



N° d'ordre :

N° de série :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR D'EL-OUED
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : TOXICOLOGIE

THEME

**Contribution à l'étude qualitative des cafés de consommation
commercialisés dans la région d'ELOUED**

Présenté par : CHETIOUI Fatima Zohra
LOUACHAI Maroua

Membres du jury :

Président : M^{me} Mahboub nasma

Examinatrice : M^{me} Houmri Nawal

Encadreur : Dr. OTMANI Hadjer

Grade :

M.C.B

M.A.A

M.C.B

Université :

Echahid Hamma Lakhdar-El Oued

Echahid Hamma Lakhdar-El Oued

Echahid Hamma Lakhdar-El Oued

Année universitaire 2019/2020

Remerciement

Tout d'abord, louange à « Allah » qui nous a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes reflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.

*Nos remerciements les plus chaleureux s'adressent bien entendu à notre encadreur Mme **OTMANI HADJER**, Maître de Conférences au Département de Biologie à l'Université d'El oued, qui nous a orientées avec ses conseils judicieux, pour son aide précieux, ses conseils, sa gentillesse, et le temps qu'elle nous a consacré.*

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous remercions nos très chers parents, nos familles et nos amis qui grâce à leurs prières et leurs encouragements, nous avons pu surmonter les obstacles, nous remercions également toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'exécution de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste mémoire :

À mes très chers parents (DJAMILA NESBA, ALI).

Qui se sont dépensés pour moi sans compter et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance, ma mère qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite et mon père qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et me protéger.

À Mme OTMANI HADJER ;

A été un grand apport pour la réalisation de ce travail ses orientations ainsi que son soutien moral et scientifique. Son encadrement était de plus exemplaire.

À ma grande mère (ZAINEB, MERIEM).

Je leur souhaite une santé et un bien-être continus.

À mes frères et sœurs

(SAMIHA et son fils MOHAMED ALI, SABRINA, MOUNIR, DHIAA, SOUHAIB, OUAIL).

Je leur souhaite bonheur et réussite dans leur vie quotidienne et pratique.

À mes tantes et oncles.

À mon fiancé ABAIDI NACER EDDINE et à sa famille ;

Merci pour ta gentillesse et ton sens du sacrifice. J'en te souhaitant le brillant avenir que tu mérites. Je t'aime tout simplement.

À ma binôme FATIMA ZOHRA, et sa famille.

À mes collègues de l'université À tous mes amis.

À toute ma promotion de Master 2 Toxicologie 2019-2020.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce

Travail soit possible, je vous dis merci.

Maroua

Dédicaces

Je Dédie ce modeste travail

*À ma cher mère **GHANIA NADIR** et mon cher père **DJAMEL**, pour leur endurance et leurs sacrifices sans limites, Que dieu leur préserve une longue vie et bonne santé.*

*À mes frères : **OUALID, CHAMS EDDINE, LAMINE, BACHIR**. Et à mes sœurs : **Wafa, IKRAM, SABRINA, SOUSSEN**, et à mon fiancé **FADHEL ADEL**. En reconnaissance de leur affection toujours constante.*

*Une dédicace particulière à notre encadreur de mémoire **M^{me}OTMANI HADJER***

*À mes chères amies : **KADDOUR BARIRA, KAHLA RAOUNAK**.*

*À ma binôme **MAROUA**, et sa famille*

À toute ma promotion de Master 2 Toxicologie 2019/2020.

Sans oublier tous les professeurs de Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce

Travail soit possible, je vous dis merci.

Fatima Zohra

Résumé

Le café est une boisson populaire largement consommée dans tous les pays et appréciée par toutes les tranches d'âge, sa composition varie selon la variété, le mode de production des grains de café vert, et les conditions de leur torréfaction.

Les effets bénéfiques du café sont attribués aux composés bioactifs de cette boisson tels que la caféine et les polyphénols. Plusieurs contaminants peuvent être présents dans le café, parmi eux on trouve l'acrylamide.

Dans ce travail nous avons discuté des résultats de quelques études menées sur le café du marché Algérien, ses résultats indiquent que le café destiné à la consommation contient une quantité d'acrylamide, et les études ont confirmés que le degré de torréfaction est un facteur clé dans la formation de l'acrylamide et l'addition de quantités incontrôlées de sucre pendant la torréfaction (la teneur en sucre ajouté doit être inférieur à 3%) menant à l'augmentation de la teneur d'un composé cancérigène, tel l'acrylamide représente un danger certain pour la santé humaine.

Mots clé : café, torréfaction, acrylamide, cancérigène.

Abstract

Coffee is a popular drink widely consumed in all countries and appreciated by all age groups; its composition varies depending on the Variety, the mode of production of green coffee beans, and the conditions of their roasting.

The beneficial effects of coffee are attributed to the bioactive compounds of this drink such as caffeine and polyphenols. Several contaminants may be present in coffee, among them is acrylamide.

In this work we discussed the results of some studies conducted on coffee from the Algerian market, its results indicate that coffee intended for consumption contains an amount of acrylamide, and studies have found that the degree of roasting is a key factor in the formation of acrylamide and the addition of uncontrolled amounts of sugar during roasting (the added sugar content must be less than 3%) leading to the increase in the content of a carcinogenic compound, such as acrylamide represents a definite danger to human health.

Keywords: coffee, roasting, acrylamide, carcinogenic.

ملخص

تعتبر القهوة مشروب شعبي حيث أنها تستهلك على نطاق واسع في جميع بلدان العالم وهي مفضلة لدى جميع الفئات العمرية، يختلف تكوين القهوة على حسب نوعية القهوة، طريقة تحضير حبوب القهوة، وظروف تحميص حبوب القهوة.

ترجع الآثار المفيدة للقهوة إلى المركبات النشطة بيولوجيا لهذا المشروب مثل الكافيين والبولي فينول. قد تكون هناك العديد من الملوثات في القهوة، من بينها الأكريلاميد.

قمنا في هذا العمل بمناقشة نتائج بعض الدراسات التي أجريت على القهوة من السوق الجزائرية ، تشير نتائجها إلى أن القهوة المخصصة للاستهلاك تحتوي على كمية من الأكريلاميد، وقد أثبتت الدراسات أن درجة التحميص هي عامل رئيسي في تكوين الأكريلاميد وإضافة كميات غير مضبوطة من السكر أثناء التحميص (يجب أن يكون محتوى السكر المضاف أقل من 3%) يؤدي إلى زيادة محتوى مركب مسرطن، مثل الأكريلاميد الذي يمثل خطرا واضحا على صحة الإنسان.

الكلمات المفتاحية: القهوة، تحميص، الأكريلاميد، مسرطنة.

Liste des Figures

Figure 01 : Les images représentent respectivement (A) Le caféier, (B) La fleur de café, (C) Coupe de cerise, (D) La cerise de café.	7
Figure 02 : la torréfaction du café.	12
Figure 03 : Evolution de la couleur du grain de café au cours de la torréfaction.....	12
Figure 04 : Formule chimique de l'ACR en 2D et 3D.	23
Figure 05 : (a) Formule brute, (b) Formule semi-développée	23
Figure 06 : Schéma explique les étapes de la réaction de Maillard : rôle-clé des produits intermédiaires dicarbonylés.....	26
Figure 07 : La formation de l'ACR dans les aliments à partir de l'asparagine et du glucose par la réaction de Maillard.....	27

Liste des tableaux

Tableau 01 : Avantage et inconvénients par type de transformation.	10
Tableau 02 : Composition des grains de café verts et torréfiés selon la variété (en pourcentage de la matière sèche).....	18
Tableau 03 : Effets du café sur le cancer de différents organes.	20

Liste des abréviations

AVC	Accident Vasculaire Cérébral
MP	Maladie de Parkinson
ACR	L'acrylamide
GG	Gros grain
PG	Petite grain
HPLC	Chromatographie liquide à haute performance
DAD	Détecteur à barrette de diodes

Sommaire

Remerciement.....	
Dédicaces.....	
Dédicaces.....	
Résumé	
Abstract.....	
ملخص.....	
Liste des Figures.....	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations.....	
Sommaire	
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralité sur le cafe

1. Étymologie-définitions.....	4
2. Historique.....	4
3. Classification botanique :	5
4. Description de la plante.....	5
5. La culture de café	7
6. Les différentes variétés du café.....	8
7. Les principaux pays producteurs et consommateurs du café	9
8. Traitement des cerises de café.....	9
9. La torréfaction des grains de café vert	10
10. La mouture des grains	11
11. Principaux facteurs influant sur la qualité du café	12
11.1. Séchage	12
11.2. Stockage	12
11.3. Transport	13
12. Composition du café	13
12.1. Composition des grains de café vert	13
11.2. Composition des grains de café torréfiés	15
12.3. Composition de la café boisson.....	16
13. Effets bénéfiques du café sur la santé	18
13.1. Activité antioxydante	18
13.2. Activité anticancérigène ou antimutagène	18

13.3. Autres effets bénéfiques possibles	19
14. Les effets préjudiciables du café sur la santé	20
14.1. L'activité hypercholestérolémiante	21
14.2. L'activité mutagène ou génotoxique	21
14.3. Autres effets préjudiciables possibles	21

Chapitr II : L'acrylamide

1. Définition de l'acrylamide	23
2. Propriétés physico-chimiques de l'acrylamide	23
2.1. Formule chimique	23
2.2. Propriétés chimiques	23
2.3. Propriétés physiques	24
3. Production industrielle et utilisation	24
3.1. Production industrielle	24
3.2. Utilisation.....	24
4. L'acrylamide dans les aliments.....	24
4.1. Voies de formation de l'acrylamide.....	25
4.2. La réaction de Maillard	25
4.3. Les différentes étapes de la réaction	25
4.4. Formation de l'ACR dans les aliments par la réaction de Maillard	26
4.5. Mécanisme détaillé de la formation d'ACR par la réaction de Maillard.....	27
4.6. Acides aminés et glucides réducteurs nécessaires	27
4.7. Facteurs liés à la formation d'acrylamide dans les aliments.....	28
4.8. Méthodes pour la détection d'acrylamide dans les aliments :	28
5. La toxicocinétique d'acrylamide	29
5.1. Absorption.....	29
5.2. Distribution	29
5.3. Métabolisme	29
5.4. Élimination.....	30
6. Exposition à l'acrylamide	30
6.1. Exposition professionnelle	30
6.2. Exposition par le tabac	30
6.3. Exposition alimentaire	30
7. Etude de la toxicité d'acrylamide	31
7.1. La présence de l'acrylamide dans le café	31

Sommaire

7.2. Contexte réglementaire	32
Conclusion.....	35
Références bibliographiques	37

Introduction générale

Le café est un aliment très populaire dont la consommation se diffère selon les pays. Au cours des années, le café a évolué, que ce soit au niveau de la matière, du mode de préparation ou des établissements **(Daniela, 2013)**.

Le café est considéré comme la matière première la plus commercialisée dans le monde après le pétrole **(I.C.O, 2007)**. Les pays qui produisent le café sont appelés pays « du Sud » mais sa transformation et sa commercialisation sont dominées par les pays du Nord **(I.C.O, 2011)**.

Son nom provient de l'ancien arabe qahwah (l'excitant). Grâce à cet aliment qui a conquis de nombreux bourgeois habiles en affaires, les ivrognes se sont transformés en ouvriers fiables. Aujourd'hui le café est devenu un produit consommé par une grande partie de la population et apprécié notamment pour la sensation d'éveil qu'elle procure **(Martine et al., 2003)**.

Plusieurs contaminants peuvent être présents dans le café moulu, et éventuellement se retrouver ensuite dans la boisson préparée. Parmi eux on trouve l'acrylamide (C_3H_5NO). Il s'agit d'une molécule très nocive pour la santé humaine.

En effet, la présence de l'acrylamide dans le café peut avoir comme origine : la formation in situ dans le grain lorsque celui-ci est torréfié. Sa présence peut s'avérer préoccupante en raison du caractère toxique, voire carcinogène. Il nous a donc semblé intéressant d'étudier la contamination du café par ce composé chimique **(Belhadj, 2018)**.

