



**FACULTE DES SCIENCES  
DE LA NATURE ET LA VIE, ET SCIENCE DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS  
LABORATOIRE DES TECHNOLOGIES DE SEPARATION ET DE PURIFICATION**

**L.T.S.P**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE  
POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN BIOLOGIE  
OPTION: physiologie cellulaire et physiopathologie**

**Valorisations biotechnologiques de la parche de café:  
revue scientifique.**

**Présenté Par**

- *Ammour Amel*
- *Khalfoun Sabrina*

**Soutenu le : 28-06-2020**

**Devant le jury composé de ;**

Présidente Mme Merzouk Hafida	Professeur	Université Tlemcen
Examinatrice Mme Loukidi Bouchra	Maitre de conférences	Université Tlemcen
Encadreur Mme DIDI-Benkelfat Amel	Maitre de conférences	Université Tlemcen

# ***Dédicaces***

On dédie spécialement ce travail:

*A nos parents, qui ont sacrifié leur vie, afin de voir leurs enfants grandir et réussir, qui nous ont soutenue durant toute notre existence, pour vous chères parents, on dédie ce travail et on demande votre bénédiction. Merci d'être, tout le temps là, à nos cotés.*

*Nos frères et nos sœurs qui nous ont beaucoup soutenus et a tout les membres de nos familles vous vous êtes dépensés pour nous sans compter. Ainsi que tous nos amis et toutes les personnes chères à nos cœurs.*

***En** reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tous pour nous permettre d'atteindre cette étape de notre vie.*

# ***Remerciements***

Nous tenons tout d'abord à remercier Allah le tout puissant, d'avoir donné à l'homme le pouvoir de raisonner et d'exploiter les vérités de l'univers.

Nous exprimons nos profonds remerciements, nos vives reconnaissances et nos sincères gratitudes à Madame ***DIDI Amel*** ep-***BENKELFAT*** pour avoir accepté de nous encadrer et pour ses conseils et ses précieuses orientations pour nous avoir accordée sa confiance, ainsi que le temps qu'elle nous à consacré pour notre travail.

Nos remerciements vont également à Madame ***Merzouk Hafida*** professeur au département de Biologie à l'université de Tlemcen de nos avoir honoré de présider le jury de notre soutenance.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements à ***Madame Loukidi Bouchra*** maitre de conférence au département de Biologie de l'université de Tlemcen, d'avoir honoré d'être membre de jury de notre mémoire et pour avoir accepté d'en être examinatrice.

Nous tenons particulièrement à remercier le directeur du laboratoire LTSP, Monsieur ***Mohamed Amine DIDI***, Professeur à l'Université Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen de nous avoir accueilli dans son équipe, et mis à notre disposition tout le matériel nécessaire pour réaliser nos travaux. Nous tenons à lui exprimer toute notre reconnaissance pour ces conseils et son soutien. Veuillez croire à nos sincères et profonds respects.

Ainsi que tous nos amis et ceux qui nous sont chers chacun par son nom pour leurs aides sans conditions et pour leurs amitiés.

## الملخص

تعد القهوة من أكثر المشروبات استهلاكًا في العالم. رق القهوة هو منتج ثانوي لينيرو سليلوزي يتم إنتاجه أثناء عملية صنع القهوة أثناء عملية التقشير، ويتم إنتاج كميات كبيرة من الرق في البلدان المستهلكة للقهوة. لذلك، فإن إعادة استخدام الرق مهمة بالنسبة للبيئة والاقتصاد. في الأونة الأخيرة، كانت هناك بعض المحاولات لإعادة استخدام الرق للمواد البيولوجية وكمصدر للمغذيات لتخمر الحالة الصلبة. تم اقتراح الرق كمضاف مضاد للفطريات يمكن استخدامه لحفظ الطعام. وهكذا، تم اقتراح مقتطفات من الرق على شكل مكونات حيوية ذات نشاط مضاد للأكسدة. الغرض من هذه المراجعة هو تقديم نظرة عامة على الرق وقشور القهوة التي تحتوي عليه، وتركيبه الكيميائي، ونشاطه البيولوجي ومحاولات إعادة استخدامه.

**الكلمات المفتاحية:** قهوة، برش قهوة، تثمين، تقنيات حيوية، بيئة.

## **Résumé**

Le café est l'une des boissons les plus consommées dans le monde. La parche de café est un sous-produit ligno-cellulosique produit lors du procédé de fabrication du café pendant le processus de décorticage des grains de café, et de grandes quantités de parche sont produites dans les pays consommateurs de café. De ce fait, la réutilisation de la parche est importante pour l'environnement et l'économie. Récemment, il y a eu quelques tentatives de réutilisation de la parche pour les matières biologiques et comme source de nutriments pour la fermentation à l'état solide. La parche a été suggérée comme additif antifongique pouvant être utilisé pour la conservation des aliments. Ainsi, des extraits de parche ont également été suggérés comme biocomposants à activité antioxydante. Le but de cette revue est de fournir un aperçu de la parche et les enveloppes de café qui en contiennent, de sa composition chimique, de son activité biologique et des tentatives de réutilisation.

**Mots clés :** café, parche de café, valorisation, biotechnologies, environnement.

## **Abstract**

Coffee is one of the most consumed drinks in the world. Coffee parchment is lignocellulosic byproduct produced during coffee manufacturing process for the coffee bean husking process, and large amounts of parchment are produced in consumer countries of coffee. Therefore, the reuse of the parchment is important for the environment and the economy. Recently, there have been some attempts to reuse parchment for biological materials and as a source of nutrients for solid state fermentation. Parchment has been suggested as an antifungal additive that can be used for food preservation. Thus, parchment extracts have also been suggested as biocomponents with antioxidant activity. The purpose of this review is to provide an overview of the parchment and the coffee husks that contain it, its chemical composition, its biological activity and attempts to reuse it.

**Key words :** coffee, coffee parchement, valorisation, biotechnologies, environnement.

## Liste des figures

<b>Figure 01 :</b> Coupe transversale d'une cerise de café avec ses différentes couches.....	3
<b>Figure 02:</b> Séchage du café .Photo prise par Dr Louis Ban-Koff .....	4
<b>Figure 03:</b> Grains de café verts décortiqués. Photo prise par Dr Louis Ban-Koffi.....	5
<b>Figure 04:</b> Les trois méthodes de traitement différentes des baies de café : traitement à sec, humide et semi-sec.....	6
<b>Figure 05 :</b> Les sous-produits du café obtenus lors de la transformation du café.....	7
<b>Figure 06:</b> Fructification de <i>L. edodes</i> sur de l'enveloppe café traitée.....	30
<b>Figure 07:</b> Fructification de <i>P. ostreatus</i> sur l'enveloppe du café.....	32

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01 :</b> Composition chimique des coques de café (% base sèche).....	8
<b>Tableau 02 :</b> Composition chimique des coques et de la pulpe de café (g/100 g de poids sec).....	8
<b>Tableau 03 :</b> Composition chimique des résidus solides du traitement du café.....	9
<b>Tableau 04 :</b> Quantités d'éléments fertilisants apportés par hectare (en kg).....	11
<b>Tableau 05:</b> Composés phénoliques obtenus à partir de sous-produits du café.....	38
<b>Tableau 06 :</b> Potentiel antioxydant des résidus solides de la transformation du café.....	40

## Liste des abréviations

**ABTS** : 3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique

**ADNr** : acide désoxyribonucléotide ribosomique

**BHA** : hydroxyanisole butylé

**BHT** : hydroxytoluène butylé

*C.* : *Coffea*

**C/N** : le rapport carbone-azote

**CA** : charbon actif

**CaCl<sub>2</sub>** : dichlorure de calcium

**CB** : cellulose bactérienne

**CC** : coque de café

**CCH** : coque de café humide

**CCS** : coque de café sèche

**CPT** : composés phénoliques totaux

**DPPH** : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl

**EAG** : équivalent acide gallique

**EFS** : extraction par fluide supercritique

**ERO** : espèces réactives oxygénées

**FES** : fermentation à l'état solide

**HNO<sub>3</sub>** : L'acide nitrique

**K<sub>2</sub>O** : oxyde de potassium

**LDL** : lipoprotéines de basse densité

**NO<sub>x</sub>** : *monoxyde d'azote*

**RBO<sub>3</sub>R** : Remazol Brilliant Orange 3R

**RTC** : Les résidus de la transformation du café

**TBHQ** : la tert-butyl hydroquinone

**(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** : sulfate d'ammonium

# Sommaire

<b>I-</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>II-</b>	<b>Procédé industriel du traitement du café.....</b>	<b>3</b>
<b>III-</b>	<b>Composition chimique de la parche de café.....</b>	<b>7</b>
<b>IV-</b>	<b>Utilisations de la parche de café .....</b>	<b>11</b>
	1- Alimentation des animaux: .....	11
	2- Ensilage.....	14
	3- Fermentation.....	15
	4- Production d'éthanol.....	19
	5- Bicarburant.....	21
	6- Biogaz.....	25
	7- Bioadsorbant.....	26
	8- Production de champignons.....	29
	9- Compost.....	32
	10- Fibres alimentaires.....	33
	11- Antioxydant.....	35
	12- Autres utilisations.....	40
<b>V-</b>	<b>Limites d'utilisations.....</b>	<b>42</b>
<b>VI-</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>44</b>
<b>VII-</b>	<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>46</b>

## I- Introduction:

Bien que plus de 100 espèces différentes du genre *Coffea* (famille des *Rubiaceae*) soient connues, les espèces les plus populaires sont *Coffea arabica*, *Coffea canephora var. robusta*, *Coffea liberica* et *Coffea excelsa*, mais seuls *C. arabica* (café arabica) et *C. canephora var. robusta* (café robusta) sont utilisés pour la majorité de la production de café, représentant respectivement 56 % et 44 % de la production mondiale en 2011, atteignant 134 millions de sacs (Huch, 2015) Le terme "café vert" désigne les grains bruts ou non torréfiés des fruits de *Coffea*. Le café que nous connaissons est produit par le traitement des grains de café vert en plusieurs étapes. Dans ce processus de production, les grains de café vert sont d'abord nettoyés et séchés, puis torréfiés, moulus et brassés (Semen, 2017).

La production de café Robusta peut être facilement mécanisée, ce qui permet d'obtenir des prix plus avantageux. L'écart de prix entre l'arabica et le robusta s'est considérablement creusé ces dernières années. Bien qu'il soit souhaitable de combiner leurs caractéristiques génétiques pour la robustesse et la qualité, les techniques traditionnelles de sélection végétale pour y parvenir ont été largement infructueuses, puisque *C. arabica* est tétraploïde alors que *C. canephora* est diploïde (Huch, 2015).

Le *C. arabica* est typiquement cultivée dans les régions montagneuses d'une altitude allant de 600 à 2400 m. Ainsi, il est principalement originaire des hautes terres du sud-ouest de l'Éthiopie avec des populations supplémentaires au sud du Soudan (Plateau de Boma) et au nord du Kenya (Mont Marsabit), alors que *C. canephora* est planté dans les régions grasses (basses), a une plus forte préférence pour le cacao et est plus résistant aux maladies. Le *C. canephora* pousse dans certaines zones marécageuses, mais il pousse aussi particulièrement en Afrique occidentale, du Liberia au Soudan et en Ouganda, avec une grande diversité génétique en République démocratique du Congo (Mishra, 2012).

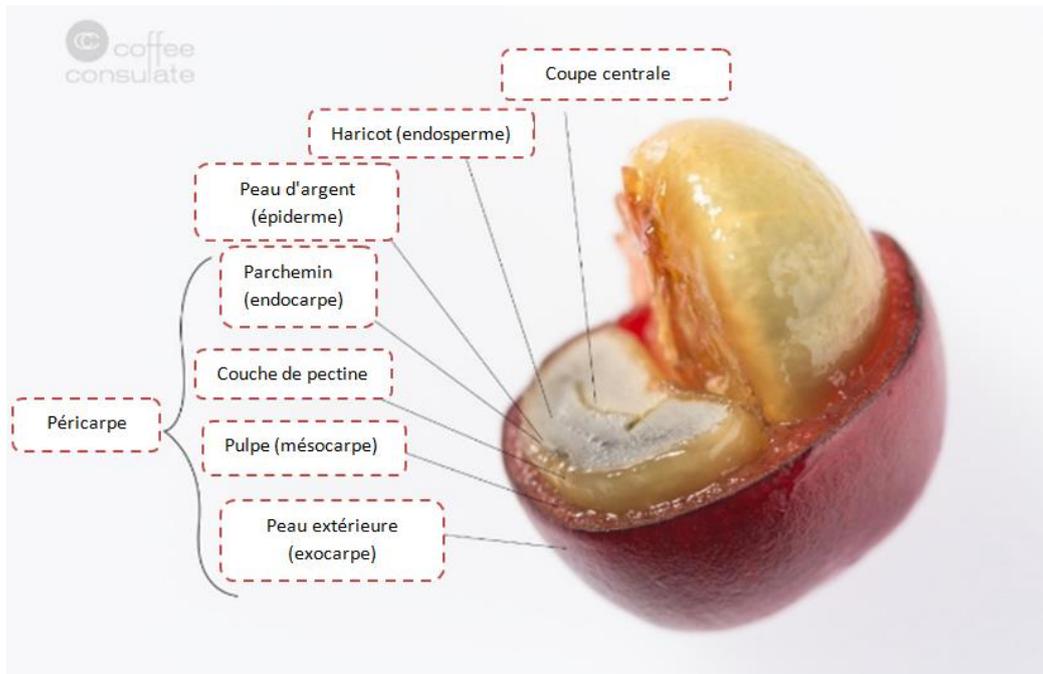
Le *C. arabica* est plus perceptible aux conditions extérieures, tolère des températures plus basses et a besoin de moins de précipitations (Hecimovic, 2011). Le *C. robusta* peut se développer avec succès à un taux d'humidité proche de 100 % (Deborah, 2015). Mais il a besoin d'une période de maturation plus longue. Le rendement de *C. robusta* est élevé (2300–4000 kg de haricots/ha) par rapport à celui de *C. arabica* (1500–3000 kg de haricots/ha) (Hecimovic, 2011).

Les haricots arabica ont un goût plus doux et plus sucré. Leur acidité est plus élevée, avec un goût vineux qui caractérise le café avec une excellente acidité. Le Robusta, en revanche, a un goût plus fort et plus âpre (amer), avec un arrière-goût d'arachide. Ils sont généralement considérés comme de qualité inférieure par rapport à l'arabica. L'arabica est plus précieux parce qu'il produit une boisson au goût plus prononcé, qui est donc plus chère que le café robusta (Rattan, 2015).

Le fruit du caféier (également appelé baie ou cerise) est constitué d'une peau extérieure lisse et dure ou péricarpe, généralement verte pour les fruits non mûrs, mais qui devient rouge-violet ou rouge foncé à maturité. Le péricarpe recouvre la pulpe molle, jaunâtre, fibreuse et sucrée ou mésocarpe externe. Il est suivi d'une couche de mucilage (aussi appelée pectine) translucide, incolore, fine, visqueuse et très hydratée (Esquivel, 2012).

Ensuite, il y a un tissu dur, composée de plusieurs couches de cellules jaunes et de parois épaisses, très allongées et placées dans des directions indifférentes aussi appelée la parche (Aguilera, 2019). Dans les fruits secs, l'endocarpe (la parche) joue un rôle primordial dans la dispersion des graines. De plus, l'endocarpe joue également un rôle important dans la protection, le maintien et la communication avec les graines en développement (Dardick, 2014). Il a été proposé qu'il protège le grain de café contre certaines enzymes (pectate lyases, polygalacturonase), et qu'il agit comme une barrière physique qui limite la diffusion de certains composés biochimiques du péricarpe (exocarpe, mésocarpe) et d'autres tissus.

Sous la parche, les haricots sont recouverts d'une autre membrane plus fine, la peau argentée (le manteau de la graine). La peau argentée recouvre la graine ou le grain de café. Chaque cerise contient généralement deux grains de café. S'il n'y en a qu'un, il prend une forme plus ronde et on l'appelle petit pois (Ghosh P, 2014).



**Figure 01** : Coupe transversale d'une cerise de café avec ses différentes couches (Klingel, 2020).

## II- Procédé industriel du traitement du café

Les fruits du café doivent être traités pour retirer la pulpe afin d'obtenir les grains de café vert, qui sont ensuite séchés et torréfiés. Le traitement peut être effectué en utilisant trois méthodes différentes (sèche, humide ou semi-sèche) pour obtenir les graines (**figure 04**). La différence entre les trois méthodes de transformation distinctes réside non seulement dans la performance, mais aussi dans les produits qui en résultent (haricots en parche avec et sans restes de mucilage ou haricots encore couverts par le péricarpe complet) (Huch, 2015) .

La méthode sèche, couramment utilisée pour le Robusta, est technologiquement plus simple que la méthode humide, qui est généralement utilisée pour les grains de café Arabica (Mussatto, 2011).

Pour le traitement à sec, les baies sont souvent laissées sur les plants de café jusqu'à ce qu'elles soient trop mûres avant la récolte. Les baies sont ensuite séchées au soleil jusqu'à un taux d'humidité d'environ 10–11%. Alternativement, les baies sont séchées directement après la récolte en les étalant dans une couche de 10 cm d'épaisseur sur le sol pendant la journée et s'entassant pour la nuit (**Figure 02**). Ce processus est une combinaison de fermentation et de séchage, qui dure environ 10 à 25 jours, selon les conditions météorologiques (Sakwari, 2013).

Après le traitement à sec, les baies sont sèches, coriaces fruits encore couverts par le péricarpe et pelés mécaniquement. La méthode sèche est utilisé pour produire des marques de café moins chères (Huch, 2015).



**Figure 02:** Séchage du café. Photo prise par Dr Louis Ban-Koff (Huch, 2015)

Le traitement par voie humide, en revanche, ne nécessite pas de séchage des cerises elles-mêmes. Dans ce type de traitement, la peau extérieure et la pulpe sont d'abord retirées mécaniquement, ce qui génère le résidu solide, appelé pulpe de café. Les grains peuvent être fermentés pour éliminer une couche de pulpe résiduelle, le café traité étant appelé café despolpado ou directement soumis à un séchage, le produit final étant appelé **café cerise décortiqué** (café *cereja descascado*). Dans les deux cas, après avoir été séchés à environ 12 % d'humidité, les grains sont à nouveau décortiqués pour en retirer la parche (Franca, 2009). Le **café séché** dans la procédure de traitement humide est appelé la parche de café sec, car l'endocarpe (la parche) n'est pas retiré; le décorticage du café parche sec est à l'origine de ce que l'on appelle les coques ou enveloppes de café (Mazzafera, 2002).

