm	Type Charbon Actif	Temps d'agitation t _A
Valeur du paramètre	25g	100mL	0,25g/mL	CAP	60mn

Les résultats de l'optimisation sont donnés par le tableau suivant :

Tableau N° 33 : Résultats de l'optimisation de la quantité de charbon actif en poudre (5)

QCAP [g]	P [%]	E	A	D [%]	ANALYSE SENSORIELLE		
					Turbidité	Couleur	Odeur
1,5	6	1.66	0,057	83,4	Limpide	Incolore	6/10
0,5	2	2.51	0,092	74,9	Trouble	Rose très claire	5/10
1	4	2.07	0,074	79,3	Légèrement trouble	Incolore	5/10

QCAP : Quantité de Charbon Actif en Poudre [g]

P : Pourcentage de charbon actif par rapport à la quantité de déchets bonbons QDB [%]

E : Echelle de couleur à une longueur d'onde λ donnée

A : Absorbance qui est fonction de la concentration C

D : La diminution de l'intensité de coloration de la solution par rapport à celle de la solution de référence [%]

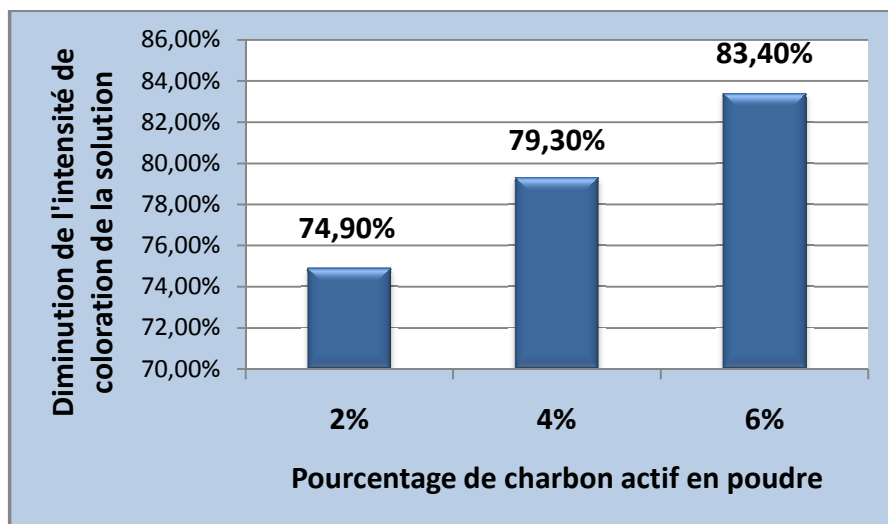


Figure N° 43 : Diminution de l'intensité de coloration en fonction du pourcentage de charbon actif en poudre (5)

➡ Interprétations des résultats

Quant aux mélanges JOK et OLE (parfums fraise, banane et lait), la solution de sucre n'est à la fois limpide et incolore que pour une quantité de charbon actif en poudre égale à 1,5g, soit 6% de la quantité de déchets matières. La diminution D de la concentration en molécules absorbantes est de 83,40%, et la diminution de l'odeur initiale de la solution de sucre est assez intense avec une note hédonique de 6/10. Pour 1g de l'agent de traitement, la solution traitée est légèrement trouble, tandis qu'à 0,5g de charbon actif, la solution n'est pas totalement décolorée. La suite de l'optimisation se rapportera à la détermination des comportements du charbon actif et de la solution avec une diminution du temps d'agitation t_A afin de réduire au minimum le coût du procédé de valorisation industrielle.

3.2. Optimisation du temps d'agitation

Les paramètres invariables sont les suivants :

Tableau N° 34 : Les paramètres invariables (8)

Paramètre	Quantité Déchets Bonbons QDB	Quantité d'Eau Froide QEF	Concentration massique C_m	Quantité de Charbon Actif en Poudre QCAP	Pourcentage P
Valeur du paramètre	25g	100mL	0,25g/mL	1,5g	6%

Les résultats de la suite de l'optimisation pour le mélange des bonbons JOK et OLE (banane, fraise et lait) sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau N° 35 : Résultats de l'optimisation du temps d'agitation (2)

Temps d'agitation t_A [mn]	E	A	D [%]	ANALYSE SENSORIELLE		
				Turbidité	Couleur	Odeur
60	1.66	0,057	83,4	Limpide	Incolore	6/10
45	2.51	0,092	74,9	Légèrement trouble	Incolore	6/10

E : Echelle de couleur à une longueur d'onde λ donnée

A : Absorbance qui est fonction de la concentration C

D : La diminution de l'intensité de coloration de la solution par rapport à celle de la solution de référence [%]

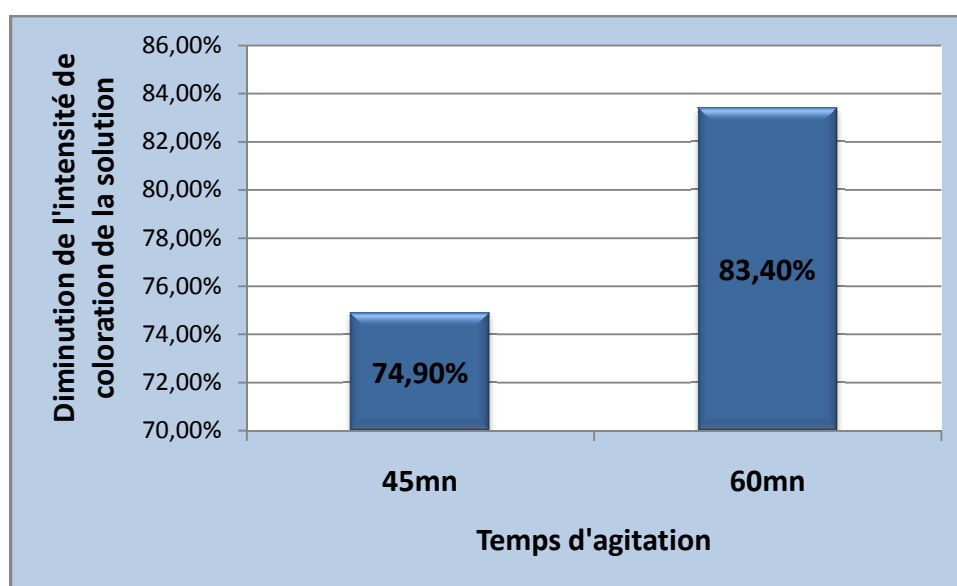


Figure N° 44 : Diminution de coloration en fonction du temps d'agitation de la solution (2)

➡ Interprétations des résultats

D'après les résultats de l'optimisation pour le mélange des bonbons JOK et OLE (fraise, banane et lait), 1,5g de charbon actif, soit 6% par rapport aux déchets matières, 60 minutes d'agitation sont les conditions optimales à adopter pour une proportion déchets bonbons/eau de 25g/100ml. Dans ces conditions, la diminution de l'intensité de la concentration en molécules absorbantes est de 83,40%, avec une diminution assez élevée de l'intensité de l'odeur initiale. On constate que pour le mélange JOK et le mélange JOK-OLE (fraise, banane et lait), les conditions optimales sont les mêmes, contrairement à celles du mélange JOK et OLE (caramel y compris),

qui, dans les mêmes conditions, ne peut être traité efficacement. Ce qui nous permet de dire que les bonbons OLE parfum CARMEL, sont dotés de propriétés assez particulières : leurs colorants sont les plus difficiles à extraire.

4. Mélange JOK-OLE-PECTO

Les paramètres invariables, pour le mélange JOK-OLE-PECTO, sont les suivants :

Tableau N° 36 : Les paramètres invariables (9)

Paramètre	Quantité de Déchets Bonbons QDB	Quantité d'Eau Froide QEF	Concentration massique Cm	Type Charbon Actif	Temps d'agitation t_A
Valeur du paramètre	25g	100mL	0,25g/mL	CAP	60mn

Les résultats de l'optimisation sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau N° 37 : Résultats de l'optimisation de la quantité de charbon actif en poudre (6)

QCAP [g]	P [%]	E	A	D [%]	ANALYSE SENSORIELLE		
					Turbidité	Couleur	Odeur
8	32	0.78	0,021	92,2	Limpide	Incolore	9/10
4	16	1.00	0,030	90,0	Limpide	Incolore	7/10
2	08	1.68	0,058	83,2	Légèrement trouble	Incolore	5/10
2,5	10	1.44	0,048	85,6	Limpide	Incolore	6/10

QCAP : Quantité de Charbon Actif en Poudre [g]

P : Pourcentage de charbon actif par rapport à la quantité de déchets bonbons QDB [%]

E : Echelle de couleur à une longueur d'onde λ donnée

A : Absorbance qui est fonction de la concentration C

D : La diminution de l'intensité de coloration de la solution par rapport à celle de la solution de référence [%]