Ce travail présente tout d'abord les généralités concernant le café et l'acrylamide à savoir sa chimie, son utilisation, sa formation et son dosage dans les aliments ainsi que son métabolisme, Puis fait le point sur les éléments connus à ce jour sur la toxicité de ce composé. Enfin, une Évaluation de l'exposition chez l'homme notamment dans l'alimentation permet d'aborder le risque pour la santé humaine lié à l'acrylamide, principalement en ce qui concerne la cancérogénicité, toxicité considérée comme préoccupante par le JEC14A.

Chapitre I : Généralité sur le cafe

1. Étymologie-définitions

Le mot « café » désigne le grain et la cerise du caféier, qu'il s'agisse de café en parche, de café vert ou de café torréfié, et comprend le café moulu, le café décaféiné, le café liquide et le café soluble **(J.O.U.E, 2008)**.

Le nom de café désigne à la fois les graines du caféier, un arbuste des régions tropicales, la boisson obtenue à partir de ces graines et le lieu de consommation de cette boisson **(Penilleau, 1864)**.

Le « café » vient du mot arabe "Cahouah" ou « Qahwah » qui désignait cette boisson. Il se transforma ensuite en "qahvè" en turc puis en "caffè" en italien, d'où le terme français de "café" qui est apparu vers 1600. En France, on emploie familièrement l'argot caoua, dérivée de l'arabe d'Algérie et reprise par les militaires au XIX^e siècle. Comme tout le monde le sait le café est une boisson psychoactive obtenue à partir des graines du caféier **(Michelle et al., 2003)**.

Le caféier est vraisemblablement originaire d'Éthiopie. Sa culture aurait commencé dans l'Arabie voisine, où il est appelé K'hawah, un nom qui signifie "revigorant" **(Penilleau, 1864)**.

2. Historique

L'utilisation du café comme boisson remonte à si loin qu'il y existe de nombreuses légendes autour de la découverte du café. Parmi ces légendes celle que disait qu'un jeune berger du nom de « Khaldi » avait remarqué que ses animaux étaient très excités et ne trouvaient pas sommeil après avoir mangé les petits fruits rouges des arbustes autour d'eux **(Allred KF et al., 2009)**. Le café était né Au début de 16^{ème} siècle, les premiers commerçants de café le vendaient en Europe. Dans les années 1800-1850, le café a été cultivé pour la première fois à RIO de Janeiro et s'est développé, jusqu'à ce qu'il devient la plus importante ressource économique du Brésil **(Silabdi, 2010)**.

Pour les nord-américains, premiers consommateurs du monde, dans les années 1970, la grande ville la plus pluvieuse des États-Unis a donné naissance à une culture du café ou culture "latte". Aujourd'hui, il est possible de trouver du bon café dans toutes les grandes villes du monde, de Londres à Sydney en passant par Tokyo ; demain, le monde boira plus de café et, encore plus important, du meilleur café **(Boulo, 2013)**.

3. Classification botanique :

On connaît aujourd'hui environ 80 espèces différentes dans le genre *Coffea*. Seules deux espèces sont vraiment intéressantes pour la production de café. Il s'agit de *Coffea arabica* (Linné) qui donne du café arabica et de *Coffea canephora* (Pierre) qui donne du café *robusta* (Guyhaler, 2013).

Règne : *Plantae*

Division : *Angiospermae*

Classe : *Dicotyledonae*

Sous-classe : *Euasterids*

Ordre : *Gentianales*

Famille : *Rubiaceae*

Sous_famille : *Ixoroideae*

Genre : *Coffea* L.

Espèce : *Coffea arabica*

(Bouden et kadri, 2019).

4. Description de la plante

Le café est issu d'un arbuste tropical, le caféier appartenant à la famille botanique Rubiacées (Benmedjahed, 2017), elle peut atteindre 10 à 12 mètres de hauteur (Champéaux, 1991).

Le caféier est composé des parties suivantes :

Les racines : comportent un pivot court (40 à 50 cm) mais d'où partent sur sa partie inférieure des racines axiales pouvant atteindre 1,20m et plus de profondeur.

Cet ensemble de racines assure l'alimentation en eau du caféier.

Le tronc : des caféiers peut être : unique " unicaule " ou multiple " multicaule", selon les espèces et l'origine du caféier.

Le collet : Est la zone intermédiaire entre les racines et le tronc. C'est une partie sensible, surtout chez le jeune caféier.

Les branches : Elles sont longues et grêles, plus ou moins horizontales opposées 2 par 2. Elles peuvent donner naissance à des rameaux secondaires et parfois des rameaux tertiaires.

Les feuilles : Elles sont de forme ovales, opposées 2 par 2. A bord plus ou moins ondule, avec un pétiole court, couleur vert foncé brillant. Chez le *Coffea canephora* "

Robusta", les feuilles peuvent atteindre à 20 à 30 cm de long et 8 à cm de large (**Champéaux ,1991**).

Les fleurs : Elles sont blanches, petite, à odeur de jasmin, groupées par 15 à 30 fleurs constituant des " *glomérules* " (**Benmedjahed, 2017**).

La fleur fécondée donne un fruit (une baie) souvent appelé " crise " à cause de sa forme ronde et de sa couleur rouge à pleine maturité (**Champéaux, 1991**).

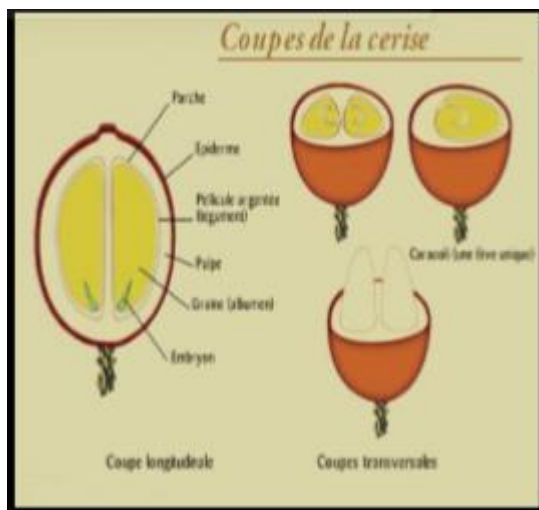
Les grains : Souvent appelée " fève " est de couleur grise, est constituée d'un albumen corne, a surface lisse, dont la face est creusée par un sillon, et d'un petit embryon comportant une radicule et deux cotylédons. La durée nécessaire pour le développement du fruit, de la floraison à la maturation est d'environ dix à onze mois. Les grains de Robusta mesurent de 8 à 16 mm de longueur, pèsent 0,10 gramme à 0,15 gramme (une bonne " *granulométrie* " est de 13 grammes pour 100 grains) (**Champéaux ,1991**).



(A)



(B)



(C)



(D)

Figure 01 : Les images représentent respectivement (A) Le caféier, (B) La fleur de café, (C) Coupe de cerise, (D) La cerise de café (Justin Koffi, 2007).

5. La culture de café

L'Arabica est planté à des densités variant de 3 000 à 10 000 pieds par hectare. Il commence à produire au bout de 2 ou 3 ans.

La floraison est provoquée soit par le froid, soit par une période sèche. Lorsque la saison sèche est bien marquée, il peut y avoir une ou deux floraisons par an. Dans les climats froids et toujours pluvieux des hautes montagnes, on peut assister à 4 ou 5 floraisons, voire plus, étalées sur plusieurs mois. La nouaison (durée de maturation du fruit) dure de 6 à 10 mois. L'entretien annuel se limite à de la taille, des désherbages, de la fertilisation et,

éventuellement, des traitements phytosanitaires contre les insectes et les maladies (**Lecolier, 2006**).

Le Robusta se cultive de façon à peu près similaire à l'Arabica. Il est cependant souvent cultivé en plein soleil, à des densités moindres (1 000 à 3 000 pieds par hectare). La durée de maturation du fruit est plus courte.

Un hectare de caféier Arabica ou Robusta, conduit dans de bonnes conditions avec du matériel sélectionné, produit entre 6 et 7 tonnes de cerises, qui donneront 1,2 à 1,3 tonnes de café marchand après transformation. Dans les périodes où les cours du café sont très bas, les caféiculteurs investissent peu dans leurs plantations. Ils laissent l'ombrage se développer et se contentent de désherber. Dans ces conditions, un hectare fournit entre 600 kg et 1 tonne de cerises, soit 100 à 200 kg de café marchand.

Dans des conditions de culture intensive au soleil, une grande plantation peut produire correctement pendant 30 ans. Les caféières sous ombrage, peu productives, peu entretenues, durent souvent 50, 70, voire 100 ans (**Lecolier, 2006**).

6. Les différentes variétés du café

Il existe un grand nombre d'espèces de caféiers mais seules deux d'entre elles sont exploitées dans le monde : *Coffea arabica* et *Coffea canephora* (Robusta) (**Justin Koffi, 2007**).

➤ Arabica (*Coffea Arabica*) :

La culture de l'arabica est plus délicate et moins productive que celle du robusta. C'est la raison pour laquelle il est essentiellement cultivé dans des plantations situées entre 1000 et 2000 m d'altitude en climat tropical tempéré par l'altitude, tel que celui de l'Amérique Latine, de l'île de la Réunion ou de l'Indonésie. Il occupe la première place dans le monde pour la production de café (environ 60%) car ses qualités aromatiques sont supérieures à celles du robusta. Son prix est d'ailleurs en moyenne 20 à 25% plus élevé que celui du robusta. Cependant, sa teneur en caféine reste très inférieure : 1% contre 3% pour le robusta (**Justin Koffi, 2007**).

➤ Robusta (*coffea canephora*) :

Le robusta est produit par *coffea canephora*. Originaire d'Afrique centrale et occidentale. En deuxième place pour la production (40%), il est surtout cultivé en plaine en Afrique (Afrique occidentale, Ouganda, Angola, Afrique du sud, etc.) et en Extrême-Orient (Viêtnam, Inde, Indonésie, Philippines) (**Justin Koffi, 2007**).

Cette espèce constitue une variété vigoureuse. Elle est plus résistante que l'arabica avec un rendement plus élevé à l'hectare. Cette espèce pousse en plaine et a peu d'exigences climatiques. Son goût est fort et corsé, il donne un café très tonique. Sa teneur en caféine est plus importante 2 à 2,5% (F.A.O, 2011).

7. Les principaux pays producteurs et consommateurs du café

Le café est cultivé dans quelques 80 pays du sud, mais les 3 plus gros producteurs totalisent près de 40% de la production mondiale et plus de la moitié des exportations. Le Brésil est constaté comme le premier producteur. Ils ont une influence importante sur les cours mondiaux du café. Ainsi les deux autres poids lourds du marché sont la Colombie et le Vietnam, qui représentent chacun plus de 10% de la production mondiale (Khalid, 2010).

La consommation mondiale du café augmente dans les pays importateurs comme l'Asie et Océanie (Turquie et le Japon). Ainsi on mentionne l'Amérique du Nord (les États-Unis). La consommation en Europe est plus modeste. Le même taux de consommation pour l'Amérique du Sud, tandis que l'Amérique centrale et le Mexique. Enfin, la consommation de café en Afrique a dépassé la tendance mondiale (I.C.O, 2011).

8. Traitement des cerises de café

Il existe deux méthodes, adaptées aux ressources économiques des pays producteurs, par voie sèche ou par voie humide (Cabiti, 2013).

- **La méthode sèche :**

La voie sèche (également appelée méthode naturelle) est la plus ancienne, la plus simple et ne nécessite que peu de matériel (Justin Koffi, 2007).

Le fruit est soit directement séché au soleil sur des tables ou des terrasses en ciment ou en brique ou même en asphalte soit séché. On obtient du « café en coque » (Cabiti, 2013).

