

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département : Chimie Industrielle



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: الكيمياء الصناعية

Mémoire présentée en vue de l'obtention
du diplôme de Master en : Génie des Procédés

Option : Génie Chimique

Titre:

**Détermination du pourcentage en sucre et en
caféine dans une boisson gazeuse par la
méthode polarimétrique et l'extraction**

Présentée par :

Souyei Souad

Devant le jury composé de :

Président : Dr. Aidi Amel

Encadreur : Dr. Almi Sana

Examineur : Dr. Ghebghoube Fatima

REMERCIEMENTS

Au terme de ce modeste mémoire, je tiens à remercier notre Dieu, qui donné le courage mener à bien et jusqu'au bout ce modeste travail. Pour arriver au bout de mes études.

*Remercie très chaleureusement mon prof- consultant **Dr. Almi Sana** Pour son encadrement, son aide, ses encouragements et ses conseils.*

Ma profonde gratitude aux membres du jury qui vont juger ce travail

Dr. Aidi Amel, Dr. Ghabghoube Fatima, Dr. Adjel Fatima.

*Merci à tous qui m'ont aidé et m'ont permis d'avance Groupe de laboratoire (**M^{eme}. Radhia, Mr. Ilyas, Zoubida et Sara**)*

*Enfin, remercie tous mes amis : en groupe de master **2GC**.*

Souyei Souad...

Dédicace

Je dédie ce travail à

*La personne qui m'a élevé, l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager
et de prier pour moi, c'est elle qui m'a donné le bonheur la plus chère personne dans ce
monde : ma mère*

*Mon père, rien au monde ne veut les efforts fournis jour et nuit pour ma réussite, tu
m'as appris la patience et la sagesse, puisse Dieu, Le Tout Puissant te préserve et
t'accorde la santé a ceux qui, leur amour coule dans mon cœur*

Grâce à eux ma vie a de sens: mes chers frères et sœurs (Hafnaoui,

Ali- Elhachemi, Maroi, Salsabil, Dalia)

Et toute ma famille : Souyei et Yadjour

*Mes chers amis avec qui j'ai partagé le chemin de réussite en récoltant les fruits de
notre sacrifice et notre éducation.*

Souyei Souad...

Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1

A. Partie théorique

Chapitre I: Méthodes de détermination du pourcentage d'un élément chimique

I.1. Méthodes chimique	3
I.1.1. Dosage et titrage	3
I.1.1.1. Evolution du système chimique lors d'un titrage.....	3
	4
I.2. Méthodes physique	4
I.2.1. Polarimétrie	4
I.2.2. Principe de la méthode	4
I.2.3. Utilisation du polarimètre	5
I.2.4. Loi de Biot	5
I.3. Analyse spectroscopique	6
I.3.1. Le spectre électromagnétique	6
I.3.2. Spectrophotométrie UV-VISIBLE.....	6
I.3.2.1.Le domaine spectral UV-VIS	7
I.3.2.2. Analyse quantitative	7
I.3.3. Rayonnement électromagnétique	8
I.3.3.1. Interprétation des spectres	8
	9
I.3.4. Spectroscopie de Résonance Magnétique Nucléaire (RMN)	

I.3.4.1. RMN ¹ H du proton	9
I.3.4.2. RMN ¹³ C du carbone 13	10
I.3.5. Spectrométrie d'adsorption atomique	10
I.3.5.1. Techniques de spectrométrie atomique	10
I.4. Analyse chromatographique	12
I.4.1. Chromatographie sur couche mince (CCM)	12
I.4.2. Chromatographie d'adsorption sur colonne	12
Chapitre II: généralité sur les sucres et la caféine en boissons gazeuses	
II.1. Les glucides	13
II.1. 1. Aspect quantitatif	13
II.1.2. Aspect qualitatif	13
II.1.3. Classification des glucides	13
II.2. Le sucre	14
II.2.1. Structure du Saccharose	15
II.2.2. Propriétés du sucre et des solutions sucrées	15
II.3. le sucre dans les boissons gazeuses	18
II.2.4. L'énorme du sucre dans le corps humain	18
II.2.5. L'effet d'excès du sucre sur la santé	19
II.6. la caféine	20
II.6.1. formule chimique	20
II.6.2. Caractéristiques organoleptiques	20
II.6.3. La teneur en caféine dans les boissons	20
II.6.4. Propriétés physicochimique	21
II.6.5. l'énorme de la caféine dans le corps humain	22

II.6.6. Effets biologiques de la caféine	22
II.6.6.1. Rôle chez le caféier	22
II.6.6.2. Effets sur la santé humaine	23
II.6.6.3. Effets inhibiteurs et mutagènes	24
II.6.7. Les colorant dans les boissons gazeuses	25
II.6.7.1. Le colorant caramel	25
II.6.7.2. Le 4-Méthylimidazole	26
II.6.7.2.1. Sources alimentaires et modes de formation	26
II.6.7.2.2. Toxicité	27
II.6.8. L'effet du Boisson gazeuse sucrée sur la santé	27

B. Partie expérimentale

Chapitre III : Méthodes d'étude et conditions expérimentales

Introduction	37
III.A. Matériels et Méthodes	39
III.1. Méthodes utilisé pour déterminer le pourcentage en sucre	41
1.1. Dosage du sucre total	41
1.1.1. Extraction du sucre	41
1.1.2. Détermination du sucre	41
1.2. Dosage du sucre réducteur.....	42
1.2.1. Mise en solution des sucres et défécation	42
1.2.2. Inversion	42
1.2.3. Dosage avant inversion	43
III.2.Méthodes utilisé pour déterminer le pourcentage de la caféine	45

Résultats et discussions

III.B.1.Détermination de pourcentage en sucre dans le coca-cola	50
• Le pourcentage obtenu à partir de dosage	50
1. Dosage après inversion	51
• Le pourcentage obtenu à partir de la densité	52
• Résultat obtenu du polarimètre	54
III.B.2.Détermination de pourcentage en caféine dans le coca-cola	57
1. Extraction de la caféine	57
- La chromatographie sur CCM	58
- Caractérisation par Infrarouge	58
- Caractérisation par UV-Visible	59
- Caractérisation par RMN ¹ H	61

Conclusion générale

Références bibliographiques

Références électronique

Résumé

Abstract

ملخص

Liste de figures

Figure 1:	Lumière incidente polarisée.	3
Figure2:	Le domaine UV-visible.	5
Figure 3:	Le spectre électromagnétique	6
Figure 4:	Origine de l'absorption et de l'émission par des atomes.	9
Figure5:	Spectrométrie d'émission atomique (AES).	10
Figure 6:	Structure du saccharose.	14
Figure 7:	Formule chimique de la caféine	19
Figure 8:	Les 4 classes de colorant caramel.	24
Figure 9:	Structure du 4- Méthylimidazole.	25
Figure10:	Appareil du polarimètre.	39
Figure11:	Appareil du Rotavapor.	39
Figure12:	Titration du sucre total.	41
Figure 13:	Neutralisation par l'hydroxyde de sodium de la solution inversé.	42
Figure 14:	Dosage avant inversion.	43
Figure 15:	Appareil de la lampe UV- Visible Radiation.	46
Figure 16:	Appareil UV-Visible.	48
Figure 17:	Appareil Infrarouge.	49
Figure 18:	Appareil du Résonance Magnétique Nucléaire	50
Figure 19:	Dosage après l'inversion.	52
Figure 20:	Courbe d'étalonnage.	54
Figure 21:	Caractéristique de la canette du coca étudié.	56
Figure 22:	Structure chimique de la caféine.	57
Figure 23:	Plaque CCM dans l'éluant d'eau/ éthanol (5/5), (9/1).	58
Figure 24:	Spectre Infrarouge de la caféine.	59
Figure 25:	Spectre UV-Vis de la caféine.	60
Figure 26:	UV-Vis réalisé per Atomssa.	61
Figure 27:	spectre de RMN de la caféine.	62

Liste des abréviations

UV	la spectroscopie UV-Visible.
IR	la spectroscopie Infrarouge.
RMN	La résonnance magnétique nucléaire.
H	Hydrogène.
¹³ C	Carbone 13.
HF	Hautes Fréquences.
UHF	Ultra hautes fréquences.
PIR	Intéresserons plus particulièrement à la région du proche.
MIR	Moyen infrarouge.
AES	Spectrométrie d'émission atomique.
AAS	Spectrométrie atomique par flamme.
CCM	Chromatographie sur couche mince.
pH	Le potentiel hydrogen.
B _v	Brix volume.
B _p	Brix poids.
ANC	Apport nutritionnels conseilles.
AET	Apport énergétique total.
MEI	Méthylimidazole.
ADN	L'acide désoxyribonucléique.
AVC	Vivre un accident vasculaire.
OGM	les organismes génétiquement modifiés.
ONG	Organisation non gouvernementale.
ONU	L'Organisation des Nations unies.
EDTA	Ethylène Diamine Tétra-Acétique.
N	Normalité.
SIT	Sucre interverti totaux.
SI	sucre interverti

Liste des tableaux

Tableau 1:	Techniques de spectrométrie atomique.	11
Tableau 2:	Les principales caractéristiques physico-chimiques de la caféine.	21
Tableau 3:	Instruments et méthodes utilisés pour calculer le teneur en sucre.	37
Tableau 4 :	Les résultats obtenus par la méthode de la densité.	53
Tableau 5 :	Les résultats du trois méthode.	56
Tableau 6:	Spectre de RMN ^1H de la caféine.	61

Introduction générale

Une once de prévention vaut une livre de guérison "est un proverbe bien connu. Aujourd'hui, l'homme est constamment exposé à une variété de produits chimiques toxiques principalement en raison de changements dans le style de vie. Les aliments que nous mangeons, l'eau que nous buvons, l'air que nous respirons et l'environnement dans lequel nous vivons sont contaminés par des xénobiotiques toxiques [1].

L'augmentation de la consommation de boissons sucrées, notamment chez les jeunes, est devenue un véritable enjeu de santé publique depuis que celles-ci ont été directement incriminées dans l'obésité infantile et l'apparition précoce d'autres pathologies

Les boissons sucrées, que ce soit les boissons gazeuses ou « fruitées » ou « énergétiques » et autre eau vitaminée, sont tout simplement des bonbons liquides. De valeur nutritive pratiquement nulle, elles renferment principalement de l'eau et du sucre ajouté sous forme de sirop de maïs à haute teneur en fructose. C'est ce qu'on appelle un apport en calories« vides ». Dans une seule bouteille de boisson sucrée au format de 490 ml, il y a jusqu'à 12 cuillérées à thé de sucre, pour un total de 200 à 240 calories, ce qui représente en moyenne la consommation quotidienne des jeunes [2].

La caféine est présente dans plusieurs drogues végétales rentrant dans la composition historique, les graines de café, les fèves de cacao, les noix de kola ou les feuilles de maté. Mais, aujourd'hui, la caféine est également un ingrédient ajouté à la recette des colas [3].

Les boissons au cola et les boissons énergisantes contiennent beaucoup de caféine et on sait qu'une quantité élevée de caféine diminue la quantité de calcium emmagasinée dans l'organisme [4].

Dans ces deux situations que s'introduit le but de ce mémoire, dont il est réparti en trois chapitres :

- Dans le premier chapitre, on trouvera une présentation des techniques chimiques et physiques de détermination du pourcentage ou de caractérisation d'un élément chimique. Un intérêt particulier sera porté à l'utilisation des méthodes spectrales.
- Le deuxième chapitre est consacré par généralité sur le sucre et la caféine en boissons gazeuses.

➤ Le troisième chapitre présente les méthodes et les technique utilisées pour la réalisation de ce travail à savoir:

❖ Méthodes utilisé pour déterminer le pourcentage en sucre sont:

- La méthode de dosage.
- La méthode de polarimètre.
- La méthode de la densité.