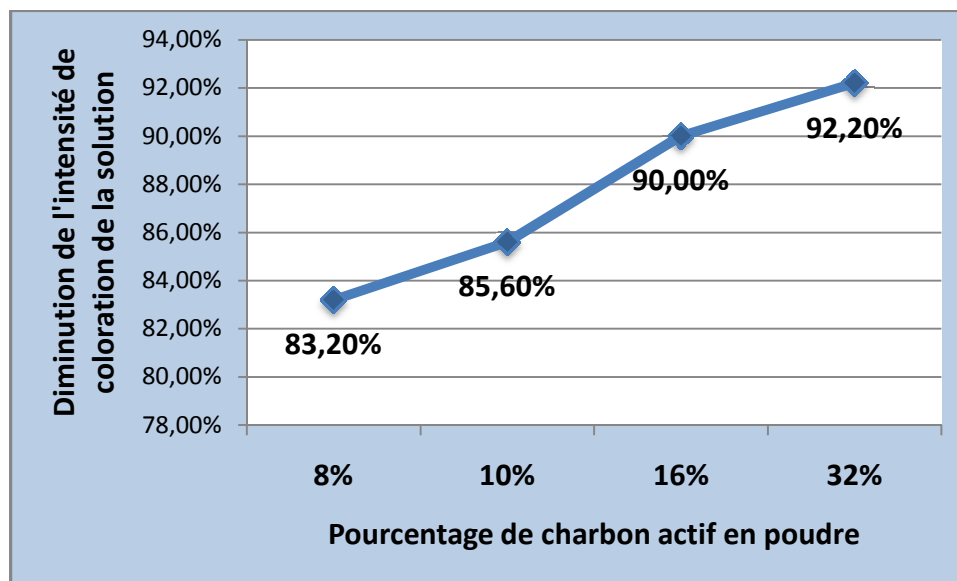


Figure N° 45 : Courbe de diminution de l'intensité de coloration en fonction du pourcentage de charbon actif en poudre

➡ Interprétations des résultats

Pour le mélange JOK-OLE-PECTO, les solutions de sucre sont parfaitement limpides et incolores avec 2,5g de charbon actif, c'est-à-dire pour un pourcentage de 10% par rapport aux déchets matières. La diminution de l'intensité de la coloration par rapport à la référence est de 85,60%, quant à l'odeur, la note hédonique est de 6/10. Une quantité de charbon actif de 4g est également considérée optimale, avec une diminution de 90% de la concentration en molécules absorbantes et une note hédonique de 7/10 pour l'odeur ; mais pour des raisons économiques, et avec une différence non significative, on optera pour une valeur du pourcentage P égal à 10%, soit 2,5g de charbon actif en poudre. La suite pourrait se rapporter à la diminution du temps d'agitation, mais faute de charbon actif, l'optimisation du mélange s'arrête sur ces conditions.

IV. Optimisation avec la TERRE DECOLORANTE

1. Mélange JOK

Les paramètres invariables sont les suivants :

Tableau N° 38 : Les paramètres invariables (10)

Paramètre	Quantité de Déchets Bonbons QDB	Quantité de l'Eau Froide QEF	Concentration massique Cm	Temps d'agitation t_A
Valeur du paramètre	25g	100mL	0,25g/mL	60mn

Les résultats de l'optimisation avec la terre décolorante sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau N° 39 : Résultats de l'optimisation avec la terre décolorante

QTD [g]	P [%]	E	A	D [%]	ANALYSE SENSORIELLE		
					Turbidité	Couleur	Odeur
1,5g	06	3	0,112	70	Limpide	Rose	2/10
3g	12	2.78	0,103	72,2	Limpide	Rose très claire	2/10
5g	20	2.63	0,097	73,7	Limpide	Rose très claire, presque incolore	2/10
6g	24	2.59	0,095	74,1	Limpide	Rose très claire, presque incolore	3/10
12g	48	2.29	0,083	77,1	Limpide	Jaune très claire	3/10
16g	64	2.02	0,072	79,8	Limpide	Jaune très claire	5/10

QTD : Quantité de Terre Décolorante [g]

P : Pourcentage de terre décolorante par rapport à la quantité de déchets bonbons QDB [%]

E : Echelle de couleur à une longueur d'onde λ donnée

A : Absorbance qui est fonction de la concentration C

D : La diminution de l'intensité de coloration de la solution par rapport à celle de la solution de référence [%]

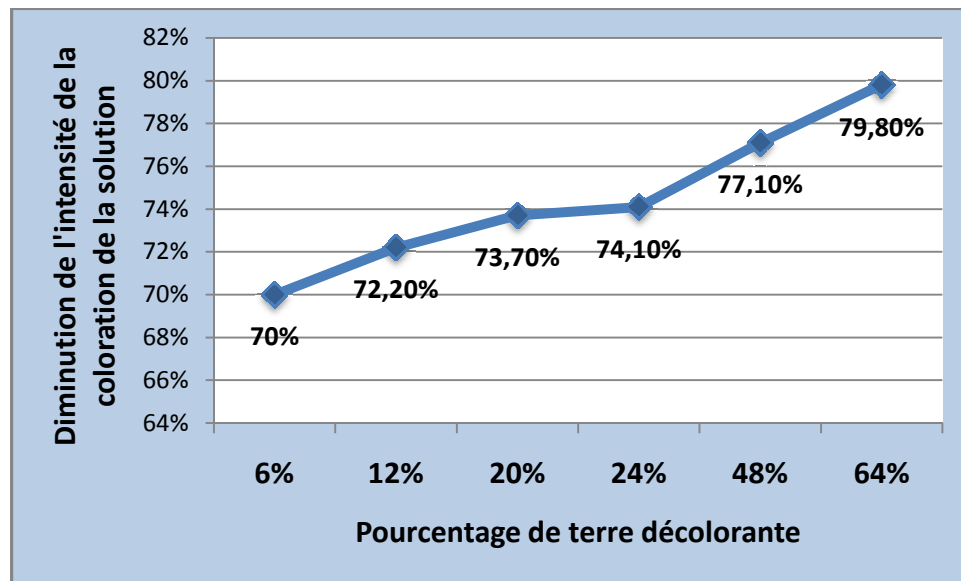


Figure N° 46: Diminution de l'intensité de coloration en fonction du pourcentage de terre décolorante

2. Interprétation des résultats

Certes, la terre décolorante est dotée de pouvoir de décoloration, mais d'après les résultats obtenus, on constate que cette dernière n'est pas appropriée aux colorants des différents bonbons durs de la société JB. La décoloration de la solution de sucre n'est toujours pas réussie à une valeur du pourcentage P égale à 64% ; ce qui est trop élevée à l'échelle industrielle. De plus, cette valeur pourra encore augmenter pour l'optimisation du mélange JOK-OLE-PECTO.

V. Récapitulation des résultats de l'optimisation avec le charbon actif en poudre

Les paramètres invariables pour chaque optimisation effectuée sont les suivants :

Tableau N° 40 : Les paramètres invariables (11)

Paramètre	Quantité de Déchets Bonbons QDB	Quantité de l'Eau Froide QEF	Concentration massique Cm	Type charbon actif
Valeur du paramètre	25g	100mL	0,25g/mL	Charbon Actif en Poudre CAP

Les résultats de l'optimisation avec le charbon actif en poudre sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau N° 41 : Tableau récapitulatif de l'optimisation avec le charbon actif en poudre

MELANGE	QCAP [g]	P [%]	t _A [mn]	E	A	D [%]	ANALYSE SENSORIELLE		
							turbidité	Couleur	Odeur
JOK	1,5	6	60	1,71	0,059	82,9	Limpide	Incolore	6/10
JOK-OLE	2,5	10	30	1,76	0,061	82,4	Limpide	Incolore	5/10
JOK-OLE (sauf caramel)	1,5	6	60	1,66	0,057	83,4	Limpide	Incolore	6/10
JOK-OLE-PECTO	2,5	10	60	1,44	0,048	85,6	Limpide	Incolore	6/10

QCAP : Quantité de Charbon Actif en Poudre [g]

P : Pourcentage de charbon actif par rapport à la quantité de déchets bonbons QDB [%]

t_A : temps d'agitation de la solution de sucres cuits avec le charbon actif en poudre

E : Echelle de couleur à une longueur d'onde λ donnée

A : Absorbance qui est fonction de la concentration C

D : La diminution de l'intensité de coloration de la solution par rapport à celle de la solution de référence [%]

Chapitre IV : Réactivation thermique du charbon actif

I. Les matériels à utiliser

Les matériels utilisés pour la réactivation thermique du charbon actif sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau N° 42 : Les matériels à utiliser pour la réactivation thermique

N°	Désignation	Utilisation	Température d'utilisation
01	Etuve	Séchage du charbon actif	100°C
02	Four	Réactivation thermique du charbon actif	700°C
03	Creuset en porcelaine	Récipient contenant le charbon actif à réactiver	-

II. Mode opératoire

- ❖ Sécher les charbons actifs utilisés dans une étuve à une température de 100°C
- ❖ Introduire les charbons actifs séchés à l'étuve à l'intérieur d'un creuset en porcelaine
- ❖ Introduire le creuset contenant les charbons actifs à réactiver à l'intérieur du four
- ❖ Régler la température du four à une température de 700°C
- ❖ Une fois la température atteinte, attendre 30 minutes avant d'éteindre le four
- ❖ Récupérer le creuset contenant les charbons actifs réactivés après environ deux heures de refroidissement du four



Figure N° 47 : Four de réactivation thermique du charbon actif en poudre

III. Observations

- ❖ Quand la température de réactivation atteint les 250°C, des fumées à odeur très agréable sortent du four. Les matières volatiles des bonbons durs s'échappent des pores du charbon actif.
- ❖ Après la récupération du creuset en porcelaine, on constate la présence de résidus de couleur orange à la surface des charbons actifs réactivés : ce sont les matières organiques non volatiles qui se sont également échappées des pores du charbon actif.



