

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

Partie 1: SITUATION DE L'ETUDE

1.Cadre de la recherche	2
1.1. Société d'accueil <i>Bio.Es.Oil of Madagascar</i>	2
1.2. Objectifs de l'entreprise	2
1.3. Produits	3
1.4. Projet en-cours	3
1.5. Impacts environnementaux des activités	3
2.Contexte de l'étude.....	4
1.1. Justification du thème	4
1.2. Problématique	4
1.3. But et objectifs	5
1.4. Méthodologie déployée.....	5

Partie 2: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.Importance économique du café	7
1.1. Production mondiale	7
1.2. Cours mondiaux	7
1.3. Essor de la production du robusta en Afrique.....	8
1.4. Production et prix du café à Madagascar	8
2. <i>Coffea canephora</i>	9
2.1. Description botanique	9
2.2. Ecologie du cafier du robusta.....	12
2.3. Composants bioactifs des fèves du café.....	12
3.Technologie du café torréfié moulu	18
3.1. De la cerise à l'obtention du café vert.....	19
3.2. Torréfaction des graines.....	22
3.3. Mouture des graines	30
Conclusion partielle 1.....	31

Partie 3: MATERIELS ET METHODES

1. Zones d'intervention	32
1.1. Région Sud-Est de Madagascar	32
1.2. Partenaires de l'étude	32
2. Matériels biologiques	32
3. Mise en place d'un système d'optimisation de processus	33
3.1. Principe	33
3.2. Structure d'une optimisation	33
3.3. Optimisation du processus par la méthode de Six Sigma	34
3.4. Outils associés à la démarche d'optimisation	35
4. Méthode d'analyse de la qualité du café	38
4.1. Notion de la qualité dans la filière café	38
4.2. Méthode de contrôle de la norme du café	39
4.3. Méthode de contrôle de la qualité gustative	42
5. Application sur le processus de torréfaction	43
5.1. Matériel biologique	43
5.2. Enquêtes	43
5.3. Expérimentation	43
5.4. Evaluation sensorielle	48
Conclusion partielle 2	51

Partie 4: RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. Résultats des applications sur la torréfaction du café	52
1.1. Résultats de la phase de définition	52
1.2. Résultats de la phase de mesure	55
1.3. Résultats de la phase analyse	58
1.4. Résultats de la phase d'amélioration	61
1.5. Résultats de phase de maîtrise	65
2. Recommandations et perspectives d'avenir	72
2.1. Amélioration de la qualité au niveau de la matière première	72
2.2. Bonne pratique de torréfaction	74
2.3. Projet à long terme	74
Conclusion partielle 3	75
CONCLUSION GENERALE	76

GLOSSAIRE

Cerise : fruit frais ou sec du caféier.

Défauts : noms génériques attribués aux particules indésirables présentes dans les lots de café vert. Ils peuvent concerner les graines (attaquées par des insectes, brisées...) ou des matières étrangères (poussières, petits bois, cailloux...).

Coque : enveloppe externe regroupant la pulpe sèche et les pellicules extérieures.

Pulpe : couche extérieure charnue située directement sous la peau.

Parche : endocarpe sec du fruit du caféier, situé entre la pulpe et la pellicule argentée, membrane semblable à du papier.

Mucilage : désignation de la couche intermédiaire de tissus localisée entre la pulpe et la parche, et qui est essentiellement composée de mucilage de pectine et de pulpe.

Café parche : terme appliquée au café traité par voie humide résultant d'un dépulpage mais dans la parche n'est pas exempte.

Café : Le terme café désigne à la fois les fèves issues des cerises café et la boisson résultant de la préparation.

Café vert ou fève de café : Les termes « café vert » ou « café brut » désignent les graines ou fèves de café saines, issues des plantes du genre *Coffea*, dépourvues de leur parche et au moins une partie de leur pellicule argentée.

Café torréfié : La dénomination « café » est entièrement réservée au produit résultant de la torréfaction de café vert qui n'ait subi aucun retranchement de ses principes constituants.

Café torréfié moulu : On entend par « café moulu » le produit obtenu par mouture du café torréfié, introduit dès le broyage dans des emballages étanches.

Fève carbonisée : Fève noire terne, présentant une texture rappelant le charbon de bois, qui s'écrase aisément par pression des doigts pour se réduire en de fines particules.

Fève pâle : Fève jaune à brune, suffisamment torréfiée et dispose d'une consistance non friable.