Dans un troisième processus, appelé "semi-sec" ou "semi-lavé", les concepts des deux méthodes sec et humide sont combinées. Cette méthode consiste à laver et à sélectionner les fruits dans des cuves de flottation, suivi d'un dépulpage, mais à l'exclusion de l'étape de fermentation. Ensuite, il reste le café dépulpé, qui contient le mucilage peut être directement séché. Ce procédé a été utilisé en Afrique centrale et au Brésil pour produire le "café dépulpé naturel" (Alves, 2017) . Après un traitement sec, humide ou semi-sec, les grains sont décortiqués, ce qui élimine le péricarpe dur, le mucilage restant ou la peau de parche pour

obtenir des grains de café verts (**figure 03**). Par conséquent, la cosse et la pulpe sont les principaux sous-produits de la transformation du café. La pulpe subit une fermentation microbienne intense et présente certainement des différences chimiques remarquables par rapport à la coque, bien qu'un certain degré de fermentation puisse également se produire un séchage naturel. L'exocarpe, le mésocarpe et l'endocarpe représentent 60% de la masse de fruits séchés. Par conséquent, un volume considérable de cosse est produit lorsque le fruit du café est transformé (Mazzafera, 2002) .



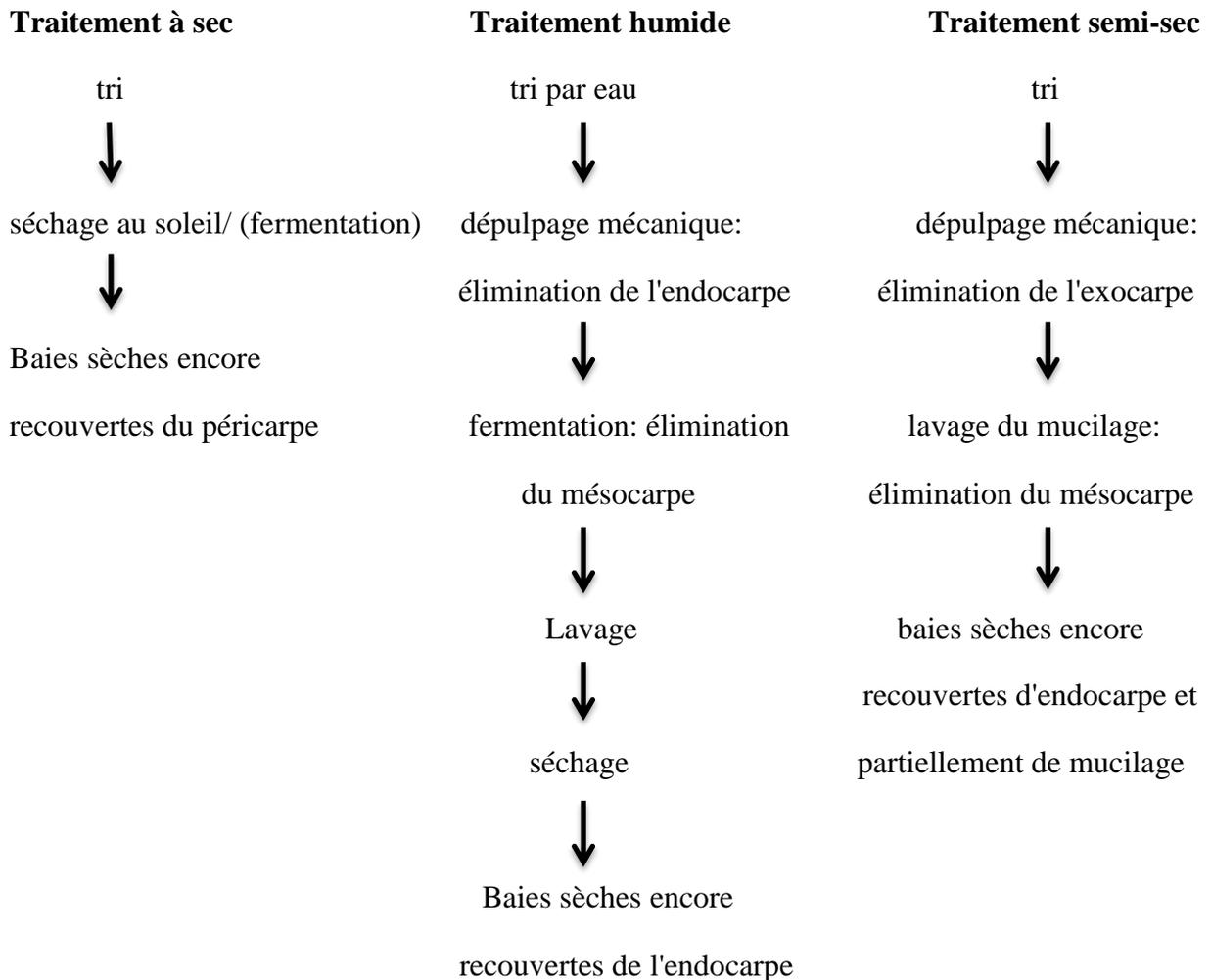
**Figure 03:** Grains de café verts décortiqués.

Photo prise par Dr Louis Ban-Koffi (Huch, 2015).

Les opérations qui suivent l'enlèvement des coques/pulpes de café sont appelées "salage" (Franca, 2009) et comprennent le nettoyage, le calibrage, le triage par densité et par colorimétrie, et enfin le stockage des grains de café vert. Le triage électronique par couleur est la principale procédure utilisée pour la séparation des grains de café défectueux et non défectueux (Oliveira L. F., 2008).

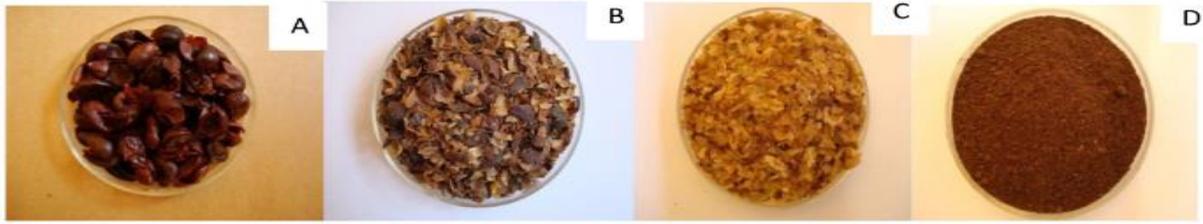
L'étape suivante du traitement du café qui pose un problème en termes de production de déchets solides est appelée traitement secondaire et correspond à la production de **café soluble** ou instantané. Dans ce processus, les grains de café torréfiés et moulus sont traités avec de l'eau chaude sous pression afin d'extraire la matière soluble, qui est ensuite soumise à un séchage par pulvérisation ou à une lyophilisation, et le produit final solide (café soluble ou instantané, respectivement) est alors obtenu. Le résidu insoluble (une bouillie contenant du

marc de café usé) est pressé à l'aide d'une vis, ce qui permet de réduire la teneur en humidité de 75 à 80 % à environ 50 % (Franca, 2009).



**Figure 04:** Les trois méthodes de traitement différentes des baies de café : traitement à sec, humide et semi-sec (Huch, 2015).

La transformation du café génère des quantités importantes de déchets agricoles. Les coques de café composées de la peau extérieure sèche, de la pulpe et de la parche, sont probablement les principaux résidus de la manipulation et de la transformation du café, puisque pour chaque tonne de grains de café produite, environ une tonne de coques est générée lors de la transformation à sec. La production de café au Brésil au cours des cinq dernières années a varié entre 17 000 et 27 000 tonnes, ce qui représente une moyenne de plus de 20 000 tonnes de coques de café produites chaque année (Oliveira L. F., 2008) .



A : pulpe de café

B : coque de cerise

C : peau d'argent

D : café de consommation

**Figure 05** : Les sous-produits du café obtenus lors de la transformation du café (Murthy, 2012)

### III- Composition chimique de la parche de café:

Les matières ligno-cellulosiques sont des sources de sucres bon marché et répandues dans le monde entier, qui peuvent être transformées en éthanol et autres produits à valeur ajoutée par des procédés biotechnologiques. L'enveloppe du café est une matière lignocellulosique produite en grande quantité dans le monde. En 2009, on prévoit une production de plus de 2270 tonnes de café traité et on pourrait produire environ 900 tonnes de cosses de café (Ferraz, 2009) .

(Ferraz, 2009) et ces collaborateurs ont étudié la biomasse de l'enveloppe du café. Ils ont indiqué que les coques de café présentaient 23,08% de cellulose, composée de 20,76% de glucose et de 1,83% de cellobiose ; 23,85% d'hémicellulose, avec 13,56% de xylose, 5,23% d'arabinose 2,56% d'acide ofacétique, 1,95% d'acide glucuronique ; 28,28% de lignine totale, et 0,71% de cendres. Certains composés dérivés de la décomposition du sucre, tels que l'hydroxyméthylfurfural et le furfural, se sont formés.

Il est suggéré que la parche de café est composée de ( $\alpha$ -) cellulose (40-49%), d'hémicellulose (25-32%), de lignine (33-35%) et de cendres (0,5-1%) (Esquivel, 2012).

Il est rapporté que 24,5% de cellulose, 29,7% d'hémicelluloses, 23,7% de lignine et 6,2% de cendres sont inclut dans les coques de café (Murthy, 2012) .

Selon (Gouvea, 2009) la composition approximative des coques de café utilisées dans leur étude a été déterminée comme suit : 15,0% d'humidité, 5,4% de cendres, 7,0% de protéines, 0,3% de lipides et 72,3% de glucides. Les teneurs en cellulose, hémicellulose et lignine étaient respectivement de 16, 11 et 9 % sur base sèche. Ces teneurs sont faibles ou très similaires à celles d'autres résidus agricoles considérés comme des alternatives à la production d'éthanol, notamment la bagasse de sucre, les pailles d'orge et de blé, et les balles de riz, entre autres.

Il convient de mentionner que les coques de café employées dans cette étude sont appelées coques de café humides. Parmi les caractéristiques qui différencient ce type spécifique de coques de café des coques ordinaires transformées à sec, citons sa densité plus élevée, sa teneur en protéines et sa faible teneur en fibres. Le tableau 1 présente une comparaison avec les données sur la composition chimique obtenues à partir de la littérature.

**Tableau 01** : Composition chimique des coques de café (% base sèche) (Gouvea, 2009)

Composants	Coques de café (traitée à sec)	Pulpe de café (traitement par voie humide )
Protéines	8-11	9-10
Lipides	0,5-3	0,7-1,2
Minéraux	3-7	5-6
Total des glucides	58-85	83-85
Cellulose	43	16-25
Hémicellulose	7	9-11
Lignine	9	6-10
Caféine	~ 1	0,6
Tanins	~ 5	0,8-1,2

Une étude sur la composition et l'utilisation des résidus de café a été publiée par (M.C. Echeverrial, 2016) elle montre que la composition chimique des coques et de la pulpe de café ne diffère pas beaucoup, d'un point de vue quantitatif, de celle des grains de café (tableau 2) si ce n'est que la teneur en lipides est plus faible, que les rapports entre les fractions glucidiques sont différents et que la teneur en minéraux est plus élevée. Cependant, les coques et la pulpe contiennent toujours de la caféine, des lignines et des tanins. Le premier composant est un composé bioactif, les deux derniers étant récalcitrants à la biodégradation.

**Tableau 02** : Composition chimique des coques et de la pulpe de café (g/100 g de poids sec) (M.C. Echeverrial, 2016).

Composants	Coque de café (traitée à sec)	Pulpe de café (traitement par voie humide)
Glucides	58-85	45-89
Protéines	8-11	4-12
Lipides	0,5-3	1-2
Minéraux	3-7	6-10
Caféine	~ 1	~ 1
Tanins	~ 5	1-9

Le tableau 3 indique la teneur en cellulose, hémicellulose, lignine, cendres totales, matières extractives, graisses, protéines, hydrates de carbone et total des fibres alimentaires et

des hydrates de carbone des résidus agro-industriels du traitement du café sec. Le résidu agro-industriel est riche en sucres polymérisés en structures de cellulose et d'hémicellulose. L'hémicellulose est composée de quatre sucres, le xylose étant le plus abondant, suivi de l'arabinose et de quelques quantités de mannose et de galactose. Les produits d'extraction, ainsi que la lignine, sont également une fraction présente en quantité importante. Ce résidu présente une faible teneur en matières grasses. Sinon, les protéines étaient présentes en plus grande quantité dans ces matières (Caroline Corrêa de Souza Coelho, 2018) .

**Tableau 03 :** Composition chimique des résidus solides du traitement du café (Caroline Corrêa de Souza Coelho, 2018).

Composants chimiques	Composition (g/100 g de matière sèche)
Cellulose(Glucose)	26,24 ± 0,19
Hémicellulose	18,67 ±0,17
Arabinose	3,04 ±0,05
Mannose	0,90 ±0,02
Galactose	1,42 ±0,02
Xylose	13,3 ±0,18
Lignine	23,02 ±0,50
Cendres	7,23 ±0,70
Les composés extraits	21,69 ±0,86
Graisses	0,82
Protéines	6,67
Azote	1,16
Hydrates de carbone	2,36

La caféine est un composé actif, l'un des stimulants naturels les plus puissants et un additif. C'est la substance principale causant l'effet de stimulation par le café. Il est également présent dans l'enveloppe d café à une concentration d'environ 1,3% de poids sec (Pandey, 2000) .

(Tello, 2011) ont évalué la faisabilité technique de l'extraction au CO<sub>2</sub> supercritique de la caféine à partir des enveloppes de café. Différents prétraitements et conditions opérationnelles ont été étudiés dans une unité à flux continu de CO<sub>2</sub>. Le rendement d'extraction maximal était de 84% et, après lavage à l'eau, la caféine était pure au moins à 94%. En comparant les données de production mondiale, la teneur initiale en caféine et l'extraction globale de données d'autres sources naturelles, ce procédé a été jugé très avantageux pour son application biotechnologique.

On a récemment découvert que l'acide caféique est le principal composé phénolique identifiés dans des extraits éthanoliques de la parche de café. De même, la plupart des composés déterminés dans l'extrait aqueux ont été trouvés en concentration plus faible que ceux obtenus par extraction par solvant organique. Toutefois, certains des acides hydroxybenzoïques : les acides (salicylique, vanillique, 3-O-méthallique, seringue et protocatéchuque) étaient en concentrations plus élevées ou similaires en extraits de solvants aqueux et organiques (composé phénolique libre de la fraction analysée).

Pour la première fois, une méthode écologique pour l'extraction assistée par la chaleur des composés phénolique de la parche de café n'utilisant que de l'eau comme solvant d'extraction a été mise au point. Cette méthode a démontré qu'il s'agissait d'un procédé efficace pour récupérer les composés phénoliques, composés à haut pouvoir antioxydant provenant de la parche de café.

L'extraction des composés phénoliques (polyphénols totaux, les flavonoïdes, les flavanols, les acides phénoliques et les o-diphénols ainsi que la capacité antioxydante de la parche de café ont été optimisés en utilisant la méthodologie de la surface de réponse. Deux conditions optimales ont été obtenues (d'une température 100 °C, 90 min, acide citrique à 0 % et 0,02 g mL<sup>-1</sup> de rapport solvant/solide et d'une température de 100 °C, 52,4 min, 0,03 % d'acide citrique et 0,02 g mL<sup>-1</sup> de rapport solide/solvant), qui diffèrent principalement par le temps d'extraction et produisant une récupération similaire des composés phénoliques, réduisant ainsi les coûts de production.

La caractérisation UPLC-ESI-MS/MS de la parche de café a révélé la présence de l'acide chlorogénique, l'acide vanillique, l'acide protocatéchuque et de l'acide *p*-coumarique ; des composés phénolique pouvant être utilisés dans l'alimentation et les industries cosmétiques. Ce processus peut contribuer à la revalorisation de la parche de café, un sous-produit sous-utilisé d'une production élevée dans le monde entier, en tant que nouveau produit à haute valeur ajoutée, pour être utilisé pour son potentiel antioxydant et des propriétés bénéfiques pour la santé (Aguilera, 2019) .

Dans la même étude, la teneur en composés phénoliques totaux de la parche de café variait de 0,72 à 2,04 mg . g<sup>-1</sup>. Des valeurs maximales ont été trouvées pour la température maximale étudiée de 100 °C, des durées prolongées de 90 min, de faibles taux d'acidités (<1%), et en utilisant un rapport solide-solvant de 0,035 g.mL<sup>-1</sup>.

De même, la teneur en flavonoïdes totaux dans la parche de café a variée de 0,15 mg . g<sup>-1</sup> à 1,61 mg . g<sup>-1</sup>. La concentration la plus élevée de flavonoïdes totaux a été obtenue à une température de 100 °C, et lorsque l'extraction a été effectuée sans acide citrique. Des concentrations plus élevées des flavanols (0,20 mg g<sup>-1</sup>) ont été observées lorsque le rapport solide-solvant était de 0,02 g mL<sup>-1</sup> et que l'extraction était effectuée sans ajout d'acide citrique.

Quant à la teneur en acides phénoliques dans la parche de café variait de 1,21 à 5,59 mg . g<sup>-1</sup>. La valeur la plus élevée a été obtenue en utilisant un rapport solide-solvant de 0,02 g . mL<sup>-1</sup> à 100 °C. La teneur en *ortho*-phénols extraite de la parche de café était de 0,48 mg . g<sup>-1</sup>, sous les mêmes conditions.

Les valeurs de la capacité antioxydante par le test à l'ABTS allaient de 0,36 à 1,12 mg d'équivalent Trolox par g d'extrait de parche sec. Les différences n'ont été observées que lorsque la concentration en acide et la température variaient ; la capacité antioxydante était renforcée lorsque la concentration en acide diminuait et la température augmentait.