Figure N° 48 : Creuset en porcelaine contenant les charbons actifs réactivés

IV. Essai de réutilisation du charbon actif réactivé

Quelques essais de réutilisation du charbon actif réactivé ont été réalisés. La proportion déchets bonbons/eau utilisée est la même que durant toutes les autres manipulations, c'est-à-dire **25g/100ml**, avec un temps d'agitation de **60 minutes**. Les déchets bonbons qui ont été utilisés lors des essais sont les déchets bonbons JOK, qui serviront alors de référence. Les résultats des essais effectués sont donnés par le tableau suivant :

Tableau N° 43 : Résultats des essais de réutilisation du charbon actif réactivé

Quantité de Charbon actif réactivé [g]	P [%]	E	A	D [%]	Analyse sensorielle	
					Turbidité	Couleur
1,5	06	2,41	0,088	75,79	Trouble	Incolore
2	08	2,17	0,078	78,57	Légèrement trouble	Incolore
3	12	1,76	0,061	82,83	Limpide	Incolore
2,g	10	1,8	0,063	82,64	Limpide	Incolore

P : Pourcentage de charbon actif réactivé par rapport à la quantité de déchets bonbons QDB [%]

E : Echelle de couleur à une longueur d'onde λ donnée

A : Absorbance qui est fonction de la concentration C

D : La diminution de l'intensité de coloration de la solution par rapport à celle de la solution de référence [%]

V. Comparaison des résultats avec ceux des charbons actifs non réactivés

Pour les mêmes conditions, c'est-à-dire avec une proportion déchets bonbons JOK/eau de 25g/100ml, un temps d'agitation de 60 minutes, les résultats des traitements de sucre pour respectivement, les charbons actifs non réactivés et les charbons actifs réactivés sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau N° 44 : Résultats de l'optimisation avec le charbon actif non réactivé
et le charbon actif réactivé**

Quantité de Charbon actif [g]	P [%]	E	A	D [%]	Analyse sensorielle	
					Turbidité	Couleur
1,5 (non réactivé)	6	1,71	0,059	83,78	Limpide	Incolore
2,5 (réactivé)	10	1,80	0,063	82,64	Limpide	Incolore

P : Pourcentage de charbon actif non réactivé ou réactivé par rapport à la quantité de déchets bonbons QDB [%]

E : Echelle de couleur à une longueur d'onde λ donnée

A : Absorbance qui est fonction de la concentration C

D : La diminution de l'intensité de coloration de la solution par rapport à la solution de référence (solution étalon N°6)

VI. Interprétations des résultats

D'après les différents résultats obtenus après l'optimisation des quantités de charbon actif non réactivé et réactivé pour le mélange bonbons JOK, on peut conclure qu'il y a diminution de l'efficacité du charbon actif après sa réactivation thermique. En effet, dans les mêmes conditions opératoires (proportion déchets bonbons/eau de 25g/100ml ; un temps d'agitation de 60 minutes ; une diminution de l'intensité de la couleur très voisine : aux environs de 83%), on obtient une solution à la fois limpide et incolore, pour des quantités de l'agent de traitement de 1,5g et 2,5g, respectivement pour le charbon actif non réactivé et le charbon actif réactivé. De plus, on a constaté une augmentation de la valeur du pourcentage P, traduisant le pourcentage de charbon actif par rapport aux déchets bonbons. On peut alors en déduire que la réactivation thermique rend inerte une certaine partie de la surface active des charbons actifs.

Chapitre V : CARACTERISATION DU SIROP DE SUCRE OBTENU

I. Les caractéristiques du sirop de sucre

Les caractéristiques du sirop de sucre obtenu sont données par le tableau suivant :

Tableau N° 45 : Les caractéristiques du sirop de sucre obtenu

Apparence physique	Liquide très visqueux et transparent
Couleur	Incolore
degré BRIX	80 °Brix
Indice de réfraction	1490
Ph	Acide : 3,5
Viscosité dynamique	Environ 360000 cpoise à 25°C

Le Degré BRIX : Le Degré Brix représente le pourcentage de matière sèche soluble dans une solution donnée.

L'indice de réfraction : L'indice de réfraction d'un milieu à une longueur d'onde donnée mesure le facteur de réduction de la vitesse de phase de la lumière dans le milieu. Par exemple, dans un verre ordinaire d'indice 1,5, la vitesse des fronts d'onde vaut $1/1,5=0,67$ fois la vitesse dans le vide. Les rayons de lumière changent de direction lorsqu'ils passent d'un matériau à un autre, en suivant les lois de Snell-Descartes, qui mettent en jeu le rapport des indices de réfraction. Cet effet, appelé réfraction, est à la base de la conception des lentilles optiques. Les indices de réfraction se mesurent par un appareil appelé réfractomètre.

La viscosité : La viscosité est définie comme la résistance à l'écoulement uniforme et sans turbulence se produisant dans la masse d'une matière. La viscosité est généralement fonction de la capacité du fluide à s'écouler et de la température. Lorsque la viscosité augmente, la capacité du fluide à s'écouler diminue. Lorsque la température augmente, la viscosité diminue.



Figure N° 49 : Les sirops de sucre élaborés après valorisation des déchets bonbons durs

II. Calcul du rendement de production

1. Mode opératoire

- ➡ Avant de transvaser la solution traitée dans le ballon utilisé pour l'évaporation, le peser à l'aide d'une balance. On trouve : **masse du ballon $m_B = 225g$** .
- ➡ Après évaporation, peser le même ballon contenant le sirop de sucre.
On trouve : **masse « ballon + sirop de sucre » $m_{BS} = 331,8g$** .
- ➡ La masse du sirop de sucre obtenu est alors :
Masse du sirop de sucre **$m_S = m_{BS} - m_B = 331,8g - 225g = 106,8g$**
- ➡ Le rendement de production est alors donné par la formule suivante :

$$\eta = \frac{\text{masse du sirop obtenu à } 80^\circ \text{ Brix}}{\text{masse initiale de bonbons}} * 100$$



Figure N° 50: Ballon contenant la solution de sucre à évaporer

2. Les paramètres de production

Les paramètres de production sont alors récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau N° 46 : Les paramètres de production

Masse du ballon	225g
Masse « ballon + sirop de sucre »	331,8g
Masse du sirop de sucre obtenu	106,8g
Masse initiale de bonbons durs	150g

Le rendement de production est alors :

$$\eta = \frac{106,8g}{150g} * 100$$

$\eta = 71,2\%$

III. Les analyses sensorielles

1. Analyse descriptive

L'évaluation sensorielle et descriptive du sirop de sucre se fera en fonction des caractéristiques d'un sirop de sucre : limpide, incolore, inodore, très sucré et sans arrière-goût. Les résultats, avec 10 juges ou répondants, sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau N° 47 : Résultats de l'analyse descriptive du sirop de sucre

SUJET	ASPECT VISUEL	ASPECT OLFACTIF	ASPECT GUSTATIF
N°1	4	3	4
N°2	5	4	3
N°3	5	3	4
N°4	5	2	2
N°5	4	3	2
N°6	5	3	3
N°7	5	4	4
N°8	5	4	2
N°9	5	4	3
N°10	5	2	3
MOYENNE	5	3	3

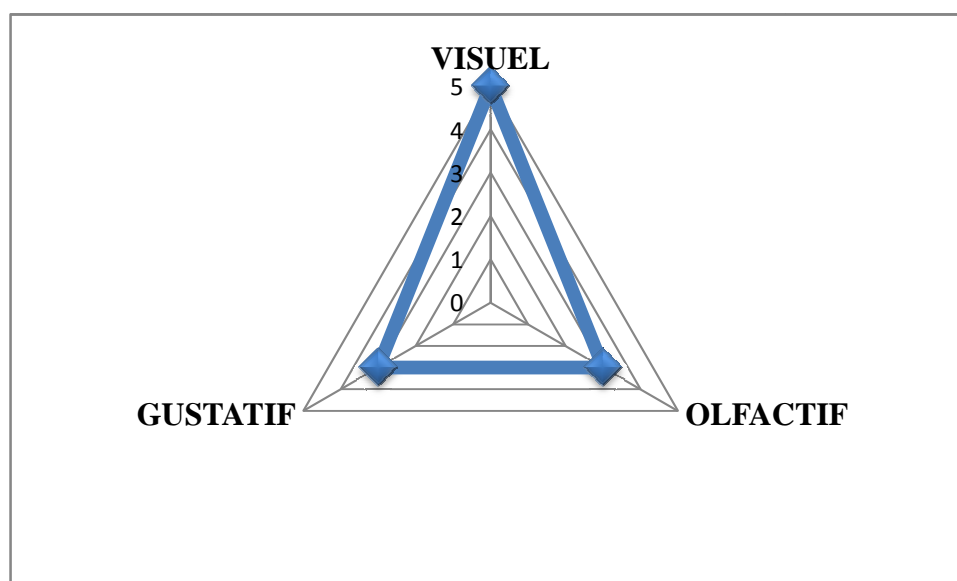


Figure N° 51 : Profil sensoriel du sirop de sucre

Les sujets ou répondants ont été satisfait au niveau de l'apparence extérieure du sirop de sucre ; donc de sa limpidité et de l'absence de couleur. Par contre, à part la saveur très sucrée, ils ont constaté un petit arrière-goût acide, du fait que le bicarbonate de soude, utilisé par la société JB en tant qu'agent de régulation de pH, n'a pas été ajouté au niveau du procédé de valorisation.