- **La méthode humide :**

Les parties du fruit sont séparées mécaniquement, donnant la pulpe en tant que sous-produit et la parche en tant que produit principal. Ce dernier est enrobé de mucilage qui peut être éliminé par fermentation et puis lavé ou éliminé directement par la machine sans fermentation. La parche est généralement séché au soleil (Deloumeau ,1995 ; Guyalar, 2013).

La différence entre ces deux types de transformation est représentée dans le tableau suivant.

Tableau 01 : Avantage et inconvénients par type de transformation (Deloumeau, 1995).

Type de transformation	Avantage	Inconvénients
Voie humide	- Café de meilleure qualité. - Payé au "bord du champ". - Après la récolte, le planteur ne s'occupe plus de son café.	- Nécessite plusieurs passages lors de la récolte
Voie sèche	- Récolte plus rapide car nécessite moins de passage. - Rôle d'épargne.	- Café de mauvaise qualité. - Surveillance lors du séchage

9. La torréfaction des grains de café vert

La torréfaction est une opération unitaire. Elle consiste à amener avec rigueur le grain de café vert au juste degré de grillage souhaité par la chaleur sèche et élevée, soulignant ainsi les qualités principales du café : arôme, goût, couleur (José Alfredo, 2002).

Cette technique permet donc d'accroître progressivement la température dans les torréfacteurs, par chauffage direct, chauffage indirect ou fluidisation dans un courant d'air chaud (Michelle et al., 2003).

Au cours de cette transformation du café, des réactions chimiques se développent et s'accompagnent d'importantes modifications morphologiques (forme, volume, couleur, perte de poids). Les réactions génèrent du dioxyde de carbone, dont une partie s'échappe tandis qu'une autre est retenue dans les cellules du grain (Michelle et al., 2003).

Au cours de la torréfaction du café, il a été mis en évidence trois phases successives.

- Une première phase appelée **séchage**, ayant lieu à des températures du grain inférieures à 150-160°C, au cours de laquelle on observe des réactions endothermiques (grâce à un apport extérieur de chaleur). De l'eau et des substances volatiles sont éliminées au cours de cette première phase, et le grain passe de la couleur verte au jaune.
- Une deuxième phase appelée **torréfaction**, exothermique, pour des températures du grain comprises entre 150-160 et 260°C. Elle correspond aux réactions chimiques de dégradation et de polymérisation des précurseurs d'arômes (réactions dites de Maillard et de Strecker, et réactions de pyrolyse). En général, la torréfaction est menée entre 200 et 250°C pendant 0.75 à 25 min, selon le degré de torréfaction souhaité (léger, moyen ou fort), le type de torréfacteur mis en œuvre, ainsi que la nature du café vert initial (variété, teneur en eau, âge du grain, etc.). Au cours de cette phase, le grain subit d'importantes modifications, tant physiques que chimiques. De grandes quantités de dioxyde de

carbone, d'eau et de substances volatiles sont éliminées, et le grain devient marron (en raison de réactions de caramélisation et de la réaction de Maillard).

- Une troisième phase appelée **refroidissement**, qui s'avère indispensable pour éviter de brûler le grain de café (**Michelle et al., 2003**).

La torréfaction modifie non seulement la composition des grains, mais également leur texture (**Pittia et al., 2001**).

En effet, juste après la torréfaction, les grains de café sont très friables. Plusieurs raisons à cela : le volume du grain augmente sous l'effet de la pression des gaz produits à l'intérieur du grain par des réactions chimiques (principalement de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone, mais également des produits de pyrolyse), alors que sa masse diminue (perte de gaz et de substances volatiles), ce qui a pour conséquence une baisse de la densité du grain (elle passe d'environ 1200 - 1300 à environ 600 - 650 kg. m⁻³) (**Franca et al., 2005**).

En outre le grain devient poreux, et la perte d'eau est très importante (environ 5-12% en masse pour le café vert, et seulement 0-5% pour le café torréfié). Pour cette raison, les grains doivent donc être refroidis avant d'être moulus, afin de devenir durs et cassants. Plus la torréfaction a été intense, plus le grain sera facile à moudre. La torréfaction des grains de café est une étape cruciale, qui nécessite donc un contrôle rigoureux afin de maîtriser les réactions chimiques se produisant, et par là même la qualité des grains de café torréfiés. Ces réactions de pyrolyse et de brunissement non enzymatique (réaction dite de Maillard) modifient la couleur du grain, qui passe du vert au brun plus ou moins foncé selon le degré de torréfaction (**Michelle et al., 2003**).

10. La mouture des grains

Dernière étape de la préparation, les grains de café torréfiés doivent être moulus. La finesse de la mouture est essentielle à la qualité de la boisson et doit être adaptée à sa méthode de confection (**Mohammedi, 2016**).

La mouture consiste à moudre les grains de cafés torréfiés avec des appareils électriques. Au cours de la mouture, le dioxyde de carbone inclus dans le grain de café s'échappe. Bien que réalisée parfois chez le consommateur, elle est plus fréquemment réalisée de manière industrielle. Dans ce cas, le café moulu doit être emballé très rapidement afin d'éviter toute oxydation et perte d'arômes (**Trad, 2016**).



Figure 02 : la torréfaction du café (Bonnin, 2016).



Figure 03 : Evolution de la couleur du grain de café au cours de la torréfaction (Bonnin, 2016).

11. Principaux facteurs influant sur la qualité du café

11.1. Séchage

Le séchage (traitement par voie humide et sèche) est un stade très critique dans la détermination de la qualité du café.

Au cours des conditions climatiques humides, il prend de longues périodes de séchage au risque de réabsorber l'humidité. Ces conditions favorisent la croissance des moisissures pouvant conduire à la production des mycotoxines (Mohammedi, 2016).

11.2. Stockage

Le stockage du café est une étape cruciale pouvant affecter la qualité de ce substrat. En effet une mauvaise conduite peut induire la détérioration ou la perte de la qualité des grains. Un soin spécial doit être donné aux paramètres d'humidité, aux conditions et à la durée de stockage. Il est important d'éviter la réhydratation pendant le stockage et le transport (Mohammedi, 2016).

11.3. Transport

Le café est transporté en vrac uniquement depuis les pays producteurs vers les pays consommateurs, en général dans des conteneurs de 18 à 22 tonnes. Ces volumes de café contiennent une quantité d'eau résiduelle qui pourrait sous l'effet des variations de température provoquer une condensation voire une réhumidification locale pouvant entraîner une redistribution de la fraction d'eau et aboutir au développement des moisissures (Mohammedi, 2016).

12. Composition du café

La composition du café est très complexe, avec plus d'une centaine de substances chimiques identifiées. Elle est également variable car les espèces, les variétés végétales et les procédés technologiques contribuent à la diversité des caractéristiques organoleptiques des cafés. Le facteur influençant le plus fortement la composition du café est avant tout l'espèce et la variété de café vert. Pour une même variété, la composition du café est également fonction, dans une moindre mesure, de la méthode de culture, du degré de maturation des cerises et des conditions de stockage des grains verts. En outre, les procédés technologiques de préparation (dépulpage, déparchage) et de traitement industriel (torréfaction) des grains verts, modifient les teneurs des constituants des grains de café. Enfin, le mode de préparation de la boisson par le consommateur influe directement la composition de cette dernière (Silabdi, 2010).

(Smith, 1985) a dit en : « le café est probablement un des éléments dont la gamme de produits formés au cours des traitements industriels est la plus grande ». De plus, il existe un grand nombre de méthodes analytiques différentes, malgré les tentatives d'établissement d'une table de composition des cafés, aucune n'a été unanimement admise.

Les valeurs moyennes qui sont proposées pour rendre compte de la composition de chaque type de café ne doivent donc être considérées que comme des données approximatives. Une étude de la composition du café est limitée à celle des deux principales espèces, *Coffea arabica* et *Coffea canephora* (variété Robusta).

12.1. Composition des grains de café vert

✓ Les alcaloïdes (La caféine)

La caféine, ou 1, 3,7-triméthylxanthine à partir des purines dans les grains de café vert, elle joue un rôle protecteur en raison de ses propriétés antifongiques, voire peut-être insecticides (Montavon et al., 2003).

Leur teneur dans les grains de café vert dépend en premier lieu de la variété du café, elle est sensiblement plus élevée pour le Robusta (1,2 à 3,3% en masse par rapport à la matière sèche) que pour l'Arabica (0,9 à 2,1%) (**Martin et al., 1998**).

✓ **Les acides**

L'acidité constitue l'une des caractéristiques les plus importantes du café, au même titre que l'amertume ou l'arôme. Le pH moyen des grains de café vert est de l'ordre de 5,5 (**Franca et al., 2005**). Plusieurs types d'acides contribuent à cette acidité : aliphatiques, chlorogéniques (composés majoritaires), alicycliques et phénoliques.

✓ **Les acides chlorogéniques**

Les acides chlorogéniques constituent une famille d'esters formés entre certains acides transcinnamiques (caféique ou férulique) et l'acide quinique. Ils représentent environ 07 à 10 % et 05 à 07,5% en masse de la matière sèche pour le Robusta et l'Arabica respectivement (**Fischer et al., 2001**).

✓ **Les protéines et acides aminés libres**

Les acides aminés présents dans le café vert sont principalement liés aux protéines, la fraction libre ne représentant qu'environ 5% du total, avec une teneur sensiblement plus élevée pour le Robusta que pour l'Arabica (**Hiramoto et al., 1998**).

✓ **Les glucides**

Les glucides représentent environ 48 à 60% de la matière sèche du café vert. *Coffea Arabica* est généralement un peu plus riche que *Coffea canephora*. Ils sont constitués de glucides solubles cytoplasmiques (monosaccharides, oligosaccharides et polysaccharides) et de glucides insolubles constitutifs des parois végétales (hémicellulose et holocellulose). Le mannose semble être le monosaccharide majoritaire (environ 45%), suivi du galactose (25%), du glucose (17%) et de l'arabinose (10%) (**Oosterveld et al., 2003 ; Carrera et al., 1998**).

✓ **Les lipides**

Les grains de café vert de *Coffea arabica* contiennent en moyenne 12 à 20% de lipides totaux et ceux de *Coffea canephora* 9 à 17% (**Debry et al., 1995**). Les lipides du grain sont répartis entre la couche externe entourant le grain (0,2 à 0,3% des lipides totaux : il s'agit de

la cire) et l'endosperme (on parle alors d'huile de café). Plusieurs constituants lipidiques sont présents : les triglycérides (très largement majoritaires), les acides gras libres, les esters de diterpènes, les diterpènes libres, les triterpènes, les stérols, les esters de méthylstérols, les 5-hydroxytryptamides, les tocophérols, et les phospholipides (**Silabdi, 2010**).

✓ Les minéraux

Les cendres du café représentent environ 3 à 5,4% de la matière sèche (**López-Martinez et al., 2006**). La composition moyenne en minéraux des grains verts, exprimée en pourcentage de la matière sèche, est la suivante : potassium 1,63 à 2%, magnésium 0,16 à 0,31%, sulfates 0,13%, calcium 0,07 à 0,035%, phosphates 0,13 à 0,22% (**Inoue et al., 1998**). La grande majorité (90%) des minéraux sont hydrosolubles, et donc présents dans la boisson (**Debry et al., 1995**).

✓ Les vitamines

Le café vert contient plusieurs vitamines, à savoir les vitamines B1 (thiamine), B2 (riboflavine), B3 (acide nicotinique), B5 (acide pantothénique), B12 (cyanocobalamine) et C (acide ascorbique) (**Silabdi, 2010**).

11.2. Composition des grains de café torréfiés

✓ Les alcaloïdes et les acides

La torréfaction n'a pas d'effet significatif sur la teneur en caféine des grains par contre, l'acidité diminue au cours de la torréfaction, avec un pH moyen proche de 6 voire 6,5 pour un café de mauvaise qualité. Les différents acides (aliphatiques, chlorogéniques, alicycliques et phénoliques) constituent environ 6% en masse du grain (**Franca et al., 2005**).

✓ Les protéines et acides aminés

Sous l'effet de la torréfaction, et en fonction de son intensité, la perte en acides aminés varie de 20 à 40% du fait de la destruction d'une partie des protéines (**Montavon et al., 2003**).