❖ Méthodes utilisé pour déterminer le pourcentage de la caféine sont:

- Méthode d'extraction.
- La chromatographie sur couche mince (CCM).
- Spectrométrie UV-VISIBLE.
- Spectrométrie INFRAROUGE.
- Spectrométrie de résonance magnétique nucléaire (RMN).

Et enfin, une conclusion générale rassemble les principaux points réalisés dans ce travail.

I. Méthodes de détermination du pourcentage d'un élément chimique

I.1. Méthodes chimique

I.1.1. Dosage et titrage

Un dosage est la détermination d'une concentration ou d'une teneur massique, quelle que soit la méthode employée : chimique ou physique. Certains dosages sont basés sur une propriété physique qui caractérise la substance à doser. Un dosage par mesure d'absorbance (dosage spectrophotométrique), un dosage par mesure de conductance (dosage conductimétrique) en sont des exemples.

Un titrage est un cas particulier de dosage. C'est la détermination d'une concentration inconnue à l'aide d'une solution dont on connaît le titre, par transformations chimiques entre la substance à doser et la substance titrant. C'est une méthode chimique, elle repose sur la réactivité chimique de la substance à doser et non sur ses propriétés physiques. La réaction chimique doit être totale et rapide.

Tous les titrages sont donc des dosages mais tous les dosages ne sont pas des titrages.

I.1.1.1. Evolution du système chimique lors d'un titrage

Un titrage consiste en une succession d'opérations visant à consommer l'espèce chimique contenue dans la solution à doser lors d'ajouts de quantités connues d'un réactif titrant, ceci jusqu'à l'équivalence. On peut décrire le processus de titrage selon les trois parties suivantes :

- Avant l'équivalence, l'espèce chimique à titrer se transforme de façon totale et instantanée à chaque addition de solution titrant.
- L'équivalence intervient pour un volume de solution titrant ajouté tel que la quantité de matière ajoutée de l'espèce titrant soit égale à la quantité de matière initiale de l'espèce titrée, on peut dire alors qu'il y a changement de réactif limitant.
- Après l'équivalence, l'espèce chimique titrant est ajoutée en excès.

Il existe une diversité de titrage. Les réactions chimiques mises en jeu peuvent être acido-basiques, d'oxydoréduction, de précipitation, de complexation. Les techniques de suivi de titrage sont diverses : suivi spectrophotométrique, conductimétrique, pH-métrique, avec indicateur coloré, avec changement de couleur de la solution. Nous distinguons les titrages avec indicateur coloré où il y a ajout dans le système d'une espèce chimique, qui n'intervient pas dans la réaction de titrage, dont la couleur change à l'équivalence et les titrages avec

changement de couleur de la solution dû à des espèces chimiques intervenant dans la réaction chimique de titrage, par exemple la manganimétrie [5].

I.2. Méthodes physique

I.2.1. Polarimétrie

La polarimétrie est une technique expérimentale basée sur la mesure de la déviation du plan de polarisation d'une lumière polarisée traversant une solution composée. Cette méthode n'est applicable qu'aux molécules optiquement actives (chirales). Elle a été découverte par Biot en 1812 sur des cristaux puis en 1815 sur des molécules organiques d'une ou de plusieurs molécules chirales.

I.2.2 Principe de la méthode

Une molécule chirale possède la propriété de faire dévier le plan de polarisation d'une lumière incidente polarisée. Il suffit donc de placer une solution contenant la substance chirale entre les deux polaroïds pour vérifier si celle-ci fait dévier le plan de polarisation de la lumière.

Si c'est le cas, l'angle pour lequel on obtient l'extinction correspond à l'angle de rotation propre à la substance chirale. La mesure de cet angle est donc une caractéristique de la substance. Ceci est le Principe du polarimètre.

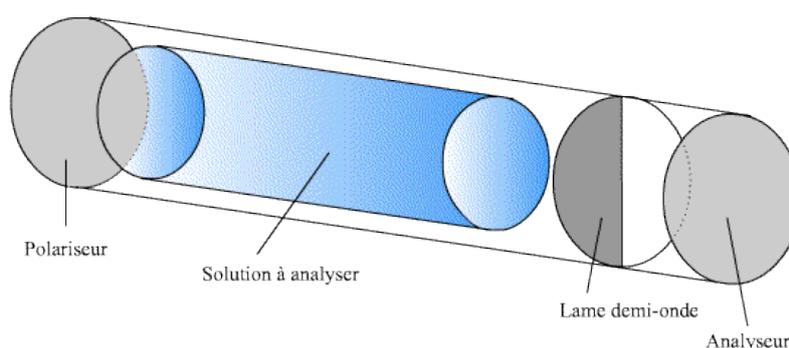


Figure 1: lumière incidente polarisée.

Il existe plusieurs sortes de polarimètres. Il y a le célèbre polarimètre de Laurent, et d'autres construits sur le même principe (polarimètre de Lippich, de Zeiss). Dans les

polarimètres, la source de lumière est une lampe à vapeurs de sodium placée devant le polarimètre.

I.2.3. Utilisation du polarimètre

Dans le polarimètre, pour des raisons de commodité, on utilise une lame quarte d'onde sur la moitié de l'oculaire dont le but est d'obtenir deux champs de pénombre. La valeur de l'angle de rotation du plan de polarisation peut être mesurée une fois que l'on est en zone d'équipé nombre.

	plage droite plus claire	faire tourner vers la droite
	plage gauche plus claire	faire tourner vers la gauche
	équipénombre	Relever la valeur de l'angle

I.2.4. Loi de Biot

La loi de Biot dit que l'angle de rotation est proportionnelle à la longueur de cuve et à la concentration. La constante de proportionnalité est appelée pouvoir rotatoire de la substance. Elle dépend de la température et de la longueur d'onde à laquelle l'expérience a été réalisée. On peut donc écrire la loi de Biot sous la forme :

$$\alpha = [\alpha]^T \cdot l \cdot C$$

Où :

- α : angle de rotation observé en degrés.
- l : longueur de la cuve en dm.
- c : concentration de la solution en g / ml.
- $[\alpha]^T$: pouvoir rotatoire spécifique défini à une température T et mesuré pour une longueur d'onde donnée, exprimée en $\text{g}^{-1} \cdot \text{mL} \cdot \text{dm}^{-1}$ [6].

I.3. Analyse spectroscopique

L'identification des structures moléculaires organiques se fait généralement par utilisation combinée de plusieurs techniques spectroscopiques, la spectroscopie UV, la spectroscopie IR, la spectroscopie RMN du ^1H et RMN du ^{13}C [7].

I.3.1. Le spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique, c'est à dire l'ensemble des fréquences, ou énergies couvertes, sont très large. Alors le spectre électromagnétique regroupe toutes les radiations depuis les rayons cosmiques (10-8 μm) jusqu'aux émissions radar (106 μm) en passant par les rayonnements gamma (3.10-7 μm - 3.10-5 μm), les rayons X (3.10-5 μm - 0.29 μm), les ultraviolets (0.29 μm - 0.4 μm), le domaine visible (0.4 μm - 0.7 μm), l'infrarouge (0.7 μm - 7500 μm), les ondes hertziennes (HF, UHF...), et les micro-ondes (7500 μm - 1.36.106 μm).

Le domaine visible n'en représente qu'une infime partie. Le domaine des longueurs d'ondes infrarouges est placé juste après le domaine visible, il correspond à une large bande de fréquence (0.7 μm -7500 μm) [8].

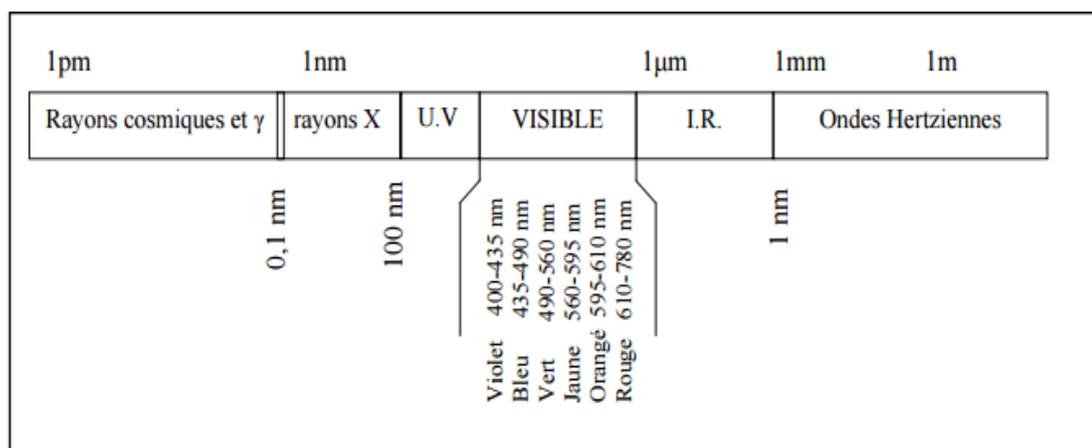


Figure2: Le domaine UV-visible.

I.3.2. Spectrophotométrie UV-VISIBLE

La Spectrophotométrie d'absorption dans l'ultraviolet et le visible est une méthode d'analyse largement exploitée en analyse quantitative, depuis fort longtemps.

I.3.2.1. Le domaine spectral UV-VIS

Ce domaine spectral est divisé en trois plages de longueurs d'onde appelées :

- Proche UV (185-400 nm).
- Visible (400-700nm).
- Très proche infrarouge (700 -1100).

La plupart des spectromètres vont de 185 à 900 nm.

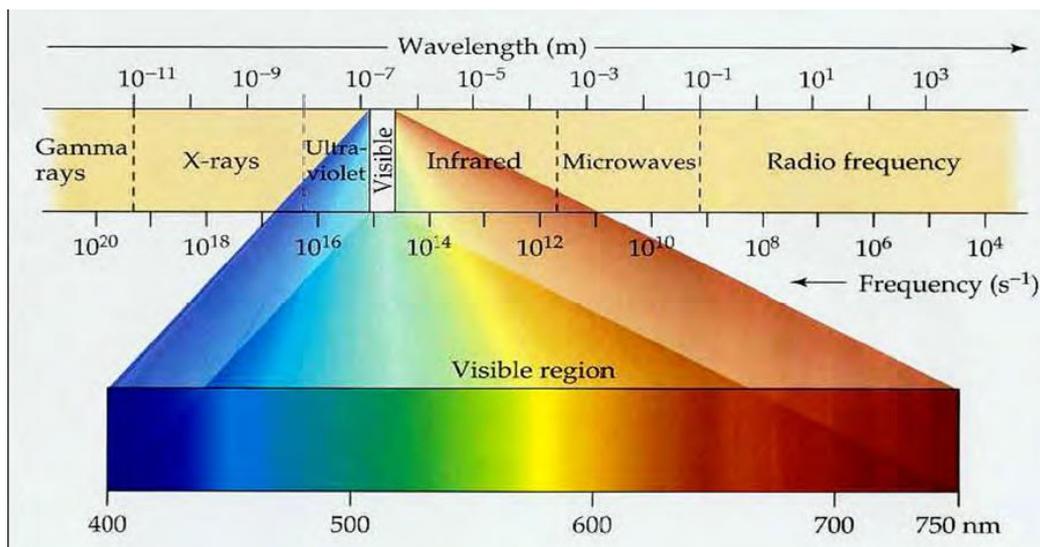


Figure 3 : Le spectre électromagnétique [11].

I.3.2.2. Analyse quantitative:

Les mesures de l'UV-visible reposent sur la loi de Beer et Lambert qui relie dans certaines conditions, l'absorption de la lumière à la concentration d'un composé en solution. La loi est donnée par la relation :

$$A = \epsilon \cdot l \cdot c$$

A : Désigne l'absorbance (paramètre optique sans dimension).