Une autre étude a été menée par (J.Godefroy, 1973) afin de fertiliser les bananeries en Côte d'Ivoire par de la parche de café. Le tableau suivant montrent alors les quantités de minéraux fertilisant apportés par la parche de café exprimé en Kg / hectare de plantation.

**Tableau 04** : Quantités d'éléments fertilisants apportés par hectare (en kg) (J.Godefroy, 1973).

La parche de café	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe
	795	30	798	331	87	2,0	36,5

#### IV- Utilisations de la parche de café :

##### 1- Alimentation des animaux:

Etant donné les quantités élevées générées des coques de café couplées à leur disponibilité et à leur faible coût tout au long de la saison de récolte et de transformation, plusieurs études ont évalué leur utilisation comme complément alimentaire pour les bovins, les porcs, les poissons, les moutons, les poulets et les chevaux (Olivera, 2009).

(Filho E. P., 2000) ont évalué l'effet de l'ajout d'enveloppes de café dans l'alimentation animale en remplacement d'un mélange de grains, d'enveloppes et d'épis de maïs. Les auteurs ont conclu que l'utilisation de l'enveloppe de café en complément de l'alimentation des bouvillons Holstein-zébu était efficace jusqu'à une substitution de 30%.

(Oliveira V. D., 2001) ont évalué la viabilité technique et économique de l'inclusion des coques de café comme substitut du maïs dans les régimes isoénergétiques pour l'élevage des porcs. Les résultats de cette étude ont indiquent que l'utilisation des coques de café dans le régime alimentaire des porcs est à la fois techniquement et économiquement réalisable jusqu'à un niveau de 5 %.

Dans l'étude de (Vilela, 2001) et ses collaborateurs, ils ont évalué l'effet de l'utilisation de coques de café humides comme substitut de fourrage grossier (canne à sucre) dans l'alimentation du bétail. Les résultats ont montré qu'il est possible de remplacer le fourrage grossier par des coques de café pour l'alimentation du bétail jusqu'à 40 %.

(Oliveira V. D., 2002) ont également évalué la viabilité technique de l'inclusion de coques de café humides dans l'alimentation des porcs. Il a été observé qu'une augmentation du ratio de dans les aliments fournis entraînait une augmentation de la conversion alimentaire et une réduction linéaire du poids quotidien et du dépôt de graisse au niveau de la carcasse.

Il a été signalé que les coques et la pulpe de café étaient utilisées pour nourrir les animaux d'élevage (Mazzafera, 2002).

L'effet de l'ajout de coques de café (0, 8,7, 17,4, 26,1 et 34,8 kg/ 100 kg de fourrage frais) sur la composition immédiate et la digestibilité *in vitro* de l'ensilage cannes fourragères a été évalué par (Souza A. L., 2003). Les auteurs ont conclu que les coques de café sont un bon additif pour l'ensilage de cannes fourragères à forte teneur en humidité, jusqu'à 17,4% ajoutés.

Selon (Nascimento, 2003), chez les bouvillons, l'inclusion des coques de café a entraîné une diminution de la prise de poids, mais le remplacement de 20 % d'épi maïs moulu était économiquement faisable. Les autres niveaux maximums recommandés sont de 30%.

(Furusho-Garcia, 2003) et ses collaborateurs ont évalué l'effet de l'ajout de cosses de café dans l'alimentation des agneaux. Il a été conclu que l'ajout de cosses de café au régime alimentaire permettait un meilleur développement du rumen/réticulum.

(Filho, 2004) et ses collègues ont évalué l'effet de l'ajout de coques de café sur la cinétique de la digestion ruminale des vaches *Holstein*. Il a été conclu que le remplacement de du mélange maïs moulu, pailles et épis par les cosses de café dans l'alimentation des vaches peut être réalisé de manière satisfaisante jusqu'à un niveau de 40%.

Il a été signalé que les coques de café remplacent plusieurs aliments dans le régime alimentaire des moutons. Il est suggéré de lui fournir un fourrage à haute teneur énergétique (Leitao, 2005).

L'évaluation de l'utilisation des coques de café comme substitut du concentré de maïs moulu dans l'alimentation des moutons a été réalisée par (Souza A. L., 2004). Il a donc été conclu que les coques de café pouvaient être utilisées comme substitut du maïs dans ce type de régime spécifique jusqu'à un niveau de 25%.

Dans une étude ultérieure, le même groupe de chercheurs a étudié l'effet de l'ajout d'enveloppes de café comme substitut au concentré de maïs moulu dans le régime alimentaire des vaches (Souza A. L., 2005). Les auteurs ont conclu que les coques de café peuvent être ajoutées aux aliments pour vaches à des niveaux allant jusqu'à 10,5% de la teneur totale en matière sèche.

Chez les bovins femelles, les coques de café peuvent remplacer le concentré alimentaire (maïs) à 15% pour les vaches laitières en lactation (Rocha et al., 2006) ou 25% (Oliveira et al., 2007). Des niveaux plus élevés entraînent une diminution de l'efficacité.

(Souza A. G., 2006), (Souza G. R., 2006) ont évalué les effets du remplacement du maïs moulu par les enveloppes de café sur l'équilibre en azote, la synthèse des protéines microbiennes, l'apport en nutriments, la digestibilité totale apparente du tractus et la prise de poids quotidienne des vaches laitières en lactation. L'inclusion de jusqu'à 17,5 % de coques de café (7,0 % du régime) a permis de maintenir une prise de poids quotidienne similaire à celle obtenue avec 0% et 8,75 % de coques de café dans le concentré.

(Teixeira, 2007) ont évalué l'effet du remplacement de l'ensilage de maïs par des enveloppes de café (jusqu'à 21 %) sur les performances et la digestibilité totale apparente des génisses laitières. Il a été conclu que les enveloppes de café pouvaient remplacer l'ensilage de maïs jusqu'à 14% dans l'alimentation des génisses laitières.

(Parra, 2008) et ses collaborateurs ont présenté une comparaison de l'utilisation de coques de café humides (CCH) et sèches (CCS) comme complément alimentaire pour les

porcs en croissance et en engraissement. L'inclusion de CCH est économiquement viable, ne présente aucun effet sur les performances et produit des carcasses à viande plus maigre.

L'utilisation des coques de café en tant que complément dans l'alimentation animale a été aussi examinée par (Franca, 2009) ; leurs principales conclusions sont que l'utilisation des coques de café en tant que complément dans l'alimentation des vaches est considérée comme possible, les limites supérieures de substitution alimentaire variant de 30 à 40 % ; dans le cas des porcs, l'utilisation de CH a été jugée techniquement et économiquement faisable à des niveaux d'inclusion allant de 5 à 10 % pour les coques de café et jusqu'à 16 % dans le cas du café humide. Pour les ovins, les coques de café pouvaient être utilisées comme substitut du maïs jusqu'à 25 %, et dans le cas des poissons, les conclusions variaient en fonction des poissons et de la manière dont les enveloppes étaient incorporées dans l'alimentation des poissons.

## **2- Ensilage:**

Les coques et la pulpe de café sont riches en potassium ( $\sim 40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) et autres éléments minéraux, ce qui a suscité quelques études sur l'application de ces résidus solides comme engrais organiques sans aucun traitement ou après compostage (Matos, 2008). L'utilisation des coques de café directement comme couverture du sol est une bonne option pour les sols appauvris en potassium, et peut être employée pour différents types de cultures, y compris le café. Elles favorisent le contrôle de l'érosion, diminuent les fluctuations de température et les pertes d'eau par évaporation (Matos, 2008). Les coques de café présente également de meilleures efficacités que les autres résidus agricoles (Olivera, 2009).

Selon (Matos, 2008), il est possible de calculer la quantité de coques de café qui peut être employée, si des données sur les niveaux de potassium dans les coques de café et les niveaux recommandés et l'efficacité de récupération du potassium pour la culture spécifique sont disponibles.

(Couto Filho, 2007) ont préparé un ensilage de résidus à partir d'un mélange de résidus solides de production de mangues (coques et pulpe résiduelle) mélangés à des coques de café à trois niveaux d'ajout (10, 20 et 30%). Il a été conclu que les coques de café pouvaient être ajoutées jusqu'à 30 %, améliorant ainsi la norme de fermentation pour les ensilages de bonne qualité .

Le même groupe de chercheurs a également évalué un ensilage basé sur un mélange de déchets solides de fruits de la passion (cosses et graines) avec des cosses de café ajoutées

jusqu'à 25% (Neiva Júnior, 2007). D'autres additifs ont également été testés, notamment la bagasse de canne à sucre et les épis de maïs, mais seules les coques de café ont permis d'augmenter la teneur en protéines. Tous les ensilages produits ont été considérés comme étant de qualité moyenne ou bonne.

### 3- Fermentation

Plusieurs applications de la pulpe de café et des enveloppes dans des études de fermentation ont été reportées, notamment pour la production d'enzymes, d'acide citrique, d'acide gibbérellique, de substances aromatisantes et de cellulose bactérienne (CB) (Oliveira, 2015).

Les premières études sur la fermentation de la pulpe et des enveloppes de café ont porté sur la production d'enzymes (Franca AS, 2009). En effet (Battestin, 2007) et (Sabu, 2006), ont utilisé des résidus de l'industrie du café pour la production d'enzymes.

La tannase est enzymes produite naturellement par les ruminants, les plantes et les micro-organismes, tels que les champignons filamenteux appartenant aux genres *Aspergillus* et *Penicillium*, qui sont considérés comme les meilleurs producteurs, suivis par *Penicillium*, qui sont tous deux de grands décomposeurs de tanins (Lima, 2014). La tannase catalyse l'hydrolyse des liaisons présentes dans les molécules de tanins hydrolysables et d'esters d'acide gallique produisant de l'acide gallique. Les principales applications commerciales de la tannase sont actuellement la préparation de thé instantané, l'action sur les polyphénols du thé, la production d'acide gallique (Srivastava, 2009).

Selon (Sabu, 2006) Une souche bactérienne produisant de la tannase a été isolée à partir d'excréments de mouton. Elle a été identifiée comme étant *Lactobacillus sp. ASR S1*. La souche bactérienne produit de la tannase extracellulaire par fermentation à l'état solide (FES) à partir de poudre de graines de tamarin, de son de blé, de tourteau de palmiste et de coque de café. Parmi les différents substrats, l'enveloppe du café a permis une production extracellulaire maximale de tannase. Pour optimiser le rendement extracellulaire de la tannase sous FES, différents paramètres physico-chimiques et nutritionnels ont été étudiés. La supplémentation en acide tannique a été jugée utile pour la synthèse enzymatique par la culture bactérienne, de manière sélective en fonction du substrat. La production maximale de tannase (0,85 U/g de substrat sec) a été obtenue lorsque la FES a été réalisée à l'aide de

coque de café, supplémentée avec 0,6% d'acide tannique et 50% (p/v) d'humidité, inoculée avec 1 ml de suspension cellulaire et incubée à 338°C pendant 72 h.

(Battestin, 2007) ont évalué la production de tannase à partir de la fermentation du son de blé avec l'enveloppe du café par le champignon *Paecilomyces variotii*. L'effet de certaines variables, telles que la température, le pourcentage de sous-produit de l'acide tannique, les solutions salines et les 3, 5 et 7 jours de fermentation ont été évalués pour la production de tannase. Les meilleures conditions de fermentation étaient les suivantes : 29-34°C, 8,5% -14% d'acide tannique, 50/50 de son de blé et d'enveloppe de café, et 5 jours de fermentation. Dans les conditions de fermentation optimisées, on a observé une augmentation de 8,6 fois de la production de l'enzyme.

(Murthy, 2012) ont évalué les sous-produits lignocellulosiques du café tels que la pulpe, l'enveloppe, la peau argentée et le café usagé pour leur efficacité en tant que sources uniques de carbone pour la production de xylanase dans la fermentation à l'état solide (FES) en utilisant *Penicillium sp. CFR 303*. Parmi les résidus, on a observé que la coque de café produisait une activité maximale de la xylanase.

L'amylase est une autre enzyme également signalée comme étant produite par la fermentation des sous-produits du café. Cette enzyme peut être dérivée de plantes, d'animaux et de microorganismes et est utilisée dans les industries de la fermentation, du textile et du papier. (Hikichi, 2017)

(Murthy P. N., 2009) ont évalué la capacité de *Neurospora crassa* pour la fermentation de la pulpe de café, de l'enveloppe du café, de la peau argentée du café, du marc de café usé et du mélange de ces sous-produits à produire de l'amylase. Chaque sous-produit du café, ainsi qu'une combinaison de 10 g de tous les sous-produits du café, ont été broyés en particules de 1 mm. Les substrats ont été inoculés avec le *N. crassa CFR 308* et incubés pendant 5 jours à température ambiante pour la fermentation. Plusieurs paramètres qui affectent la production d'enzymes ont été optimisés pendant la fermentation, et des traitements différents ont été testés sur le mélange de pulpe de café et de sous-produits pour améliorer l'activité enzymatique. Les substrats ont été traités à la vapeur, par hydrolyse enzymatique (cellulase contenant 50 µg/mL de protéine de Lowry), 1% de peroxyde d'hydrogène, 1,5% de méthanol et 1% d'hydroxyde de sodium. Parmi les différents sous-produits du café utilisés, la pulpe de café et le mélange de sous-produits ont montré des activités enzymatiques plus élevées.

Les coques de café ont été évaluées par (Shankaranand, 1994) comme substrat peu coûteux pour la production d'acide citrique (un acide important dans l'industrie alimentaire en raison de sa fonction de conservation) (Hikichi, 2017) par *Aspergillus niger* CFTRI 30 sous fermentation à l'état solide. Donc *Aspergillus niger* CFTRI 30 a produit 1,3 g d'acide citrique/10 g de cosse de café sèche en 72 h lorsque le substrat était humidifié avec une solution de NaOH 0,075 M. La production a été augmentée de 17 % en ajoutant un mélange de fer, de cuivre et de zinc au milieu, mais l'enrichissement du milieu solide humide avec du  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , du saccharose ou l'une des quatre enzymes n'a pas amélioré la production. La production d'environ 1,5 g d'acide citrique/10 g de cosse de café sèche à un taux de conversion de 82% (sur la base du sucre consommé) dans des conditions normalisées démontre le potentiel commercial de l'utilisation de la cosse de cette manière.

(Vandenbergh, 2000) et ces collaborateurs ont réalisé une fermentation à l'état solide pour évaluer trois déchets agro-industriels différents, la bagasse de canne à sucre, la coque de café et la bagasse de manioc, afin de déterminer leur efficacité dans la production d'acide citrique par une culture d'*Aspergillus niger*. C'est la bagasse de manioc qui a le mieux soutenu la croissance des moisissures, donnant le plus haut rendement d'acide citrique parmi les substrats testés. Les résultats ont montré que la souche fongique s'était bien adaptée au substrat (bagasse de manioc) et avait augmenté la teneur en protéines (23 g/kg) dans la matière fermentée. La production d'acide citrique a atteint un maximum (88 g/kg de matière sèche) lorsque la fermentation a été effectuée avec de la bagasse de manioc ayant une humidité initiale de 62 % sur 26°C pendant 120 h.

(Machado, 2002) ont signalé la production de gibbérellines (hormones végétales) dans des essais de fermentation à l'état solide et de fermentation submergée partir d'écorces de café utilisées comme source de carbone. Cinq souches de *Gibberella fujikuroi* et un de ses états imparfaits, le *Fusarium moniliforme*, ont été utilisés à titre de comparaison. La production d'acide gibbérellique a atteint 1 100 mg/kg lorsque les écorces de café sèches ont été utilisées comme seul substrat de fermentation.

Selon (Machado C. O., 2004) les meilleurs résultats ont été obtenus par fermentation à l'état solide avec *G. fujikuroi* LPB-06, en utilisant un substrat mixte de coques de café et de bagasse de manioc (7 : 3, poids sec). La production d'acide gibbérellique était élevée par rapport à d'autres études de fermentation à l'état solide utilisant différents substrats.

(Rani, 2011) ont étudié l'adéquation des coques café à la production et à l'optimisation de la cellulose bactérienne (BC) par le *Gluconacetobacter hansenii* UAC09 et à étudier les propriétés physico-mécaniques des films de BC. L'extrait des coques des cerises de café été utilisé comme source de carbone à diverses concentrations, avec d'autres composants nutritionnels tels que l'azote (liqueur de maïs, urée) et des additifs (alcool éthylique, acide acétique). La concentration de l'extrait des coques de café à 1:1 (p/v) ainsi que 8 % (v/v) de liqueur de maïs, 0,2 % (p/v) d'urée, la combinaison de 1,5 % d'alcool éthylique et de 1,0 % (v/v) d'acide acétique ont permis de produire 5,6-8,2 g/L de BC. Le BC avait une résistance à la traction variant entre 28,5 et 42,4 MPa. Le BC produit avec des coques de café ne différait pas en structure comme analysé par FT-IR (Études spectrales FT-IR Un film mince d'épaisseur uniforme a été utilisé pour obtenir les spectres IR d'un film BC à l'aide d'un spectrophotomètre). Des études au microscope électronique à balayage ont indiqué que le BC contenait un réseau réticulé de fibres fines. Dans des conditions optimisées, en se basant sur les autres additifs, les coques de café a produit plus de trois plis de BC (5,6-8,2 g/L) que le milieu de contrôle (1,5 g/L). C'est le premier rapport sur l'utilisation des coques de café pour la production de BC et il ouvre la voie à l'utilisation de déchets.

Les substances aromatisantes de faible poids moléculaire, volatils à température ambiante, produisent des effets olfactifs et sont largement utilisés dans l'industrie. Les arômes, tels que "floral, verte feuille, fruité, épicé, entre autres, sont fréquemment associés aux composés volatils d'importance économique dans l'industrie cosmétique et alimentaire (Hikichi, 2017).

Bien que les plantes soient la principale source de ces substances, selon (Dubal, 2008) des facteurs tels que le coût et la dépendance aux conditions climatiques sont de grands inconvénients dans l'extraction des plantes. Ces dernières années, la recherche de micro-organismes et de substrats de fermentation pour la production à faible coût de composés aromatiques volatils à grande échelle est un grand défi.

Les enveloppes de café ont également été testées pour la production d'arômes dans des études de fermentation utilisant *Ceratocystis fimbriata* (Soares, 2000) .