2. Analyse hédonique

Les résultats de l'analyse hédonique du sirop de sucre, avec 10 juges ou répondants, et par mesure d'acceptabilité d'un produit, sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau N° 48 : Résultats de la mesure d'acceptabilité du sirop de sucre

EVALUATION	TRES ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	ASSEZ ACCEPTABLE
Nombre de jury	2	7	1
Pourcentage	20%	70%	10%

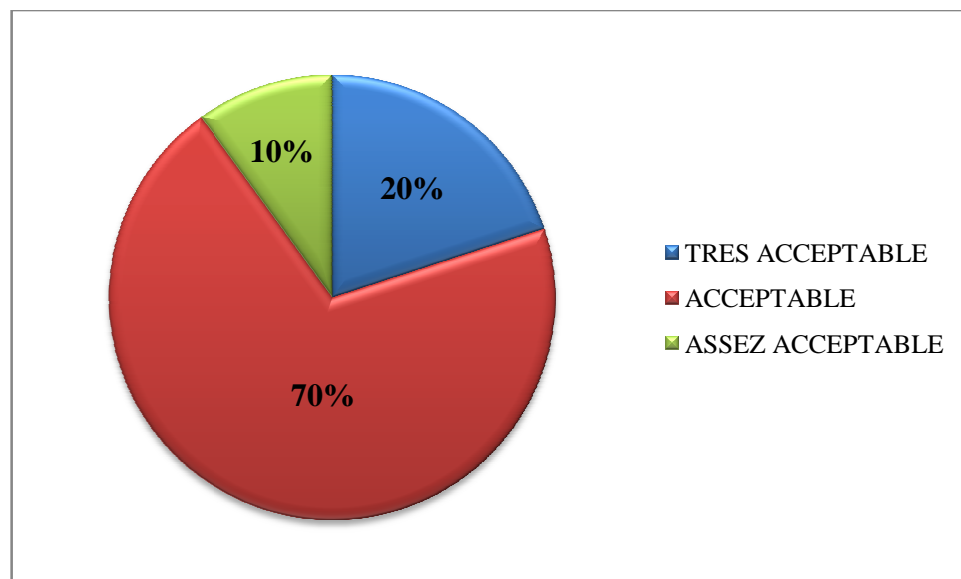


Figure N° 52 : Evaluation hédonique du sirop de sucre

La figure ci-dessous montre que, 70% du jury trouvent que le produit est « acceptable » ; les 20% et les 10% restes l'ont qualifié respectivement de « très acceptable » et d' « assez acceptable » ; et ceci en fonction de leur impression générale.

CONCLUSION PARTIELLE

Les études expérimentales nous ont permis d'approfondir encore plus la valorisation des déchets bonbons durs en sirop de sucre. Deux opérations unitaires sont essentielles et indispensables : l'agitation et la filtration. Il est vrai que les agents de traitement choisis, le charbon actif et la terre décolorante, sont pratiquement dotés de pouvoir de décoloration et de désodorisation, mais seul le charbon actif est approprié aux colorants des déchets de bonbons durs. La terre décolorante, malgré son pouvoir décolorant, n'est pas adaptée au traitement des solutions de sucres cuits ou bonbons durs. Les comportements des colorants changent d'un type de bonbon à un autre, et d'un parfum à un autre; certains sont plus faciles à enlever par rapport à d'autres qui sont plus persistants : ce sont les déchets bonbons JOK qui sont les plus faciles à traiter, viennent ensuite les déchets bonbons OLE, et les colorants les plus persistants sont ceux des bonbons PECTO. Les conditions optimales de traitement sont en général un temps d'agitation de 60 minutes et une quantité de charbon actif en poudre variant de 6 à 10%, vis-à-vis de la quantité des déchets matières. Quant aux propriétés du sirop de sucre, avec un taux de matières sèches de 80 °Brix, il est généralement limpide et incolore, assez inodore avec une saveur très sucrée, et un goût légèrement acide.

Troisième partie : ETUDES ECONOMIQUES

I. Les paramètres généraux de l'étude économique

L'étude économique se fera par année et l'on considèrera le mélange des 3 types de bonbons durs : Jok, Olé et Pecto. Le pourcentage de charbon actif par rapport à la masse de déchets bonbons à considérer sera alors de 10%. L'évaporation de la solution de sucre ne sera également pas considérée puisque ce sont les solutions de sucre élaborées qui seront utilisées directement par l'Usine. Les paramètres généraux pour l'évaluation économique de procédé de valorisation sont les suivants :

Tableau N° 49 : Les paramètres généraux de l'évaluation économique

DESIGNATION	VALEUR
Durée de travail mensuel	173 heures
Durée de travail annuel	2076 heures
Durée d'un procédé	3 heures
Nombre maximal de procédés	692 procédés
Capacité du BATCH	500 kg, soit 500 L d'eau froide
Taux de récupération d'eau	90%

1. Le nombre maximal de procédés

Le nombre maximal de procédés pouvant être effectués durant toute l'année est de 692. En effet, la durée mensuelle de travail est estimée à 173 heures, et la durée annuelle de travail sera donc de 12-fois la durée mensuelle de travail, soit 2076 heures de travail annuel. Et puisqu'un procédé dure environ 3 heures, le nombre maximal de procédés par année est donc donné par la formule suivante :

$$\text{Nombre maximal de procédés par an} = \frac{\text{durée annuelle de travail}}{\text{durée d'un procédé}}$$

$$\text{Nombre maximal de procédés par an} = \frac{2076h}{3h} = 692 \text{ procédés}$$

2. Le taux de récupération d'eau

En supposant que les 10% de l'eau utilisée pendant le procédé sont perdus au niveau de la filtration, de la dissolution ou autres, le taux de récupération d'eau est alors de 90%.

II. L'évaluation économique pour 25g/100ml de déchets bonbons/eau

1. Estimation du coût des matières premières

Les données économiques nécessaires et indispensables pour l'évaluation économique du coût des matières premières, pour une proportion déchets bonbons/eau de 25g/100ml à l'échelle de laboratoire, ou 25kg/100L à l'échelle industrielle, sont données dans le tableau suivant :

Tableau N° 50 : Données économiques concernant les matières premières

DESIGNATION	VALEUR
Quantité de déchets bonbons par procédé	125 kg
Quantité annuelle de déchets bonbons recyclés	86500 kg
Durée de travail nécessaire pour le recyclage	2076 heures ou 12mois
Nombre de procédés	692 procédés
Quantité annuelle moyenne de déchets bonbons au sein de l'Usine	146193 kg
Quantité annuelle de déchets bonbons non recyclée	59693kg
Pourcentage de déchets recyclés	59,17%
Pourcentage de charbon actif par rapport aux déchets bonbons	10%
Prix de charbon actif	5591,3Ar/kg
Coût total d'importation de charbon actif tel que le coefficient d'importation est de 1,25	6989,13Ar/kg

1.1. Quantité annuelle de déchets bonbons recyclés

Comme la capacité du batch est de 500kg, donc de 500L d'eau froide ; la quantité de déchets bonbons pouvant être recyclés pour une proportion déchets bonbons/eau de 25kg/100L sera alors de 125kg. En effet :

$$\text{Quantité de déchets bonbons par procédé} = \frac{500L}{100L} * 25kg = 125kg$$

La quantité annuelle de déchets bonbons pouvant être recyclés pour 25kg/100L est de :

$$\text{Quantité annuelle de déchets bonbons recyclés} = 125kg * 692 = 86500kg$$

1.2. Quantité annuelle de déchets bonbons non recyclés

Comme la quantité annuelle de déchets bonbons pouvant être recyclés pour 25kg/100L est de 86500kg ; et que la quantité annuelle de déchets bonbons disponibles au sein de l'Usine JB est d'environ 146193 kg ; alors il reste 59693 kg de déchets bonbons non recyclés au cours de l'année. On a :

$$\text{Quantité non recyclée} = \text{Quantité disponible} - \text{Quantité à recycler}$$

$$\text{Quantité non recyclée} = 146193\text{kg} - 86500\text{kg} = 59693\text{kg}$$

1.3. Durée de travail nécessaire pour le recyclage des 86500kg de bonbons durs

Pour la valorisation de 125kg de déchets bonbons, on a besoin d'environ 3 heures. Le nombre annuel de procédés nécessaires pour la valorisation des 86500kg de déchets bonbons durs est donné par la formule suivante :

$$\text{Nombre de procédés} = \frac{\text{Quantité annuelle à recycler}}{\text{Quantité recyclée par procédé}} = \frac{86500\text{kg}}{125\text{kg}} = 692 \text{ procédés}$$