ϵ : Coefficient d'absorption moléculaire (l. mol⁻¹.cm⁻¹).

L : L'épaisseur de la solution traversé ou trajet optique (cm).

C : La concentration molaire de l'échantillon dans la solution (mol/l).

Si la concentration est exprimée en g/L, le ϵ est remplacé par (a) l'absorptivité (ou Coefficient d'absorption spécifique) exprimé en L/g.cm.

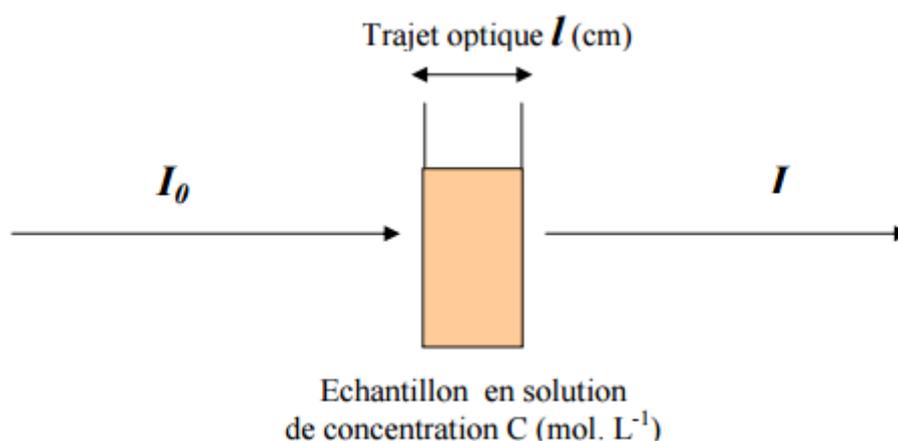
Le deuxième terme important est la transmission T

$$\text{ou : } A = \log_{10} \frac{I_0}{I} \quad \text{et} \quad T = \frac{I}{I_0}$$

I_0 : Intensité de faisceau lumineux incident (avant l'absorption).

I : Intensité de faisceau lumineux sortant (après l'absorption).

T : Transmittance (sans dimension) [10].



I.3.3. Rayonnement électromagnétique

Le principe de la spectrométrie infrarouge a été souvent détaillé [11]. Le rayonnement IR est une radiation de nature électromagnétique, correspondant à la partie du spectre comprise entre $12\,800\text{ cm}^{-1}$ et 10 cm^{-1} (0.78 à $1000\text{ }\mu\text{m}$).

La fenêtre spectrale de l'IR, se décompose habituellement en 3 parties : le proche, le moyen et le lointain IR. Nous nous intéresserons plus particulièrement à la région du proche (PIR) et du moyen infrarouge (MIR), qui s'étendent respectivement de $12\,800$ à 4000 cm^{-1} (0.78 à $2.5\text{ }\mu\text{m}$) et de 4000 à 400 cm^{-1} ($2.5\text{ }\mu\text{m}$ à $25\text{ }\mu\text{m}$).

I.3.3.1. Interprétation des spectres

L'interprétation des spectres est empirique et consiste le plus souvent, en la comparaison des résultats obtenus avec ceux de la bibliographie.

La position d'une bande dépend à la fois de la nature du vibreur (et donc de la liaison) mais aussi de son environnement. Les liaisons entre atomes légers vibrent à plus haute

fréquence que les liaisons entre les atomes plus lourds. Lorsque la masse diminue, la fréquence ν aussi et μ augmente, selon la loi de Hooke :

$$\nu = 1/2\pi \sqrt{k/\mu}$$

Avec :

k : constante de la force de liaison

$$\mu = (m_1 \cdot m_2) / (m_1 + m_2)$$

m_1 et m_2 : masse des atomes liés.

L'intensité d'une bande dépend de la concentration, mais aussi de la nature et de la polarité de la liaison. De même, de nombreux facteurs externes ou internes à la molécule ont une influence sur la fréquence de vibration : taille et électronégativité des atomes environnants, liaison hydrogène, etc....

I.3.4. Spectroscopie de Résonance Magnétique Nucléaire (RMN)

La résonance magnétique nucléaire ou RMN est une technique utilisée pour l'analyse des structures de nombreuses molécules chimiques. Elle sert principalement à la détermination structurale des composés organiques. Cette méthode repose essentiellement sur le phénomène de magnétisme. En effet, les noyaux de certains atomes (^1H , ^{13}C , etc...) possèdent un moment magnétique nucléaire, c'est-à-dire qu'ils se comportent comme des aimants microscopiques caractérisés par une grandeur quantique appelée «le spin».

La technique de RMN étudie le comportement des noyaux atomiques en présence d'un champ magnétique externe. Le champ magnétique appliqué aux produits entraîne un dédoublement des niveaux d'énergie du spin nucléaire, de sorte qu'on puisse induire des transitions entre eux, suite à l'absorption d'une radiation électromagnétique adéquate.

I.3.4.1. RMN ^1H du proton

Le spectre RMN du proton est une méthode puissante utilisée dans la détermination structurale des composés organiques inconnus. Il fournit de nombreuses informations tels que, les différents types d'hydrogènes présents dans la molécule analysée, les différents types d'hydrogènes présents dans l'environnement électronique, le nombre d'hydrogènes voisins d'un hydrogène donné et le déplacement chimique caractéristique de chaque proton.

I.3.4.2. RMN ^{13}C du carbone 13

Cette technique permet de mettre en évidence tous les carbones de la molécule. L'analyse se base sur les déplacements chimiques observés en fonction de l'environnement de chacun des atomes de carbone. Cette expérience permet la mise en évidence des carbones primaires (CH_3), secondaires (CH_2), tertiaires (CH) et dans une moindre mesure les carbones quaternaires [7].

I.3.5. Spectrométrie d'adsorption atomique

La spectroscopie d'absorption ou d'émission est probablement la plus ancienne méthode analytique utilisée dans le monde. Elle inclut deux méthodes d'analyse quantitative qui peuvent être utilisées pour mesurer les concentrations d'environ 70 éléments (métaux, métalloïdes et non-métaux). Le principe derrière ces méthodes d'analyse d'éléments dépend des mesures faites dans un analyte qui est transformé sous la forme d'atome libre (atomisation). Une fois que les atomes ne peuvent plus tourner ou vibrer comme les molécules, dans ce cas seulement, des transitions électroniques ont lieu quand l'énergie est absorbée. Les composants de base d'un instrument d'absorption atomique sont dans la figure suivante [12].

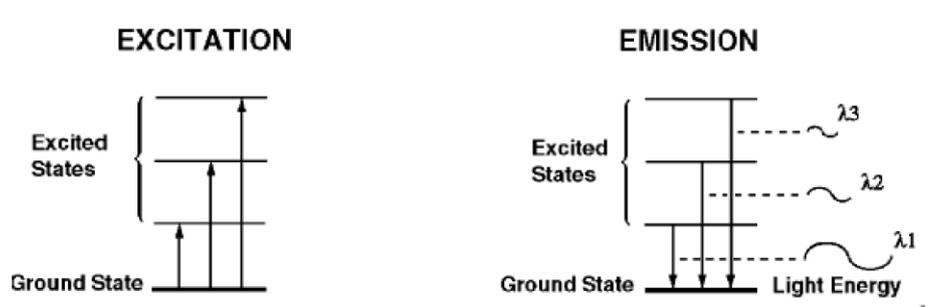


Figure 4: Origine de l'absorption et de l'émission par des atomes.

I.3.5.1. Techniques de spectrométrie atomique

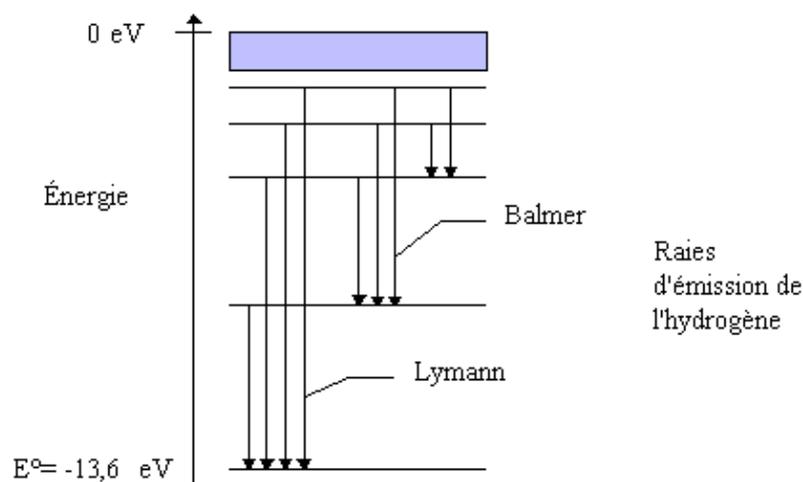
Quand un atome absorbe l'énergie à partir de cette source, un électron passe de l'état fondamental à un état moins stable "état excité". En retournant à l'état fondamental, un photon d'énergie lumineuse est émis avec une intensité proportionnelle à la concentration de l'élément à analyser. L'efficacité et la reproductibilité de l'atomisation déterminent la sensibilité, la précision et la reproductibilité de cette technique.

Tableau 1: Techniques de spectrométrie atomique.

Technique	Excitation	Détection
Photométrie par flamme	Flamme chimique	UV-Vis radiation émise
Spectrométrie par Absorption atomique (AAS)	Absorption de Radiation EM	Radiation EM absorbée
Spectroscopie Arc/ spark	Décharge électrique	UV-Vis radiation émise
Spectrométrie d'émission de plasma	Plasma Gazeux	UV-Vis radiation émise
Plasma- Spectrométrie de masse	Plasma Gazeux	Ions
Spectrométrie de fluorescence de rayons X spectrométrie		Rayons X fluorescents

L'analyse des atomes ou des ions élémentaires est seulement possible dans un milieu gazeux où les ions sont bien séparés. Par conséquent, le premier pas de l'absorption atomique est le plus important et s'appelle l'atomisation, étape pendant la quelle un échantillon en solution est transformé en vapeur atomique en utilisant une source de

La spectrométrie d'émission atomique (AES) utilise une flamme et trois possibilités de source de plasma (couplage inductif, courant direct et micro-ondes induits). Au fur et à mesure que le nombre d'atomes augmente la sensibilité de l'AES augmente aussi. Les instruments qui permettent l'AES avec flamme et AAS sont très rapides, robustes, sensibles et précis [13].

**Figure5:** Spectrométrie d'émission atomique (AES).

I.4. Analyse chromatographique

La chromatographie est une technique fréquemment utilisée pour séparer et identifier les espèces chimiques constituant un corps. Bien que cette technique ait été développée à l'origine pour séparer des substances colorées d'où son nom dérive (khrôma qui signifie couleur en grec), elle est d'une grande efficacité pour l'analyse des substances organiques.

I.4.1. Chromatographie sur couche mince (CCM)

La chromatographie sur couche mince est un phénomène d'adsorption que l'on effectue surtout en vue d'une analyse et de séparation des espèces chimiques constituant un corps, l'appareillage utilisé pour la chromatographie sur couche mince est relativement simple. Il est composé d'une plaque et d'une cuve rectangulaire pour l'élution. Cette dernière dépend du choix des phases stationnaire et mobile (éluant). Les phases stationnaires les plus utilisées en chromatographie sur couche mince sont le gel de silice, l'alumine et la cellulose en poudre [7].

I.4.2. Chromatographie d'adsorption sur colonne :

Elle est basée sur l'utilisation d'une phase stationnaire comme gel de silice, la cellulose ou le polyamide et une phase mobile constituée par divers systèmes de solvants comme éluant. Elle est la plus utilisée pour la séparation des quantités importantes de mélanges complexes [14]. L'élution peut se faire sous forme isocratique ou sous forme d'un gradient. En principe, la phase mobile est composée des mêmes solvants que ceux utilisés pour la CCM analytique. Toutefois, l'élution peut-être accélérée grâce à l'addition progressive de solvant de plus en plus polaire par rapport à la phase initiale.