Les coques de café ont été traitées à la vapeur (100°C pendant 40 minutes) pour éliminer les substances inhibitrices (par exemple, la caféine) et complétées avec du glucose. Il a été rapporté que l'ajout de 20 et 35 % de glucose a permis de développer un fort arôme d'ananas, avec une production totale de substances volatiles de 6,6 et 5,2 mmol L<sup>-1</sup>g<sup>-1</sup>, respectivement.

À 46% de glucose, seule une faible odeur de banane a été détectée, et la production totale de substances volatiles a été réduite. Il a été conclu que les coques de café traitées à la vapeur constituent un substrat adéquat pour la production d'arômes par *C. fimbriata*, à condition qu'un peu de glucose soit ajouté pour augmenter la production de composés volatils (Franca AS, 2009).

#### 4- Production d'éthanol :

Dans le scénario mondial actuel, le bioéthanol est la principale alternative énergétique durable sur le plan environnemental, étant un substitut prometteur des combustibles fossiles traditionnels tels que l'essence dans le secteur des transports. Aujourd'hui, le bioéthanol est en tête du marché des énergies renouvelables et offre une réduction de plus de 80 % des émissions de dioxyde de carbone, par rapport aux carburants non renouvelables (Bhoite, 2013).

Bien qu'il représente une alternative viable aux carburants traditionnels, le succès du marché du bioéthanol est encore limité, par exemple, par le coût des matières premières utilisées dans sa production (Gurram, 2016). Le bioéthanol est généralement produit à partir de cultures vivrières, comme le maïs et la canne à sucre, par des étapes de prétraitement, d'hydrolyse et de fermentation. Toutefois, l'utilisation excessive de ces matières premières a fait augmenter les prix des denrées alimentaires, ce qui a suscité des inquiétudes économiques quant à la concurrence entre la production de carburant et celle de cultures vivrières. Par conséquent, des sources de biomasse lignocellulosique non alimentaire abondantes et peu coûteuses, telles que les résidus de l'agriculture et de la transformation agroalimentaire, sont nécessaires pour réduire le coût du processus de conversion de la biomasse en bioéthanol (Sukumara, 2015) .

En outre, on estime que la production d'éthanol à partir de résidus agricoles pourrait augmenter de 16 fois la production actuelle (Kim, 2004). Les résidus de la transformation du café (RTC) représentent un potentiel prometteur pour fournir une matière première durable et peu coûteuse pour la production de bioéthanol. Toutefois, un degré de complexité plus élevé, lié aux caractéristiques et à la variabilité de la composition des résidus de la transformation du café, représente un facteur limitant (Limousy, 2017).

(Sampaio, 2013) ont également montré que les résidus agricoles de la production de café présentent également des avantages en raison de leur faible coût, de leur arôme

caractéristique et de la présence de sucres qui peuvent être convertis en éthanol. Le bioéthanol peut également être utilisé comme carburant et pour le chauffage. Des études sur d'autres sous-produits donnent une idée sur la manière dont la coque du café peut être traitée dans les essais de production de bioéthanol. Les difficultés consistent à savoir si la composition des composants est dans le rapport d'une production suffisante et quelle méthode d'hydrolyse est la plus adaptée au substrat pour donner le meilleur rendement.

Les substrats lignocellulosiques sont caractérisés comme étant des matériaux prometteurs pour la production d'éthanol, principalement en raison de leur faible coût et de leur abondance (Choi, 2012) (Bonilla-Hermosa, 2014) .

Compte tenu de la forte concentration d'hydrates de carbone dans les coques de café, on peut également les considérer comme une matière première potentielle pour la production de bioéthanol. En outre, l'éthanol produit pourrait être utilisé pour la production de biodiesel à partir d'huile de café obtenue à partir de grains de café défectueux, contribuant ainsi à la mise en œuvre du développement durable dans les chaînes de production de café et de biodiesel (Oliveira, 2008a) (Franca AS O. L., 2009) .

Les bactéries, les champignons et les levures sont généralement utilisés pendant l'étape de fermentation de la biomasse des matières premières. La levure spécifique *Saccharomyces cerevisiae*, également connue sous le nom de levure de boulangerie, a été couramment utilisée pour fermenter le glucose dérivé des résidus de la transformation du café en bioéthanol (Limousy, 2017) .

Cependant, la production d'éthanol à partir de la coque de café n'a pas encore été adoptée à l'échelle pratique. Les premières études ont indiqué que le biocarburant fermenté uniquement à partir de pulpe de café ne contenait que 2,5 à 3,0 % d'éthanol (p/v), ce qui nécessiterait des coûts énergétiques élevés pendant l'étape de distillation (Adams MR, 1987) .

L'étude de (Gouvea, 2008) a démontré que la fermentation de coques de café conduit à un produit contenant 14% p/v d'éthanol. Il ne s'agissait que d'une étude de faisabilité préliminaire, utilisant la levure de boulangerie comme agent de fermentation. Cependant, la production d'éthanol était comparable à celle d'autres résidus agricoles qui sont étudiés pour la production de bioéthanol .On peut observer que la production d'éthanol par fermentation de coques de café était assez satisfaisante en comparaison avec les données de la littérature pour d'autres résidus, étant donné que la plupart des autres matières ont été soit complétées par du

sucre, soit ont subi une hydrolyse. Les résultats obtenus par (Gouvea, 2008) indiquent que les coques de café présentent un excellent potentiel pour la production d'éthanol à base de ces résidus, étant donné que les niveaux de production d'éthanol peuvent être considérablement améliorés par l'hydrolyse enzymatique, l'utilisation d'autres micro-organismes et la supplémentation en nutriments.

Une année plus tard (Gouvea BM, 2009) ont évalué la faisabilité de la production d'éthanol par la fermentation des coques de café par *Saccharomyces cerevisiae*. Des études de fermentation par lots ont été réalisées en utilisant des coques de café entières et moulues, et des extraits aqueux de coques de café moulues. Il a été observé que le rendement de la fermentation diminuait avec l'augmentation de la concentration en levure. Les meilleurs résultats ont été obtenus dans les conditions suivantes : coques de café entières, 3 g de levure/l de substrat, température de 30°C. Dans ces conditions, la production d'éthanol a été de  $8,49 \pm 0,29$  g/100 g de matière sèche ( $13,6 \pm 0,5$  g d'éthanol/l), valeur satisfaisante par rapport aux données de la littérature pour d'autres résidus tels que les tiges de maïs, la paille d'orge et les restes de blé hydrolysé (5-11 g d'éthanol/l). Ces résultats indiquent que les coques de café présentent un excellent potentiel pour la production d'éthanol.

(Arrizon, 2012) et ces collaborateurs ont essayé d'extraire le bioéthanol des enveloppes de café. Ils ont hydrolysé l'enveloppe du café en combinant un processus thermique, une explosion de vapeur et un traitement enzymatique. Leur résultat a conclu que la principale source de sucre de l'enveloppe du café est de 0,0321 g d'acide acétique /g d'enveloppe de café. Ils ont fermenté l'hydrolysate avec *Saccharomyces cerevisiae*, et le résultat a présenté une efficacité d'éthanol de 83% par quantité de glucose et un rendement de bioéthanol de  $0,426 \pm 0,0015$  g/l.

## 5- Biocarburant :

La production d'énergie à partir de matières renouvelables et de déchets est une alternative intéressante aux sous-produits agricoles conventionnels (Murthy, 2012). Les coques de café ont été considérés comme une source de combustible bon marché, avec une valeur calorifique approximative de 16MJ/kg (Adams MR, 1987) .

Une étude de (Saenger, 2001) a été menée sur la combustion des coques de café et a observé que les produits de combustion contenaient une grande quantité de matières volatiles, avaient de petites quantités de carbone fixe et de cendres, et se dévolatilisaient facilement lors du

chauffage, nécessitant donc un refroidissement par eau ou de courts temps de séjour dans l'alimentation pour éviter la pyrolyse dans le système d'alimentation. Des valeurs élevées ont été mesurées pour les émissions de NO<sub>x</sub>, ce qui indique la nécessité de recourir à des techniques de réduction des émissions de NO<sub>x</sub>. En outre, il a été observé que la faible température de fusion des cendres, en raison de leur teneur élevée en oxyde de potassium, peut entraîner une agglomération, un encrassement, une scorification et une corrosion.

La briquette est une autre forme de combustible qui peut être produite à partir des sous-produits du café, qui est davantage destinée aux marchés des chaudières ou des poêles domestiques. Les briquettes de cosse de café ont été principalement développées dans les pays d'Amérique du Sud (Brésil, Costa Rica). Les coques de café peuvent être facilement transformées en briquettes car cette biomasse présente une granulométrie homogène et une faible teneur en humidité (10-15 % en poids) (Limousy, 2017)

(Suarez, 2013) ont réalisé une étude intéressante sur la combustion des briquettes de cosse de café à Cuba. L'objectif de cette étude était de comparer l'utilisation des briquettes de café avec le bois de chauffage dans un four de boulangerie. Ils ont produit des briquettes de 80 mm de diamètre et 140 mm de longueur avec une densité de 840 kg/m<sup>3</sup>. Au cours de la production des briquettes, la migration de la lignine a été observée à la surface des briquettes en raison de la pression appliquée par le système de densification. Ce phénomène protège le combustible de la dégradation enzymatique. Les caractéristiques de combustion des briquettes de cosse de café correspondent à : 5 min de temps d'allumage, 10 min de temps de combustion, 25 cm de longueur de flamme et 30 min pour la combustion du charbon. Les paramètres de combustion des briquettes de cosse de café sont similaires à ceux du bois de chauffage : rendement thermique de 64%, taux d'alimentation en combustible de 20 kg/h, production spécifique de pain de 16,2 kg/kg de combustible. Ce résultat indique que les briquettes de coque de café peuvent remplacer le bois de chauffage dans les fours de boulangerie ou de pizzeria. La seule limite correspond au coût nécessaire pour produire les briquettes et au prix de vente final pour les clients.

La faible densité des coques de café indique que ces résidus ne sont pas adaptés au transport sur de longues distances, compte tenu des coûts élevés de transport et de stockage, et il a donc été suggéré de les utiliser à proximité de la zone de production. Des valeurs élevées pour les émissions de NO<sub>x</sub> (400-500 mg/m<sup>3</sup>) ont été mesurées, ce qui indique la nécessité de réduire les émissions de NO<sub>x</sub>. Un autre problème est la faible température de fusion des cendres due

à la teneur élevée en  $K_2O$ , et les problèmes d'agglomération, d'encrassement, de scorification et de corrosion qui en résultent (Franca AS, 2009) .

(Magalhães, 2008) ont évalué l'utilisation de coques de café mélangées à du bois de chauffage comme combustible solide pour chauffer l'air. La combustion était incomplète, entraînant des pertes thermiques et indiquant que les gaz ne pouvaient pas être utilisés pour le chauffage direct. Néanmoins, l'efficacité de la combustion a été jugée satisfaisante pour le chauffage indirect, ce qui indique que ce résidu solide pourrait être utilisé pour chauffer l'air destiné au séchage des céréales ou à d'autres fins agricoles.

(Gil, 2010) ont étudié le comportement de combustion de différentes biomasses (sciure de pin, de châtaignier et d'eucalyptus, résidus de cellulose, coques de café et déchets de raisin) mélangées à du charbon ou de la sciure de pin. Parmi ces biomasses, les coques de café (5 % en poids) ont été mélangées à de la sciure de pin et de châtaignier (95 % en poids). Les résultats du test de combustion, obtenus par un indice d'abrasion et une analyse thermogravimétrique, ont montré que les coques de café ont un comportement différent des autres biomasses. La matière volatile brûlait à un taux inférieur à celui des autres biomasses, tandis que la combustion du charbon se faisait à un taux plus élevé et pour une température maximale plus basse.

(Souza Faria, 2015) ont évalué le potentiel de traitement des résidus de caféiers dans la production de granulés pour la production d'énergie thermique, et de les classer en fonction de leur valeur commerciale, en utilisant la norme DIN EN 14961-6. Les pellets ont été produits en tenant compte de la composition suivante (basée sur le poids) : 100% de coques de café ; 100% de peaux argentées ; 50% de coques de café et 50% de peaux argentées ; 70% de coques de café et 30% de sciure d'eucalyptus et 70% de peaux argentées et 30% de sciure d'eucalyptus. Les principales informations qui peuvent être extraites de ces travaux que les déchets de traitement des grains de café peuvent être transformés en biocarburants solides granulés pour la production d'énergie thermique. Les granulés de coques de café, les pellicules argentées, les coques de café avec film argenté et les coques de café avec bois peuvent être commercialisés et exportés vers l'Union européenne, conformément aux exigences de la norme DIN EN 14961-6.

La pyrolyse est définie comme la décomposition thermochimique irréversible d'un matériau à température élevée ( $+300^{\circ}C$ ) en l'absence d'oxygène. Le principal avantage de la pyrolyse est la conversion de substrats à faible densité énergétique. En fait, la pyrolyse

produit du gaz (gaz de synthèse), du liquide (bio-brut ou bio-huile) et des fractions solides (bio-char). La pyrolyse est utilisée depuis des siècles pour produire du charbon de bois pour les cuisinières. Plus récemment, la pyrolyse a été envisagée pour la production de carburants de transport et d'autres produits. La pyrolyse est classée en trois catégories : lente, rapide et gazéification. (Hughes, 2014)

Des études sur la pyrolyse des coques de café traitées à sec ont été présentées par (Domínguez, 2007) et (Menéndez, 2007). Il a été constaté que la pyrolyse de ce résidu solide donne lieu à un rendement plus important de la fraction gazeuse par rapport aux autres fractions, même à des températures relativement basses. La fraction gazeuse augmente avec l'augmentation de la température de pyrolyse. Une comparaison entre la pyrolyse assistée par micro-ondes et la pyrolyse conventionnelle a montré que le traitement par micro-ondes produit plus de gaz et moins de pétrole que la pyrolyse conventionnelle. En outre, le gaz issu des micro-ondes a une teneur en H<sub>2</sub> et en gaz de synthèse (H<sub>2</sub> + CO) beaucoup plus élevée que celui obtenu par la pyrolyse conventionnelle dans un four électrique, le CO<sub>2</sub> étant le principal produit. Il a également été observé que l'énergie accumulée dans le gaz augmentait avec la température de la pyrolyse. En revanche, l'énergie accumulée dans le charbon diminue avec la température, cet effet étant plus important lorsque la pyrolyse par micro-ondes est utilisée.

(DE Oliveira, 2013) ont utilisé les déchets de la production de café et d'eucalyptus pour générer de l'énergie, ainsi qu'à cartographier la production de déchets au Brésil par région. Il a été observé que le Brésil a une grande capacité à générer de l'énergie alternative, puisque environ 11,4×10<sup>6</sup> t de déchets sont générés par an à partir de la seule production de café et d'eucalyptus. Ces déchets peuvent être utilisés pour la conversion thermo-chimique de l'énergie par gazéification, avec un potentiel de production de 201,3 PJ au total. Donc Ce travail vise à établir un lien entre le marché agricole et le marché de l'énergie.

(Wilson, 2010) ont étudié la gazéification à haute température de l'air et de la vapeur de coque de café pour exploiter le potentiel de cette énergie de biomasse de manière durable. Les températures élevées ont amélioré le processus de gazéification. En outre, l'augmentation des températures de gazéification a entraîné une augmentation linéaire de la concentration de monoxyde de carbone dans le gaz de synthèse. Lorsque la température de gazéification est passée de 700 à 900 °C, le rendement en monoxyde de carbone pour une concentration en oxygène de 2 % a été multiplié par six.

## 6- Biogaz (Biométhanisation) :

Le biogaz est un combustible gazeux de substitution qui a suscité une attention considérable avec l'intérêt croissant pour la technologie des énergies renouvelables et durables. Le biogaz désigne généralement un mélange de différents gaz, dont le méthane (CH<sub>4</sub>), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), l'hydrogène (H<sub>2</sub>), l'oxyde de carbone (CO) et de plus petites quantités de sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S), émis lors de la décomposition de la matière organique en l'absence d'oxygène (limousy, 2017).

Même si des usines de biogaz sont actuellement utilisées, les données économiques et techniques disponibles indiquent que la rentabilité de nombreux digesteurs anaérobies est encore limitée, bien que des techniques actuelles visant à améliorer la qualité et à accroître l'utilisation de l'énergie soient en cours de développement. (Appels, 2008)

Les premières études sur l'utilisation des coques de café et de la pâte à papier pour la production de biogaz dans la digestion anaérobie ont été développées. (Adams MR, 1987)

Même si les résidus solides du café présentent de meilleures performances en termes de CH<sub>4</sub> par rapport aux autres résidus agricoles, les déchets municipaux, les déchets verts, le fumier et les boues d'épuration (limousy,2017), l'absence d'études plus récentes sur les résidus de la transformation du café indique que cette autre utilisation ne semble pas viable, que ce soit en raison de contre-temps techniques ou économiques .( Franca AS, 2009)

(Kida, 1994) ont étudiée la digestion anaérobie des composants des déchets de café. Lorsque les déchets de café étaient traités par un processus de liquéfaction uniquement, l'efficacité de la dégradation était de 42 %, compte tenu des matières solubles qui adhéraient à la surface des déchets. Cependant, dans un système de digestion anaérobie en deux phases, comprenant des processus de liquéfaction et de gazéification, l'efficacité de dégradation est passée à 70 %. Les composants des déchets de café, à savoir les matières qui pourraient être éluées par un mélange d'alcool et de benzène (ci-après appelés matières solubles dans l'alcool et le benzène), l'holocellulose et la lignine, ont été dégradés respectivement à 91~, 70~ et 45~. Le rendement en gaz était de 451 ml/g de déchets de café dégradés et 28,2~ du carbone contenu dans les déchets a été converti en biogaz. La teneur en méthane du gaz issu du réacteur de gazéification était élevée, soit 66°~ (v/v).

Les coques de café, connus pour leur résistance à la biométhanation en raison de leur pH acide et de la présence de polyphénols, ont été traités avec un champignon thermophile

*Mycotypha* par (Jayachandra T, 2011) et ses collaborateurs pour permettre la biométhanation. Le champignon a réduit l'acidité de l'enveloppe et augmenté la production de méthane. La bouse de vache a été utilisée comme témoin. En deux mois, la quantité de gaz produite par les enveloppes traitées était nettement supérieure à celle produite par le témoin.