✓ Les glucides

La torréfaction altère et dégrade les glucides présents initialement dans le café vert, notamment en induisant des réactions de dépolymérisation, de modifications structurales, ou de condensation avec des protéines ou des fragments de protéines. Ainsi, à partir des

glycoprotéines, des glucides solubles et de l'holocellulose des grains verts, des monosaccharides sont libérés (galactose, mannose, arabinose, ribose). Le saccharose (ou sucrose) est dégradé à 97% voire 100% selon le degré de torréfaction (**Campa et al., 2005**).

Réagissant avec les acides aminés (libres ou liés), les monosaccharides (glucose, fructose, arabinose, galactose) forment des polymères bruns (dont les mélanoidines) et des substances aromatiques via la réaction de Maillard ; des produits de pyrolyse se forment également. Il s'ensuit une diminution de la quantité totale en glucides pouvant atteindre 20 à 37% selon le degré de torréfaction, si l'on prend en compte la perte en matière sèche observée (environ 8%) (**Carrera et al., 1998**).

✓ Les lipides

Le café torréfié a une teneur élevée en lipides : environ 16% pour l'Arabica et 11% pour le Robusta (pourcentage en masse) (**Martin et al., 1998**).

✓ Les vitamines

Les vitamines B1 et C sont détruites lors de la torréfaction, contrairement à la vitamine B3 qui augmente du fait de la dégradation du trigone line (**Silabdi, 2010**).

12.3. Composition de la café boisson

✓ Les alcaloïdes (caféine)

Plus la mouture est fine, plus la qualité de caféine extraite est élevée à une surface de contact café-eau plus importante. La teneur en caféine augmente également avec la durée de préparation ou le volume de café préparé. Enfin, un rapport café moulu/volume d'eau élevé entraîne une boisson très caféinée, en moyenne 17 à 18 mg de caféine extraite par gramme de café moulu pour le café filtre (**Viani, 1986**).

La teneur en caféine du café bouilli est sensiblement similaire à celle du café filtre, ce qui montre que ce n'est pas la caféine qui est responsable de l'augmentation du taux de cholestérol sanguin associée à une consommation de café bouilli (**Justin Koffi, 2007**).

La caféine est d'une grande importance dans le café, en raison de ses propriétés physiologiques et de son caractère amer. Elle est absorbée très rapidement et complètement après ingestion. Son excrétion est très variable d'un individu à l'autre, mais elle est diminuée chez les femmes enceintes, et elle reste faible chez le nouveau-né et le fœtus. De plus certains

médicaments ou une insuffisance hépatique grave peuvent conduire à une mauvaise élimination de la caféine dans l'organisme (**Justin Koffi, 2007**).

✓ Les acides

L'acidité est un facteur important des qualités organoleptiques du café infusé (**Van Der Stegen et Van Duijn, 1988**).

La saveur aigre du café maintenu longtemps à la chaleur est due, d'une part à l'augmentation de ses teneurs en acides libres (notamment de l'acide quinique) ainsi qu'à celles des lactones, et d'autre part à la diminution de sa concentration en pyridine (**Nunes et Coimbra, 2002**).

✓ Les glucides

Selon le mode de préparation de boisson, une importante quantité des polysaccharides contenus dans le café peut être extraite et se retrouve dans la boisson, ces composés jouent un rôle important dans la rétention des substances volatiles et sur la viscosité de la boisson obtenue (**Urgert et Katan, 1997**).

✓ Les diterpènes (cafestol et kahweol)

En ce qui concerne les deux diterpènes, cafestol et kahweol, le mode de préparation du café boisson a une grande influence sur leurs concentrations finales. Les teneurs en diterpènes sont les plus élevées pour le café bouilli et le café turc, et sont plus faibles pour le café expresso, et négligeables pour le café instantané et le café filtre, ainsi des concentrations allant de 17 jusqu'à 90 mg/L ont été trouvées dans le café turc et le café expresso, avec un rapport cafestol/kahweol proche de 50/50 (**Majer et al., 2005**). La présence de ces deux diterpènes caractéristiques du café joue un rôle important, en raison des effets physiologiques de ces deux molécules puisqu'elles possèdent à la fois des effets hypocholestérolémiants et anticancérigènes. Ainsi, une étude récente a montré que ces deux diterpènes ne présentent aucun effet mutagène, même à des concentrations testées élevées (**Andriot et al., 2004**).

Tableau 02 : Composition des grains de café verts et torréfiés selon la variété (en pourcentage de la matière sèche) (**Justin Koffi, 2007**).

Composants	Café Arabica		Café Robusta	
	Vert	Torréfié	Vert	Torréfié
Caféine	0,8 – 1,4	0,9-1,6	1,7-4,0	1,2-2,6
Trigonelline	0,6-1,2	0,1-1,2	0,3-1,0	0,1-1,2
Acides aliphatiques	1,0-3,0	1,0-4,6	1,0-2,0	1,0-4,6
Acides quinique	0,4	0,8	0,4	1,0
Acides chlorogéniques totaux	5,5-9,0	0,2-3,5	7,0-12,0	0,2-4,6
Oligosaccharides	6,0-8,0	0,0-3,5	5,0-7,0	0,0-3,5
Saccharose	8,0	0,0	4,0	0,0
Polysaccharides totaux	50,0-55,0	24,0-39,0	37,0-47,0	/
Protéines	11,0-14,0	13,0-15,0	11,0-14,0	13,0-15,0
Acides aminés libres	2,0	0,0	2,0	0,0
Lipides totaux	10,0-18,0	14,5-20,0	8,0-13,0	8,3-16,0
Minéraux	3,0-4,2	3,5-4,5	3,5-4,5	4,6-5,0
Eau	5,0-12,0	0,0-5,0	5,0-12,0	0,0-5,0

13. Effets bénéfiques du café sur la santé

De très nombreuses études ont mis en évidence des effets bénéfiques de la consommation de café sur la santé, principalement une activité anti-oxydante, anti-cancérigène et anti-mutagène.

13.1. Activité antioxydante

Avec les fruits, les légumes, le cacao et le thé, le café est l'une des principales sources d'antioxydants de notre alimentation. Les antioxydants sont des éléments qui ont pour mission de lutter contre le vieillissement cellulaire en neutralisant les radicaux libres (**Michel, 2008**).

13.2. Activité anticancérigène ou antimutagène

Plusieurs constituants du café semblent être à l'origine d'une activité protectrice contre certains types de cancer, en particulier celui du côlon. Parmi ceux-ci la caféine, les polyphénols (dont les acides chlorogéniques), ainsi qu'une fraction lipidique essentiellement constituée de cafestol et kahweol (**Inoue et al., 1998**).

De nombreuses études ont été menées sur l'effet protecteur de la boisson café envers le cancer colorectal. La consommation de café (au moins 3 ou 4 tasses par jour) est associée à une moindre occurrence du cancer du côlon ou du rectum (**Van Dam et al., 2002**).

13.3. Autres effets bénéfiques possibles

✓ Influence de café sur AVC (Accident Vasculaire Cérébral)

Plusieurs études mettent en évidence la réduction du risque d'AVC chez les consommateurs de café. Une étude de cohorte finlandaise de 2008, incluant 26556 hommes fumeurs suivis pendant 14 ans, avait montré que le risque relatif de développer un AVC non hémorragique était significativement réduit pour les consommateurs de café. Il était estimé à 12 % pour une consommation de 4-5 tasses de café et de 23 % chez les plus grands consommateurs (≥ 6 tasses quotidiennes) par rapport à une consommation inférieure à 2 tasses par jour (**Larsson et al., 2008**).

✓ Influence de café sur le Diabète de type 2

D'après d'une étude sur des femmes âgées les chercheurs ont observé que les femmes qui buvaient régulièrement une petite tasse de café noir après le repas souffraient moins du diabète. Ce résultat pourrait être expliqué par la présence d'acides chlorogéniques dans les grains de café, acides qui diminueraient la charge glycémique d'un repas, d'où l'efficacité d'un café noir après le repas du midi, souvent le plus lourd. La consommation de café réduit le risque de développer un diabète de type 2 (cette diminution se retrouve dès 3 tasses de café par jour) (**Aurore, 2015**).

✓ Influence du café sur la maladie de Parkinson (MP)

De nombreuses études ont montré que seul le café normal réduit le risque de MP. Cet effet démontré de la caféine dans la MP a mené à des recherches visant à développer des antagonistes du récepteur A2A de l'adénosine (cible de la caféine). La région dans laquelle les neurones dégénèrent, le striatum, est la plus riche du cerveau en récepteurs A2A. Ils sont en étroite liaison avec les récepteurs D2 de la dopamine (qui contrôle l'activité motrice), fortement détériorés dans la MP (**Schwarz Schild et al., 2006**).

Tableau 03 : Effets du café sur le cancer de différents organes (Arab, 2010).

Types de cancer	Nombre d'étude	Effet de café	Doses
Colorectal	5 études de cohorte 15 cas-témoins	Réduction du risque de 24-60 % Sauf dans 3 cohortes	Plus de 3 tasses/jour
Hépatique	20 études de cohorte 11 cas-témoins	Réduction du risque de 30-55 %	Dès 1-2 tasses/jour Effet dose dépendant
Voies aériennes supérieures	9 études	Risque réduit de 39%	4 tasses/jour
Sein	5 études récentes	Pas d'effet après la ménopause Risque réduit de 40 % avant la ménopause, même si risque génétique accru	4 tasses/jour
Endomètre	5 études récentes	Risque réduit de 60%	3 tasses/jour
Prostate	11 études	Pas d'effet	
Rein	26 études	Pas d'effet	
Vessie	43 études	Augmentation de risque Pas de changement Lien avec eau du robinet	> 5 tasses/jour < 5 tasses/jour Pas d'effet dose- Dépendant
Estomac	23 études	Pas d'effet	
Pancréas	37 études	Pas d'effet	

14. Les effets préjudiciables du café sur la santé

Plusieurs études menées sur la boisson de café, ou plus récemment le café instantané, ont montré une corrélation vraisemblable entre l'ingestion de café et différents effets préjudiciables pour la santé de l'homme, même si ce ne sont que des suppositions puisque ces études sont menées via des essais in vitro (sur des cultures cellulaires) ou in vivo (le plus souvent chez des rongeurs), et que leur extrapolation à l'homme reste donc difficile en l'état actuel des connaissances (Trad, 2016).

14.1. L'activité hypercholestérolémiante

Plusieurs études épidémiologiques ont mis en évidence une causalité entre la consommation de café bouilli et l'augmentation de la teneur en cholestérol dans le plasma sanguin (**Urgert et Katan, 1997**).

Les études menées ont montré que cet effet est corrélé à la présence des deux diterpènes cafestol et kahweol dans la boisson (**Urgert et Katan, 1997 ; Weusten-Van der et al., 1994**).

14.2. L'activité mutagène ou génotoxique

Il semble qu'il puisse y avoir une relation entre consommation de café et cancer de la vessie, sans que cela ait pu être clairement démontré car les études restent contradictoires. Par conséquent, si risque il y a, celui-ci reste modéré (**Tavani et La Vecchia, 2000**).

Des doutes subsistent également sur la corrélation entre consommation de café et cancer du pancréas, même si les études précédentes ne font apparaître aucune association entre le café et ce type de cancer (**Michaud et al., 2001**).

14.3. Autres effets préjudiciables possibles

La consommation de café entraîne une augmentation de la pression artérielle, liée à la caféine présente (**Higdon et Frei, 2006**).

Il est désormais bien établi que la consommation de caféine chez la femme enceinte peut induire un avortement spontané ou une fausse couche ; il est donc conseillé aux femmes enceintes de ne pas consommer plus de 3 tasses de café par jour, soit une consommation quotidienne d'environ 300 mg de caféine (**Higdon et Frei, 2006**).