II.1. Les glucides

Les glucides ou " sucres" forment un groupe de biomolécules très important, tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif. Les glucides étaient aussi anciennement appelés hydrates de carbone car ils répondent à une même formule générique: $C_n(H_2O)_n$.

II.1.1. Aspect quantitatif

Les glucides sont présents partout dans la biosphère et représentent en masse la classe prépondérante parmi les molécules organiques. La plus part des glucides amassés provient de la photosynthèse, processus qui permet l'assimilation du CO_2 dans les glucides. Ils représentent environ 5% du poids sec des animaux, et jusqu'à 70% pour les végétaux.

II.1.2. Aspect qualitatif

Les glucides jouent plusieurs rôles capitaux dans les cellules:

- Ils jouent un rôle énergétique essentiel, certaines cellules ne pouvant tirer leur énergie que des glucides, et notamment du glucose. Ils peuvent également être mis en réserve sous forme polymérisée: amidon chez les végétaux et glycogène chez les animaux. l'amidon est la principale forme d'accumulation de l'énergie photosynthèse dans la biosphère.
- Ils jouent un rôle d'élément de structure de la cellule : les mucopolysaccharides chez les animaux supérieurs, la cellulose chez les végétaux, la chitine chez les insectes ou le peptidoglycane chez les bactéries.
- Ils interviennent comme éléments de reconnaissance et de communication entre cellules: les polysides des groupes sanguins, les polysides antigéniques des bactéries.
- Enfin, ils font partie intégrante de la structure de nombreuses macromolécules biologiques fondamentales telles que les glycoprotéines, les acides nucléiques (ribose et désoxyribose), les coenzymes et les antibiotiques.

II.1.3. Classification des glucides

Les glucides constituent un ensemble de substances dont les unités de base (ou monomères) sont appelées oses.

❖ Les oses (ou monosaccharides ou sucre simples)

D'un point de vue chimique, on peut définir les oses comme des aldéhydes ou des cétones polyhydroxylées, ce sont des composés hydrosolubles, non hydrolysables et réducteurs, Les oses peuvent s'associer entre eux par des liaisons osidiques pour former des osides. On note par exemple le glucose, le fructose et le ribose

❖ Les osides(ou glucides complexes)

Les osides sont des molécules hydrolysables. Leur hydrolyse peut libérer:

- Seulement des oses: on parle alors d'holosides(ou homosaccharides)
- Ou des oses et une partie non glucidique(ou partie aglycone): on parle alors d'hétérosides (ou hétérosaccharides).

On subdivise aussi les osides selon leur degré de polymérisation:

- Les oligoholosides(ou ligoside ou oligisaccharides) sont des polymères de 2 à 10 résidus d'oses reliés par des liaisons osidiques, les plus communs étant les diholosides, exemple: saccharose, maltose, lactose.
- Les polyholosides(ou polyoside ou polysaccharides) sont composés de 10 à plusieurs milliers d'oses reliés par des liaisons osidiques. Exemple : amidon, glycogène, cellulose [15].

II.2.Le sucre

Le saccharose est de loin le plus répandu des glucides élaborés par la nature et c'est ainsi qu'il est devenu dans le langage courant synonyme de sucre.

Le sucre ou saccharose est produit par photosynthèse par un certain nombre de plantes saccharifères: canne à sucre et betteraves sont utilisées industriellement : mais on peut aussi extraire du sucre de la sève de l'érable à sucre, des dattes, des ananas et de bien d'autres plantes.

Le saccharose figure parmi les matières premières les plus pures, et disponibles à l'échelle industrielle à bas prix. C'est probablement la raison pour laquelle il est largement employé comme référence pour l'étalonnage des densimètres, des viscosimètres, des réfractomètres ou encore polarimètres.

II.2.1. Structure du Saccharose

Le saccharose est un diholoside résultant de l'union par une liaison osidique d'un glucose et d'un fructose [16].

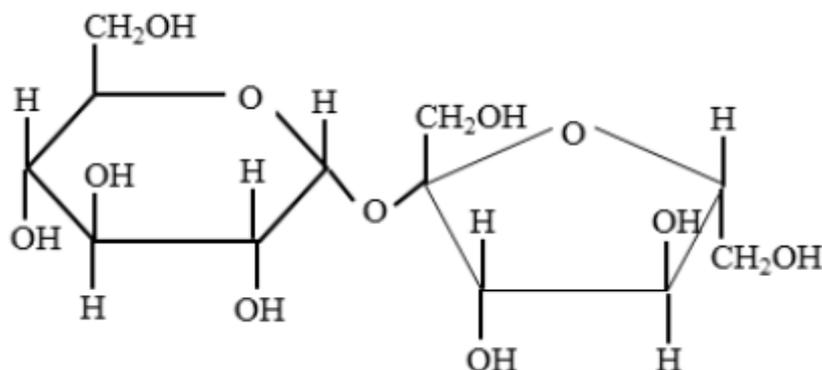


Figure 6 : Structure du saccharose.

II.2.2. Propriétés du sucre et des solutions sucrées

❖ Inversion

Le sucre inverti parfois présent dans le sirop d'érable, résulte de la dégradation de la molécule de saccharose en deux monosaccharides: le glucose et le fructose. Lors de la réaction chimique complète, 342 molécules de saccharose se combinent à 18 molécules d'eau pour produire 180 molécules de glucose et 180 molécules de fructose.

Cependant, le fructose tend à se dégrader et le ratio final n'est pas toujours de 1:1. L'inversion peut se produire lors de l'acidification du milieu ou l'addition de chaleur ou de minéraux (l'enzyme invertase, dans le métabolisme humain, peut catalyser la même réaction).

C'est l'acidité qui produit l'effet d'inversion le plus sévère : par exemple, un sirop de saccharose contenant 65% d'extrait sec et préservé à 20°C pendant 3 mois peut produire 10% d'inversion à pH 3,2 et seulement 0,1% à pH 5,5. L'inversion est également très influencée par la température. Toutefois, l'effet de la température nécessite un milieu acide. Si le pH se situe sous la barre de 4,0 lors de l'ébullition du sirop, il est possible de produire l'inversion de 50% du saccharose [17].

❖ Température d'ébullition

La température d'ébullition d'une solution sucrée varie principalement avec la nature des sucres présents et leur concentration.

Quelques lignes directrices sont citées dans l'ouvrage d'Hartel et Shastry [18]:

- Le glucose possède une température d'ébullition inférieure à celle du saccharose. Le sucre inverti quant à lui bout à une température supérieure au saccharose.
- Lorsque l'ébullition de la solution de saccharose débute, la température n'augmente que très lentement, pour finalement augmenter plus rapidement vers la fin du processus. En fait, la température n'est pas un bon guide pour déterminer la concentration de la solution en lien avec la durée du procédé d'évaporation.
- Il est possible de diminuer le point d'ébullition en chauffant sous vide. Des réductions se situant entre 14 et 22°C peuvent ainsi être obtenues. Ce type de chauffage n'est habituellement utilisé que pour les solutions nécessitant un haut degré d'ébullition, afin de réduire la production de couleur et de sucre inverti
- Le point d'ébullition est affecté par l'altitude : pour chaque augmentation de 275 mètres en altitude, la température d'ébullition de l'eau diminue de 1°C (pression barométrique).

Comme il a été mentionné au premier point, la présence de sucre inverti affecte le point d'ébullition de la solution. Il est donc très important de connaître la quantité de sucre inverti avant d'exécuter les manipulations.

À 20°C, une solution pure de saccharose peut contenir un maximum de 67,1% de solides [17]. Avec la présence de sucre inverti, on augmente graduellement la concentration du mélange de sucre admissible dans la solution. Cette caractéristique empêche ou retarde la cristallisation de se produire tout en imposant une barrière face aux attaques microbiologiques, par diminution de l'activité de l'eau.

Ce principe est grandement utilisé en confiserie lors de la production de bonbons non cristallisés (structure amorphe).

❖ Indice de réfraction

L'indice de réfraction d'une substance est le ratio de la vitesse de la lumière dans le vide et de sa vitesse dans la substance. Lors de la mesure, une partie de la lumière est absorbée et le reste transmise. Il est possible de tirer profit de ce phénomène et d'utiliser un

spectrophotomètre pour déterminer la catégorie du sirop d'érable utilisé [17]. Selon le règlement sur les produits de l'érable et leurs succédanés [18].

❖ Solubilité

La solubilité du saccharose réfère au fait qu'il est possible de dissoudre une quantité de cristaux dans l'eau maintenue à une température constante. Comme tout le monde sait, le sucre est facilement soluble dans l'eau. A 20°C, une partie de l'eau pourra dissoudre deux parties de saccharose (67,1%). La solubilité augmente à 83% dans une eau maintenue à 100°C. Ces pourcentages sont appelés points de solubilité.

Pour déterminer la solubilité maximale (point de solubilité) à une température donnée, on utilise une mesure appelée degré Brix (ou Balling) [17]. Le degré Brix présente le pourcentage maximal de saccharose admissible dans un certain poids d'eau. Il faut porter attention à ne pas confondre ce dernier avec le degré Brix volume (B_v) où l'on parle d'un ratio poids/volume. La mesure qui est surtout utilisé dans l'industrie est le degré Brix poids (B_p), ou concentration pondérale, étant exprimée en gramme de soluté par 100 grammes de solution [19].

❖ Métastabilité

Lorsque l'on atteint l'état de sursaturation, une certaine force pousse les molécules de saccharose à former la phase cristalline. Cependant, même si la solution sucrée est sursaturée, elle ne cristallise pas tant que la force n'excède pas une certaine valeur critique. Cette barrière énergétique est en fait la frontière où l'énergie requise pour la formation de la phase solide devient assez grande pour permettre la nucléation. L'éventail de concentration entre l'état de sursaturation et cette concentration critique est appelée région métastable de sursaturation [18].

Cette région peut être affectée par différents paramètres comme la température, le taux d'agitation et la présence d'impuretés. Chacun de ces paramètres peut influencer la barrière énergétique à la formation de la phase solide [18]. En fait, une solution devenue métastable peut demeurer dans cet état si la température demeure constante, s'il n'y a pas d'agitation et s'il n'y a pas non plus d'impuretés dans le milieu. Une certaine énergie, ou force, est donc requise pour faire passer les molécules de l'état liquide à l'état solide. L'agitation par exemple est un agent physique extérieur qui vient fournir la quantité d'énergie nécessaire afin d'aider les molécules en phase liquide à franchir la barrière énergétique requise pour la cristallisation.

II.2.3. le sucre dans les boissons gazeuses

Le Coca-Cola a vu une évolution de sa composition en sucres au-cours des années. La recette originelle était constituée de saccharose du mais après plusieurs polémiques aux États-Unis, les Américains ont remplacé ce sucre par du sirop du glucose et de fructose dans les années 1980. La France, non concernée par ces revendications, a conservé la formule du soda avec du saccharose.

L'analyse des sucres du Coca-Cola révèle pourtant du saccharose, du fructose et du glucose mais ces deux derniers proviennent de l'hydrolyse en milieu acide du premier. Le sucre utilisé dans le Coca-Cola est issu de la canne à sucre et de la betterave. Les autres boissons gazeuses à base de cola semblent également composées de saccharose qui se dégrade au fur et à mesure de sa conservation en deux autres sucres. Certaines étiquettes mentionnent la présence de trimoline ou de sucre inverti. Les deux sont synonymes et correspondent en fait à un mélange équimolaire de glucose et de fructose obtenu par hydrolyse acide ou enzymatique (invertase) du saccharose.

Le magazine [20], 60 Millions de Consommateurs a analysé plusieurs colas et confirme cette composition. Ces colas contiennent en général plus de 100 grammes de sucres dans un litre.