La durée de travail nécessaire pour 692 procédés de valorisation est donc de :

$$\text{Durée de travail annuel} = \text{Nombre de procédés} * \text{durée d'un procédé}$$

$$\text{Durée de travail annuel} = 692 * 3\text{h} = 2076 \text{ heures} = 12 \text{ mois}$$

L'évaluation du coût des matières premières est donc donnée par le tableau ci-dessous :

Tableau N° 51 : Evaluation des matières premières

DESIGNATION	QUANTITE ANNUELLE [kg]	PRIX UNITAIRE	MONTANT ANNUEL
Déchets bonbons durs	86500kg	-	-
Coût total d'importation de charbon actif	8650kg	6989,13Ar/kg	60 455 974,50Ar
TOTAL			60 455 974,50Ar

2. Estimation du coût de l'eau et de l'électricité

Quant à l'évaluation de l'eau et de l'énergie utilisées, les données économiques nécessaires sont les suivantes :

Tableau N° 52 : Données économiques concernant l'eau et l'électricité

DESIGNATION	VALEUR
Energie nécessaire pour un procédé	15kWh
Nombre annuel de procédés	692 procédés
Energie annuelle nécessaire	10380kWh
Quantité d'eau froide pour le procédé	500 L
Quantité annuelle d'eau froide	346000 L
Nombre de lavages de machines	1 lavage par 2000 kg de déchets bonbons
Quantité de déchets à recycler	86500kg
Nombre annuel de lavages de machines	43 lavages
Quantité d'eau de lavage	50L/lavage
Quantité annuelle d'eau de lavage	2150L

2.1. Energie annuelle nécessaire

Comme 15kWh est l'énergie nécessaire pour la réalisation d'un procédé, et que le nombre de procédés pouvant être effectués annuellement pour la proportion déchets bonbons/eau de 25kg/100L est de 692 procédés ; alors, l'énergie annuelle nécessaire pour le recyclage des 86500kg de bonbons durs est donnée par la formule suivante :

$$\text{Energie annuelle nécessaire} = \text{Energie nécessaire/procédé} * \text{Nombre de procédés/an}$$

$$\text{Energie annuelle nécessaire} = 15\text{kWh} * 692 = 10380\text{kWh}$$

2.2. La quantité annuelle d'eau froide

La quantité annuelle d'eau froide est déterminée comme suit :

$$\text{Quantité annuelle d'eau froide} = \text{Quantité d'eau/procédé} * \text{Nombre de procédés/an}$$

$$\text{Quantité annuelle d'eau froide} = 500\text{L} * 692 = 346000\text{L}$$

2.3. Le nombre annuel de lavages des machines

Les machines industrielles ont besoin de lavages après la valorisation de 2000kg de déchets bonbons durs. Or, 86500kg de bonbons durs seront recyclés durant toute l'année. Le nombre annuel de lavage est donné par la formule ci-dessous :

$$\text{Nombre annuel de lavages} = \frac{\text{Quantité annuelle de déchets à recycler}}{2000\text{kg}}$$

$$\text{Nombre annuel de lavages} = \frac{86500\text{kg}}{2000\text{kg}} = 43,25\text{lavages}$$

$$\text{Nombre annuel de lavages} = 43 \text{ lavages}$$

2.4. La quantité annuelle d'eau de lavage

L'eau de lavage des machines est estimée à 50L par lavage. Pour 43 lavages, la quantité annuelle d'eau de lavage est donc déterminée comme suit :

$$\text{Quantité annuelle d'eau de lavage} = \text{Nombre lavages/an} * \text{Quantité d'eau d'eau/lavage}$$

$$\text{Quantité annuelle d'eau de lavage} = 43 \text{ lavages} * 50\text{L} = 2150\text{L}$$

L'évaluation du coût de l'eau et de l'énergie est donc donnée par le tableau ci-dessous :

Tableau N° 53 : Eau et énergie nécessaires à la valorisation

DESIGNATION	QUANTITE ANNUELLE	PRIX UNITAIRE	MONTANT ANNUEL
Eau non récupéré durant le procédé	34600L	300Ar/m ³	10380,00Ar
Eau pour le lavage des machines	2150L	300Ar/m ³	645,00Ar
Energie pour le procédé	10380kWh	400Ar/kWh	4 152 000,00Ar
TOTAL			4 163 025,00Ar

Comme la perte en eau durant le procédé de valorisation est estimée à 10%, le taux de récupération de l'eau est alors de 90%. De ce fait, on calculera directement l'eau non récupérée

durant le procédé, et l'eau récupérée ne sera plus incluse dans la valeur de la solution obtenue par valorisation. On a :

Eau non récupérée durant le procédé = Eau de dissolution – 90%Eau de dissolution

Eau non récupérée durant le procédé = 10% * 346000L = 34600L

3. Evaluation du salaire de la main d'œuvre

Pour une proportion de déchets bonbons/eau de 25g/100ml à l'échelle de laboratoire, la durée de travail des salariés est d'exactement 12 mois, soit 2076heures.

Tableau N° 54 : Evaluation du salaire des ouvriers

DESIGNATION	SALAIRE MENSUEL	SALAIRE ANNUEL	NOMBRE OUVRIERS	MONTANT ANNUEL
Ouvriers	200 000Ar/ouvrier	2 400 000Ar/ouvrier	2	4 800 000,00Ar
TOTAL				4 800 000,00Ar

4. Estimation du coût total de valorisation

Le coût total de valorisation des déchets bonbons durs est donné par la formule suivante :

Coût total de valorisation = Coût « matières premières » + Coût « eau + énergie » + Coût « salaire des ouvriers »

Tableau N° 55 : Coût total de valorisation pour 25g/100ml

DESIGNATION	MATIERES PREMIERES	EAU ET ELECTRICITE	SALAIRE DES OUVRIERS	COÛT TOTAL DE VALORISATION
MONTANT ANNUEL	60 455 974,50Ar	4 163 025,00Ar	4 800 000,00Ar	69 418 999,50Ar

5. Estimation de la valeur du saccharose obtenu

La quantité de saccharose obtenue sera déterminée en fonction du degré Brix ou de la teneur en matière de la solution obtenue par valorisation. La quantité annuelle de saccharose obtenue est donc donnée par le tableau suivant :

Tableau N° 56 : Quantité annuelle de sucre obtenue

Quantité de déchets bonbons	Degré Brix	Teneur en saccharose
25kg	19°Brix	19kg
86500kg		65740kg, soit 65,74t

Le coût total d'importation d'une tonne de sucre est donné dans le tableau suivant :

Tableau N° 57 : Coût total d'importation d'une tonne de saccharose

DESIGNATION	VALEUR
Coût total d'importation d'une tonne de sucre blanc	1 329 900Ar

La valeur de la solution de sucre obtenue après valorisation des déchets bonbons durs (l'eau récupérée n'étant plus incluse), est donc de :

Tableau N° 58 : Estimation de la valeur de sucre obtenu par valorisation

DESIGNATION	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	VALEUR TOTALE
Saccharose	65,74t	1 329 900Ar/t	87 427 626,00Ar

6. Bilan économique

Le résultat ou le bilan économique peut être défini par la formule suivante :

$$\text{Bilan} = \text{Valeur du sucre blanc obtenu} - \text{Coût total de valorisation}$$

Le procédé se traduira par un GAIN ou un BENEFICE si :

$$\text{Valeur du sucre blanc obtenu} > \text{Coût total de valorisation}$$

Par contra, le procédé se traduira par une PERTE si :

$$\text{Valeur du sucre blanc obtenu} < \text{Coût total de valorisation}$$

Tableau N° 59 : Le bilan économique pour 25g/100ml

DESIGNATION	VALEUR DU SUCRE BLANC OBTENU	COÛT TOTAL DE VALORISATION	BILAN ECONOMQIE
MONTANT	87 427 626,00Ar	69 418 999,50Ar	18 008 626,50Ar

7. Interprétation des résultats

Pour une proportion déchets bonbons/eau de 25kg/100L et pour 10% de charbon actif, vis-à-vis de la quantité de déchets matières, le coût total du procédé de valorisation est de soixante neuf millions quatre cent dix huit mille neuf cent quatre vingt dix-neuf Ariary cinquante (69 418 999,50Ar), valeur inférieure à celle de la solution de sucre obtenue qui est de quatre vingt et sept millions quatre cent vingt et sept mille six cent vingt et six Ariary (87 427 626,00Ar). Le procédé s'est donc traduit par un gain annuel de **dix-huit millions huit mille six cent vingt et six Ariary cinquante (18 008 626,50Ar)**.

CONCLUSION PARTIELLE

Cette troisième partie nous a permis de savoir que la valorisation des déchets de bonbons durs de la société JB est un procédé très envisageable, avec un rendement assez élevé de 71,2%. Pour 10% de charbon actif vis-à-vis des déchets matières, et pour une proportion déchets bonbons/eau de 25kg/100mL, le gain annuel de la société est de dix-huit millions huit mille six cent vingt et six Ariary cinquante (18 008 626,50Ar).