Chapitr II :
L'acrylamide

1. Définition de l'acrylamide

L'acrylamide ou 2-propénamide est un composé vinylique transparent, inodore et soluble dans l'eau pouvant facilement s'assembler en polymères (polyacrylamide) et qui est largement utilisé en génie chimique (**Besaratinia et Pfeifer, 2007**).

L'ACR est une molécule produite lors de la cuisson à haute température des aliments. Il est également connu sous les noms d'amide acrylique, d'amide de vinyle et d'ACR monomère (**Friedman, 2003**).

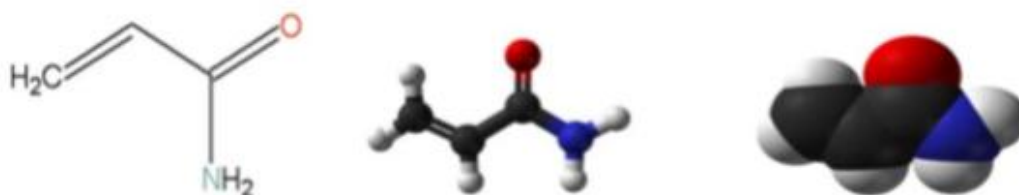


Figure 04 : Formule chimique de l'ACR en 2D et 3D (**Belhadj,2018**).

2. Propriétés physico-chimiques de l'acrylamide

2.1. Formule chimique :



Figure 05 : (a) Formule brute, (b) Formule semi-développée (**Klein, 2007**).

2.2. Propriétés chimiques :

- L'ACR contient une double liaison électrophile réactive et un groupe amide réactif. Il présente de faibles propriétés acides et à la fois basiques (**Friedman, 2003**).
- Elle peut également réagir avec les agents oxydants forts ainsi que les bases fortes. Sa décomposition thermique donne lieu à un dégagement de fumées acides et d'oxydes d'azote (**INRS, 2019**).

2.3. Propriétés physiques :

- L'acrylamide se présente sous la forme de cristaux blanche, inodores, qui se subliment lentement à température ambiante. Il est très soluble dans l'eau (2155 g/l à 30°C) et soluble dans de nombreux solvants organiques (méthanol, acétone, acétate d'éthyle) (INRS, 2019).
- L'acrylamide se caractérise par une masse moléculaire de 71,09g/mol, une densité d 1,125 à 30 de fusion de 84,5°C (Klein, 2007).

3. Production industrielle et utilisation

3.1. Production industrielle

Dans les années 1960, la production d'acrylamide sous forme de polymère se faisait via une réaction d'hydratation de l'acrylonitrile à partir de l'acide sulfurique et de catalyseurs de cuivre, générant une pollution importante (Carrara, 2018).

En 1980, les industriels de la société *Nitto Chemical Industry* au Japon découvrirent la nitrile hydratase, une enzyme capable de produire de l'acrylamide à partir d'acrylonitrile (Carrara, 2018).

L'ACR peut aussi être produit à partir de microorganismes. Un des premiers à être utilisé est *Rhodococcus rhodochrous*, qui transforme l'acrylonitrile en ACR à l'aide d'une nitrile hydratase (Klein, 2007).

3.2. Utilisation

Les applications industrielles d'acrylamide sont nombreuses : (Klein, 2007).

- Agent flocculant dans le traitement de l'eau et dans celui des minéraux, pour faciliter la précipitation des solides dans les solutions aqueuses.
- Adjuvant de fabrication dans l'industrie du papier.
- Préparation des gels d'électrophorèse.
- Agent de fixation dans l'industrie des peintures et vernis pour améliorer leur tenue.
- Liant dans l'industrie cosmétique.
- Modificateur de viscosité dans l'industrie pétrolière.
- Fertilisants dans l'agriculture.

4. L'acrylamide dans les aliments

L'acrylamide a été détecté dans tous les types d'aliments, notamment la viande, le pain et les produits de pommes de terre préparés à des températures élevées (Tareke et al., 2002).

Des quantités relativement faibles peuvent être trouvées dans les aliments soumis à des températures allant jusqu'à 260°C (**Murkovic, 2004**).

Il est présent aussi dans les aliments cuits ou chauffés aux micro-ondes. Les feuilles de thé et les grains d'orge grillés contiennent aussi de l'acrylamide. Il se forme dans les aliments riches en glucides pendant la friture, la cuisson et la torréfaction (**Andrzejewski et al., 2004**).

4.1. Voies de formation de l'acrylamide

La voie principale de formation de l'acrylamide dans les aliments est la réaction de Maillard (**Becalski et al., 2003**).

4.2. La réaction de Maillard

La réaction de Maillard porte le nom de Louis-Camille Maillard, premier chercheur ayant exploité la réaction de l'acide aminé avec des glucides. Il a ensuite été signalé que les acides aminés en combinaison avec différents hydrates de carbone réagissent à des températures supérieures à 100° C, formant la couleur typique brune foncée et la saveur des aliments cuits (**Stadler et al., 2003**). Grâce à cette réaction extrêmement complexe, non seulement des propriétés souhaitables comme la couleur, l'arôme et le goût sont acquises, mais aussi des composés antioxydants sont formés (**Andrzejewski et al., 2004**).

4.3. Les différentes étapes de la réaction

La réaction de Maillard constitue un ensemble très complexe de réactions encore mal connues. La réaction était décrite comme la succession de trois étapes majeures (**Birlouez-Aragon, 2008**).

1. L'étape précoce initiée par la condensation entre le sucre réducteur et le composé aminé et produisant le produit d'Amadori dans le cas où le sucre est un aldose, ou le produit de Heyns, s'il s'agit d'un cétose.
2. L'étape avancée, correspondant à la formation à partir du produit d'Amadori, de nombreux produits plus stables, de scission et déshydratation (aminocétoses, réductones, furanes, etc.) ou encore de cyclisation et/ou condensation (composés de type pyrazine, pyrrol et pyrimidine).
3. L'étape finale découlant de la polymérisation de composés formés en étape 2 et produisant les mélanoidines brunes.

Cette réaction, à des vitesses très diverses dépendant de la température et des conditions physicochimiques du milieu (pH, teneur en eau, concentration et réactivité des substrats), peut se dérouler dans les aliments, dans les sols et dans les milieux biologiques. Il est cependant admis que les mélanoidines ne peuvent se former aux températures physiologiques, parce qu'ils nécessitent une énergie d'activation élevée.

Parmi les multiples molécules formées au cours des différentes étapes de la réaction de Maillard, certaines font aujourd'hui l'objet de recherches intenses du fait du risque possible que leur ingestion peut entraîner sur la santé. Citons les amines hétérocycliques formées essentiellement dans les produits carnés riches en créatinine, l'ACR issu de la réaction de Maillard sur l'asparagine et le furane issu de la décomposition des sucres, vitamine C et AGPI, facilitée par les amines. Ces trois molécules sont reconnues comme cancérogènes et sont présentes dans de nombreux aliments que nous consommons quotidiennement. (Belhadj, 2018).

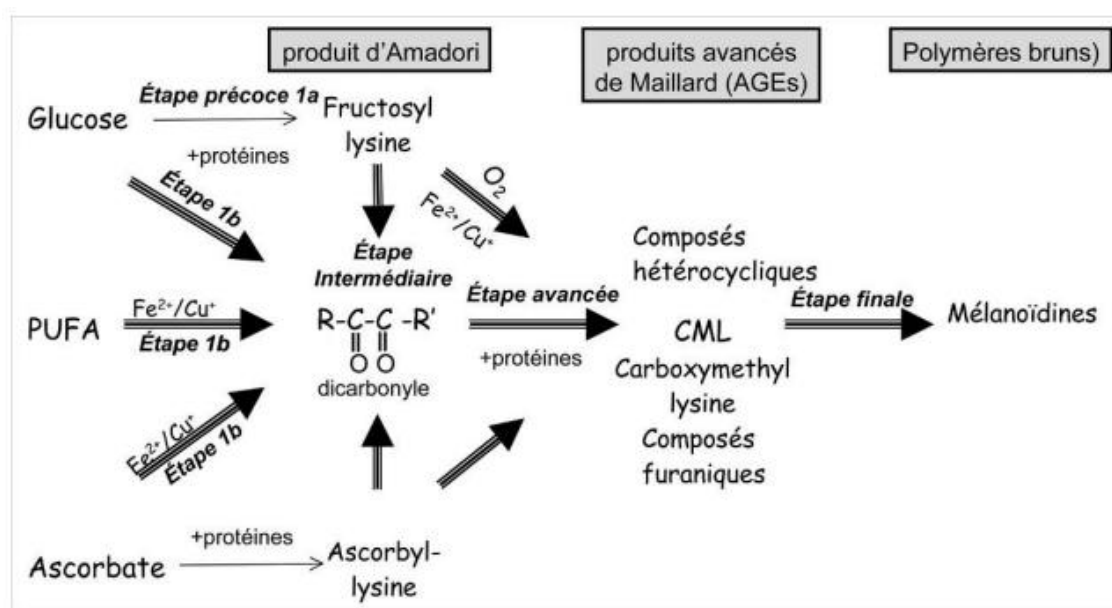


Figure 06 : Schéma explique les étapes de la réaction de Maillard : rôle-clé des produits intermédiaires dicarbonylés. (Birlouez-Aragon, 2008).

4.4. Formation de l'ACR dans les aliments par la réaction de Maillard

L'ACR est formé essentiellement dans les aliments riches en amidon, cuits à haute température, lors de la Réaction de Maillard. Les premiers travaux visant à déterminer l'origine de la formation de l'ACR dans les aliments furent réalisés par des laboratoires indépendants dans différents pays. Ils établirent que l'asparagine était à la base de la formation de l'ACR (Klein, 2007).

Cette réaction débute par la condensation du glucose (glucide réducteur) avec l'acide aminé asparagine (Klein, 2007). La réaction de Maillard comprend de nombreuses étapes, mais peut être résumée de la façon suivante. (Figure 07) :

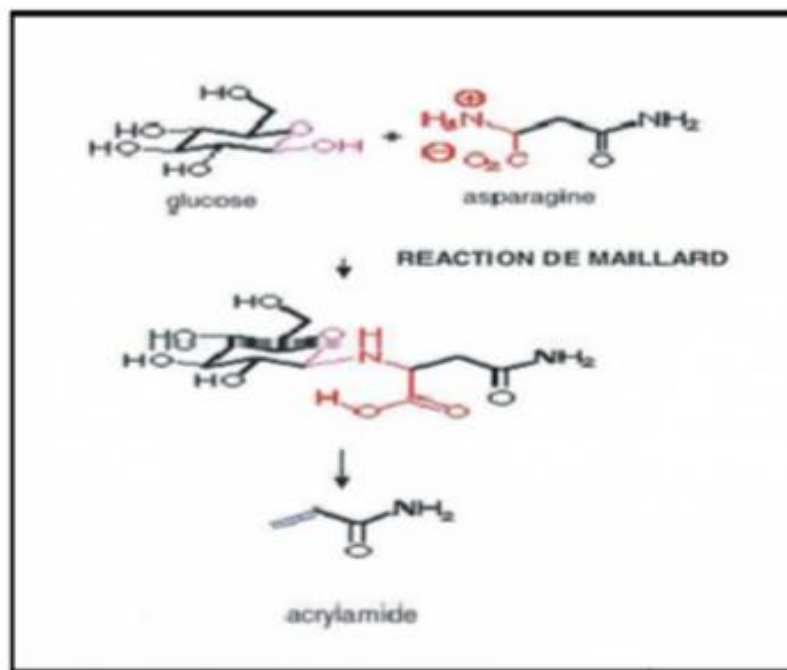


Figure 07 : La formation de l'ACR dans les aliments à partir de l'asparagine et du glucose par la réaction de Maillard (Klein, 2007).

4.5. Mécanisme détaillé de la formation d'ACR par la réaction de Maillard

Le premier stade de la réaction, la condensation de Maillard, est la condensation d'un composé aminé (principalement l'asparagine) avec le groupement carbonyle d'un glucide réducteur (principalement le glucose) lors d'une réaction équimolaire, entraînant la formation d'un dérivé N-glycosyl de l'asparagine, en équilibre avec une base de Schiff. La base de Schiff de l'asparagine subit une décarboxylation à la température facilitée par la délocalisation de la charge négative (Zyzak et al., 2003 ; Yaylayan et al., 2003).