Le sucre, à l'origine de la dépendance au soda, aurait plusieurs effets néfastes sur la santé, notamment sur l'aspect bucco-dentaire et l'aspect endocrinien, avec un risque accru d'apparition de caries d'une part et un risque de développement de d'obésité et/ou de diabète d'autre part [21].

II.2.4. L'énorme du sucre dans le corps humain:

Il n'existe pas de glucides indispensables, leur ANC est situé entre 50 et 55% de l'apport énergétique total, leur proportion se déduit des apports des autres macronutriments. Il faut limiter au maximum les boissons sucrées et sucre ajoutés car ces glucides n'apportent que des «calories vides» c'est-à-dire exemptes de vitamines, minéraux ou nutriments essentiels. Ces glucides ne devraient pas dépasser 10% de l'AET. Les produits céréaliers peu transformés et légumineuses doivent en revanche constituer la majeure partie de l'apport glucidique en raison de leur densité énergétique modérée et de leurs apports en protéines, fibres, vitamines et minéraux [22].

La proportion des glucides dans la ration énergétique est assez faible (44%), ce qui s'explique par un surplus de consommation de protéines. On observe malgré tout une tendance à l'excès de consommation d'aliments à fort index glycémique en particulier chez les jeunes, favorisant ainsi le déséquilibre insulinaire du diabétique mais aussi le surpoids ou encore les hypertriglycéridémies. Il sera important dans le cadre de ces pathologies de veiller à réduire plus ou moins drastiquement la proportion d'aliments à fort pouvoir hyperglycémiant.

II.2.5. L'effet d'excès du sucre sur la santé

Nous le disions plus tôt, le sucre, transformé en glucose, donne de l'énergie à l'organisme. Or, les sucres peuvent engendrer des effets différents sur le corps. Les uns auront une action très rapide, en libérant l'énergie de manière quasi-instantanée, en faisant monter immédiatement le taux de glucose sanguin. Lorsque ces sucres sont consommés seuls, l'élévation rapide du taux de glucose sanguin qui s'en suit commande au pancréas de réagir vite pour fournir de l'insuline, de manière à transformer le glucose pour le mettre en réserve. Ainsi, plus la quantité de sucre ingéré est grande, plus la poussée d'insuline pourra être vertigineuse et brutale pour conserver un taux de glucose sanguin équilibré. A ce moment, des symptômes d'hypoglycémie peuvent être ressentis après un certain temps: baisse d'énergie soudaine, fatigue, lassitude, état dépressif... le sucre raffiné fait partie des sucres à action rapide.

D'autres sucres, par contre, ont un effet beaucoup moins drastique sur l'organisme, car ils libèrent l'énergie de manière régulière; ils ne produisent pas d'élévation trop rapide du taux de glucose sanguin. Il en est ainsi pour les légumineuses, certains fruits et légumes, pour le lait et le yaourt, les produits céréaliers.

Outre les cas où un diagnostic médical vient confirmer un trouble de santé lié au métabolisme du sucre (diabète, hypoglycémie), nous pouvons consommer des aliments sucrés. Toutefois, il convient de le faire avec modération et de tenir compte de l'équilibre énergétique, c'est-à-dire d'éviter de consommer un nombre de calories supérieur aux besoins de la croissance et de la dépense en énergie. Cela occasionnerait un surpoids. De plus, il est préférable de consommer des aliments sucrés lors d'un repas, avec d'autres aliments. Ainsi, la combinaison avec des aliments qui se transforment plus lentement aide à ralentir l'effet trop rapide du sucre raffiné. En consommant au même repas des aliments contenant du gras ou des fibres, l'assimilation du sucre se réalise de manière plus équilibrée pour l'organisme, sans

occasionner de soubresauts inutiles au pancréas. De plus, il convient d'associer à la consommation de sucre l'habitude de se brosser les dents [23].

II.6. La caféine

La caféine est un alcaloïde d'origine végétal, appartenant à la famille des bases puriques et plus précisément des méthylxanthines. La caféine est présente dans plusieurs drogues végétales rentrant dans la composition historique du Coca-Cola : les graines de café, les fèves de cacao, les noix de kola ou les feuilles de maté... Mais, aujourd'hui, la caféine est également un ingrédient ajouté à la recette des colas. Il existe aussi les mêmes boissons mais avec la mention « sans caféine » et dans lesquelles la caféine n'a pas été rajoutée.

II.6.1. Formule chimique

La caféine est une base xanthique de formule brute $C_8H_{10}N_4O_2$



Figure 7: Formule chimique de la caféine [24].

II.6.2. caractéristiques organoleptiques

la caféine se présente sous forme d'une poudre cristalline blanche ou de cristaux soyeux blancs, de saveur amère. Elle est facilement sublimable [25].

II.6.3. La teneur en caféine dans les boissons

Sans envisager la teneur en caféine de l'ensemble des boissons non alcoolisées décrits par ailleurs et qui peuvent varier selon les décisions du producteur.

Les moyennes des teneurs en caféine des régulas colas sont de 34.3 et 21.5 mg par boîte. Depuis 7 ans les teneurs diminuent progressivement [26]. En Angleterre, le Ministère

de l'Agriculture, de la pêche et de l'Alimentation a proposé la limite de 125 mg/l de caféine dans les boissons douces en raison de leur consommation par les enfants.

Par unité de volume, le café contient la plus grande quantité de caféine. Les variations des teneurs en caféine pour un même café sont parfois assez importantes et particulièrement lorsqu'il s'agit de mélanges de différents types de café.

II.6.4. Propriétés physicochimique

Les principales caractéristiques physico-chimiques de la caféine selon [37-39], sont les suivantes :

Tableau 2: Les principales caractéristiques physico-chimiques de la caféine.

Poids moléculaire	194,2 g.mole ⁻¹
λ_{Max}	274 nm (en solution aqueuse, pH 2 à 14)
pH d'une solution aqueuse à 1 %	6,9
pKa estimé à 14	pKb estimé à 14,2
point de fusion	236°C ; point de sublimation (pression atmosphérique) : 178°C
solubilité accrue dans l'eau en présence de sels	benzoate, cinnamates, citrates,...
crystallisation sous une forme hydratée en proportion 4/5 (6,9 % d'eau)	Déshydratation complète à 80°
base très faible formant des sels instables avec les acides	assez stable dans les solutions acides diluées et les solutions basiques
formation de nombreux complexes avec	chlorogénate de potassium (dans les grains de café), méthylgallate, coumarine, isoeugénol, acide indolacétique, anthocyanidine, dérivés puriques et pyrimidiques, ...
inodore, incolore (en solution), goût amer caractéristique	
moyennement soluble dans l'eau et les solvants organiques	

II.6.5. l'énorme de la caféine dans le corps humain

L'absorption de la caféine s'effectue par diffusion passive au niveau de l'intestin. Au pH physiologique (pH=7), la caféine est sous forme non dissociée, mais, à pH acide, une fraction de la molécule est ionisée. Or, cette forme ionisée est non liposoluble et ne pourra donc pas diffuser dans l'organisme : elle sera en équilibre avec la forme non ionisée, liposoluble de la caféine. Cet équilibre est régi par l'équation d'Henderson Hasselbach qui détermine la dissociation des bases faibles [24].

$$\text{pH} = \text{pKa} - \log \frac{\text{forme non ionisée}}{\text{forme ionisée}}$$

À pH acide, la forme ionisée va donc progressivement être absorbée. Mais, pour que l'équation reste en équilibre, la forme ionisée va se transformer au-fur et à mesure en forme non ionisée donc absorbable, jusqu'à ce que la caféine ait entièrement diffusé à travers les entérocytes.

Une fois absorbée, la caféine est rapidement distribuée dans l'organisme puisque sa fixation aux protéines plasmatiques est faible. Elle est métabolisée au niveau hépatique en paraxanthine principalement (80%), puis en théophylline, en théobromine et en dérivés de l'acide urique. Son élimination est urinaire [30].

II.6.6. Effets biologiques de la caféine

II.6.6.1. Rôle chez le caféier

L'importance physiologique de la caféine au sein des plantes qui la synthétisent, est encore obscure. Il est cependant certain que cet alcaloïde joue un rôle dans le métabolisme général des purines et des acides nucléiques. Par contre, la caféine ne semble pas constituer une forme de réserve azotée chez le caféier [31-32]. A l'inverse, le rôle écologique de la caféine est mieux défini. Cet alcaloïde présente un effet toxique sur les insectes, les champignons et les plantes, et agit ainsi comme un agent protecteur de la plante [33]. Le caféier présente à ce titre un système de défense très adapté, car la caféine est préférentiellement synthétisée dans les organes exposés à la prédation (graines, jeunes pousses, jeunes feuilles).

La caféine est par ailleurs excrétée dans le sol lors de la germination des grains du caféier. Elle va ainsi inhiber la germination et le développement des graines d'autres végétaux [33-35]. Dans les plantations de café, on peut alors retrouver de fortes quantités de caféine dans le sol qui sont à l'origine d'un phénomène d'auto toxicité se traduisant par une réduction de la durée de vie des caféiers [35].

II.6.6.2. Effets sur la santé humaine

Les effets de la caféine chez l'homme comme chez les animaux de laboratoire font l'objet de très nombreuses études qui ont donné lieu à plusieurs ouvrages de la synthèse. Les travaux portent généralement sur les effets de l'absorption directe de caféine ou de la consommation de la café boisson. Toutes les études s'accordent pour mettre en avant que les effets de la caféine dépendent des doses ingérées, des durées d'exposition et du terrain rencontré.

Les données pharmacocinétiques sur la caféine sont également très nombreuses. La caféine ingérée est rapidement absorbée et distribuée dans le corps par le sang (15 à 60 min.). Elle présente un volume de distribution identique à celui de l'eau corporelle, et pénètre aisément dans tous les organes et dans tous les tissus, sans s'y accumuler. Le temps de demi-vie de la caféine est très variable selon les individus. Il est influencé par de nombreux facteurs, comme le tabagisme.

Chez l'homme adulte, le temps de demi-vie de la caféine est de 2 s à 4,5 heures. Les principaux effets biologiques de la caféine (pour des doses faibles à moyennes) ainsi que les modes d'action de cet alcaloïde, recensés chez l'homme par plusieurs auteurs, Les ouvrages les plus complets sur ce sujet sont: [29], [36- 40], Des informations plus ponctuelles sont données par plusieurs chercheurs [41-47].

Les effets biologiques dus à l'ingestion de grandes quantités de caféine relèvent plutôt de cas pathologiques ou de traitements thérapeutiques. On estime la dose létale de caféine à 10 grammes chez l'homme (soit l'équivalent de 75 à 100 tasses de café fort absorbées en 30 min). Néanmoins, l'abus de la café (plus de 6 tasses par jour soit plus de 600 mg de caféine par jour) peut conduire à une intoxication chronique à la caféine, dénommée caféisme. Cette maladie se caractérise principalement par des tremblements, des insomnies, de la nervosité, de l'anxiété et de l'irritabilité, ainsi que des troubles gastro-intestinaux et cardiaques. Les phénomènes d'accoutumance mais également de dépendance à la caféine ont été démontrés

chez l'homme. Le sevrage en caféine est aussi source de nombreux symptômes. Enfin, il est reconnu que le café est incitateur à un renforcement de sa propre consommation [48].

La caféine n'est pas la seule méthylxanthine à provoquer des effets biologiques. Les théophylline et la théobromine ont également des pouvoirs physiologiques importants, plus ou moins comparables à ceux de la caféine [29], [49-51], a souligné que la 1-méthylxanthine et la méthylxanthine présentent des spectres d'activités pharmacologiques similaires à ceux des autres méthylxanthines. Par contre, la par axanthine n'est pas très active [29], [50].