Récemment, (Battista, 2016) ont étudié l'influence des prétraitements basiques et acides sur la production de biogaz à partir de déchets de café. Des prétraitements chimiques ont été effectués en mode batch sur un mélange préparé à partir de déchets de café avec une concentration totale de solides de 10% p/p. Au cours de ces expériences, le biogaz généré après les prétraitements acide et basique a été comparé au biogaz généré en l'absence de phase de prétraitement. Les auteurs ont démontré que le prétraitement basique a un effet bénéfique sur les hydrolyses de lignine et cellulose. Ce prétraitement basique a permis une production de biogaz d'environ 18 NL/L avec une teneur en méthane de près de 80% v/v.

#### **7- Biosorbants (charbon actif):**

Selon (Ioannidou, 2007), les coques de café ont une teneur élevée en cellulose et en lignine, ce qui leur confère les caractéristiques d'une matière première activée et leur permet de remplacer une partie des matières premières traditionnelles. Cela peut non seulement permettre d'utiliser efficacement et rationnellement les déchets, mais aussi de réduire le coût de production du charbon actif. Par conséquent, les coques de café sont de bonnes matières premières pour préparer du charbon actif avec de bonnes performances (Sun , 2019).

Compte tenu de la quantité importante d'informations publiées et l'intérêt croissant de la recherche sur l'utilisation des résidus agroalimentaires dans la préparation des charbons actifs (Ioannidou, 2007), (Franca, 2009), quelques études récentes ont porté sur l'application des coques de café soit comme biosorbants (utilisés comme adsorbants sans nécessité de carbonisation et d'activation), soit comme matières premières pour la production d'adsorbants (Oliveira W. F., 2008) (Oliveira LS O. W., 2008) (Oliveira LS F. A., 2008).

Le charbon actif (CA) est un matériau carboné poreux préparé par carbonisation et activation de substances organiques, principalement d'origine végétale. Ces propriétés, telles qu'une surface interne élevée, une structure de pores interne bien développée et la présence d'un large spectre de groupes fonctionnels de surface, en font l'adsorbant le plus populaire (Ahmad, 2011). Il est largement utilisé pour l'adsorption de polluants en phases

gazeuse et liquide, comme support de catalyseurs, pour la purification de plusieurs composés dans le traitement des eaux usées, etc (Girando, 2012).

Les carbones actifs ont été préparés par pyrolyse des coques de café en présence d'acide phosphorique comme agent d'activation par (Baquero, 2003). Le rapport d'imprégnation à l'acide phosphorique a eu une forte influence sur la structure des pores des CA préparés. De faibles taux d'imprégnation ont conduit à des CA essentiellement microporeux, alors qu'à des taux d'imprégnation intermédiaires, des CA avec une distribution de taille de pores plus large (des micropores aux mésopores) ont été obtenus. Les coques de café non traités ont été utilisées comme biosorbants puissants pour le traitement de l'eau contaminée par des colorants (Oliveira L. F., 2008). Le bleu de méthylène était le colorant modèle utilisé dans les études d'adsorption par lots. Le pH du système de biosorption n'a pas eu d'effets significatifs sur la capacité d'adsorption pour les valeurs supérieures au point de charge zéro déterminé, ce qui indique que des mécanismes autres que l'échange d'ions pourraient avoir lieu. Les coques de café avaient une excellente capacité d'adsorption. Il a été conclu que les coques avaient un grand potentiel en tant qu'adsorbants alternatifs peu coûteux et facilement disponibles pour l'élimination des colorants cationiques dans les traitements des eaux usées (Oliveira L. S., 2015).

Les coques de café non traitées ont été utilisées par (Oliveira L. F., 2008) comme biosorbants potentiels pour le traitement des eaux contaminées par des colorants. Le bleu de méthylène a été le colorant modèle utilisé dans une étude d'adsorption discontinue. Les cosses de café ont été imprégnées de formaldéhyde afin de réduire le lessivage de la matière organique et d'éviter la croissance de champignons à la surface du biosorbant (Chen et Yang, 2005). L'évaluation des paramètres thermodynamiques a indiqué que l'adsorption était spontanée et endothermique. Les balles de café présentaient une excellente capacité d'adsorption, étant plus efficaces que d'autres résidus agricoles tels que les cosses de riz et les enveloppes de blé. Par conséquent, la principale conclusion de cette étude était que les enveloppes de café présentaient un grand potentiel en tant qu'adsorbant alternatif peu coûteux et facilement disponible pour l'élimination des colorants cationiques dans les traitements des eaux usées.

(Oliveira L. F., 2008) ont également évalué la performance des coques de café comme adsorbants pour l'élimination des ions de métaux lourds des solutions aqueuses. Les études d'adsorption ont été menées dans un système discontinu utilisant du cuivre divalents, du

cadmium, du zinc et du chrome hexavalent comme adsorbants. Les coques de café présentaient une meilleure performance d'adsorption pour de faibles concentrations de tous les ions métalliques étudiés. La capacité d'adsorption maximale des coques de café a été comparée à la capacité maximale d'autres biosorbants présentés dans la littérature, étant supérieure à celle d'autres résidus non traités tels que la bagasse de canne à sucre, la coque de cacao, la peau de banane et les coques d'arachides.

Dans une étude ultérieure, des traitements thermiques et chimiques ont été évalués afin d'améliorer la performance d'adsorption des coques de café (Oliveira L. F., 2008). L'agent d'activation était le  $\text{CaCl}_2$ , et la carbonisation a été effectuée à  $200^\circ\text{C}$ . Il a été observé que le pourcentage d'ions  $\text{Cr(VI)}$  adsorbés augmentait après les traitements. Les traitements thermiques/chimiques n'ont pas amélioré les performances d'adsorption dans le cas de l'adsorption du cuivre, du cadmium et du zinc. Il a également été indiqué que l'efficacité de l'adsorption était réduite par la présence de parchemin parmi les enveloppes.

Le chlorure ferrique a été utilisé comme agent d'activation pour obtenir des CA à partir des coques de café par (Olivera, 2009). Ce matériau a été combiné avec deux échantillons provenant de la même matière première : un activé à l'aide de chlorure de zinc, et l'autre activé avec un mélange de chlorure ferrique et de zinc dans la même proportion de masse. Le CA obtenue après le processus d'activation a montré de grandes surfaces spécifiques ( $>900 \text{ m}^2/\text{g}$ ). L'activation avec  $\text{FeCl}_3$  a produit des pores plus petits en même temps que l'activation avec  $\text{ZnCl}_2$ , avec une température d'activation ( $280^\circ\text{C}$ ) inférieure à la température couramment utilisée pour l'activation chimique ou physique.

Le potentiel d'élimination du chrome (VI) des solutions aqueuses par biosorption à l'aide des coques de café a été étudié par (Ahalya, 2010). Les effets du pH, du temps de contact, de la concentration initiale et du dosage de l'adsorbant sur l'adsorption du  $\text{Cr(VI)}$  ont été étudiés. La capacité d'adsorption de Langmuir s'est avérée être de  $44,95 \text{ mg/g}$ . Les goujons spectraux infrarouges ont révélé la présence de groupes fonctionnels, tels que les groupes hydroxyle et carboxyle, à la surface de la biomasse, ce qui facilite la biosorption du  $\text{Cr(VI)}$ .

(Ahmad, 2011) ont préparé un charbon actif (CA) à base de cosses de café par activation physico-chimique et l'ont utilisé pour éliminer le colorant Remazol Brilliant Orange 3R (RBO3R) d'une solution aqueuse. Les résultats ont montré que l'adsorption du RBO3R était favorable à un pH acide. On a constaté que l'absorption par adsorption augmentait avec l'augmentation de la concentration initiale de RBO3R, du temps de contact et de la

température de la solution. Le processus d'adsorption était endothermique, et le mécanisme de réaction suivait un processus de physisorption. Des CA à porosité très développée ont été préparés à partir des cosses de café. Les résultats de la caractérisation ont montré que ces matériaux présentaient un grand nombre de groupes d'oxygène et une grande surface spécifique avec des micro- et mésopores. Les CA obtenus à partir de coque de café ont été considérés comme des matériaux adsorbants prometteurs, et la capacité d'adsorption du bleu de méthylène était plus élevée que celle des CA commerciaux.

(Girando, 2012) ont évalués une étude au cours de laquelle, les résidus de café (parche) ont été imprégnés de  $ZnCl_2$  et de KOH, puis carbonisés dans des conditions d'azote et activés avec du  $CO_2$ , respectivement. Les charbons actifs obtenus sont utilisés dans l'adsorption des ions  $Hg(II)$  et  $Zn(II)$ . Ces adsorbants sont efficaces pour éliminer ces ions d'une solution aqueuse.

Dans l'étude de Tien (2018), les cosses de café de la province de Dak Lak ont été sélectionnées pour la production de charbon actif à différentes températures et à différents moments. La capacité d'adsorption du charbon actif à base de cosses de café a été évaluée. Le charbon actif fonctionnalisé par le  $HNO_3$ , qui a montré la plus grande capacité d'adsorption, a été choisi pour étudier la capacité d'adsorption du Ni (II) dans l'eau sous l'effet de différents paramètres. Les résultats montrent que la coque de café carbonisée à  $400^\circ C$  dans un environnement gazeux Ar avait la plus grande capacité d'adsorption du Ni (II), tandis que celles carbonisées à  $300^\circ C$ ,  $500^\circ C$  et  $600^\circ C$  Ni (II) avaient une capacité d'adsorption plus faible.

Une autre étude récente qui été faite par (Sun, 2019), dans laquelle les coques de café ont été utilisées comme matière première pour préparer du charbon actif en coques de café à haute surface spécifique par une méthode d'activation en deux étapes comprenant le processus de carbonisation par pyrolyse et le processus d'activation par l'hydroxyde de potassium (KOH). Les influences de la température d'activation, du temps d'activation et du rapport de masse du KOH au charbon sur la performance d'adsorption de la vapeur d'eau du charbon actif ont été étudiés par conception à facteur unique. Les conditions optimales de préparation du charbon actif à grande capacité d'adsorption ont été déterminées.

Ils ont conclu que l'enveloppe de café s'est avérée être un excellent précurseur pour les préparations de charbon actif avec des structures microporeuses bien développées. La capacité d'adsorption de la vapeur d'eau dépendait des conditions d'activation, c'est-à-dire de la

température d'activation, du temps d'activation et du rapport de masse entre le KOH et le charbon.

### 8- La production des champignons :

En raison de leurs bonnes propriétés organoleptiques de saveur et d'arôme, et de leurs bonnes valeurs nutritionnelles et thérapeutiques, la culture des champignons a augmenté de façon spectaculaire dans le monde entier. Plusieurs résidus agro-industriels offrent un bon potentiel à cet égard (Pandey,2000).

Les sous-produits du café sont intéressants comme substrats pour la culture des champignons depuis près de trois décennies. (Janissen, 2018)

(L. Fan, 1999b) et (L. Fan A. P., 1999a) ont mené une étude systématique sur la culture de *Lentinus edodes*, *Pleurotus sp.* et *Volvariella sp.* à l'aide de différents résidus tels que les enveloppes, les feuilles et les résidus de mouture du café, individuellement ou en mélange.

(L. Fan A. P., 1999a) ont traité l'enveloppe du café en la faisant bouillir une heure dans l'eau, puis en la filtrant, le résidu solide était utilisé pour la culture de ce champignon *L. edodes*. Le taux d'humidité idéal pour la croissance du mycélium était de 65-75% ; le meilleur taux de reproduction, de 10-20%, était efficace alors qu'il fallait 20 jours pour que le mycélium soit pleinement occupé ; la transformation de la couleur commençait alors. La première fructification a eu lieu après 60 jours d'inoculation ; l'efficacité biologique a atteint 85,76%.



**Figure 06:** Fructification de *L. edodes* sur de l'enveloppe café traitée (L. Fan A. P., 1999a)

(L. Fan, 1999b) ont utilisé une souche de *Pleurotus sp.* et l'enveloppe du café comme substrat, l'humidité idéale pour la croissance du mycélium était de 55-65% ; le meilleur taux de ponte à 10-15% était plus efficace alors qu'il fallait 7 jours pour occuper complètement le

mycélium ; la première fructification se produisait après 20 jours d'inoculation ; l'efficacité biologique atteignait 96,5%. Il a été conclu que l'enveloppe du café pouvait être utilisée pour la culture de ces champignons. La croissance de ces espèces de champignons a entraîné une augmentation de la teneur en protéines et une diminution de la teneur en fibres de l'enveloppe du café.

(Fan, 2006) et de ses collaborateurs ont évalué l'effet de la caféine et des tanins sur la culture de *Pleurotus sp.* afin de déterminer la faisabilité de l'utilisation des cosses de café comme substrat pour la croissance des champignons. L'augmentation de la concentration de caféine a entraîné une diminution de la croissance mycélienne et de la production de biomasse. De plus, *Pleurotus* n'a pas dégradé la caféine, mais l'a absorbée. Le tanin présent dans le milieu à une concentration inférieure à 100 mg/L a stimulé la croissance du mycélium, mais a présenté un effet négatif au-dessus de 500 mg/L. Il a été confirmé que *Pleurotus* avait la capacité de dégrader l'acide tannique. La teneur en caféine de l'enveloppe après la culture a été réduite à 61 % et celle des tanins à 79 %.

(Leifa, 2001) ont présenté une étude comparative utilisant des coques de café et du marc de café usé comme substrats pour la production de champignons comestibles *Flammulina*. Le taux d'humidité idéal pour la croissance mycélienne était de 60 %. La première fructification a eu lieu après 25 jours d'inoculation et l'efficacité biologique a atteint environ 56% avec deux rinçages après 40 jours. Les teneurs en caféine et en tanin ont diminué de 10 et 20 % respectivement après 40 jours, cette diminution étant attribuée à la dégradation par la culture. Les auteurs ont conclu que les coques de café et le marc de café usé, sans aucune supplémentation nutritionnelle, sont des substrats potentiels pour la culture de champignons comestibles.

(Da Silva, 2012) et ses collaborateurs ont récemment cultivé *Pleurotus ostreatus fungus* qui est un champignon comestible possédant d'importantes propriétés nutritionnelles et médicinales. Le sélénium (Se) est essentiel à l'alimentation humaine et se trouve en faible concentration dans le sol, et donc dans les aliments. Le *Pleurotus ostreatus* a été cultivé dans des enveloppes de café enrichies de diverses concentrations de sélénite de sodium. L'efficacité biologique de *P. ostreatus* a été affectée par l'ajout de fortes concentrations de Se. Le plus haut niveau d'absorption de Se a été obtenu par l'ajout de 51 mg kg<sup>-1</sup> de sélénite de sodium. Les champignons de la première chasse d'eau contenaient plus de Se que ceux des autres rinçages. Ces résultats démontrent le grand potentiel des coques de café dans la production de

champignons enrichis en Se et montrent la capacité de ce champignon à absorber et à bioamplifier le Se.



**Figure 07** : Fructification de *P. ostreatus* sur l'enveloppe du café (L. Fan, 1999b)

### 9- Compost :

Le traitement des sous-produits du café par des méthodes biologiques à base d'oxygène, comme le compostage, aurait un double objectif, à savoir la production d'engrais et la protection de l'environnement. (Murthy, 2012)

En effet, le compostage est devenu l'une des technologies les plus connues et les plus acceptées pour le recyclage des déchets agricoles dans des conditions aérobies. Il transforme les déchets en un amendement/engrais de haute qualité, riche en matière organique et en nutriments (Insam, 2007) . Le processus de transformation implique la succession de communautés microbiennes spécialisées qui expriment un large éventail d'enzymes responsables des changements dans les propriétés physico-chimiques du substrat (Mondini, 2004). Le suivi de la présence et des activités de certaines enzymes intracellulaires et/ou extracellulaires pendant le compostage fournit donc des informations précieuses sur l'évolution des processus de biodégradation des déchets. (Vargas-García, 2010)

Dans le cas des coques de café (Matos, 2008) il a été signalé qu'elles ont des valeurs faibles pour le rapport carbone-azote (C/N), ce qui indique que les résidus ayant un rapport C/N élevé doivent être mélangés aux coques de café afin de garantir un produit final de bonne qualité. Il convient de souligner que le compost produit, à partir de cosses de café ou de pulpe, doit être considéré davantage comme un conditionneur de sol que comme un engrais.

(Shemekite, 2014) ont mesuré différents paramètres au cours d'un processus de compostage de 90 jours de coque de café avec de la bouse de vache (pile 1), avec des déchets de fruits et légumes (pile 2) et de la coque de café seule (pile 3). Des échantillons ont été prélevés les jours 0, 32 et 90 pour des analyses chimiques et microbiologiques. Les rapports C/N des piles 1 et 2 ont diminué de manière significative au cours des 90 jours. Les comptages bactériens les plus élevés au début du processus et les comptages actinobactériens les plus élevés à la fin du processus (piles 1 et 2) ont indiqué une succession microbienne avec production concomitante d'enzymes pertinentes pour le compost. L'électrophorèse sur gel à gradient dénaturant de l'ADNr et l'analyse des puces COMPOCHIP a indiqué des changements de communauté distincts au cours du processus de compostage, les échantillons du jour 0 se regroupant séparément des échantillons des 32 et 90 jours. Cette étude, utilisant une approche multiparamétrique, a révélé des différences de qualité et de diversité des espèces des trois composts.

(J.Godefroy, 1973) ont menés une étude en Côte d'Ivoire dont le but était de déterminer l'action d'apports de parches de café et de coques de cacao sur la composition chimique du sol, sur la nutrition de la plante, donc sur le rendement d'une bananeraie. En effet, En Côte d'Ivoire, la culture du café et du cacao permet de disposer de quantités assez importantes de déchets de décorticage de ces fruits. Les essais ont démontrés que leur utilisation en bananeraie est rentable par l'accroissement de rendement obtenu à condition de les obtenir à bas prix. D'un autre coté les analyses de sol ont montré qu'ils avaient un net enrichissement en éléments fertilisants, enrichissement variable suivant l'origine des déchets à savoir matière organique, azote minéral, potassium, magnésium ainsi que le phosphore.

### **10- Fibres alimentaires :**

Selon (Figuerola, 2005), les déchets agricoles sont de grandes sources de fibres alimentaires, qui comprennent la cellulose, les hémicelluloses, la lignine, la pectine, les gommes et les polysaccharides. Les fractions de fibres alimentaires solubles et insolubles sont connues pour conférer un large éventail d'avantages pour la santé, y compris la réduction des risques de maladies gastro-intestinales, de maladies cardio-vasculaires ainsi que d'obésité.