Cette base peut soit entraîner la formation de 3-aminopropionamide par hydrolyse de la base de Schiff et élimination d'ammonium, soit se décomposer et aboutir directement à l'ACR par élimination d'un groupement imine, (Zyzak et al., 2003) et (Yaylayan et al., 2003), proposèrent une cyclisation intramoléculaire de la base de Schiff en dérivé oxazolidine-5-one (Yaylayan et al., 2003). Le rendement de cette réaction est faible : seulement 0,1% à 0,3% des molécules d'asparagine libres sont converties en ACR (Stadler et al., 2004).

4.6. Acides aminés et glucides réducteurs nécessaires

A. Acides aminés

Bien que différentes voies de synthèse aient été proposées, celle qui semble être la plus probable met en jeu la dégradation d'un acide aminé libre, l'asparagine, par réaction de Maillard. La preuve du rôle central joué par l'asparagine a été apportée par l'utilisation d'une

enzyme spécifique de la dégradation de l'asparagine (asparaginase) dans certaines matrices alimentaires pour réduire efficacement la formation d'ACR (**Belhadj, 2018**).

B. Glucides réducteurs

L'autre groupe de substrats important pour la formation de l'ACR dans les aliments est constitué de sucres réducteurs et de composés dicarbonylés, molécules peu abondantes mais hautement réactives. (**Tessier et al., 2012**).

Un mélange d'asparagine et de composés carbonylés pouvait, au mieux, générer une molécule d'ACR pour cent molécules d'asparagine mises en jeu (**Stadler et al., 2004**).

4.7. Facteurs liés à la formation d'acrylamide dans les aliments

D'après (**FAO/OMS, 2006**) les facteurs liés à la formation d'acrylamide ont surtout été identifiés dans les aliments à base de pommes de terre et de céréales.

Ces facteurs clés comprennent la présence de précurseurs de l'acrylamide (principalement l'asparagine et les sucres réducteurs), la température et le temps de cuisson, et d'autres conditions de réaction ou paramètres, comme le pH, l'activité de l'eau, l'étendue de la surface, et l'étendue du brunissement. Certains de ces facteurs ont le potentiel d'être manipulés pour réduire les taux d'acrylamide (**FAO/OMS, 2006**).

Les températures, supérieures à 120 °C, la durée des traitements thermiques industriels (torréfaction) ou domestiques (friture, grillade, cuisson au four) constituent les principaux facteurs de risque de formation de l'acrylamide (**Biego et al., 2009**).

4.8. Méthodes pour la détection d'acrylamide dans les aliments :

A- Méthodes standards

- **La chromatographie liquide (CL) et la chromatographie liquide haute performance (CLHP) couplées à la spectrométrie de masse (SM)** sont les méthodes les plus utilisées pour l'extraction et la quantification de l'acrylamide dans les aliments, par leur sensibilité et leur sélectivité (**Carrara, 2018**).
- **La chromatographie liquide ultra-performance (CLUP)** permet une meilleure extraction de l'acrylamide dans les matrices alimentaires avec un temps de rétention plus faible et une sensibilité plus élevée. (**Carrara, 2018**).
- **Les chromatographies en phase gazeuse (CPG) avec et sans dérivation** ont été développées, démontrant des résultats concordants avec la technique de CL-SM dans la détection d'acrylamide dans plusieurs denrées alimentaires (**Carrara, 2018**).

B- Méthodes de détection rapide

Contrairement aux méthodes standards, les méthodes de détection rapides sont principalement basées sur les propriétés biochimiques de l'acrylamide et des biomatériaux ayant une interaction spécifique et élevée avec l'acrylamide, ou des changements de propriétés physicochimiques des aliments (**Carrara, 2018**).

- Méthode colorimétrique couplée à l'analyse informatique.
- Méthode immuno-enzymatique.
- Méthode de biodétection électrochimique.
- Méthode de détection par fluorescence.

5. La toxicocinétique d'acrylamide

5.1. Absorption

Chez l'homme, les voies d'exposition à l'acrylamide sont nombreuses : la voie orale via l'eau et l'alimentation, la voie respiratoire via la fumée de cigarette, mais aussi la voie cutanée dans un environnement professionnel (**INRS, 2019**).

5.2. Distribution

En l'état des recherches actuelles, il n'existe pas de données quant à la distribution chez l'homme. Cependant, les résultats issus de plusieurs études chez des mammifères (principalement rats mâles souris, chien, cochon), indiquent que l'acrylamide identifié par marqueur radioactif est rapidement distribué sous sa forme libre dans tous les tissus (foie, reins, poumons, muscles, cerveau, nerf sciatique, moelle épinière, peau, tissu adipeux, intestin) ainsi qu'au niveau du fœtus et du lait maternel (**EFSA, 2015**).

5.3. Métabolisme

Il existe deux voies de métabolisation chez l'homme :

La principale voie est celle de **la conjugaison au glutathion**, catalysée par la glutathion-S-transférase hépatique aboutissant à deux métabolites urinaires principaux sous forme de dérivés mercapturiques :

N-acétyl-S-(2-carbamoyléthyl) cystéine (AAMA) et N-acétyl-S-(2-carbamoyl-2-hydroxyéthyl) cystéine (GAMA) (**INRS, 2019**).

L'autre voie de métabolisation est celle de **l'époxydation en glycidamide** par des mono-oxygénases dépendantes du cytochrome P450E1 mais elle est beaucoup moins importante chez l'homme que chez les rongeurs (**Sumenr et al., 1999**).

Formation d'adduits

La métabolisation de l'acrylamide aboutit à divers métabolites, dont le glycidamide, le plus toxique d'entre eux. Il est capable de réagir avec les acides nucléiques de l'ADN, en formant des adduits, conduisant à l'induction de mutations. L'acrylamide peut rarement se lier à l'ADN pour former des adduits étant donné sa faible réactivité pour les bases azotées (Brisson-Gauthier, 2012).

5.4. Élimination

Chez l'homme, 60% de la dose d'acrylamide administrée par voie orale et ses métabolites, dont environ 86% conjugués au glutathion, se retrouvent dans les urines au bout de 24 heures (EFSA, 2015).

L'acrylamide sous forme inchangée représente un peu plus de 4% de la dose initiale ingérée. Le devenir des 40% restants de la dose initiale n'a pas encore été élucidé. Il est envisageable qu'une partie contribue à la formation d'adduits avec les macromolécules, telles que l'ADN et les protéines (Sumenr et al., 1999).

6. Exposition à l'acrylamide

L'exposition à l'ACR peut avoir lieu de nombreuses façons. Cependant, la source la plus importante d'exposition à l'ACR est via l'alimentation. (Brisson et al., 2014).

6.1. Exposition professionnelle

Les personnes travaillant dans les industries de production ou de transformation de l'ACR peuvent être exposées à ce composé par voie dermique ou par inhalation. D'après les études sur l'exposition professionnelle à l'acrylamide, la limite dangereuse est rarement atteinte (Manière, 2006).

Des travailleurs présentant des symptômes de neurotoxicité à la suite de leur exposition professionnelle à l'acrylamide ont conduit les autorités locales d'un pays à déclarer l'état d'urgence. (Törnqvist et al., 2000).

6.2. Exposition par le tabac

Parmi les sources non alimentaires d'ACR, la fumée de tabac peut représenter un apport important d'ACR, même de manière passive. (Schettgen et al., 2003).

6.3. Exposition alimentaire

En 2002, l'ACR a été détecté dans plusieurs types d'aliments cuits, incluant les aliments de base (EFSA, 2008). Il peut se former dans les aliments d'origine végétale, en particulier les aliments riches en glucides et faibles en protéines, lors des processus de cuisson tels que la

friture, la cuisson au four ou au gril et le rôtissage à des températures égales ou supérieures à 120 °C. (EFSA, 2014).

7. Etude de la toxicité d'acrylamide

7.1. La présence de l'acrylamide dans le café

Dans le marché Algérien, différentes marques de café empaqueté sont disponibles, ayant chacune un goût distinct. Ces cafés sont composés principalement de deux variétés de cafés ; Robusta et Arabica purs ou un mélange des deux variétés dans des proportions allant de 20 à 80 % de chacune.

Différentes études sont menées sur le café du marché Algérien pour déterminer la teneur de l'acrylamide dans le café.

Dans ces études La méthode analytique utilisée est la chromatographie liquide à haute performance couplée à un détecteur à barrette de diodes (HPLC-DAD), pour la détection et le dosage d'acrylamide dans le café.

❖ La détection et la quantification de l'acrylamide dans le café

Dans l'étude de (Belguidoum, 2015), quatre marques de café moulu empaqueté, quatre échantillons de café en vrac (non empaquetés) ; de l'Arabica, du Robusta à petits grains (PG), du Robusta à gros grains (GG) et un mélange de (PG) et (GG) ainsi que du café vert (Robusta de la Côte d'Ivoire) ont été analysés afin d'y identifier et d'y déterminer la teneur en acrylamide.

- Les grains de café vert (Robusta) ont subi une torréfaction manuelle pendant 15 minutes à 100°C, 120°C, 180°C, 200°C, 220°C, 245°C, 270°C et 320°C, respectivement. Les grains de café ont été, ensuite, refroidis à température ambiante.
- Le café torréfié non empaqueté (Arabica, Robusta, Robusta à petits grains (PG), Robusta à gros grains (GG) était moulu directement.
- Le café empaqueté qui est déjà moulu, la poudre a directement été soumise à l'extraction.

Cette étude a montré :

- La teneur en acrylamide dans les échantillons de café torréfié non empaqueté est de $10,45 \pm 0,44$ µg/l dans la variété Arabica et de $25,66 \pm 1,66$ µg /l dans le Robusta.
- La variété Robusta à gros grains (GG) contient relativement moins d'acrylamide que celle de la même variété à petits grains (PG).
- Des concentrations d'acrylamide légèrement plus élevées ont été détectées dans les échantillons de café torréfié emballé par rapport à ceux non emballés.

- La teneur en acrylamide dans le café emballé varie de $38,61 \pm 0,16 \mu\text{g/l}$ à $44,80 \pm 2,50 \mu\text{g/l}$.
- Des couleurs claire, moyenne et foncée ont été obtenues pendant la torréfaction des cafés verts, la teneur d'acrylamide est plus élevée dans les échantillons clairs que dans les deux autres où elle varie de $14,50 \pm 1,56 \mu\text{g/l}$ à $32,33 \pm 1,59 \mu\text{g/l}$, puis commence à diminuer dans les échantillons de couleur moyenne avec une teneur moyenne de $23,65 \pm 2,44 \mu\text{g/l}$ pour atteindre enfin une teneur de $11,66 \pm 0,96 \mu\text{g/l}$ dans l'échantillon de couleur foncée.

La différence entre la teneur en acrylamide dans le café torréfié non emballé et le café emballé montre que le sucre est ajouté pendant le processus de torréfaction ; le café obtenu possède alors un goût caramélisé et une couleur plus foncée que le café pur, et le degré de torréfaction constitue un facteur clé dans la teneur de l'acrylamide (**Belguidoum, 2015**).

L'étude de (**Benbabouche, 2013**) a porté sur l'analyse de la qualité du café de consommation commercialisé dans la région de Tlemcen.

Les résultats physicochimiques de cette étude ont confirmé que l'ajout du sucre influe sur le taux des matières solubles dans le café et que son ajout à des concentrations élevées aboutit à la formation de l'acrylamide qui est un produit cancérigène (**Benbabouche, 2013**).

La quantité de sucre ajoutée dans les échantillons du café (les échantillons considérés ont été achetés sur le marché local à Blida, Tipaza (Algérie). Est importante et dépasse la valeur réglementaire indiquée dans l'emballage des produits de café commercialisés (la teneur en sucre ajouté doit être inférieure à 3% selon le décret exécutif N° 17-99 du 20/02/2017 fixant les caractéristiques du café ainsi que les conditions et les modalités de sa mise à la consommation) (**Bouden et Kadri, 2019**).