II.6.6.3. Effets inhibiteurs et mutagènes

Les concentrations en caféine rencontrées chez l'homme et issues d'une consommation modérée de café-boisson, ne semblent présenter aucune action génotoxique, mutagène ou cancérogène potentielle], [38-39], [52-54]. Les teneurs nécessaires à l'observation de manifestations mutagènes seraient en fait supérieures ou égales à celles entraînant des effets toxiques directs in vivo.

La caféine agit indirectement sur tout type de cellule, soit en potentialisant les effets d'un grand nombre d'agents mutagènes physiques et chimiques, soit en les inhibant [55-56], [51]. Le mécanisme antimutagène de la caféine s'expliquerait par un effet de stabilisation des protéines particulièrement fragiles, et/ou des modifications post-traductionnelles [54]. En tant qu'agent mutagène, la caféine agit à plusieurs niveaux :

- elle interfère dans le métabolisme des purines et des acides nucléiques (la caféine agit comme un analogue des purines)
- elle potentialise les aberrations chromosomiques lors de la mitose et de la méiose (la caféine raccourcit la phase de la mitose et donc diminue le temps nécessaire à la réparation de l'ADN endommagé ; elle induit une condensation précoce des chromosomes dans les cellules en phase S et diminue les fréquences de recombinaison; etc...)
- elle interfère dans différents systèmes de réparation de l'ADN (après les étapes d'excision ou de réplication)
- elle est capable de se complexer à l'ADN simple brin ou de s'intercaler entre les bases de l'ADN double brin.

II.6.7. Les colorant dans les boissons gazeuses

Plus particulièrement nous nous sommes intéressés au colorant contenu dans le coca-cola, comme c'est le sujet de notre étude.

II.6.7.1. Le colorant caramel

Le caramel est un colorant culinaire brun connu depuis longtemps, puisque son usage comme colorant remonte au XIX^{ème} siècle. Il se présente sous la forme de fluide ou de solide de couleur brune plus ou moins foncée.

Il existe quatre classes de colorant caramel¹⁹⁰ :

- ❖ le caramel ordinaire ou E 150a,
- ❖ le caramel au sulfite ou E 150b,
- ❖ le caramel ammoniacal ou E 150c,
- ❖ le caramel au sulfite d'ammonium ou E 150d.



Figure 8: Les 4 classes de colorant caramel.

Les deux colorants mentionnés sur les étiquettes des boissons gazeuses à base de cola sont le caramel ordinaire E 150a et le caramel au sulfite d'ammonium E 150d.

❖ Le caramel ordinaire, E 150a

Le caramel ordinaire E 150a est un mélange complexe de composés, dont certains sont sous la forme d'agrégats colloïdaux, obtenu par chauffage d'hydrates de carbone tels que le glucose, le fructose couleurs polymères. Aucun composé de sulfite ou d'ammonium n'est utilisé pour cette première classe de colorant caramel. Pour favoriser la caramélisation, des acides, des alcalins ou des sels peuvent être ajoutés, à l'exception des dérivés d'ammonium et des sulfites¹⁹⁰.

❖ Le caramel au sulfite d'ammonium, E 150d

Le caramel au sulfite d'ammonium E 150d est également un mélange complexe de composés mais obtenu cette fois-ci par chauffage de glucides, avec ou sans booster de caramélisation, mais en présence d'un sulfite et d'un ammonium : le sulfite ou le bisulfite d'ammonium en général 190.

II.6.7.2. Le 4-Méthylimidazole

Le 4-méthylimidazole, couramment abrégé 4-MEI, est un composé chimique hétérocyclique de formule $\text{CH}_3\text{-C}_3\text{H}_3\text{N}_2$. Comme le 2-méthylimidazole, c'est un sous-produit de la réaction de Maillard [57].

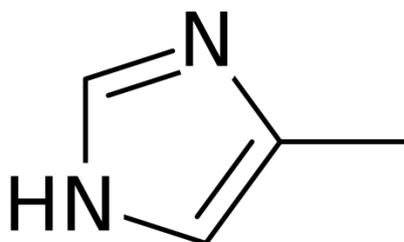


Figure 9: Structure du 4-Méthylimidazole

II.6.7.2.1. Sources alimentaires et modes de formation

Le 4-MEI peut se former lors du « brunissement » de certains aliments (par réaction de Maillard entre glucides et composés aminés), en particulier lors du rôtissage ou quand le sucre caramélise sous l'effet de la chaleur. On le trouve également dans les colorants caramel, issus de procédés à base d'ammoniaque NH_4OH , de sulfite d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ et de différents peptides, largement utilisés pour colorer un très grand nombre d'aliments, notamment des boissons (cola et bière brune). Typiquement, la dose en 4-MEI dans ces boissons est de 100 μg dans une canette, ou 0,4 % dans certaines boissons au cola (soit 1440 mg par 360 ml) [58].

II.6.7.2.2. Toxicité

À très fortes doses $360 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de masse corporelle le 4-méthylimidazole présente une toxicité aiguë. Il induit :

- Des convulsions chez les lapins, les souris et les poules,
- Il a été la cause très probable d'intoxications aiguës observées chez le bétail nourri avec suppléments alimentaires aux « sucres ammoniacés » dans les années 1960.

La dose acceptable admise a d'abord été fixée à 100 mg par jour et par kilogramme du sujet, soit un niveau très supérieur à la quantité que peut absorber un individu consommant régulièrement des boissons comportant des colorants caramel [59].

En 2004, en dépit d'avis divergents des experts, les colorants caramel ont été considérés comme sans danger (aux doses habituelles) par l'Union européenne qui a néanmoins fixé une concentration maximum légale de 4-MEI dans les colorants caramel à $250 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [60].

II.6.8. L'effet du Boisson gazeuse sucrée sur la santé [61].

Trente-deux raisons pour ne pas boire du soda. Cependant, cette boisson gazeuse sucrée hyper célèbre, ainsi que d'autres sodas qui tentent d'imiter sa recette, peut être assimilée à une véritable toxine pour notre métabolisme.

❖ Teneur acide trop élevée

Le Coca présente un degré d'acidité extrêmement voisin de celui d'une batterie et peut donc décrasser des objets tout comme le feraient nombre de nettoyeurs ménagers nocifs (voire mieux qu'eux).

❖ Dégâts sur le cœur et le cerveau

Les individus qui consomment des boissons gazeuses sucrées ont 48% de risque en plus de souffrir d'une crise cardiaque et d'un accident vasculaire cérébral (par rapport aux personnes qui ne boivent pas de sodas du tout ou qui n'en boivent pas tous les jours). Telle est la conclusion d'une étude publiée dans la revue "American Heart Association Journals" en juillet 2007.

Des chercheurs de Harvard ont trouvé que boire une seule boisson gazeuse sucrée par jour augmente de 20% le risque de souffrir d'une crise cardiaque durant les 22 années suivantes. Les résultats de leur étude étaient annoncés en mars 2012. Les gros buveurs de

sodas (souvent également friands de malbouffe et de fast-food) sont particulièrement susceptibles de développer des facteurs de risque d'une maladie cardiaque. Boire plus d'une boisson gazeuse sucrée par jour est associé à un danger accru de développer le syndrome métabolique.

Enfin, une étude menée en 2011 par des scientifiques de l'université de Miami et de Columbia (Etats-Unis) a trouvé que les fans de sodas light avaient 43% plus de risque d'AVC (crise cardiaque ou décès d'origine vasculaire) que ceux qui n'en boivent pas.

❖ **Péril pour le poumon et le système respiratoire**

Une étude publiée dans la revue "Respirology" a conclu que le fait de prendre des boissons gazeuses est lié au développement cancéreux au niveau pulmonaire et aux problèmes de respiration (tels que l'asthme ou la maladie pulmonaire obstructive chronique).

❖ **Prise de poids**

Les boissons gazeuses sucrées contribuent à la surcharge pondérale et à l'obésité. Boire une canette de soda classique par jour peut vous faire prendre 400 grammes chaque mois. Une canette de 33 cl contient jusqu'à 13 cuillères à café de sucre sous forme de sirop de maïs à haute teneur en fructose. Or des études ont trouvé que ce sirop de maïs déclenche une hormone de la faim qui vous amène à consommer plus de nourritures que votre corps en a besoin.

Les chercheurs de Harvard ont récemment trouvé un lien positif entre les boissons gazeuses sucrées et l'obésité. Leur étude a trouvé que les adolescents de 12 ans qui en boivent sont plus susceptibles d'être obèses que ceux qui n'en boivent pas. Et pour chaque portion de soda consommée quotidiennement en plus, le risque d'obésité augmente de 1,6 fois.

Des chercheurs du Centre des Sciences Sanitaires de l'université du Texas avaient annoncé les résultats de leur étude à la réunion de l'Association Américaine contre le Diabète en 2011. Les scientifiques avaient trouvé que n'importe quelle consommation de soda light était liée à une augmentation de 70% du tour de taille sur 10 ans (par rapport à ceux qui n'en buvaient pas).

❖ **Dépôts graisseux partout dans le corps**

Dans le cadre d'une étude danoise publiée dans la revue "American Journal of Clinical Nutrition" en février 2012, des chercheurs avaient suivi un groupe de personnes obèses et en

surpoids pendant 6 mois. Soit ces gens buvaient 1 litre de soda par jour, soit ils buvaient du lait contenant la même quantité de calories, de l'eau ou du soda light. Les scientifiques avaient trouvé que le groupe consommant les boissons gazeuses sucrées finissait par avoir une quantité supérieure de graisse dans le foie et dans les muscles que les autres groupes. Ce type de graisse est mauvais car il peut mener à une maladie cardiaque plus tard.

❖ **Diabète de type 2**

Tout ce qui favorise la prise de poids augmente le risque de diabète. L'énorme quantité de sucre présente dans chaque canette classique fait atteindre un pic glycémique et provoque une réaction insulinique dans l'organisme. Avec le temps, cela peut mener au diabète et à la résistance à l'insuline. Boire du soda contribue non seulement à faire grossir les consommateurs, mais interfère également avec la capacité du corps à traiter le sucre.

Telle est la conclusion de nombreuses études dont une qui a été publiée dans la revue "Journal of the American Medical Association" en août 2004. Certains scientifiques soupçonnent que cela explique en partie pourquoi le nombre total de diabétiques de type 2 dans le monde est passé de 30 millions en 1990 à 382 millions en 2013 (8,4% de la population mondiale sont diabétiques).

❖ **Endommagement du foie**

Il y a des preuves que la surconsommation de boissons gazeuses sucrées vous expose à un risque supérieur de cirrhose du foie (semblable à ce que les alcooliques chroniques subissent). Le conservateur benzoate de sodium peut être la cause (selon la conclusion d'une étude publiée dans le quotidien "The Independent" en mai 2007).

❖ **Dégradation du métabolisme**

Un chercheur de l'université de Bangor (Angleterre) avait trouvé que le métabolisme changeait après 4 semaines de consommation quotidienne de boissons sucrées, rendant la combustion grasseuse et la perte de poids plus difficiles. Son étude était publiée dans la revue "Européen Journal of Nutrition" en juin 2012.

❖ **Présence de cancérogènes possible**

Une étude indépendante commandée par le Centre pour la Science dans l'Intérêt Public (Washington DC, Etats-Unis), menée en 2012, a trouvé la présence du 4-méthylimidazole (4-MEI) dans les versions Coca-Cola classique et light, Pepsi classique et Pepsi light. Ce

composé est utilisé pour obtenir la coloration brune dans ces breuvages. Il est formé quand l'ammoniac est utilisé durant le processus de fabrication du colorant caramel. Les chercheurs avaient trouvé que le 4-MEI présentait un risque cancérigène bien supérieur par rapport à ce que la FDA (Agence américaine des produits alimentaires et médicamenteux) autorisait dans les additifs alimentaires.