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Nombreux sont les avantages tirés au cours de cette étude, concernant la valorisation des déchets bonbons durs de la société JB en sirop de sucre. Elle nous a permis d'approfondir un peu plus le domaine de l'agroalimentaire, et d'étudier le sucre dans tous ses états.

Les différentes études expérimentales effectuées nous ont donné l'opportunité, non seulement de démontrer que le procédé de valorisation des déchets de bonbons durs en question est pratiquement réalisable, mais aussi de découvrir les caractéristiques du charbon actif, en tant qu'agent de décoloration et de désodorisation. Les différents types de bonbons durs, ou plus précisément leurs colorants, ne possèdent pas les mêmes comportements vis-à-vis de l'agent de traitement, dont la quantité nécessaire et suffisante pour la valorisation, est de 10%, par rapport à la masse de déchets matières utilisée.

Dans cette étude nous avons mis au point une méthodologie d'analyse de la variation de la coloration des solutions de bonbon dur au cours du procédé à partir de la méthode spectrophotométrique. Comme la quantité des colorants contenue dans le bonbon n'est pas connue, nous avons fixé une échelle de couleur variant de 0 jusqu'à 10 ; dont l'échelle 0 correspond à la couleur de l'eau distillée, et le 10 à celle de la solution étalon la plus colorée. La longueur d'onde de travail correspond au maximum d'absorption de la solution étalon.

Concernant les analyses sensorielles du sirop de sucre obtenu, les jurys ont généralement été très satisfaits au niveau de l'apparence extérieure ; et il est de saveur très sucrée mais acidulée. Les caractéristiques qui ont pu être déterminées sont assez proches de la norme, sauf l'acidité, avec un rendement du procédé de valorisation de 71,2%. Les opérations unitaires essentielles sont la dissolution des bonbons durs dans l'eau, soixante minutes d'agitation avec le charbon actif et la filtration.

Les déchets de bonbons durs de la société JB, par leur valorisation, peuvent procurer un gain annuel de dix-huit millions huit neuf mille six cent vingt et six Ariary cinquante (18 008 626,50Ar). Cependant les déchets matières ne sont pas encore arrivés à leur épuisement total, pour la proportion de déchets bonbons/eau prise en compte, c'est-à-dire de 25kg/100L. Seulement 59,17% des déchets disponibles au sein de l'Usine ont pu être valorisés, en ne tenant pas compte de leur opération de refonte qui est une autre forme de valorisation.

La suite de l'étude se rapportera alors à l'augmentation de la proportion déchets bonbons/eau ; afin de les recycler à 100% et d'éviter leur rejet. Le procédé de valorisation des déchets de bonbons durs pourra également être de plus en plus avantageux, et sera encore plus intéressant pour la société JB, par l'utilisation d'un autre lot de charbon actif plus efficace ; donc par la diminution de la quantité de charbon actif à utiliser, à raison de 2 ou 4% vis-à-vis de la quantité des déchets matières, ainsi qu'avec une inflation notable du coût total de valorisation, ou une baisse significative du prix de charbon actif. Il y a aussi la résolution du problème de l'acidité du sirop de sucre, pour que le pH soit proche de la neutralité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES

- [1] : <http://bonbonbon.e-monsite.com/pages/i-generalites-sur-les-bonbons.html> (Consulté le 03Novembre2013)
- [2] : fr.wikipedia.org
- [3] : <http://bonbonbon.e-monsite.com/pages/i-generalites-sur-les-bonbons/a-l-origine-des-bonbons.html> (Consulté le 03Novembre2013)
- [4] : <http://tpe-bonbon-agricampus.over-blog.com/article-i-l-evolution-des-bonbons-61546194.html> (Consulté le 03 Novembre 2013)
- [5] : <http://bonbonbon.e-monsite.com/pages/ii-la-composition-chimique-du-bonbon.html> (Consulté le 03Novembre2013)
- [6] : <http://bonbonbon.e-monsite.com/pages/ii-la-composition-chimique-du-bonbon/les-additifs-alimentaires.html> (Consulté le 03Novembre2013)
- [7] : <http://tpe-lesbonbons.e-monsite.com/pages/i-la-composition-du-bonbon.html> (Consulté le 21Décembre2013)
- [8] : Dehove Lami, Les arômes alimentaires, 1994.
- [9] : Resagro, Les arômes innovants, p21-22, 2010.
- [10] : Géraldine Demoulain, Le sucre dans tous ses états, p1, 2009.
- [11] : <http://bonbonbon.e-monsite.com/pages/i-generalites-sur-les-bonbons/les-grandes-familles-de-bonbons.html> (Consulté le 03Novembre2013)
- [12] : www.maisonconfiserie.fr/uploaded/generalites/.../sucres%20cuits.pdf (Consulté le 01 Février 2014)
- [13] : Centre d'étude et de documentation du sucre, 1997- La betterave, plante miracle- Auteur inconnu, Technique de l'industrie sucrière, p27, 1998.
- [14] : Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement, « Qualité » sur <http://r0.unctad.org>, CNUCED. (Consulté le 7 octobre 2008)
- [15] : <http://cuisine.notrefamille.com/recettes-facile/coin-des-enfants/les-amuser/lestypes-de-bonbons-et-leur-composition-de-base-o19819.html> (Consulté le 03 Novembre 2013)

- [16] : <http://qualimapa.univ-lille1.fr/rapp1.htm> (Consulté le 30 Janvier 2014)
- [17] : <http://r0.unctad.org>, CNUCED. (Consulté le 7 octobre 2008)
- [18] : http://www.cannelle.com/CONSOMMATION/apdf/rptglucides_part3_confiserie.pdf (Consulté le 21 Décembre 2013)
- [19] : www.lesucre.com (Consulté le 30 Janvier 2014)
- [20] : Géraldine Demoulin, Le sucre dans tous ses états, p5-6, 2009.
- [21] : Robert Shallenberger, *Taste Chemistry*, London, Springer, 613 pages (ISBN 0-7514-0150-1), « Chemical nature, psychology and physiology of taste », p5-46, 1993.
- [22] : <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agroth2/filiere-de-production-produits-d-origine-vegetale-42433210/produits-deconfiserie-f8030/ingredients-constitutifs-f8030niv10003.html> (Consulté le 21 Décembre 2013)
- [23] : Kapeler, Caventou, Manuel pharm. et drog., t. 2, p668, 1821.
- [24] : www.supertoinette.com/fiche-cuisine/730/sirop.html (Consulté le 01 Février 2014)
- [25] : www.supertoinette.com/liste-recettes/sirop/ (consulté le 01 Février 2014)
- [26] : www.confiserie.org/html/tout_fabrication.html (Consulté le 01 Février 2014)
- [27] : lapatisseriedebarzaz.over-blog.com/pages/Indes_patisserie-2530.html (Consulté le 02 Avril 2014)
- [28] : www.syfab.fr (Consulté le 02 Avril 2014)
- [29] : www.je-papote.com/recettes (Consulté le 02 Avril 2014)
- [30] : J. Omlin, L. Chesaux, Evaluation de charbons actifs en poudre (CAP) pour l'élimination des micropolluants dans les eaux résiduelles urbaines, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2010.
- [31] : L. Meljac, Etude d'un procédé d'imprégnation de fibre de carbones activés-modélisation des interactions entre ces fibres et le sulfure d'hydrogène, Thèse de Doctorat, Université de Jean Monnet, St-Etienne, 2004.
- [32] : N. Yahiaoui, Etude de l'adsorption des composés phénoliques des margines d'olive sur carbonate de calcium, hydroxyapatite et charbon actif, Mémoire de Magister, Université de Tizi Ouzou, 2012.

- [33]: www.chemvironcarbon.com/fr/applications/charbon-actif-aliments-boissons (Consulté le 21 Décembre 2013)
- [34] : french.alibaba.com/product-free/activated-bleaching-earth-146880664.html (Consulté le 02 Avril 2014)
- [35] : french.alibaba.com/product-gs/activer-bleaching-earth-decoloring-clay-for-all-kinds-of-oil-refinery-1582114633.html?s=p (Consulté le 02 Avril 2014)
- [36] : www.hellopro.fr/materiels-pour-huilerie-2000221-fr-1-feuille.html (Consulté le 02 Avril 2014)
- [37] : A. Tahar, J.M. Choubert, P. Molle, M. Coquery, Matériaux adsorbants pour la rétention et le traitement de substances pharmaceutiques phytosanitaires, Office national de l'eau et des milieux aquatiques, Cemagref, 2010.
- [38] : A.K. Mellah, Adsorption de produits pharmaceutiques sur le charbon actif en poudre en vue de leur élimination, Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2012.
- [39] : nte.enstimac.fr (Consulté le 01 Février 2014)

ANNEXES

ANNEXE 1 : Présentation de la société JB

JB ou JINA BARDAY est l'une des plus grandes et plus renommées sociétés agroalimentaires de Madagascar. Créée en 1964, la société JB fait partie du groupe BASAN (Barday, Asgar, Anyl), avec LECOFRUIT, OIM, PROMA et bien d'autres encore.