Parmi les résidus de café, la peau argentée contient une quantité élevée de fibres (80 %), suivie de l'enveloppe de la cerise et des déchets. Les fibres de café possèdent des propriétés antioxydantes. La synergie de l'activité antioxydante et du complexe de fibres dans

les sous-produits du café, comme dans quelques céréales, attribue des effets bénéfiques plus qu'une simple fraction de fibres (Murthy P. N., 2010) (Murthy P. M., 2010).

L'étude de (Elba, 2017) vise à évaluer la parche de café comme un ingrédient riche en fibres ayant une activité antioxydante dans la production de biscuits. Différents pourcentages en parches de café moulu ont été ajoutés à une préparation de biscuits. Le meilleur pourcentage de parches de café a été établi par un test de degré d'appréciation. Une partie de la parches moulue a été soumise à un traitement par ultrasons et ajoutée à des biscuits en utilisant le même pourcentage que celui qui a obtenu le plus haut degré d'appréciation. La mesure de la dureté instrumentale et la préférence entre les deux produits (en utilisant la parche avec et sans traitement aux ultrasons) ont été comparées. Les caractéristiques physico-chimiques (fibres alimentaires, humidité, graisse, cendres, antioxydants et polyphénols totaux) ont été déterminées pour la parche et les biscuits ayant obtenu le plus haut degré de goût. Il a été conclu que la parche de café est une source potentielle de fibres alimentaires ayant une capacité antioxydante, qui peut être utilisée pour enrichir les produits de boulangerie sans qu'il soit nécessaire de recourir à des traitements pour en modifier la texture.

Enfin, une étude récente vient renforcer les précédentes et qui vise à valider l'utilisation des sous-produits de l'industrie du café entre autre la parche comme un nouvel ingrédient alimentaire favorable à la santé. La caractérisation des nouveaux ingrédients a été réalisée par spectroscopie *Raman* et infrarouge et l'analyse des composés phénoliques totaux, de l'acide chlorogénique, la caféine et des fibres alimentaires a été faite. Les propriétés antioxydantes des nouveaux ingrédients ont été testées par ABTS et la formation intracellulaire des ERO dans les cellules HepG2. Des expériences sur les pesticides, les mycotoxines, l'acrylamide et la toxicité aiguë conformément aux principes directeurs d'examen 425 de l'OCDE ont été réalisées pour évaluer la sécurité sanitaire des extraits et du résidu solide. Les résultats obtenues ont permis de détecter la mycotoxine ochratoxine A à 2,7g/kg. Ils ont également conclu à la toxicité aiguë de la parche brut chez le rat avec une dose unique de 2000 mg / kg pc et n'ont observé aucun signe apparent de toxicité, de comportement anormal ou de mortalité. Aucune lésion n'a été trouvée dans certains organes vitaux isolés d'animaux traités.

La parche est proposé donc comme source naturelle de fibres alimentaires antioxydantes (Iriondo-DeHond A, 2018)

Les mêmes auteurs ont pu montrer le potentiel de ce sous-produit comme ingrédient fonctionnel hypocalorique prometteur pour l'enrichissement des fibres alimentaires dans les aliments pour réguler la glycémie et réduire la concentration de lipides sériques (Benitez, 2019).

Les sous-produits du café peuvent être convertis en ingrédients alimentaires sûrs permettant une récupération complète des déchets alimentaires. Les analyses des contaminants sont essentielles pour atteindre cet objectif (Iriundo-DeHond A, 2018).

### **11- Antioxydant :**

Les antioxydants exercent des effets importants sur la santé humaine en réduisant le stress oxydatif, car le stress est un facteur de développement de maladies diverses telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires, le diabète de type 2, la maladie d'Alzheimer, et la maladie de Parkinson. (Narita, 2014)

Beaucoup de chercheurs ont, dans un premier temps, émis l'hypothèse de trouver un ou plusieurs composants biologiquement actifs dans les enveloppes (parche) de café qui nous permettront de mettre en valeur cette matière résiduelle en tant qu'antioxydants naturel pour remplacer les antioxydants synthétiques très utilisés dans les domaines agroalimentaire et pharmaceutique.

En effet, les antioxydants synthétiques les plus utilisés dans les différents domaines agroalimentaires, cosmétiques et même pharmaceutiques sont des composés phénoliques de synthèse tels que l'hydroxyanisole butylé (BHA), l'hydroxytoluène butylé (BHT) et la tert-butyl hydroquinone (TBHQ). Les tocophérols sont également utilisés comme antioxydants pour l'alimentation. Cependant, le BHA et le BHT ils ont été limités par des règles législatives en raison de soupçons quant à leurs effets toxiques et cancérigènes (Gulçin, 2011). Beaucoup de rapports révèlent qu'en plus d'être toxiques, leurs coûts de fabrication est très élevés et leur efficacité est plus faible par rapport aux antioxydants naturels tels que les tocophérols extraits de fruits. De plus, la prise de conscience croissante des consommateurs à l'égard de sécurité des additifs alimentaires, a créé un besoin d'identifier des alternatives naturelles et des sources plus sûres d'antioxydants alimentaires. (Moure A, 2001)

Le principal sous-produit de la méthode sèche de traitement des grains de café est l'enveloppe du café, qui est composée de la peau, de la pulpe et de la parche séchée. Cette enveloppe est riche en glucides (simples et complexes) et en protéines, avec une petite

quantité de lipides. Les constituants chimiques mineurs (environ 2 à 10 % en poids), aux propriétés antioxydantes potentielles, signalés dans les coques de café sont la caféine, les acides chlorogéniques et les polyphénols. Parmi les polyphénols intéressants, on peut citer les flavonoïdes, qui constituent le groupe de polyphénols le plus courant dans l'alimentation humaine et dans les plantes. (Dorsey, 2017)

Selon (Mullen, 2013) les quantités totales de ces composés présents dans les coques de café sont les suivantes : caféine (1,0-1,3 g/100 g de coques de café), acides chlorogéniques (2,5 g/100 g de coques de café) et polyphénols (0,8-1,2 g/100 g de coques de café). Si la quantité totale d'acide chlorogénique est du même ordre de grandeur entre les différents types de coque de café, le profil d'acide chlorogénique des coques varie. Huit acides chlorogéniques ont été signalés dans des enveloppes de café provenant de fruits de caféiers Arabica ou Robusta. Ces acides chlorogéniques comprennent l'acide 3-O-caféoylquinique, l'acide 5-O-caféoylquinique, l'acide 4-O-caféoylquinique, l'acide 4-O-féruloylquinique, l'acide 5-O-féruloylquinique, l'acide 3,4-O-dicaffeoylquinique, l'acide 3,5-O-dicaffeoylquinique et l'acide 4,5-O-dicaffeoylquinique. La teneur totale en polyphénols et le profil des polyphénols varient entre les fruits du caféier Arabica ou Robusta, et la région du globe dans laquelle les fruits du caféier sont cultivés.

La parche de café est aussi riche en tanins, qu'en polyphénols (Pandey, 2000). Les tanins, du à leur masse moléculaire élevée et le haut degré d'hydroxylation de leurs noyaux aromatiques, montrent un potentiel antioxydant très élevé. Leurs actions antioxydantes se manifestent par leurs capacités à piéger les radicaux libres, la chélation des métaux de transition, l'inhibition des enzymes prooxydants ainsi que l'inhibition de la peroxydation lipidique. (Koleckar, 2008)

En plus des polyphénols, tanins et flavonoïdes qu'elle contient, la parche de café contient aussi de la caféine (Pandey, 2000). Dans certaines publications, la caféine est considérée aussi comme un antioxydant (Azam, 2004) ; (Yashin, 2013).

En effet, la caféine (1, 3,7-triméthyl xanthine), a été étudiée pour son activité antioxydante potentielle contre les dommages oxydatifs des microsomes du foie de rat. Les résultats obtenus ont montré que la caféine était un inhibiteur efficace de la peroxydation lipidique, à des concentrations millimolaires, contre les trois espèces réactives à savoir ; le radical hydroxyle (OH), le radical peroxy (ROO) et l'oxygène singulet. En général, le pouvoir antioxydant de la caféine étant similaire à celui du glutathion, un antioxydant

biologique, et significativement supérieur à celui de l'acide ascorbique. Des études sur les mécanismes possibles impliqués dans l'effet antioxydant observé révèlent que la désactivation de ces espèces réactives par la caféine pourrait être l'un des facteurs possibles responsables (Devasagayam T.P.A., 1996). Une autre étude vient confirmer l'effet de la caféine qui réduit de manière significative le niveau de TBARS et de diènes conjugués produits à partir de la peroxydation des LDL. L'effet antioxydant de la caféine est équivalent à celui de l'acide ascorbique et celui de l'acide urique. (ChulLee, 2000)

La teneur en procyanidine (un flavonoïde) des cafés testés est rapportée de la teneur relative la plus élevée à la teneur relative la plus faible, la teneur la plus élevée étant fixée à 100 % (India Robusta, 100 % ; India Arabica, 47 % ; Mexico Arabica, 22 % ; China Arabica, 19 %) (Mullen, 2013). La teneur en flavanols est indiquée de la teneur relative la plus élevée à la teneur relative la plus faible, la teneur la plus élevée étant fixée à 100 % (Mexique : 100 % ; Inde : 13 % ; Mexique : 8 % ; Inde : 7 % ; Chine : 6 % ; Chine : 2 %) (Mullen, 2013). Ces données montrent que les coques de café provenant de fruits cultivés dans des conditions différentes ont des profils différents, et que certaines seront donc plus utiles comme sources de molécules fonctionnelles à ajouter aux produits alimentaires. Il s'agit donc de sources importantes de molécules potentiellement utiles et présentant une valeur économique pour les pays producteurs de café qui ne sont pas utilisées actuellement.

Le processus de récupération des composés phénoliques à partir de la coque de café, de l'enveloppe, de la peau argentée et du café usagé, ainsi que leurs activités antioxydantes respectives, ont été étudiés par (Murthy PS, 2012). Le rendement des conserves était le plus élevé dans le cas des peaux argentées (25 %), suivies des déchets (19 %) et des enveloppes (17 %), lorsqu'elles étaient prétraitées avec de la viscozyme. L'acide chlorogénique était le principal composant récupéré. Les conserves bioactives préparées à partir des sous-produits du café possédaient une activité antioxydante de 65 à 70 % et contenaient des fibres alimentaires totales de l'ordre de 40 à 80 %. Les proportions de fibres solubles et insolubles du sous-produit du café se situaient entre 16-35% et 18-64%, respectivement. L'activité antioxydante des fibres du sous-produit du café était analogue à celle des fruits et légumes frais très répandus.

**Tableau 05** : Composés phénoliques obtenus à partir de sous-produits du café (Murthy PS, 2012)

Sous-produits	Composés phénoliques	Niveaux
Sous-produits de café	Acide chlorogénique	2,3 – 3,0 %
Le café passé	Acide chlorogénique	16 mg d'équivalents acide gallique /g

(Andrade KS, 2012) a présenté une étude décrivant la composition chimique et l'activité antioxydante du marc de café usé et des extraits de la coque de café obtenus par extraction par fluide supercritique (EFS) au CO<sub>2</sub> et avec du CO<sub>2</sub> et un cosolvant (méthodes à haute pression). Des méthodes à basse pression, telles que les ultrasons et le soxhlet avec différents solvants organiques, ont également été appliquées pour obtenir les extraits. Les extraits obtenus par extraction à basse pression avec de l'éthanol ont montré les meilleurs résultats pour le rendement global de l'extraction par rapport aux résultats de l'extraction par fluide supercritique. Le potentiel antioxydant a été évalué par la méthode DPPH, la méthode ABTS et la méthode Folin-Ciocalteu. L'activité antioxydante la plus élevée a été présentée par les extraits de la coque de café obtenus par extraction à basse pression. Les principaux composés des extraits par EFS des coques de café étaient la caféine et l'acide chlorogénique, tels qu'identifiés par chromatographie liquide haute performance.

(Mullen, 2013) ont étudié la composition de l'enveloppe des fruits du caféier. Dans cette étude, les auteurs ont analysé le profil des composés polyphénoliques et hydroxycinnamates contenus dans six enveloppes de café cultivées dans trois pays différents (Chine, Inde et Mexique). La variation des profils quantitatifs et qualitatifs des échantillons de balles était importante. Les coques de robusta de l'Inde avaient la teneur totale en polyphénols la plus élevée, soit 553,1 µg/g, principalement en raison du niveau élevé de procyanidine A de type flavan-3-ol. L'échantillon d'arabica du Mexique présentait le taux le plus élevé de flavonols, soit 260,6 µg/g, mais seulement 114,6 µg/g de flavan-3-ols. Tous les échantillons d'écales contenaient de faibles niveaux d'acide chlorogénique et de caféine

(Benitez, 2019) ont comparé la teneur en phénols des flocons et de la farine de la parche de café. Les polyphénols libres et liés ont été extraits par la méthode décrite (Aguilera, 2015). La teneur des deux fractions extraites de polyphénols libres et liés a été analysée par

colorimétrie par la méthode de Folin-Ciocalteu. La teneur en polyphénols totaux (CTP) à été obtenue par la somme des deux fractions.

La teneur en composés phénoliques totaux (CPT) des échantillons de parches variait de 1,2 à 3,1 mg . g<sup>-1</sup>EAG, la farine de parche étant l'échantillon ayant la teneur la plus élevée en composés phénoliques. Cette teneur était inférieure à celle des autres sous-produits du café, tels que le marc de café usé (4,6-28,0 mg . g<sup>-1</sup>EAG) (Bravo, 2013 ; Mussatto, 2011) ou la peau argentée (8,7-35,0 mg . g<sup>-1</sup>EAG) (Costa, 2018; (Narita, 2014) .

Les auteurs ont conclu que le broyage augmentait la teneur en composés phénoliques en raison de la surface de contact plus élevée de la farine qui améliore l'extractabilité des composés phénoliques. D'autre part, le résidu insoluble dans l'eau de la farine de parche a montré un contenu phénolique inférieur à celui de la farine, puisque les polyphénols ont été solubilisés dans le milieu d'extraction aqueux, ce qui a diminué leur niveau dans cet échantillon. Les composés phénoliques libres constituaient la principale fraction de ces composés dans les échantillons de parche de café, représentant entre 61 et 83 % du CPT. Les polyphénols liés étaient présents en grande quantité, mais ils étaient visibles car ils pouvaient être liés de manière bivalente à des macromolécules telles que des composants de la paroi cellulaire. Cette fraction favoriserait un environnement antioxydant qui pourrait assurer une protection de la santé lors de son passage dans le tractus intestinal . (Saura-Calixto, 2011)

Cette étude propose de déterminer la composition de l'humidité, des graisses, des fibres alimentaires, des hydrates de carbone, des protéines, de la teneur en cellulose, de l'hémicellulose, de la lignine, des cendres totales, des matières extractives et de l'activité antioxydante des résidus agro-industriels de la transformation sèche du café. Une caractérisation chimique complète de la parche de *Coffea arabica* provenant de la transformation du café sec a été réalisée dans le cadre de cette étude. Les résidus ont un potentiel antioxydant intéressant, qui ouvre des possibilités de réutilisation (Caroline Corrêa de Souza Coelho, 2018) . Les activités antioxydantes des extraits en termes de piégeage des radicaux DPPH et ABTS sont présentées dans le tableau :

**Tableau 06 :** Potentiel antioxydant des résidus solides de la transformation du café (Caroline Corrêa de Souza Coelho, 2018).

Potentiel d'antioxydants	Composition
DPPH ( $\mu\text{mol TE/g}$ matière sèche)	$21,21 \pm 0,94$
ABTS ( $\mu\text{mol Trolox/g}$ matière sèche)	$97,61 \pm 6,89$

(Benitez, 2019) ont mesuré la capacité antioxydante globale des flocons et de la farine de la parche de café par un essai direct et indirect ABTS<sup>+</sup>. L'ABTS<sup>+</sup> direct a été évalué dans l'échantillon original et l'ABTS<sup>+</sup> indirect dans les extraits des phénols libres et des phénols liés. Les résultats montrés que la capacité antioxydante directe était significativement ( $p < 0,05$ ) plus élevée pour tous les échantillons étudiés que la capacité indirecte. Les flocons de parche ont montré la capacité antioxydante directe la plus élevée, le broyage produisant une diminution de celle-ci. Par rapport à la capacité antioxydante indirecte mesurée dans les extraits phénoliques, la farine présentait la capacité la plus élevée, probablement en raison de la plus grande extractibilité des composés phénoliques. Cependant, la capacité antioxydante directe et indirecte a subi une réduction après l'extraction aqueuse en raison de la perte de composés phénoliques.

## 12- Autres utilisations:

Les coques de café ont été utilisées par (Isaac, 2007) comme paillis pour lutter contre les mauvaises herbes (infestations de *Commelina diffusa* Burm.) dans les bananes (*Musa spp.*) cultivées. Les paillis non vivants sont évalués (paillis de banane et coques de café), ainsi qu'un paillis en plastique transparent, étaient les meilleures alternatives de gestion des mauvaises herbes, offrant les niveaux de contrôle les plus élevés. Les résultats obtenus dans cette étude indiquent que l'utilisation de paillis de coques de café est une alternative intéressante pour une production durable sans pesticides.

D'après (Stintzing, 2004), les anthocyanes sont des composés flavoniques responsables de la coloration rouge/bleue de nombreux fruits et fleurs. La caractérisation des anthocyanes de les enveloppes de café a été étudiée par (Elba, 2017). Le cyanidine 3-rutinoside a été carbonisé en tant qu'anthocyanine dominante dans les coques de café fraîches

et son quantification a recommandé que les coques de café fraîches soient un bon candidat comme source de pigments. Les anthocyanes du café auraient de multiples effets biologiques (Murthy P. M., 2012).

De même, (Prata, 2007) ont étudié le potentiel des coques de café fraîches comme sources d'anthocyanines pour des applications comme colorants alimentaires naturels. L'extraction des pigments a été réalisée par étapes successives, en utilisant une solution de méthanol acidifié (HCl) comme agent d'extraction. Le cyanidine 3-rutinoside a été caractérisé comme l'anthocyanine dominante dans les coques de café fraîches, et sa quantification a indiqué que les coques de café fraîches peuvent être considérées comme une source abondante de ce colorant.