❖ **Cancer du pancréas**

Selon une étude publiée dans la revue "American Association for Cancer Research" en février 2014, boire à partir de 2 boissons gazeuses sucrées par semaine fait accroître de 87% le risque de développer un adénocarcinome pancréatique (par rapport aux personnes qui n'en boivent pas). Les chercheurs avaient évalué 60 524 hommes et femmes inscrits dans l'Etude de Santé Chinoise de Singapour dès 1993. Ces personnes étaient suivies pendant 14 ans, pour analyser leur alimentation et leur état de santé. A cette époque, les gens consommaient très peu de sodas à Singapour.

❖ **Carie dentaire, problèmes de gencive**

Le soda dissout l'émail des dents. Des recherches (notamment une étude menée par l'Ecole de Médecine dentaire de l'Université de l'Illinois du Sud en mars 2007) ont montré que ce breuvage peut doubler voire tripler l'incidence de la carie dentaire. L'acidité de cette boisson est encore pire pour les dents que le sucre solide présent dans les bonbons. Dans des tests réalisés sur le degré d'acidité des sodas (publiés dans la revue "Journal of the American Dental Association" en 1984), les scientifiques ont noté que certains possédaient un niveau de pH très bas de 2,5. A titre de comparaison, l'acide sulfurique (qu'on trouve dans les batteries) présente un pH de 1, et l'eau pure dispose d'un pH de 7 , Outre les caries, consommer régulièrement ces breuvages peut provoquer une accumulation de plaques sur les dents et mener à diverses maladies des gencives.

❖ **Calculs rénaux et d'insuffisance rénale chronique**

Les boissons gazeuses sucrées sont célèbres pour contenir une dose élevée d'acide phosphorique, une matière capable de changer l'urine d'une manière qui encourage la formation de pierres aux reins. Une étude, publiée dans la revue "Journal of Clinical Epidemiology" en juillet 2007, était menée sur 465 personnes souffrant de maladie rénale chronique et 467 personnes en bonne santé. Après avoir contrôlé divers facteurs, les chercheurs ont trouvé que boire 2 grands verres de soda ou plus (qu'il s'agisse de la version classique ou light) double le risque de maladie rénale chronique.

Ce type de maladie comprend des problèmes qui endommagent et décroissent la capacité du rein à éliminer les toxines et à conserver un équilibre de fluides normal.

❖ **Brûlures d'estomac et reflux acide**

Une forte consommation de ce type de breuvage est un fort prédictateur de brûlures d'estomac. Les boissons gazeuses sont très acides. Elles délivrent également beaucoup d'air (sous forme de dioxyde de carbone), ce qui peut provoquer une distension de l'estomac. Et cette distension semble être associée avec une augmentation du reflux acide (c'est ce qu'a trouvé une étude publiée dans la revue "American Collège of Chest Physiiciens" en mai 2005).

❖ **Ostéoporose et ramollissement osseux**

Les sodas qui contiennent de l'acide phosphorique sont liés à l'ostéoporose (un affaiblissement de la structure du squelette) car ils font abaisser des niveaux de calcium et augmenter ceux du phosphate dans le sang. Et quand les niveaux de phosphate sont élevés et les niveaux de calcium sont faibles, le calcium est retiré de l'os pour compenser.

Les femmes de plus de 60 ans sont déjà davantage exposées au risque d'ostéoporose que les hommes. Et des chercheurs de l'université Tufts (près de Boston, Etats-Unis) ont trouvé que boire des boissons gazeuses sucrées (y compris la version light) aggrave le problème. Ils ont trouvé que les consommatrices de sodas avaient une densité minérale osseuse de 4% inférieure aux femmes qui n'en buvaient pas. Une autre étude publiée en 2006 dans la revue "American Journal of Clinical Nutrition" avait trouvé que la consommation de sodas (de tout type) est associée à une densité minérale osseuse faible chez les femmes.

Des chercheurs ont aussi trouvé qu'une forte consommation de boissons gazeuses sucrées (surtout le Coca-Cola) chez les enfants constitue un facteur de risque important de détérioration de la calcification dans les os en croissance. Les conclusions de cette étude étaient publiées dans la revue "American Journal of Préventive Médecine" en octobre 2004.

❖ **Hypertension**

Une étude publiée dans la revue "The Journal of the American Médical Association" en novembre 2005 a conclu qu'une surconsommation de sodas conduit à une augmentation de la pression artérielle. Que le breuvage soit de type classique ou light ne change rien. Les adolescents, surtout ceux qui ont la peau noire, qui boivent plusieurs boissons gazeuses sucrées par jour peuvent accroître leur tension et leur risque de développer une hypertension.

Une autre étude publiée en février 2011 dans la revue "Hypertension" a confirmé cette tendance pernicieuse. Elle était menée sur 2700 personnes d'une cinquantaine d'années aux Etats-Unis et au Royaume-Uni.

❖ Digestion détériorée

L'acide phosphorique présent dans ces breuvages interagit avec l'acide gastrique et ralentit la digestion en plus de bloquer l'absorption des nutriments (en perturbant la microflore dans les intestins), ce qui signifie que vous avez besoin de manger plus de nourritures pour obtenir le même nutriment.

Boire des sodas, surtout quand le buveur a l'estomac vide, peut bouleverser l'équilibre acido-basique fragile de l'estomac, ainsi que d'autres parois gastriques, créant un environnement continuellement acide.

❖ Hyperactivité et problèmes mentaux

Les adolescents qui boivent beaucoup de boissons gazeuses sucrées ont davantage de problèmes de santé mentale, y compris l'hyperactivité et la détresse mentale. Dans une étude menée en Norvège, les scientifiques ont utilisé des questionnaires pour sonder 5 547 élèves de seconde. Les chercheurs voulaient en savoir plus sur les habitudes alimentaires en général et sur leur habitude de consommation des sodas en particulier, mais aussi sur l'hyperactivité et les problèmes de comportement à l'école, et des indicateurs de santé mentale. Les adolescents qui buvaient le plus de ce genre de breuvage (au moins 4 verres de soda par jour) avaient les scores les plus élevés sur les mesures de troubles du comportement, d'hyperactivité, de détresse psychologique et de problèmes généraux de santé mentale. L'étude était publiée dans la revue "American Journal of Public Health" en octobre 2006.

❖ Asthme

Des chercheurs australiens avaient étudié 16 907 personnes âgées de 16 ans et plus en Australie du Sud pendant 2 années. Ils avaient trouvé une association entre un risque accru d'asthme et d'autres affections respiratoires, et le fait de boire plus d'un demi-litre de soda tous les jours. Leur étude était publiée dans la revue "Respirology" en janvier 2012.

❖ Dépendance à la caféine

Des chercheurs de l'université Johns Hopkins (située à Baltimore dans l'Etat de Maryland aux Etats-Unis) ont trouvé que quand les gens n'obtiennent pas leur dose habituelle de caféine, ils peuvent souffrir d'une gamme de symptômes allant de la migraine à la fatigue en passant par des douleurs musculaires ou de l'incapacité à se concentrer. Une consommation trop importante et régulière de caféine est liée à : l'irritabilité chronique, l'agitation, l'insomnie, un rythme cardiaque irrégulier, l'hypertension, des troubles gastro-intestinaux, une miction excessive, certains cancers, des tumeurs et à d'autres soucis de santé.

❖ Mauvaise qualité des matières premières

L'eau utilisée dans les sodas est l'eau du robinet tout simplement. Elle peut contenir des produits chimiques comme le chlore, le fluorure et des traces de métaux lourds.

Ce type de breuvage contient du sirop de maïs à haute teneur en fructose. La majorité de ces maïs sont génétiquement modifiés, et il n'y a pas d'études montrant l'innocuité à long terme des cultures génétiquement modifiées. Certains experts rappellent que les organismes génétiquement modifiés (OGM) sont essentiellement un corps étranger (un nouveau brin d'ADN) que votre corps ne reconnaît pas, et que de plus en plus d'études suggèrent un lien entre OGM et de redoutables risques sanitaires.

❖ Risques des édulcorants artificiels

L'aspartame est utilisé en tant que substitut au sucre dans les sodas light. Certains experts estiment qu'il peut être encore plus nuisible que le sucre. L'aspartame est fait de trois produits chimiques : l'acide aspartique, la phénylalanine et le méthanol. Il est utilisé parce qu'il est environ 200 fois plus sucré que le sucre de table. L'aspartame est associé à plus d'une centaine de problèmes de santé y compris des convulsions, la sclérose en plaques, les tumeurs cérébrales, le diabète, des troubles affectifs. A température élevée, l'aspartame se transforme en méthanol, et ce méthanol se décompose en formaldéhyde et en acide formique (qui sont connus pour être des substances cancérigènes).

❖ Le corps devient confus

Les édulcorants artificiels possèdent une saveur plus intense que le vrai sucre, alors avec le temps (à force d'en consommer), des produits comme le soda light étouffent nos sens lorsque nous goûtons des aliments naturellement sucrés (comme les fruits). Encore plus

troublant, des études ont montré que ces substituts de sucre produisent le même effet sur votre corps que le sucre. Les édulcorants artificiels déclenchent l'insuline, qui fait entrer votre corps en mode stockage de graisses, et cela mène à la prise de poids.

❖ **Déshydratation**

En raison de la forte teneur en sucre, en sodium et en caféine dans les boissons gazeuses sucrées, elles agissent comme des diurétiques et déshydratent le corps. Et au bout d'un moment, elles peuvent provoquer une déshydratation chronique. En effet, la caféine est un diurétique et provoque une augmentation du volume d'urine. En outre, une concentration élevée de sucre draine l'eau parce que vos reins essaient d'expulser l'excès de sucre du sang. Quand vous buvez un soda caféine pour étancher votre soif, vous provoquerez en fait une soif encore plus grande.

❖ **Présence d'un ingrédient interdit dans plus de 100 pays**

Environ 10% des sodas (notamment de la marque Mountain Dew) contiennent l'additif alimentaire (numéro E443) de l'huile végétale bromée. Cette substance peut provoquer des lésions de la peau, des troubles du système nerveux et de la perte de mémoire. Un rapport de 1997 expliqua des cas d'empoisonnement liés à la consommation journalière de 2 à 4 litres de sodas contenant l'huile végétale bromée. Le pire dans tout ça ? Cette huile est aussi utilisée en tant qu'agent ignifugeant (pour améliorer la tenue au feu d'un matériau tel le caoutchouc naturel)

❖ **Calories vides**

Il n'y a aucune valeur nutritionnelle dans les boissons gazeuses sucrées. Non seulement vous subissez les nombreux effets secondaires en en buvant, mais en plus il n'y a aucun bienfait en guise de compensation. Ce genre de breuvage n'est finalement qu'une substance non naturelle qui nuit à l'organisme

❖ **Violence chez les adolescents**

Dans une étude de 2011 menée sur des jeunes d'un lycée de Boston (Etats-Unis), publiée dans la revue "Injury Prévention", des chercheurs ont constaté que plus les adolescents buvaient de sodas, plus ils sont susceptibles d'être impliqués dans des actes de violence (comme pousser, bousculer et se bagarrer), même lorsque d'autres facteurs comme la maison et la vie de famille ont été enlevés.

❖ **Dépression:**

Une étude présentée à la réunion annuelle de l'Académie Américaine de Neurologie en 2012 a trouvé qu'au bout de 10 années, les gens qui buvaient plus de 4 canettes de boissons gazeuses sucrées par jour avaient 30% plus de risque de développer une dépression que ceux qui n'en buvaient pas. La corrélation était vraie à la fois pour le soda classique et pour le light. Les chercheurs avaient remarqué que le risque était encore supérieur pour ceux qui buvaient principalement des sodas classiques et des punches aux fruits.