Ces différentes études sont menées sur le café du marché algérien, ses résultats indiquent que le café destiné à la consommation contient une quantité importante d'acrylamide (produit indésirable et nocif pour la santé humaine).

7.2. Contexte réglementaire

En juin 2015, l'EFSA a publié sa première évaluation complète des risques associés à l'acrylamide dans les aliments. Des experts des contaminants de la chaîne alimentaire (groupe CONTAM) ont corroboré les résultats publiés indiquant que la présence d'acrylamide dans les aliments favoriserait le risque de développement d'un cancer pour les consommateurs de tous les âges.

Les études menées sur des modèles animaux montrent que l'acrylamide et son métabolite, le glycidamide, sont génotoxiques et cancérigènes. Les études sur des modèles

humains n'ont pas encore apporté de preuves suffisantes quant à la corrélation entre acrylamide et apparition de cancer. **(Carrara, 2018).**

7.2.1. Évaluation du risque lié à la présence d'acrylamide dans les aliments

A- Identification du danger

Les craintes liées à la formation et à l'accumulation d'acrylamide dans les aliments ont conduit à prêter une attention plus importante à sa toxicité. À ce jour, la plupart des recherches sur la toxicité se sont concentrées sur la cancérogenèse, la génotoxicité, la neurotoxicité et la reprotoxicité **(Carrara, 2018).**

✓ Cancérogenèse

En 1994, le CIRC a classé l'acrylamide comme « probablement cancérogène chez l'humain », considérant les preuves de la cancérogenèse comme suffisantes chez l'animal mais inadéquates chez l'homme. D'un point de vue épidémiologique, aucune relation convaincante entre l'exposition à l'acrylamide et la formation de tumeurs n'a été établie. **(Carrara, 2018).**

Les résultats des études toxicologiques et épidémiologiques sont insuffisants pour affirmer que les quantités d'acrylamide consommées au cours d'un régime alimentaire normal sont associées à un risque de cancer. À ce jour, le mode d'action précis de la cancérogenèse de l'acrylamide reste encore à élucider **(Miao et al., 2014).**

✓ Génotoxicité

Dans les cellules mammaliennes et humaines, l'acrylamide peut être transformé en glycidamide par le cytochrome P450 2E1. Le glycidamide est un mutagène puissant avec une haute affinité pour l'ADN, induisant principalement des mutations ponctuelles **(Bandarra et al., 2013 ; VonTungeln et al., 2012).**

Les résultats ont montré que le glycidamide induit une altération de la cinétique de prolifération cellulaire et la diminution de la viabilité des cellules exposées à de fortes concentrations de glycidamide par des mécanismes n'impliquant pas le stress oxydatif.

Les études confirment donc que les cellules mammaliennes et humaines sont sensibles à la toxicité du glycidamide **(Bandarra et al., 2013).**

✓ Neurotoxicité

D'après l'OMS, il est évident que l'acrylamide est toxique pour l'homme. Toutefois, les effets neurotoxiques (ataxie, faiblesse des muscles squelettiques, troubles de cognition) n'apparaissent qu'après des expositions répétées à l'acrylamide.

Les plus bas niveaux d'exposition estimés dans l'alimentation ne sont pas associés à des effets neurotoxiques chez l'homme mais des études plus approfondies sont encore nécessaires pour explorer les effets cumulatifs de l'acrylamide sur le système nerveux **(Lopachin et Gavin, 2008)**.

✓ Reprotoxicité et tératogénèse

La reprotoxicité et la tératogénèse de l'acrylamide ont été rapportées chez des animaux de laboratoire. Néanmoins, il n'y a pas encore de données quant à la potentielle reprotoxicité ou à la tératogénèse chez l'homme **(Carrara, 2018)**.

B- Estimation de la relation dose-réponse

L'acrylamide et son métabolite, le glycidamide, sont directement concernés, étant tous les deux des agents génotoxiques et cancérogènes. Il n'est donc pas possible de déterminer une dose journalière tolérable (ou « DJT ») d'acrylamide dans les denrées alimentaires **(Carrara, 2018)**.

Conclusion

Le café est une boisson populaire largement consommée partout dans le monde. Le mode de production des grains de café vert, et les conditions de leur torréfaction présentent un facteur clé dans la formation de l'acrylamide qui est un composé cancérigène.

Les résultats des analyses de l'Association de protection des consommateurs menées sur le café en Algérie, confirment que la plupart d'entre eux contiennent des substances nocives pour la santé du consommateur, et il y a même celles qui stimulent les cellules cancéreuses. Dans ce cas, Mustafa Zebdi a confirmé dans une interview accordée à Arab Post, "Ce qui est plus inquiétant, c'est que les types qui contiennent un pourcentage important (d'acrylamide) résultant de l'interaction du sucre avec un acide lors de la torréfaction sont les plus consommés et recherchés par les amateurs de cette substance." Le consommateur ignore que lorsque ces deux substances se mélangent après la torréfaction, elles présentent un risque pour la santé publique, et le point de provoquer le cancer est atteint, car la substance (l'acrylamide) est connue pour activer les cellules cancéreuses dans l'organisme.

D'après les résultats cités auparavant nous pouvons conclure que l'acrylamide pourrait comporter des risques pour notre santé. Il est nécessaire donc d'apporter des solutions pratiques à la préparation des aliments et particulièrement le café, afin d'éviter ou de diminuer la formation de produits supposés mutagènes ou cancérigènes comme l'acrylamide. Il n'est pas moins intéressant de faire une analyse de contrôle pour savoir les teneurs des aliments du marché algérien en acrylamide. C'est le cas dans cette étude dont une partie s'intéresse à la détection et la quantification de l'acrylamide dans le café du marché algérien.

Références bibliographiques

- 1) **Allred KF, Yackley KM, Vanamala J, et al., (2009).** Trigonelline is a novel phytoestrogen in coffee beans. *J Nutr.* 139 : 1833-8.
- 2) **Andriot. I, Quere. J, Guichard.E., (2004).** Interaction between coffee melanoidins and flavor compounds: impact of freeze-drying (method and time) and roasting degree of coffee on melanoidins retention capacity.85: p289-294.
- 3) **Andrzejewski D, Roach J A G, Gay M. L, Musser S.M., (2004).** Analysis of coffee for the presence of acrylamide by LC-MS/MS. *J. Agric. Food Chem* 2004; 52:1996-2002.
- 4) **Arab.L., (2010).** Epidemiologic evidence on coffee and cancer. *Nutrition and Cancer.* 62: 271-283.
- 5) **Aurore., (2015).** Informations sur le café, Conso Globe "consommer mieux-vivre mieux".
- 6) **Bandarra.S, Fernandes.AS, Magro.I, Guerreiro. PS, Pingarilho.M, Churchwell MI, et al., (2013).** Mechanistic insights into the cytotoxicity and genotoxicity induced by glycidamide in human mammary cells. *Mutagenesis.* ;28(6):721- 9.
- 7) **Becalski A, Lau B.P.-Y, Lewis D, Seaman S.W., (2003).** Acrylamide in foods: occurrence, sources, and modeling. *J. Agric. Food Chem* 2003; 51:802-8.
- 8) **Belguidoum, K., (2015).** Analyse par HPLC-UV et HPLC-DAD-MS du café du marché algérien pour sa composition nutraceutique et mise en évidence de la présence d'acrylamide, un cancérigène et génotoxique potentiel dans le café torréfié.
- 9) **Belhadj.BA., (2018).** Dosage de l'acrylamide dans quelques produits alimentaires et son effet sur les paramètres biochimiques et statut immunochimique des rats wistar. Thèse de doctorat de troisième cycle en sciences biologiques. Université DJILALI LIABES Sidi bel-Abbés.
- 10) **Benbabouche, B., (2013).** Contribution à l'étude qualitative des cafés de consommation commercialisés dans la région de Tlemcen. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en science des aliments. Université Abou bekr Belkaid-Tlemcen.
- 11) **Benmedjahed.A., (2017).** Effet de la consommation du café sur le profil lipidique chez les hommes. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en Nutrition nutrition et santé, Université de Abou Bekr Belkaid-Tlemcen.
- 12) **Besaratinia and G. P. Pfeifer., (2007).** "A review of mechanisms of acrylamide carcinogenicity," *Carcinogenesis*, vol. 28, no. 3, pp. 519–528.
- 13) **Biego, G., Sika, B., Ezoua, P., Oga, A., & Kouadio, K., (2009).** Etude descriptive de la formation d'acrylamide dans quelques aliments à risques industriels et domestiques en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(5). doi: 10.4314/ijbcs. v3i5.51087.

- 14) Birlouez-Aragon. I., (2008).** “La réaction de Maillard dans les aliments : quels enjeux pour la santé humaine ?” *Cah. Nutr. Diet.*, vol. 43, no. 6, pp. 289–295.
- 15) Bonnin. AL., (2016).** Autour du café. Thèse de doctorat en pharmacie. Département de pharmacie, Université d'Angers.
- 16) Bouden, H et Kadri, A., (2019).** Contrôle de qualité du café et du safran. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en chimie des produits naturels. Université de Blida.
- 17) Boulo, M., (2013).** Comité Français du café.
- 18) Brisson. B, Ayotte. P, Normandin. L, Gaudreau. E, Bienvenu. J.F., (2014).** “Relation between dietary acrylamide exposure and biomarkers of internal dose in Canadian teenagers,” *J Expo. Sci Env. Epidemiol*, vol. 24, no. 2, pp. 215–221.
- 19) Brisson-Gauthier. B., (2012).** Relation entre l'exposition à l'acrylamide par l'alimentation, les marqueurs de dose interne et les cassures à l'ADN lymphocytaire chez des adolescents montréalais. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures et postdoctorales de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en médecine expérimentale pour l'obtention du grade de Maître ès sciences.
- 20) Cabititi.G., (2013).** La structure du monde PAYSAN-MADEBERI au RAWANDA : cas des coopératives et des stations de lavage de café de MARABA et de KARABA, direction de HUYE. Thèse pour l'obtention du grade de docteur en science agronomiques et ingénierie biologique, académie universitaire Europe université de LIEG-WALLONIEE-GEMBLOUX AGROBIO TECH.
- 21) Campa.C, S. Doulbeau, S. Dussert, S. Hamon, M. Noiro., (2005).** Diversity in bean caffeine content among wild Coffea species: Evidence of a discontinuous distribution. *Food Chemistry*. 91, pp 633 637. 7.
- 22) Carrara. E., (2018).** Toxicité de l'acrylamide : les lactobacilles, possible rôle protecteur ? Thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie Université de Lille.
- 23) Carrera. F, Leon-Comaacho .M, Pablos. F, Gonzalez. A.G., (1998).** Authentification of green coffee varieties according to their sterolic profile, *Analytica Chimica Acta*, 370, pp 131-139.
- 24) Champéraux.G., (1991).** Manuel du planteur de café Laotien, Département du Centre de Coopération Internationale rn Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) E.P.I.C. - Siret 331S9627099976 - R.C.S. Paris B 331596270 pais (France).