L'intérêt récent pour les matériaux respectueux de l'environnement a conduit à l'utilisation de sous-produits agricoles comme matière première pour la production de panneaux de particules. Les coques et les enveloppes de café, qui sont des résidus du traitement du café, contiennent une grande quantité de cellulose et d'hémicellulose qui les rendent presque comparables au bois (Murthy2012).

(Bekalo, 2010) ont étudié l'utilisation des coques de café (CC) pour le remplacement partiel du bois (jusqu'à 50%) dans la production de panneaux de particules (contrplaque en parche). Le panneau de bois CC s'est révélé très prometteur pour une utilisation dans les produits de panneaux structurels et non structurels, grâce à ses propriétés supérieures de flexion et d'adhérence interne. L'étude a indiqué qu'il est possible de remplacer jusqu'à 50 % du bois par des CC dans la production de panneaux de particules.

D'un autre côté, (Acchar, 2013) ont mené des recherches sur la caractérisation thermique et la diffraction aux rayons X des cendres de la parche de café et leur utilisation possible dans l'industrie céramique. Les cendres ont été caractérisées et ajoutés à un mélange d'argile commercial. L'ajout, a eu un effet positif sur la résistance du matériau argileux et son utilisation dans un matériau à base d'argile a été jugée possible.

Dans l'étude de (Mérida, 2019), la parche de café a été suggéré comme additif antifongique avec des utilisations potentielles pour l'alimentation. Après application de l'extrait de parche de café (*C. arabica var. Costa Rica*) dans une dispersion de gomme gellane, les films résultants ont montré une inhibition de la croissance contre *Fusarium sp.*, *C. gloeosporioides*, et *F. verticillioides*. L'activité antifongique n'est pas seulement liée aux composés phénoliques antioxydants, mais aussi aux alcaloïdes, comme la caféine. La

présence de caféine et de composés phénoliques dans les films a permis d'acquérir des propriétés antifongiques naturelles.

#### **VI- Limites d'utilisations :**

Les coques et la pulpe du café sont riches en nature organique et en nutriments, elles contiennent également des composés tels que la caféine, les tanins et les polyphénols (Franca, 2009). Ces composés se trouvent dans les coques de café, à des niveaux approximatifs de 1 et 2,3% pour les espèces d'Arabica et de Robusta, respectivement (Clifford, 1991).

Par conséquent, ces résidus solides organiques présentent une nature toxique, ce qui non seulement ajoute un problème de la pollution de l'environnement, mais limite également son utilisation comme alimentation animale (Pandey A. S., 2000).

La caféine est un alcaloïde purique végétal (1,3,7 triméthylxanthine) que l'on trouve dans le café, le thé et le cacao (Nonthakaew, 2015). C'est la principale substance à laquelle on attribue l'effet stimulant du café (Franca, 2009).

Bien que la caféine présente un goût quelque peu amer, affectant ainsi l'appétence, les principales limitations de cet alcaloïde pour l'alimentation animale sont liées à ses effets physiologiques sur le système nerveux central (Bressani, 1982). (Mazzafera, 2002). pense également que la présence de tanins et de caféine diminue l'acceptabilité et l'appétence de la coque par les animaux.

(Barcelos, 2001) et ses collaborateurs ont évalué les niveaux de caféine, de tanins, de lignine et de silice dans les coques de café traitées par voie sèche et humide, pour les cafés Arabica brésiliens, var. *Catuai*, *Rubi*, et *Mundo Novo*. Il a été conclu qu'un stockage de 12 mois améliorerait la qualité des enveloppes de café. Toutefois, l'augmentation de la teneur en caféine a été considérée comme un facteur limitant l'utilisation de ce résidu dans l'alimentation animale.

La caféine étant un antagoniste compétitif des récepteurs à l'adénosine, ce qui explique la plus part de ces effets physiologiques sur le système nerveux. L'adénosine agit comme un dépresseur, et étant similaire à la molécule de caféine, elle peut être remplacée par l'alcaloïde. Par conséquent, l'action de la caféine en tant que médicament résulte d'un effet indirect, ce qui peut expliquer pourquoi plusieurs études montrent que l'ingestion de caféine peut restaurer les performances mais pas les améliorer (Mazzafera, 2002).

D'après (Benazoli, 2019), l'empoisonnement à la caféine a été décrit chez plusieurs espèces animales et humaines et est généralement associé à l'ingestion accidentelle et/ou intentionnelle de produits contenant de la caféine. Chez les chevaux, il existe peu de rapports dans la littérature sur l'empoisonnement au café, et la plupart des animaux présentent des signes cliniques d'excitabilité, de tremblements musculaires involontaires et de mouvements de mastication.

Une étude qui a été faite par le même chercheur a basé sur la description des aspects cliniques et épidémiologiques de l'intoxication aux coques de café (*Coffea canephora*) chez les chevaux du nord de l'Espírito Santo, au Brésil. Il a été rapporté que lorsque les chevaux sont placés dans des stalles avec des coques de café, ils ont tendance à manger les coques spontanément, ce qui entraîne une intoxication. Les signes cliniques observés dans cette étude étaient similaires à ceux décrits chez les chevaux intoxiqués expérimentalement par la plante. Les effets neurologiques observés étaient dus à l'action de la caféine en tant qu'antagoniste de l'adénosine. Les signes cliniques neurologiques observés dans ces cas étaient non spécifiques, et d'autres troubles du système nerveux central, tels que la rage et la leucoencéphalomalacie, doivent être pris en compte dans le diagnostic différentiel de cette intoxication. Les coques de café ne doivent pas être utilisées comme litière pour les chevaux, car elles peuvent provoquer l'empoisonnement et la mort des animaux en raison des effets excitateurs de la caféine, qui peuvent entraîner des chutes spontanées et des traumatismes graves.

Antérieurement, la recherche de (Delfiol, 2012) à viser si la consommation spontanée de cosses de café par les chevaux est capable de provoquer des signes cliniques d'intoxication. Il est conclu que les cosses de café sont toxiques pour les chevaux et ne doivent pas être utilisées comme litière ou être fournies dans l'alimentation des chevaux ; en plus, bien qu'une dose létale pour les chevaux ne soit pas décrite dans la littérature, il est probable qu'une consommation excessive et continue de cosses de café pourrait entraîner la mort des animaux en raison de graves modifications cardio-circulatoires et de déséquilibres électrolytiques.

En outre, la caféine provoque une mortalité embryonnaire chez les poules à des niveaux de 0,05 et 0,1 %. Celles nourries avec le taux le plus élevé ont produit un taux de mortalité de 38,2 % (Ax, 1947).

De plus, les tanins sont connus pour conférer une astringence aux denrées alimentaires et aux protéines complexes, ce qui affecte la digestibilité des aliments et diminue l'utilisation de l'azote par les animaux. De même, on rapporte qu'ils nuisent à la digestibilité des protéines

ainsi qu'à leur assimilation, soit par l'interaction du tanin avec les protéines alimentaires, soit par l'inhibition des protéases digestives (Bravo, 1998). Selon (Teixeira J. , 1992), les tanins vont réagir avec les protéines dans le système digestif des ruminants, affectant ainsi la capacité à digérer la cellulose, les protéines et la matière sèche.

De même, (Amarowics, 2007) a également souligné que les tanins sont définis comme des anti-nutriments d'origine végétale, car ils peuvent précipiter les protéines, inhiber les enzymes digestives et réduire l'utilisation de vitamines et de minéraux.

En effet, les cosses de café ainsi que la pulpe peuvent être utilisée pour nourrir les animaux. La caféine, qui diminue la palatabilité et l'acceptation de l'enveloppe et de la pulpe par les animaux, peut être considérablement réduite par les micro-organismes permettant la substitution partielle des traditionnels aliments pour animaux, tels que les céréales. Bien que certains animaux tolèrent des quantités élevées de caféine comme les bouvillons, d'autres (les chevaux par exemple) sont plus sensibles et pourraient bénéficier du traitement microbien. Malgré ce potentiel prometteur, peu de travaux ont été réalisés avec des micro-organismes spécialement ou spécifiquement sélectionnés pour dégrader la caféine (Mazzafera, 2002).

En ce qui concerne les tanins, qui sont également responsables de la faible appétence des coques / pulpes de café, les informations sont encore plus rares. Étant donné que la cosse et la pulpe de café sont riches en d'autres composants organiques, principalement des glucides et des protéines présentes dans le mésocarpe des fruits mûrs, le processus microbien doit être efficace et suffisamment rapide pour éviter la dégradation de ces composés. L'adaptation d'expériences de laboratoire de micro-échelle à plus grande échelle pourrait montrer la viabilité de cette alternative (Mazzafera, 2002).

## **V- Conclusion :**

Le café est considéré comme un produit de base se classant en deuxième position après le pétrole en termes de devises (généralement le dollar américain) échangées dans le monde entier (Illy, 2002). La production de café représente également une production annuelle moyenne de plus de 2,5 millions de tonnes de résidus solides, provenant de l'industrie du café soluble y compris les coques de café. Cette énorme quantité de résidus englobe la génération annuelle de problèmes environnementaux et agricoles.

La société moderne et écologique attache une grande importance à la réduction des déchets, il est donc logique de ne pas éliminer les sous-produits de la production de café et de les intégrer dans la chaîne de valorisation (Pereira, 2020).

À cet égard, plusieurs utilisations alternatives de ces résidus solides ont été proposées dans la littérature. En ce qui concerne les coques de café, la majorité des recherches se sont concentrées sur son utilisation comme complément dans l'alimentation animale. Des études *in vivo* ont été menées sur une grande variété de bétail (bovins, porcs, moutons et poulets). Cependant, la conclusion générale est que l'utilisation de ce résidu pour l'alimentation animale est assez limitée en raison de la présence de facteurs anti-nutritionnels tels que la caféine et les tanins.

En outre, un grand nombre d'études a été mené pour évaluer l'utilisation des enveloppes de café en tant qu'ensilage, adsorbants ou précurseurs pour la préparation d'adsorbants, biocarburants, substrats pour la croissance des champignons et compostage. Ils ont été également utilisés dans la production de biogaz, la production de bioéthanol, et dans le processus de fermentation pour la fabrication d'une diversité de produits. De plus, les coques de café ont été utilisées comme source d'anthocyanines, de fibres alimentaires ou comme paillis pour lutter contre les mauvaises herbes.

D'autres études sont encore nécessaires pour enrichir nos connaissances sur les sous-produits des industries car leurs valorisations dans différents domaines à savoir cosmétiques agroalimentaires ou pharmaceutiques représentent un atout majeur pour l'économie mondiale et surtout pour préserver notre environnement.

#### IV- Références Bibliographiques:

- Acchar, W. D. (2013). Thermal analysis and X-ray diffraction of untreated coffee's husk ash reject and its potential use in ceramics. *Journal Therm Anal Calorim*, 111, 1331-1334.
- Adams MR, D. J. (1987). Waste products. In: Clarke RJ, Macrae R, editors. *Coffee technology*. New York: Elsevier Applied Science Publishers Ltd, 257-91.
- Aguilera, Y. H.-H.-P.-C. (2015). Impact of Melatonin Enrichment during Germination of Legumes on Bioactive Compounds and Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(36), 7967-7974.
- Aguilera, Y. R.-H.-C. (2019). Response surface methodology to optimise the heat-assisted aqueous extraction of phenolic compounds from coffee parchment and their comprehensive analysis. *Food et Function* .
- Ahalya, N. K. (2010). Removal of hexavalent chromium using coffee husk. *Int J Environ Pollut*, 43, 106-116.
- Ahmad, M. R. (2011). Equilibrium, kinetics and thermodynamic of Remazol Brilliant Orange 3R dye adsorption on coffee husk-based activated carbon. *Chemical Engineering Journal*, 170, 154-161.
- Alves, R. R. (2017). State of the art in coffee processing by-products.
- Amarowics, R. (2007). Tannins: the new natural antioxidants? *Inter science*, 5549-551.
- Andrade KS, G. R.-d.-V. (2012). Supercritical fluid extraction from spent coffee grounds and coffee husks: antioxidant activity and effect of operational variables on extract composition. *Planta* 88, 544-52.
- Appels, L. B. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 755-781.
- Arrizon, J. M. (2012). Bioethanol and Xylitol Production from Different Lignocellulosic Hydrolysates by Sequential Fermentation. *J. Food Process Eng.* 35, 437-454.
- Ax, R. L. (1947). Increased embryonic loss in chickens from 0.05% dietary caffeine.
- Azam, S. H. (2004). Prooxidant property of green tea polyphenols epicatechin and epigallocatechin-3-gallate: implications for anticancer properties. *Toxicology in Vitro*, 18(5), 555-561.
- Baquero, M. G.-G.-A. (2003). Activated carbons by pyrolysis of coffee bean husks in presence of phosphoric acid. *Anal and Applied Pyrolysis*, 70, 779-784.
- Barcelos, A. F. (2001). Estimativa das frações dos carboidratos, da casca e polpa desidratada de café (*Coffea arabica* L. ) armazenadas em diferentes períodos. *Revista brasileira de Zootecnia*, 30, 1566-1571.

- Battestin, V. M. (2007). Tannase production by *Paecilomyces variotii*. *Bioresour. Technol.* 98, 1832–1837.
- Battista, F. F. (2016). Optimization of biogas production from coffee production waste. *Bioresource Technology*, 200, 884–890.
- Bekalo, S. R. (2010). Fibers of coffee husk and hulls for the production of particleboard. *Mater Struct*, 43, 1049-1060.
- Benazoli, A. G. (2019). Equine poisoning by coffee husks ( *Coffea Canephora*) in northern Espirinto Santo, Brazil. *Acta Scientiae Veterinariae Vol 47*.
- Benitez, V. R.-H.-C. (2019). Coffee parchment as a new dietary fiber ingredient: Functional and physiological characterization. *Food Research International*,122, 105-113.
- Bhoite, R. N. (2013). Statistical optimization of bioprocess parameters for enhanced Gallic acid production from coffee pulp tannins by *Penicillium verrucosum* Preparative *Biochemistry and Biotechnology*, 43(4), 350–363.
- Bonilla-Hermosa, V. D. (2014). Utilization of coffee by-products obtained from semi-washed process for production of value-added compounds. *Bioresour. Technol.* 166, 142–150.
- Bravo, J. M. (2013). Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee. *Food Research International*, 50(2), 610–616.
- Bravo, L. (1998). Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. . *Nutr. Rev*, 56, 317-333.
- Bressani, R. (1982). *Coffea arabica*. In: *Les aliments du bétail sous les tropiques*. Division de Production et Santé Animale.
- Caroline Corrêa de Souza Coelho, E. F.-S. (2018). A study on the composition and antioxidant potential from coffee parchment residue. *Perspectivas Para O Avanço Da Ciencia E Tecnologia De Alimentos* .
- Chen, J. e. (2005). Chemical modification of *Sargassum* sp. for prevention of organic leaching and enhancement of uptake during metal biosorption, . *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 44, 9931-9942.
- Choi, I. W. (2012). Conversion of coffee residue waste into bio-ethanol with using popping pretreatment. *Bioresour. Technol.* 125, 132–137.
- ChulLee. (2000). Antioxidant ability of caffeine and its metabolites based on the study of oxygen radical absorbing capacity and inhibition of LDL peroxidation. vol 295, 141-154.
- Clifford, R.-M. (1991). Coffee biotechnology and quality: Proceeding of the 3rd international seminar on biotechnology in the coffee agro-industry. *Plant sciences*.

- Costa, A. S. (2018). Nutritional, chemical and antioxidant/pro-oxidant profiles of silverskin, a coffee roasting by-product. *Food Chemistry*, 267, 28–35.
- Couto Filho, C. S. (2007). Qualidade da silagem de resíduo de manga com diferentes aditivos. *Ciência e Agrotecnologia*, 31, 1537-1544.
- Da Silva, M. C. (2012). Enrichment of *Pleurotus ostreatus* mushrooms with selenium in coffee husks. *Food Chemistry*, 131(2), 558–563.
- Dardick, C. &. (2014). Evolution of the fruit endocarp: molecular mechanisms underlying adaptations in seed protection and dispersal strategies. *Frontiers in Plant Science*, 5.
- DE Oliveira, J. D. (2013). Characterization and mapping of waste from coffee and eucalyptus production in Brazil for thermochemical conversion of energy via gasification. *Renew. Sust. Energy Rev.*21, 52-58.
- Deborah, M. W. (2015). Biochemistry, Germination and Microflora Associated with *Coffea arabica* and *Coffea canephora* Green Coffee Beans. *Food Science and Nutrition*.
- Delfiol, D. O.-F. (2012). Equine poisoning by coffee husks (*coffea arabica* L.). *BMC Veterinary Research*, 4.
- Devasagayam T.P.A., K. J. (1996). Caffeine as an antioxidant: inhibition of lipid peroxidation induced by reactive oxygen species T.P.A. 1282, 14-16.
- Didanna, H. (2014). A critical review on feed value of coffee waste for livestock feeding.
- Domínguez, A. M. (2007). Conventional and microwave induced pyrolysis of coffee hulls for the production of a hydrogen rich fuel gas. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*79(1-2), 128-135.
- Dorsey, B. M. (2017). Healthy components of coffee processing by-products. *Handbook of Coffee Processing By-Products*, 27–62.
- Echeverria, M. C, M. N. (2016). Valorisation of the Residues of Coffee Agro-industry: Perspectives and Limitations. *The Open Waste Management Journal* .
- Elba, C. A. (2017). Coffee Berry Processing By-Product Valorization: Coffee Parchment as a Potential Fiber Source to Enrich Bakery Goods. *Food Nutr Popul Health* Vol.1 No.2, 12.
- Esquivel, P. &. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*, 46(2), 488–495.
- Fan,L, A. P. (1999a). Proceedings of the 3rd International Conference on MushroomBiology and Mushroom Products and AMGA's. European Congress on Biotechnology, ECB9/266.
- Fan, L, A. P. (1999b). Proceedings of the 3rd International Conference on MushroomBiology and Mushroom Products and AMGA's. National Mushroom Industry Conference, 301–311.