❖ **Présence de bisphénol A dans les canettes**

La résine époxyde appelée bisphénol A est utilisée pour empêcher les acides présents dans les sodas de réagir avec le métal dans les canettes. Cette substance se trouve dans des tonnes de récipients en plastique et en métal. Les experts craignent que le bisphénol A peut interférer avec les hormones humaines. Dans diverses études, cette substance a déjà été liée à l'infertilité, à l'obésité et à certains cancers.

❖ **Dégâts possibles sur les cellules**

Une étude menée par l'université Sheffield (Royaume-Uni) suggère que le conservateur E211, connu sous le nom de benzoate de sodium et présent dans des boissons telles que Fanta et Pepsi Max, a la capacité de déconnecter certaines parties vitales de l'ADN. Le benzoate de sodium se produit naturellement en petites quantités dans les baies, mais est utilisé en grandes quantités dans les boissons gazeuses sucrées pour éviter les moisissures.

❖ **Nuisance pour l'environnement**

Dans certains pays trop souples en matière de protection de l'environnement (comme en Inde), les usines de fabrication de Coca-Cola rejettent carrément les eaux usées dans la terre environnante, provoquant une pollution de l'eau souterraine. Il avait fallu que les ONG et résidents locaux protestent vivement pour que les usines construisent des pipelines afin d'acheminer leurs eaux usées vers les centres de traitement appropriés. Les calculs de l'ONU suggèrent que plus d'un tiers de la population mondiale souffrent d'une pénurie d'eau, qu'en 2020 l'utilisation d'eau devrait augmenter de 40% par rapport au niveau actuel, et qu'en 2025 deux personnes sur trois pourraient devoir vivre dans des conditions de "stress hydrique". Plus nous buvons de Coca, plus nous aggraverons cette pénurie.

❖ Risque de prendre de mauvaises décisions financières

Une étude publiée dans la revue "Psychological Science" en janvier 2010 a trouvé que les buveurs de sodas sans sucre (version light) étaient plus susceptibles de choisir la récompense immédiate, même s'il y avait moins d'argent à gagner et quand ce n'était pas la meilleure décision globale.

❖ Economie

Une personne qui boit 1 canette de Coca-Cola (33 cl) par jour paiera au moins 175 euros chaque année juste pour garder l'habitude d'en boire. Si plusieurs personnes boivent ce breuvage dans le foyer, ce total annuel peut rapidement doubler ou tripler. Il ne faut pas oublier non plus que les maladies liées à l'obésité (pouvant être provoquée par une surconsommation de ce breuvage) représentent des charges non négligeables (achats de médicaments, frais d'hospitalisation éventuelle, etc.) à long terme.

Diverses méthodes permettent de déterminer la teneur en sucre des aliments, des matières premières, des ingrédients et des boissons. Les méthodes appliquées dépendent du type d'échantillon. Le tableau 3 présente quelque méthode physique et chimique pour déterminer le teneur en sucre dans différentes aliments et ingrédients [62].

Dans ce travail nous avons choisi de déterminer le teneur en sucre contenant dans une boisson gazeuse, par trois méthodes adaptés à la détermination du saccharose dans un milieu aqueux : par la méthode de dosage, par polarimètre et par la méthode de la densité.

Ainsi que la détermination de la quantité de la caféine contenant dans la même boisson par la méthode d'extraction.

Tableau 3: Instruments et méthodes utilisés pour calculer le teneur en sucre dans différentes aliments et ingrédients.

Aliments et ingrédients	Teneur en sucre /brix Réfractométrie	Teneur en sucre /brix densimétrie	Teneur en sucre réducteurs titrage	Contrôle des processus de raffinage titrage	Teneur en eau Karl Fischer	Teneur en humidité Dessiccateur	Pesage balance d'analyse	Pesage balance de précision
Boissons/ jus	✓	✓	✓					
Sirops, mélasses ,extraits	✓	✓	✓					
Sucre en tan que matière première/ ingrédient	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
Contrôle des processus de production betterave sucrière,canne à sucre	✓			✓	✓	✓	✓	✓
Contrôle des processus de production raffinerie de canne à sucre	✓			✓	✓	✓		
Contrôle qualité sucre pur			✓		✓	✓	✓	

III.A. Matériels et Méthodes

1. Matériels

- Le Polarimètre utilisé pour calculer le degré de polarisation du saccharose est de marque Princeton Instruments Model : WXG-4.



Figure 10: Appareil du polarimètre.

- Rotavapor utilisé pour évaporé les solvants qui contient dans la solution est de marque HAHNSHIN.



Figure 11: Appareil du Rotavapor.

2. Produits

Nom	Formule	Masse molaire
Chloroform	CHCl_3	119.38 g/mol
Acide sulfurique	H_2SO_4	Purée = 95%
Sulfate de cuivre II	CuSO_4	249,6 g/mol
Dichlorométhane,	CH_2Cl_2	84.93 g/mol
Sulfate de sodium	Na_2SO_4	142.06 g/mol
Carbonate de calcium	CaCO_3	100,087 g/mol
Iodure de potassium	KI	166.0028 g/mol
Thiosulfate de sodium	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	158,108 g/mol
tartrate double de sodium et de potassium	$(\text{Na K}(\text{COO})_2(\text{CHOH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$	282.23 g/mol
Chlorure de fer	Cl_2Fe	126.75g/mol
Acétate de zinc	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4\text{Z}_n$	183,48 g/mol
Chlorure de potassium	KCl	74,5513 g/mol
Carbonate de sodium	Na_2CO_3	105,9888 g/mol
Acide citrique	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$	192,124 g/mol
Éthanol	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	46.07 g/mol

La boisson utiliser dans cette étude est le Coca cola en canette de 330ml. Le sucre est commercial de la marque Cevital.

La solution du Carrez I a été préparé selon le mode opératoire suivant [63]: 23,8g d'acétate de zinc trihydraté et 3 gd'acide acétique glacial dissous dans 100 ml d'eau.

La solution Carrez-II a été préparé selon le mode opératoire suivant [64] : Dissoudre dans de l'eau distillée 36 g de potassium hexacyanoferrate (II) $\text{K}_4(\text{CN}_6)$, 3 H_2O , qui a été remplacé par le chlorure de fer (II) en mélange avec le chlorure de potassium et l'EDTA. Le mélange était compléter à 100 ml avec de l'eau distillée.

La solution d'amidon (Thiodène) : ajouter un mélange de 5 grammes d'amidon soluble dans 30 ml d'eau à 1 litre d'eau bouillante. Faire bouillir trois minutes, laisser refroidir, ajouter éventuellement 10 mg d'iodure mercurique comme agent conservateur.

Réactif selon Luff- Schoorl :Mettre dans une fiole jaugée de 1 litre la solution de carbonate de sodium et verser prudemment la solution d'acide citrique Tout en agitant. Ajouter ensuite la solution de sulfate de cuivre. Après refroidissement, compléter à 1 litre avec de l'eau distillée. Après 24h, filtrer. Contrôler la normalité du réactif ainsi obtenu (CuO , 1N, Na_2CO_3 , 2N). Le pH de la solution doit être de 9,4 environ.

Conclusion générale

Bien qu'elles ne soient pas indispensables dans notre alimentation, les boissons sucrées sont déjà relativement normalisées dans le régime alimentaire de nombreux adolescents, jeunes et même des enfants. Des indices indiscutables désignent les boissons sucrées comme facteur de risque distinct pour la santé à plusieurs égards. Devant notamment l'épidémie actuelle d'obésité et l'augmentation de la prévalence du diabète de type 2 chez les jeunes et leur corrélation avec la consommation de boissons sucrées, il est primordial de réduire la consommation des boissons sucrées chez ces derniers.

L'objectif de cette étude est de déterminer la teneur en sucre et de la caféine contenant dans les boissons gazeuses, en appliquant plusieurs méthodes chimiques et physiques. Nous avons appliqué dans ce travail les techniques suivantes :

Méthode de dosage, méthode polarimétrique, méthode de la densité, pour déterminer la concentration en sucre. La comparaison entre ces méthodes, nous a mené à conclure que la méthode de la densité est la meilleure que les autres. Et la quantité de sucre contenant dans la boisson gazeuse étudiée est de 37 g dans 330 ml.

D'autre part, Nous avons extrait la caféine, qui a été analysée par spectroscopie Infrarouge, UV- Visible et RMN. Les résultats obtenus de toutes les caractérisations réalisées sur la caféine extraite de la boisson gazeuse étudiée confirment la présence de cette substance dans ce produit alimentaire avec un rendement de 7%.

Finalement, il y a tellement de raisons de ne plus boire de boissons gazeuses sucrées (ou alors très rarement). A la place, vous pouvez penser à l'eau, au thé, aux jus de fruit frais 100% naturel, au lait, etc...

Résumé

Dans ce travail nous avons présenté une étude générale sur les boissons gazeuses et leur effet sur la santé humaine. Nous avons spécifié notre étude sur le teneur en sucre et la quantité de la caféine contenant dans ce produit alimentaire. Plusieurs méthodes chimiques et physiques sont été utilisées pour atteindre ce but.

La valeur de quantité du sucre a été déterminée par trois méthodes : la méthode de dosage, la méthode polarimétrique et la méthode de la densité. La valeur la plus proche à la valeur indiquée sur la canette est celle obtenue en utilisant la méthode de la densité.

Le traitement de la caféine a été réalisé par extraction. La présence, de cette substance dans la boisson gazeuse étudiée, a été testé par chromatographie sur couche mince CCM. L'identification de l'espèce extraite a été réalisée par spectrométrie UV-Visible, spectrométrie Infrarouge, spectrométrie de résonance magnétique nucléaire (RMN). Toutes les méthodes de caractérisation utilisées, confirment la présence de la caféine dans laboisson gazeuse étudiée avec un rendement de $R_d = 7 \%$.

Mots clés : boissons gazeuses, caféine, sucre, techniques chimiques et physique, extraction.

ملخص

في هذا العمل قدمنا دراسة شاملة عن المشروبات الغازية وتأثيرها على صحة الإنسان. حيث قمنا بتحديد دراستنا على كمية السكر و الكافيين المحتواة في هذه المنتجات الغذائية. وقد استخدمنا العديد من الطرق الفيزيائية و الكيميائية لتحقيق هذا الهدف. قمنا بتحديد نسبة السكر بثلاث طرق: طريقة المعايرة، طريقة الاستقطاب وطريقة الكثافة. حيث كانت اقرب قيمة إلى القيمة الموضحة على العلبه هي القيمة المتحصل عليها باستخدام طريقة الكثافة .

بعد استخلاص الكافيين من المشروب الغازية، قمنا بمعالجته واختباره بطبقة رقيقة CCM، تم إجراء تحديد الأنواع المستخلصة بواسطة طيف الأشعة البنفسجية المرئية UV-Visible، طيف الأشعة تحت الحمراء IR، طيف الرنين المغناطيسي النووي RMN، كل الطرق والخصائص تؤكد وجود مادة الكافيين في المشروبات الغازية بمردود 7%.

كلمات المفتاحية: المشروبات الغازية، الكافيين، السكر، التقنيات الفيزيائية والكيميائية، الاستخلاص.

Abstract

In this work we presented a general study on soft drinks and their effect on human health. We have specified our study on the sugar content and quantity of caffeine containing in this food product. Several chemical and physical methods have been used to achieve this aim.

The sugar quantity value was determined by three methods: the assay method, the polarimetric method and the density method. The value closest to the indicated value on the can is that obtained using the density method.

The treatment of caffeine was carried out by extraction. The presence of this substance in the studied soft drinks was tested by TLC thin layer chromatography. The identification of the extracted species was carried out by UV-VISIBLE spectrometry, INFRARED spectrometry and nuclear magnetic resonance spectrometry (NMR). All the characterization methods used confirm the presence of caffeine in studied soft drinks with a yield of $R_d = 7\%$.

Key words: soft drinks, caffeine, sugar, chemical and physical techniques, extraction.