- 25) **Daniela .OM., (2013).** Le café : une boisson et lieu de sociabilité. Master (Tourisme et Hotellerie). Université de Toulouse ii -le Mirail institut supérieur du tourisme de l'hôtellerie et de l'alimentation. (104.p7).
- 26) **Debry, G., (1995).** Le café. Sa composition, sa consommation, ses incidences sur la santé, Centre de Nutrition Humaine.
- 27) **Deloumeau.S., (1995).** Étude des systèmes de production café de la grandes terre (Nouvelle-Calédonie) » mémoire présente en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur agronomie ENSAT et du diplôme d'agronomie tropicale ESAT, école nationale supérieure agronomique de Toulouse ORSTOM Institute Français de recherche scientifique pour le développement en coopération. Disponible sur <https://cutt.us/f1As1>
- 28) **EFSA., (2014).** “Réévaluation de l’ingestion d’acrylamide par la population belge,” Réévaluation de l’ingestion d’acrylamide par la population belge.
- 29) **EFSA., (2015).** Scientific Opinion on Acrylamide in food. EFSA Journal. Juin 2015 ;13(6).
- 30) **F.A.O., (2011).** Food and agriculture organization of United Nations.
- 31) **FAO/OMS., (2006).** “DOCUMENT DE TRAVAIL SUR L’ACRYLAMIDE,” vol. CX/FAC 06/.
- 32) **Fischer, M., Riemann, S., Trovato. V, Redgwell. RJ., (2001).** Polysaccharides of green Arabica and Robusta coffee beans, Carbohydrate Research, 330, pp 93-101.
- 33) **Franca. A. S, Mendonça. J. C. F et Oliveira. M. B. P. P., (2005).** Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. LWT, 38, pp 709715.
- 34) **Friedman.M., (2003).** “Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review,” J. Agric. Food Chem., vol. 51, no. 16, pp. 4504–4526.
- 35) **Guyhaler.PN., (2013).** Le café : les effets bénéfiques et néfastes sur la santé. Thèse de doctorat en pharmaceutiques, Université de Lorraine, hal.univ-lorraine.fr/hal-01732489.
- 36) **Higdon JV, Frei B., (2006).** Coffee and health: a review of recent human research. Critical Review of Food Science and Nutrition. 42(2) :92-123.
- 37) **Hiramoto K., Li .X, Makimoto. M, Kato. T, Kikugawa. k., (1998).** Identification of hydroxyl hydroquinone in coffee as a generator of reactive oxygen species that break DNA single strands. Mutation Research, 419, pp 43-51.
- 38) **I.C.O., (2007).** International coffee organization. Letter from the executive director. coffee market report.
- 39) **I.C.O., (2011).** International coffee organization. Letter from the executive director. coffee market report.

- 40) Inoue, M., Tajima, K., Hirose, K., Hmajima, N., Takezaki, T., Kuroishi, T., ET Tominaga, S., (1998). Tea and coffee consumption and the risk of digestive tract cancers: data from a comparative case-referent study in Japan, *Cancer Causes Control*, 9, pp 209-216.
- 41) Inoue, M., Tajima, K., Hirose, K., Hmajima, N., Takezaki, T., Kuroishi, T., ET Tominaga, S., (1998). Tea and coffee consumption and the risk of digestive tract cancers: data from a comparative case-referent study in Japan, *Cancer Causes Control*, 9, pp 209-216.
- 42) INRS., (2019). Institut national de recherche et de sécurité, Fiche toxicologique n°119 : Acrylamide. pp. 1–10.
- 43) J.O.U.E., (2008). Journal officiel de l'Union européenne. Accord international de 2007 sur le café.
- 44) José Alfredo. H. P., (2002). Etude de la torréfaction : modélisation et détermination du degré de torréfaction du café en temps réel. Thèse de doctorat. École nationale supérieur des industries agroalimentaires. Massy.
- 45) Justin Koffi. H., (2007). Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le café : mise au point de méthodes analytiques et étude de l'étape de torréfaction. Thèse de doctorat. École Doctorale ABIÉS, Laboratoire De Chimie Analytique Paris.
- 46) Khalid.K., (2010). Le café : Marché et tendances. *Revue de la filière agroalimentaire. Food Magazine*. 19: 24-55. <https://cutt.us/p6saf> .
- 47) Klein.C., (2007). “L’acrylamide, contaminant alimentaire cancérigène méconnu ?” Thèse, université HENRI POINCARÉ, Nancy.
- 48) Larsson.SC, Mannisto. S, Virtanen. M, Kontto, J, Albanes. D, Virtamo. J., (2008). Coffee and tea consumption and risk of stroke subtypes in male smokers. *Stroke*. 39 : 1681-1687.
- 49) Lecolier. A., (2006). Caractérisation de certains impacts de la mutation Laurina chez *Coffea arabica* L. aux niveaux histo-morphologique et moléculaire. Thèse de doctorat. École doctorale interdisciplinaire. Université de la Réunion/ CIRAD. P 18 -28.
- 50) Lopachin. RM, Gavin T., (2008). Acrylamide-induced nerve terminal damage: relevance to neurotoxic and neurodegenerative mechanisms. *J Agric Food Chem* ;56(15):5994- 6003.
- 51) Lopez Garcia E, van Dam RM, et al., (2006). Coffee consumption and coronary heart disease in men and women: a prospective cohort study; 113(17):204553.

- 52) **Majer et al., (2005).** Gluthione Transferases and Gamma-glutamyl Transpeptidases, Volume 401.
- 53) **Manière. I., (2006).** “Identification et caractérisation du danger d’un contaminant alimentaire, l’acrylamide, par l’étude de la génotoxicité, de l’hépatocarcinogénicité et de la biodisponibilité orale chez le rat et le porc.” Rennes 1.
- 54) **Martin, M.J., Pablos, F. et Gonzalez, A.G., (1998).** Discrimination between Arabica and Robusta green coffee varieties according to their chemical composition, *Talanta*, 46, pp 1259-1264.
- 55) **Miao Y, Zhang H, Zhang L, Wu S, Sun Y, Shan Y, et al., (2014).** Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural formation in reconstituted potato chips during frying. *J Food Sci Technol*;51(12):4005- 11.
- 56) **Michaud .DS, Giovannucci. E, Willett. WC, Colditz. GA, Fuchs. CS., (2001).** Coffee and alcohol consumption and the risk of pancreatic cancer in two prospective United States cohorts. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 10(5) : 429-437.
- 57) **Michel. B., (2008).** Café : de la cerise à la tasse. Editions Techniques de l’Ingénieur. 1, p 4.
- 58) **Michelle. J, Martine. S.G, Daniel. D., (2003).** Terres de café. France : Editions Quae. Ed1, p 120.
- 59) **Mohammedi. I., (2016).** Corrélation entre la consommation du café et les marqueurs oxydants chez les femmes. Mémoire de fin d’étude pour l’obtention du diplôme de master en physiologie cellulaire et physiopathologie. Université Abou bekr Belkaid-Tlemcen.
- 60) **Montavon, Ph., Duruz, E., Rumo, G. et Pratz G., (2003).** Evolution of green coffee protein profiles with maturation and relationship to coffee cup quality, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, pp 2328-2334.
- 61) **Montavon, Ph., Duruz, E., Rumo, G. et Pratz G., (2003).** Evolution of green coffee protein profiles with maturation and relationship to coffee cup quality, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, pp 2328-2334.
- 62) **Murkovic.M., (2004).** Acrylamide in Austrian foods. *J. Biochem. Biophys. Methods*; 61: 161-167. Doi: 10.1016/j.jbbm.2004.02.006.
- 63) **Nunes. F .M, Coimbra. M.A., (2002).** Chemical Characterization of Galactomannans and Arabinogalactans from Two Arabica Coffee Infusions as Affected by the Degree of Roast 50 (6), pp 1429–1434.

- 64) **Oosterveld, A., Harmsen, J. S., Voragen, A. G. J. ET Schols, H. A., (2003).** Extraction and characterization of polysaccharides from green and roasted *Coffea Arabica* beans, *Carbohydrate Polymers*, 52, pp 285-269.
- 65) **Penilleau. A., (1864).** Etude sur le café au point de vue historique, physiologique, hygiénique & alimentaire. Ed1, 1(8), p 90.
- 66) **Pittia. P, Dalla Rosa. M, et Lerici. C.R., (2001).** Textural changes of coffee beans as affected by roasting conditions. *LebensmittelWissenschaft und Technologie*, 34, pp 168-175.
- 67) **Schettgen. T, Weiss. T, Drexler. H, Angerer. J., (2003).** “A first approach to estimate the internal exposure to acrylamide in smoking and non-smoking adults from Germany,” *Int. J. Hyg. Environ. Health*, vol. 206, no. 1, pp. 9–14.
- 68) **Schwarzschild. MA, Agnati.L, Fuxe.K, Chen.J, Morelli.M., (2006).** Targeting adenosine a2a receptors in parkinson’s disease. *Trends Neurosci*. 29: 647-654.
- 69) **Silabdi.S., (2010).** Extraction, purification et caractérisation d’antioxydants naturels en vue d’une valorisation nutritionnelle, mémoire de Magistère S.A. Université Saad Dahlab-Blida, P 64.
- 70) **Smith. A. W., (1985).** Introduction. In: RJ Clarke, R Macrae Eds. *Coffee*. London. Chemistry, Elsevier Applied Science Publ. 1(1), pp 1-41.
- 71) **Stadler R.H, Verzeegnassi L, Varga N, Grigorov M, Studer A, Riediker S, Schilter B., (2003).** Formation of vinylogous compounds in model Maillard reaction systems. *Chem. Res. Toxicol* 2003; 16:1242-50.
- 72) **Stadler.R.H, ROBERT.F, RIEDIKER.S, VARGA.N, DAVIDEK.T, DEVAUD.S., (2004).** “In-depth mechanistic study on the formation of acrylamide and other vinylogous compounds by the Maillard reaction,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 52, no. 17, pp. 5550–5558.
- 73) **Sumner SC, Fennell TR, Moore TA, Chanas B, Gonzalez F, Ghanayem BI., (1999).** Role of cytochrome P450 2E1 in the metabolism of acrylamide and acrylonitrile in mice. *Chem Res Toxicol*. nov 1999 ;12(11) :1110-6.
- 74) **Tareke E, Rydberg P, Karlsson P, Eriksson S, Törnqvist M., (2002).** Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *J. Agric. Food Chem*; 50 :4998-5006.
- 75) **Tavani. A, La Vecchia.C., (2000).** Coffee and cancer: a review of epidemiological studies. *European Journal of Cancer Prevention*. 9(4): 241-256.

- 76) **Tessier. F.J, P. Jacolot, C. Niquet-Léridon., (2012).** “La réaction de Maillard : cent ans de découvertes scientifiques,” in FFAS, 2012, vol. Conférence, p. 12.
- 77) **Törnqvist. M, Ehrenberg.L, Hagmar.L., (2000).** “Leakage of acrylamides from a tunnel construction work: exposure monitoring and health effects to humans and animals,” in MS for European ALARA Network workshop, Antwerp, Belgium, pp. 1–8.
- 78) **Trad. F., (2016).** Marqueurs du stress oxydatif chez les hommes consommateurs de café. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en Nutrition et Alimentation Université Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen.
- 79) **Urgert R., Katan M. B., (1997).** The cholesterol-raising factor from coffee beans. Annual Review of Nutrition, 17, pp305-324.
- 80) **Van Dam .RM, Feskens. EJ., (2002).** Coffee consumption and risk of type 2 diabetes mellitus. The Annual Review of Nutrition. 17: 305-324.
- 81) **Van Der Stegen et Van Duijnn., (1988).** Espresso Coffee: The Science of Quality.
- 82) **Vanier, M., (1993).** Les cafés spéciaux. France : Robert Laffont, 1, pp 36- 68.
- 83) **Von Tungeln LS, Doerge DR, da Costa GG, Marques MM, WittWM, Koturbash I, et al., (2012).** Tumorigenicity of acrylamide and its metabolite glycidamide in the neonatal mouse bioassay. IntJ Cancer;131(9):2008- 15.
- 84) **Weusten-Vander. W, Katan MB, Viani R, Huggett.AC., (1994).** Identity of the cholesterol-raising factor from boiled coffee and its effects on liver function enzymes. Journal of lipid research. 35: 721-733.
- 85) **Yaylayan.V. A, A. Wnorowski, C. Perez Locas., (2003).** “Why asparagine needs carbohydrates to generate acrylamide,” J. Agric. Food Chem., vol. 51, no. 6, pp. 1753–1757.
- 86) **Zyzak.D.V, SANDERS. R.A, STOJANOVIC.M, TALLMADGE.D.H., (2003).** “Acrylamide formation mechanism in heated foods,” J. Agric. Food Chem., vol. 51, no. 16, pp. 4782–4787.