La société JB comprend cinq sites :

- JBU : JB Usine Amboditsiry
- JBD : JB Distribution Tanjombato
- JBS : JB Siège Tsaralalàna
- JBH : JB Hazovato Tanjombato
- JBF : JB Filâtex Tanjombato

ANNEXE 2 : Détermination de la teneur en matière sèche soluble

La matière sèche soluble ou résidu sec soluble est la concentration en saccharose d'une solution aqueuse. Cette concentration est exprimée en masse ou en degré Brix.

1°Brix correspond à une concentration en sucres de 1g pour 100g de solution

1. Appareillage

La mesure du °Brix se fait à l'aide d'un appareil appelé réfractomètre.



Figure N° 53 : Réfractomètre

2. Mode opératoire

- Homogénéiser l'échantillon pour l'essai ;
- Appliquer une petite prise essai sur le prisme du réfractomètre et effectuer la mesure conformément aux instructions opératoires de l'appareil utilisé ;
- Procéder à trois lectures

ANNEXE 3 : Utilisation du bicarbonate de soude

Le bicarbonate de soude est employé en tant qu'agent de neutralisation du pH d'une solution acide, notamment pour les solutions de bonbons de sucres cuits contenant de l'acide citrique. Cependant, il constitue également une cause de la coloration de la solution de sucre en jaune, qu'il soit utilisé avant ou après la décoloration. En d'autres termes, le bicarbonate de soude vire une solution de sucre parfaitement incolore en une solution de sucre de couleur jaune. Si l'addition de bicarbonate de soude s'avère être obligatoire, il serait alors préférable d'effectuer son ajout avant la décoloration de la solution, et une optimisation, ou plus exactement, une augmentation de la quantité de l'agent de décoloration serait alors nécessaire. Dans le cas contraire, c'est-à-dire si l'addition de bicarbonate de soude n'est pas indispensable ; il serait recommandé de l'employer après l'utilisation du sirop de sucre pour la stabilisation du pH du milieu. La figure suivante représente un sirop de sucre de couleur jaune par addition de bicarbonate de soude :



Figure N° 54 : Sirop de sucre de couleur jaune

ANNEXE 4 : Les résidus de charbon actif

Afin d'éviter de colmater ou de boucher très rapidement le papier filtre lors de la filtration de la solution traitée, donc pour diminuer au minimum la vitesse de filtration de la solution, il faut veiller à ce que les résidus de charbon actif ou de terre décolorante ne soient pas versés simultanément avec la solution en question à travers le papier filtre et l'entonnoir.



Figure N° 55 : Résidus de charbon actif après traitement des déchets bonbons

ANNEXE 5 : L'analyse sensorielle

1. Définition

L'analyse sensorielle ou évaluation sensorielle est une méthode scientifique permettant de définir, mesurer, analyser et interpréter les caractéristiques d'un produit perçues par l'intermédiaire des organes des sens, c'est-à-dire ses propriétés gustatives (le goût), olfactives (l'odorat), visuelles (la vue), auditives (l'ouïe) et tactiles (le toucher). L'évaluation sensorielle n'est pas comparable à la dégustation, comme beaucoup pourraient penser. Ce terme fait essentiellement référence au domaine du vin, alors que l'évaluation sensorielle peut porter sur tous les produits alimentaires, mais également sur des produits non alimentaires tels que les parfums ou les produits cosmétiques.

2. Les objectifs

Les objectifs de l'emploi de l'évaluation sensorielle peuvent être multiples :

- la recherche et le développement des produits mis en œuvre par les entreprises agroalimentaires.
- L'explication des préférences des clients par les propriétés sensorielles quantifiées des produits étudiés.
- L'identification des comportements sensoriels des consommateurs ou des clients par les industries agroalimentaires pour savoir leurs attentes, leurs exigences et leurs préférences

3. Les sujets

On désigne sous le nom de « panel » ou « groupe témoin », le groupe de personnes qui va constituer l'instrument de mesure et va, après évaluation des produits répondre aux questions posées par l'animateur. Chaque individu du groupe sera alors qualifié de « juge » ou de « répondant ». Il est à noter qu'il existe quatre (4) catégories de sujets en analyse sensorielle :

- **Le sujet naïf** : sans aucune pratique de l'analyse sensorielle mais recherchée pour son aptitude à donner tout simplement ses préférences.
- **Le sujet initié** : ayant une pratique simple de l'analyse sensorielle.
- **Le sujet qualifié** : personne désignée pour sa capacité d'effectuer une analyse sensorielle.
- **Le sujet expert** : personne reconnue qualifiée pour mener de façon fiable une analyse sensorielle ; et possédant une culture de l'analyse sensorielle et des références sensorielles à long terme.

4. Les démarches scientifiques

En matière d'analyse sensorielle, deux démarches sont usitées :

- **une démarche analytique** permettant soit : *une analyse discriminative* : pour déterminer la présence ou l'absence de différence sensorielle entre deux produits, soit *une analyse descriptive* : la mesure qualitative et quantitative à l'aide de descripteurs et d'échelles de notation.
- **Une démarche hédonique** pour analyser les préférences ou la satisfaction des clients, permettant de faire *un test de classement*, *une notation hédonique* ou *une mesure d'acceptabilité d'un produit*.

Pour le cas du sirop de sucre, on effectuera une analyse descriptive ainsi qu'à une analyse hédonique, en procédant à la mesure d'acceptabilité d'un produit.

5. Les descripteurs et les variables

Pour traduire la perception des qualités ou des défauts organoleptiques d'un produit; l'individu en phase d'évaluation sensorielle a besoin d'un vocabulaire, le moins équivoque ou le moins ambigu possible ; un vocabulaire qui est également approprié aux sensations ressenties. En outre, la notion de descripteur ne suffit pas. Dans l'acte de l'analyse, et surtout quand celle-ci se fait par comparaison entre 2 ou plusieurs produits: il faut donc ajouter aux descripteurs une variable:

Exemple :

Si le descripteur est « sucré » ; et que le variable est « trop » ; alors, le sujet qualifie le produit de « trop sucré ».

ANNEXE 6 : Analyse sensorielle et descriptive du sirop de sucre

Date :

Nom et prénoms :

1. L'échantillon de sirop de sucre vous est présenté.
2. Évaluez l'intensité de la perception pour chacun des descripteurs cités ci-dessous à l'aide d'une échelle numérique allant de 0 à 5, et cochez votre réponse :

0 : intensité nulle

1 : très faible

2 : faible

3 : modérée

4 : forte

5 : très forte

		NOTE						MOYENNE (ASPECT)
		0	1	2	3	4	5	
ASPECT VISUEL	Limpidité							
	Absence de Couleur							
ASPECT OLFACTIF	Absence d'Odeur							
ASPECT GUSTATIF	Saveur sucrée							
	Absence d'arrière-goût							

ANNEXE 7 : Mesure d'acceptabilité du sirop de sucre

Date :

Noms et prénoms :

1. L'échantillon de sirop de sucre vous est présenté.
2. Notez votre niveau de satisfaction pour « l'impression générale » par rapport à votre standard interne et cochez votre réponse :

EVALUATION	REPONSE
Très acceptable	
Acceptable	
Assez acceptable	
Ni acceptable, ni inacceptable	
Assez inacceptable	
Inacceptable	
Très inacceptable	

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	I
SOMMAIRE.....	III
GLOSSAIRE	IV
LISTE DES UNITES.....	V
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES	VI
LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES	X
LISTE DES ANNEXES	XIII
INTRODUCTION	1
Première partie : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	2
Chapitre I : CONTEXTE GENERAL, OBJECTIF ET INTERETS DE L'ETUDE.....	3
I. Contexte général	3
II. Objectif et intérêts de l'étude.....	3
Chapitre II : LES BONBONS DURS	4
I. Généralités sur les bonbons	4
1. Définition et orthographe	4
2. Historique.....	4
II. La composition chimique des bonbons	5
1. Les additifs alimentaires	5
1.1. Définition	5
1.2. Les colorants alimentaires	5
1.3. Les conservateurs.....	7
1.4. Les acidifiants ou régulateurs alimentaires de pH.....	7
2. Les arômes.....	8
2.1. Définition	8
2.2. Utilisation des arômes alimentaires	8
2.3. Classification des arômes	8
3. Le sucre	9
III. Les bonbons durs	10
1. Généralités.....	10
2. Propriétés d'un bonbon dur.....	10
3. Procédé général de fabrication d'un bonbon dur	11

Chapitre III : LE SUCRE.....	14
I. Définition	14
II. Propriétés physico-chimiques du saccharose.....	14
1. Formule de la molécule de saccharose	14
2. Hydrolyse	15
3. Solubilité	15
4. Aspect commercial	16
5. Typologie	16
6. Dégradation thermique.....	17
7. Chaleurs de dissolution et de cristallisation	17
8. Température d'ébullition et point de congélation.....	17
9. Activité de l'eau	17
III. Les propriétés technologiques et organoleptiques du sucre	18
1. Pouvoir sucrant.....	18
2. Agent de coloration	18
3. Exhausteur de goût	18
4. Agent de texture	18
5. Agent de conservation.....	19
6. La fermentation	19
7. Agent de masse.....	19
Chapitre IV : LE SIROP DE SUCRE-LE SIROP DE GLUCOSE	20
I. Le sirop de sucre	20
1. Définition	20
2. La concentration du sirop.....	20
3. Les degrés de cuisson du sucre	20
II. Le sirop de glucose	21
1. Définition	21
2. Les caractéristiques du sirop de glucose	22
2.1. Le Dextrose équivalent ou D.E.....	22
2.2. Composition des sirops de glucose	22
2.3. Matières sèches	22
2.4. La densité.....	23
2.5. La teneur en SO ₂	23
2.6. Le pH	23