- Fan, L. ., (2006). Effect of caffeine and tannins on cultivation and fructification of *Pleurotus* on coffee husks. *Brazilian Journal of Microbiology* (2006) 37, 420-424.
- Ferraz, F. D. (2009). Characterization of coffee husk biomass for biotechnological purposes. *New Biotechnology*, 25, 256.
- Figuerola, F. H. (2005). Fiber concentrates from apple pomace and citrus peel as potential sources of food fortification. *Food Chemistry*, 91, 395-8.
- Filho, E. P. (2000). Efeito da casca de café (*coffea arabica*, l.) no desempenho de novilhos mestiços de holandês-zebu na fase de recria . *Ciência e Agrotecnologia*, 24 , 225-232.
- Filho, E. R. (2004). Cinética da digestão ruminal da casca de café (*Coffea arabica*, L. ) em vacas holandesas . *Ciência e Agrotecnologia*, 28, 627-636.
- Franca AS, O. L. (2009). Coffee processing solid wastes: current uses and future perspectives. In: Ashworth GS, Azevedo P, editors. *Agricultural wastes*New York: Nova Publishers, 155–189.
- Furusho-Garcia, I. P. (2003). Body Components and Internal Organs of Texel x Bergamácia, Texel x Santa Inês and Pure Inês, Terminated in Confinement, with Coffee Hull as Part of the Diet. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32, 1992-1998.
- Ghosh, P, A. N. (2014). Processing and drying of coffee – a review. *Technol.*, vol. 3, 784-794.
- Gil, M. O. (2010). Mechanical durability and combustion characteristics of pellets from biomass blends. *Biores. Technol.* 101, 8859–8867.
- Girando, L. M.-P. (2012). Synthesis of Activated Carbon Mesoporous from Coffee Waste and Its Application in Adsorption Zinc and Mercury Ions from Aqueous Solution. *E-Journal of Chemistry*, 9(2), 938-948.
- Godefroy, J. A. e. (1973). Utilisation des parches de café et coques de cacao en bananeraie . *Fruits*-vol.28,4.
- Gouvea BM, T. C. (2009). Feasibility of ethanol production from coffee husks. *Biotechnol Letters*, 1315–1319.
- Gouvea, B. T. (2008). Feasibility of ethanol production from coffee husks. *Journal of Biotechnology*, 136, S269.
- Gulçin. (2011). Antioxydant of food constituent: an over view. *Arch toxical* 86, 345-391.
- Gurram, R. A.-S. ( 2016). Techni-cal possibilities of bioethanol production from coffee pulp: a renewable feedstock. *Clean Technol. Environ. Pol.* 18 (1), 269–278.
- Hecimovic, I. B.-C. (2011). Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting. *Food Chemistry*, 129, 991-1000.

Hikichi, S. E. (2017). Biotechnological applications of coffee processing by-products. *Handbook of Coffee Processing By-Products*, 221–244.

Huch, M. C. (2015). *Coffee: fermentation and Microbiota. Advances in Fermented Foods and Beverages*, 501-511.

Hughes, S. L.-N.-L.-H.-V. (2014). Sustainable conversion of coffee and other crop wastes biofuels and bioproducts using coupled biochemical and thermochemical processes in a multisage biorefinery concept . *Appl.Microbiol.Biotechnol.*98, 8413-8431.

Illy, E. (2002). The complexity of coffee. *Scientific American*, 86-91.

Insam, H. &. (2007). Chapter 3 Microbiology of the composting process. *Waste Management Series*, 25–48.

Ioannidou, O. Z. (2007). Agricultural residues as precursors for activated carbon production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 1966–2005.

Iriondo-DeHond A, A. G-G-B. (2018). Validation of coffee by-products as novel food ingredients . *Innovative Food Science & Emerging Technologies*.

Isaac, W. B. (2007). Effects of alternative weed management strategies on *Commelina diffusa* Burm. infestations in Fairtrade banana (*Musa spp.*) In St. Vincent and the Grenadines. *Crop Protection*, 26, 1219-1225.

Janissen, B. &. (2018). Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 110–117.

Jayachandra T, V. C. (2011). Utilization of phyto-toxic agro waste—coffee cherry husk through pretreatment by the ascomycetes fungi *Mycotypha* for biomethanation. *Energy Sustain-able Dev*15, 104–8.

Kida, K. I. (1994). Anaerobic digestion of coffee waste by two-phase methane fermentation with slurry-state liquefaction. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 77(3), 335–338.

Kim, S. &. (2004). Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass and Bioenergy*, 26(4), 361–375.

Klingel, T. K. (2020). A Review of Coffee By-Products Including Leaf, Flower, Cherry, Husk, Silver Skin, and Spent Grounds as Novel Foods within the European Union. *Foods*,9(5), 655.

Kolekar, V. K. (2008). Condensed and Hydrolysable Tannins as Antioxidants Influencing the Health. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 8(5), 436–447.

Leifa, F. P. (2001). Production of *Flammulina velutipes* on coffee husk and coffee spent-ground. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 44(2), 205–212.

- Leitao, R. P. (2005). Nutritive value of coffee (*Coffea arabica* L.) hulls treated with sodium hydroxide and/or urea supplemented with alfalfa (*Medicago sativa* L.) hay. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 35 , 31-36.
- Lima, J. S. (2014). Characterization of Tannase from *Penicillium montanense* URM 6286 under SSF Using Agroindustrial Wastes, and Application in the Clarification of Grape Juice (*Vitis vinifera*). *The Scientific World Journal* , 1-9.
- Limousy, L. J. (2017). Energy applications of coffee processing by-products. *Handbook of Coffee Processing By-Products*, 323–367.
- Magalhães, E. S. (2008). Casca de café associada à lenha como combustível para aquecimento indireto do ar de secagem (Coffee husks mixed with fire wood as a fuel for indirect heating of air used for drying ). *Revista Brasileira de Armazenamento; Especial Café* 10, 66-72.
- Matos, A. (2008). Tratamento de resíduos na pós-colheita do café (Residues disposal in coffee post-processing). *Pós-Colheita do Café (Coffee Post Processing)*, 161-201.
- Mazzafera, P. (2002). DEGRADATION OF CAFFEINE BY MICROORGANISMS AND POTENTIAL USE OF DECAFFEINATED COFFEE HUSKS AND PULP IN ANIMAL FEEDING . *Scientia Agricultura*, 815-821.
- Menéndez, J. A. (2007). Evidence of Self-Gasification during the Microwave-Induced Pyrolysis of Coffee Hulls. *Energy & Fuels*, 21(1), 373–378.
- Mérida, V. H. (2019). Valorisation of coffee parchment waste (*Coffea arabica*) as a source of caffeine and phenolic compounds in antifungal gellan films. *Sciencesdirects*, 167-174.
- Mishra, M. K. (2012). Recent advances in the genetic transformation of coffee. *Biotechnology Research International*, 1-17.
- Mondini, C. F. (2004). Enzymatic activity as a parameter for the characterization of the composting process. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(10), 1587–1594.
- Moure A, J. M. (2001). Natural antioxidants from residual sources. 72, 145-171.
- Mullen, W. N. (2013). Polyphenolic and hydroxy-cinnamate contents of whole coffee fruits from China, India, and Mexico. *J. Agric. Food Chem.* 61, 5298–5309.
- Murthy PS, N. M. (2012). Recovery of phenolic antioxidants and functional compounds from coffee industry by-products. *Food Bioprocess Technol* 5, 897–903.
- Murthy, M. P. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 15-58.
- Murthy, P. M. (2010). Production and Application of Xylanase from *Penicillium* sp. Utilizing Coffee By-products. *Food and Bioprocess Technology*, 5(3), 897-903.

Murthy, P. M. (2012). Extraction, characterization and bioactivity of anthocyanins from coffee. *European Journal of Biological Sciences*, 4(1), 13-19.

Murthy, P. N. (2009). Production of  $\alpha$ -amylase under solid-state fermentation utilizing coffee waste. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 84, 1246–1249.

Murthy, P. N. (2010). Production and Application of Xylanase from *Penicillium* sp. Utilizing Coffee By-products. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 657-664.

Murthy, P. S. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 45–58.

Mussatto, S. I. (2011). Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds. *Separation and Purification Technology*, 83(1), 173–179.

Mussatto, S. I. (2011). Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food Bioprocess Technol.* 661-672.

Narita, Y. &. (2014). Review on utilization and composition of coffee silver-skin. *Food Research International*, 6, 16–22.

Nascimento, C. A. (2003). The use of coffee hulls as a supplement for Nelore crossbred steers kept on a *Brachiaria decumbens*, Stapf pasture in the dry season of the year. *Ciência e Agrotecnologia*, 27, 1662-1674.

Neiva Júnior, A. S. (2007). Efeito de diferentes aditivos sobre os teores de proteína bruta, extrato etéreo e digestibilidade da silagem de maracujá. *Ciência e Agrotecnologia*, 31, 871-875.

Nonthakaew. (2015). Caffeine in foods and its antimicrobial activity.

Oliveira LS, F. A. (2008). Evaluation of untreated coffee husks as potential biosorbents for treatment of dye contaminated waters. *Hazardous Materials*, 155, 507-512.

Oliveira LS, O. W. (2008). Production of Adsorbents from Coffee Husks: Effect of Thermal/Chemical Treatments on the Adsorption of Heavy Metals. *22nd International Conference on Coffee Science*, 814, 4p.

Oliveira, L. F. (2008). Low-Cost Adsorbents from Agri-Food Wastes. In L. V. Greco and Marco N. Bruno. *Food Science and Technology: New Research*, 171-209.

Oliveira, L. F. (2008a). Coffee oil as a potential feedstock for biodiesel production. *Bioresource Technology*, 99, 3244-3250.

Oliveira, L. S. (2015). An Overview of the Potential Uses for Coffee Husks. *Coffee in Health and Disease Prevention*, 283–291.

Oliveira, V. D. (2001). Substituição do milho por casca de café em rações isoenergéticas para suínos em crescimento e terminação. *Ciência e Agrotecnologia*, 25, 424-436.

- Oliveira, V. D. (2002). Substituição do milho por casca de café em rações isoenergéticas para suínos em crescimento e terminação *Ciência e . Agrotecnologia*, 25, 424-436.
- Oliveira, W. F. (2008). Untreated coffee husks as biosorbents for the removal of heavy metals from aqueous solutions. *Hazardous Materials*, 152, 1073-1081.
- Olivera, A. S. (2009). Alternative uses for coffee husks-A solide waste from green coffee production. *Biological and Enviremental Engineering*, 6627, 31270-901.
- Pandey, A. S. (2000). Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, 74(1), 69–80.
- Pandey, A. S. (2000). Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal*, 6(2), 153–162.
- Parra, A. M. (2008). Utilização da casca de café na alimentação de suínos nas fases de crescimento e terminação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 433-442.
- Pereira, D. d. (2020). Chemical composition and health propreties of coffee and coffeee by-products. *Adv. Food Nutr. Rees*, 91, 65-96.
- Prata, E. O. (2007). Fresh coffee husks as potential sources of anthocyanins. *LWT- Food Science and Technology*, 40, 1555-1560.
- Rattan, S. P. (2015). A comprehensive review on utilization of wastewater from coffee processing. *Environ Sci Pollut Res*, 22, 6461-6472.
- Sabu, A. A. (2006). Tannase production by *Lactobacillus* sp. ASR-S1 under solid-state fermentation. *Process Biochemistry*, 41(3), 575–580.
- Saenger, M. H.U. (2001). Combustion of coffee husks. *Renewable Energy*, 23(1), 103–121.
- Sakwari, G. M. (2013). Personal exposure to dust and endotoxin in Robusta and Arabica coffee processing factories in Tanzania. *Annals of Occupational Hygiene*, 57, 173-183.
- Sampaio, A. D. (2013). Production, chemical characterization, and sensory profile of a novel spirit elaborated from spent coffee ground. *LWT - Food Sci. Tech-nol.* 54, 557–563.
- Saura-Calixto, F. (2011). Dietaryfiber as a carrier of dietary antioxidants: An essentialphysiological function. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(1), 43–49.
- Semen, S. M. (2017). Elemental composition of green coffee and its contribution to dietary intake. *Food Chemistry*, 215, 92-100.
- Shankaranand, V. S. (1994). Coffee husk: an inexpensive substrate for production of citric acid by *Aspergillus niger* in a solid-state fermentation system. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 10(2), 165–168.
- Shemekite, F. G.-B.-W. (2014). Coffee husk composting: An investigation of the process using molecular and non-molecular tools. *Waste Management*, 34(3), 642–652.

- Souza Faria, W. D.R. (2015). Transforma-tion of lignocellulosic waste of coffee into pellets for thermal power generation. *Coffee Sci.*11(1), 137-147.
- Souza, A. G. (2006). Casca de café em dietas para novilhas leiteiras: consumo, digestibilidade e desempenho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35, 921-927 .
- Souza, A. L. (2001). Casca de Café em Dietas de Vacas em Lactação: Consumo, Digestibilidade e Produção de Leite. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34,, 2496-2504.
- Souza, A. L. (2003). Valor nutritivo de silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpurem* Schum.) com diferentes níveis de casca de café . *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32, 828-833.
- Souza, A. L. (2004). Casca de café em dietas de carneiros: consumo e digestibilidade . *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33, 2170-2176.
- Souza, A. L. (2005). Casca de Café em Dietas de Vacas em Lactação: Consumo, Digestibilidade e Produção de Leite. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34, 2496-2504.
- Souza, G. R. (2006). Casca de café em dietas para vacas em lactação: balanço de compostos nitrogenados e síntese de proteína. *Revista Brasileira de Zootecnia*,35, 1860-1865.
- Srivastava, A. (2009). Characterization And Application Of Tannase Produced By *Aspergillus Niger* ITCC 6514.07 On Pomegranate Rind. *Brazilian Journal of Microbiology*, 40(4).
- Stintzing, E.C, Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*, 15(1), 19-38.
- Suarez, J. L. (2013). Coffee husk briquettes: a new renewable energy sourc. *Energy Sources* 25 (10), 961–967.
- Sukumara, S. A. (2015). A comprehensive techno-econom-ic analysis tool to validate long-term viability of emerging biorefining processes. *Clean Technol. Environ. Pol*, 1–14.
- Sun, S. Q. (2019). Preparation of coffee-shell activated carbon and its application for water vapor adsorption. *Renewable Energy*,142, 11-19.
- Teixeira, J. (1992). Nutrição de ruminantes. 267.
- Teixeira, R. C. (2007). Consumo, digestibilidade e desempenho de novilhas alimentadas com casca de café em substituição à silagem de milho . *Revista Brasileira de Zoociana*,36, 968-977.
- Tello, J. V. M. (2011). Extraction of caffeine from Robusta coffee (*Coffea canephora* var. Robusta) husks using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 59, 53–60.
- Tien, D. T. (2018). Experimental Results of Asorption of Ni (II) from Wastewater Using Coffee Husks Based Activated Carbon. *Vietnam journal of science and technology*, 56 (2c), 126-132.

Vargas-García, M. C.E. (2010). Microbial population dynamics and enzyme activities in composting processes with different starting materials. *Waste Management*, 30(5), 771–778.

Vilela, F. G. (2001). Uso da casca de café melosa em diferentes níveis na alimentação de novilhos confinados *Ciênc. Agrotec.*, 25 , 198-205.

Wilson, L. J. (2010). Coffee husks gasification using high temperature air/steam agent. *Fuel Processing Technology*, 91(10), 1330–1337.

Yashin, A. Y. (2013). Antioxidant and Antiradical Activity of Coffee. *Antioxidants*, 2(4), 230–245.

### الملخص

تعد القهوة من أكثر المشروبات استهلاكًا في العالم. رق القهوة هو منتج ثانوي لينيوس سليبوزي يتم إنتاجه أثناء عملية صنع القهوة أثناء عملية التقشير، ويتم إنتاج كميات كبيرة من الرق في البلدان المستهلكة للقهوة. لذلك، فإن إعادة استخدام الرق مهمة بالنسبة للبيئة والاقتصاد. في الآونة الأخيرة، كانت هناك بعض المحاولات لإعادة استخدام الرق للمواد البيولوجية وكمصدر للمغذيات لتخمير الحالة الصلبة. تم اقتراح الرق كمضاد للفطريات يمكن استخدامه لحفظ الطعام. وهكذا، تم اقتراح مقتطفات من الرق على شكل مكونات حيوية ذات نشاط مضاد للأكسدة. الغرض من هذه المراجعة هو تقديم نظرة عامة على الرق وقشور القهوة التي تحتوي عليه، وتركيبه الكيميائي، ونشاطه البيولوجي ومحاولات إعادة استخدامه.

**الكلمات المفتاحية:** قهوة، برش قهوة، ثمين، تقنيات حيوية، بيئة.

---

### Résumé

Le café est l'une des boissons les plus consommées dans le monde. La parche de café est un sous-produit ligno-cellulosique produit lors du procédé de fabrication du café pendant le processus de décortilage des grains de café, et de grandes quantités de parche sont produites dans les pays consommateurs de café. De ce fait, la réutilisation de la parche est importante pour l'environnement et l'économie. Récemment, il y a eu quelques tentatives de réutilisation de la parche pour les matières biologiques et comme source de nutriments pour la fermentation à l'état solide. La parche a été suggéré comme additif antifongique pouvant être utilisé pour la conservation des aliments. Ainsi, des extraits de parche ont également été suggérés comme biocomposants à activité antioxydante. Le but de cette revue est de fournir un aperçu de la parche et les enveloppes de café qui en contiennent, de sa composition chimique, de son activité biologique et des tentatives de réutilisation.

**Mots clés :** café, parche de café, valorisation, biotechnologies, environnement.

---

### Abstract

Coffee is one of the most consumed drinks in the world. Coffee parchment is lignocellulosic byproduct produced during coffee manufacturing process for the coffee bean husking process, and large amounts of parchment are produced in consumer countries of coffee. Therefore, the reuse of the parchment is important for the environment and the economy. Recently, there have been some attempts to reuse parchment for biological materials and as a source of nutrients for solid state fermentation. Parchment has been suggested as an antifungal additive that can be used for food preservation. Thus, parchment extracts have also been suggested as biocomponents with antioxidant activity. The purpose of this review is to provide an overview of the parchment and the coffee husks that contain it, its chemical composition, its biological activity and attempts to reuse it.

**Key words :** coffee, coffee parchment, valorisation, biotechnologies, environnement.