2.7.	La teneur en cendres	23
2.8.	Le pouvoir rotatoire	23
3.	Propriétés physiques.....	23
3.1.	Aspect et couleur	23
3.2.	Saveur	23
4.	Propriétés technologiques et organoleptiques	24
4.1.	La viscosité	24
4.2.	Pouvoir anticristallisant	24
4.3.	Hygroscopicité et influence sur l'humidité relative d'équilibre	24
4.4.	Pouvoir sucrant et rehaussement des arômes.....	25
4.5.	Brunissement	25
5.	Les types de sirop de glucose.....	25
6.	Obtention du sirop de glucose.....	26
6.1	L'hydrolyse acide	26
6.2	L'hydrolyse enzymatique	26
Chapitre V : TRAITEMENT DE LA SOLUTION DE SUCRE ISSUE DE LA DISSOLUTION DES BONBONS DURS.....		27
I.	Les agents de traitement	27
1.	Le charbon actif.....	27
1.1.	Définition	27
1.2.	Utilisations des charbons actifs.....	28
1.3.	Différents types de charbon actif	28
2.	La terre décolorante.....	29
II.	Le phénomène d'adsorption.....	30
1.	Définition	30
2.	Les types d'adsorption	30
2.1.	Adsorption physique (physisorption).....	30
2.2.	Adsorption chimique (chimisorption).....	30
3.	Les différentes étapes de l'adsorption	31
III.	La filtration.....	32
1.	Définition	32
2.	Classification.....	32
2.1.	Classification selon le mode de passage du fluide.....	32
2.2.	Classification selon la dimension des particules.....	32

3. Mécanismes de filtration	33
3.1. Le criblage ou tamisage	33
3.2. La filtration en profondeur.....	33
4. Caractéristiques physiques des filtres	33
4.1. Capacité de rétention	33
4.2. Débit de filtration.....	34
CONCLUSION PARTIELLE	36
Deuxième partie : ETUDES EXPERIMENTALES	37
Chapitre I : PROCESSUS DE VALORISATION DES DECHETS DE BONBONS DURS EN SIROP DE SUCRE	38
I. Diagramme de valorisation.....	38
II. Les matériels et les produits nécessaires.....	39
III. Le prétraitement des déchets de bonbons durs.....	40
1. Le triage des déchets bonbons.....	40
2. Le concassage des déchets bonbons.....	41
3. Le pesage des déchets bonbons.....	41
IV. Le traitement des déchets de bonbons durs.....	42
1. La dissolution des déchets bonbons	42
2. L'ajout de l'agent de traitement et agitation	42
3. La filtration.....	43
4. L'évaporation	43
5. Conditionnement et stockage	44
Chapitre II : LES ESSAIS PRELIMINAIRES	45
I. Objectifs et intérêts des essais préliminaires	45
II. Mode opératoire des essais préliminaires	45
III. Les paramètres considérés dans les essais préliminaires	46
IV. Les essais préliminaires avec le CHARBON ACTIF	46
1. Les caractéristiques du charbon actif	46
2. Les résultats des différents essais qualitatifs.....	47
2.1. Les déchets bonbons JOK.....	47
2.2. Les déchets bonbons OLE	49
2.3. Les déchets bonbons PECTO	50
V. Les essais préliminaires avec la TERRE DECOLORANTE.....	52
1. Les caractéristiques de la terre décolorante.....	52

2.	Les résultats des différents essais qualitatifs.....	52
VI.	Essai de comparaison des comportements des colorants des bonbons durs	54
Chapitre III : OPTIMISATION DES DIFFERENTS PARAMETRES MIS EN JEU		55
I.	Objectifs et intérêts de l'optimisation des différents paramètres.....	55
II.	Méthodologie d'optimisation.....	55
1.	Le principe de l'optimisation des paramètres	55
2.	Les paramètres mis en jeu	55
3.	Détermination de la variation de l'intensité de coloration	56
3.1.	Rappel sur la spectroscopie UV-visible.....	56
3.2.	Mode opératoire de préparation de la solution étalon.....	57
3.3.	La courbe d'étalonnage.....	58
4.	Détermination des caractéristiques sensorielles	59
4.1.	L'odeur.....	59
4.2.	L'apparence extérieure.....	59
4.3.	La couleur	60
III.	Optimisation avec le CHARBON ACTIF.....	60
1.	Mélange JOK.....	60
1.1.	Optimisation de la proportion de déchets bonbons/eau	60
1.2.	Optimisation de la quantité de charbon actif	62
1.3.	Optimisation du type de charbon actif à utiliser	63
1.4.	Optimisation de la quantité de charbon actif en poudre QCAP.....	65
2.	Mélange JOK-OLE	69
2.1.	Optimisation de la quantité de charbon actif en poudre	69
2.2.	Optimisation du temps d'agitation.....	70
3.	Mélange JOK-OLE (banane ; fraise ; lait)	72
3.1.	Optimisation de la quantité de charbon actif en poudre	72
3.2.	Optimisation du temps d'agitation.....	73
4.	Mélange JOK-OLE-PECTO	75
IV.	Optimisation avec la TERRE DECOLORANTE.....	77
1.	Mélange JOK.....	77
2.	Interprétation des résultats	78
V.	Récapitulation des résultats de l'optimisation avec le charbon actif en poudre	79
Chapitre IV : Réactivation thermique du charbon actif		80
I.	Les matériels à utiliser	80

II. Mode opératoire	80
III. Observations.....	81
IV. Essai de réutilisation du charbon actif réactivé	81
V. Comparaison des résultats avec ceux des charbons actifs non réactivés	82
VI. Interprétations des résultats	82
Chapitre V : CARACTERISATION DU SIROP DE SUCRE OBTENU.....	83
I. Les caractéristiques du sirop de sucre.....	83
II. Calcul du rendement de production	84
1. Mode opératoire	84
2. Les paramètres de production	84
III. Les analyses sensorielles.....	85
1. Analyse descriptive	85
2. Analyse hédonique	86
CONCLUSION PARTIELLE	87
Troisième partie : ETUDES ECONOMIQUES.....	88
I. Les paramètres généraux de l'étude économique	89
1. Le nombre maximal de procédés.....	89
2. Le rendement à considérer.....	89
II. L'évaluation économique pour 25g/100ml de déchets bonbons/eau.....	90
1. Estimation du coût des matières premières	90
1.1. Quantité annuelle de déchets bonbons recyclés.....	90
1.2. Quantité annuelle de déchets bonbons non recyclés.....	91
1.3. Durée de travail nécessaire pour le recyclage des 86500kg de bonbons durs	91
2. Estimation du coût de l'eau et de l'électricité	92
2.1. Energie annuelle nécessaire	92
2.2. La quantité annuelle d'eau froide	92
2.3. Le nombre annuel de lavages des machines	93
2.4. La quantité annuelle d'eau de lavage.....	93
3. Evaluation du salaire de la main d'œuvre	94
4. Estimation du coût total de valorisation.....	94
5. Estimation de la valeur du saccharose obtenu.....	95
6. Bilan économique.....	95
7. Interprétation des résultats	96
CONCLUSION PARTIELLE	97

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	98
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES.....	100
ANNEXES	a1
TABLE DES MATIERES	

Auteur : RAKOTOARIVONY Mamitiana Nantenaina

Nombre de pages : 102

Nombre de tableaux : 59

Nombre de figures : 55

TITRE :

**« Contribution à la valorisation des déchets de bonbons durs
de la société JB en sirop de sucre »**

RESUME :

Cette étude concerne la valorisation des déchets bonbons durs de la société JB en sirop de sucre. Le procédé de valorisation comprend deux opérations unitaires essentielles : l'agitation et la filtration. Ce procédé nécessite l'utilisation d'un agent de traitement des solutions obtenues à partir des sucres cuits : le charbon actif. Le rendement du recyclage de ces déchets est de 71,2% ; et a procuré, pour une proportion déchets bonbons/eau de 25kg/100L, un bilan économique positif.

Mots-clés : bonbons, sucre, sirop, charbon actif, déchets, agitation, filtration

TITLE:

« Contribution to the candy recycling of JB Company in sugar syrup»

SUMMARY:

This work concerns the candy recycling of JB Company in sugar syrup. The recycling process includes two essential operations: agitation and filtration. The process needs active carbon for the treatment of the sugar solutions, produced by the candy recycling. The process presents an output of 71,2%; and gave positive result in economic terms.

Keywords: candy, sugar, syrup, activ carbon, waste, agitation, filtration

Rapporteur : Monsieur ANDRIAMANAMPISOA Tsiry Angelos

Encadreur : Monsieur RAKOTOSAONA Rijalalaina

Adresse de l'auteur : Lot II N 187 J Soavinandriana Ouest Antananarivo 101

E-mail : mamitianantenaina@yahoo.fr