Fèves sous-torréfiées : Fèves torréfiées présentant des irrégularités de coloration superficielle. Lorsqu'elles sont cassées, la face interne reste entièrement verte.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Arbre du caféier de robusta.....	9
Figure 2 : Feuille du caféier	10
Figure 3 : Fleur du caféier	10
Figure 4 : a) Cerises du café ; b) Coupe transversale de la cerise de caf	11
Figure 5 : Café vert de robusta	11
Figure 6 : Formules chimiques des sucres de graines de café vert	12
Figure 7 : Formules chimiques de l'asparagine et de l'acide glutamique	13
Figure 8 : Formules chimiques des acides gras du café vert	14
Figure 9 : Formules chimiques de quelques stérols rencontrés dans les graines de café vert..	14
Figure 10 : Formule chimique de l'acide chlorogénique	15
Figure 11 : Formules chimiques des dérivés d'acide chlorogénique	16
Figure 12 : Formules chimiques de la caféine, de la trigonelline, de la théophylline et de la théobromine.....	17
Figure 13 : Schéma récapitulatif de la transformation des cerises jusqu'à la tasse.....	18
Figure 14 : Résultats des différentes méthodes de cueillage des cerises de café	20
Figure 15 : Traitement par voie humide des graines de café	20
Figure 16 : Traitement par vois sèche des graines de café	21
Figure 17 : Usinage des graines du café vert	22
Figure 18 : Fonctionnement général d'un torréfacteur.....	23
Figure 19 : Courbe d'évolution de la teinte des graines au cours de la torréfaction	24
Figure 20 : Mécanisme de formation des produits d'Amadori	26
Figure 21 : Mécanisme de formation des produits de Heyns	27
Figure 22 : Enolisation 1-2 et 2-3 des composés de Amadori et de Heyns pour aboutir à la formation de mélanoïdines	27
Figure 23 : Formation des pyrazines lors de la dégradation de Strecker	28
Figure 24 : Schéma simplifié de la formation de composés aromatique issus de la trigonelline	29
Figure 25 : Voie de décomposition de l'acide chlorogénique lors de la torréfaction du café .	30
Figure 26 : Démarche structurée de DMAIC	34
Figure 27 : Diagramme d'Ishikawa ou méthode des 7M	37
Figure 28 : Dispositif de torréfaction	46
Figure 29 : Les trois cafés les plus prisés par la population enquêtée	52
Figure 30 : a) Répartition de la population suivant leur fréquence et b) raison de la consommation du café.....	53
Figure 31 : Cartographie du profil sensoriel d'un bon café selon la population enquêtée.....	53
Figure 32 : Cartographie du processus à optimiser	57
Figure 33 : Rendements de torréfaction du café.....	62
Figure 34 : Répartition du degré de torréfaction des graines	63
Figure 35 : Vitesse moyenne de rotation du cylindre pour chaque cycle de torréfaction	64
Figure 36 : Comportements des graines dans le cylindre a) à une faible vitesse ; b) à une vitesse moyenne ; c) à une vitesse élevée	64

Figure 37 : Représentation en ACP des résultats du Pivot profiles ® a) Graphique de cercle de corrélations ; b) Graphique des observations	66
Figure 38 : Appréciation globale des deux cafés	67
Figure 39 : Histogramme d'appréciation liée au sexe.....	68
Figure 40 : Histogramme des appréciations liées à l'âge.....	68
Figure 41 : Histogramme d'appréciation liée à la fréquence de consommation.....	69
Figure 42 : Histogramme d'appréciation liée à la zone de dégustation	69
Figure 43 : Cafetière à filtre	86
Figure 44 : Cafetière à piston	87
Figure 45 : Cafetière napolitaine.....	87
Figure 46 : Machine à expresso.....	88
Figure 47 : Table de contingence	102

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Variation de la teneur en sucrose selon les auteurs	12
Tableau 2 : Les différents types de torréfaction	23
Tableau 3 : Classement granulométrique des fèves	39
Tableau 4 : Dimension métrique des cribles	40
Tableau 5 : Echantillons d'évaluation pour chaque grade de café	40
Tableau 6 : Classification malagasy du café	40
Tableau 7 : Description des essais de torréfaction	47
Tableau 8 : Répartition par âge des sujets ayant participé aux tests de consommateurs	50
Tableau 9 : Chronogramme de GANTT.....	54
Tableau 10 : Humidité relative des graines de café expédiées à l'usine en janvier et février..	56
Tableau 11 : Défauts recensés dans 300 g d'échantillon de café vert.....	59
Tableau 12 : Formulaire Pivot Profile ®.....	91

LISTES DES ABREVIATIONS ET DES ACRONYMES

%: pour cent

°C : degré Celsius

AB: Agriculture Biologique

ACP : Analyse en Composantes Principales

AOC : Appellation d'Origine Contrôlée

Ar : ariary

Bio.Es.Oil : BIOlogical ESsential OIL of Madagascar

BP : besoin physiologique

CNCC : Comité National de Commercialisation du Café

g : gramme

h : heure

ha : hectare

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques

INSTAT : Institut National de la STATistique

ISO : International Standard Organization

kg : kilogramme

MD : moment de détente

MEAP: Ministère de l'Élevage, de l'Agriculture et de la Pêche

min : minute

ml : millilitre

mm : millimètre

OIC : Organization International of Coffee

ONG : Organisation Non Gouvernemental

OTA: Ochratoxine A

parche: parchemin

PP : Pivot profile

sac: 60 kilogramme

SCAA : Speciality Coffee Association of America

STABEX : Système de Stabilisation des Recettes d'Exportation

tr/min : tours par minute

INTRODUCTION GENERALE

Depuis la première découverte du café dans la consommation humaine, l'infusion s'était vite propulsée en une boisson considérablement prisée par les amateurs de la saveur complexe. Dès lors, il s'était ancré, de manière inaperçue, dans le régime alimentaire de toute la couche de population sociale du globe.

A l'heure actuelle, deux principaux cafés sont reconnus et échangés à travers le monde. Ils s'agissent de *Coffea arabica* apprécié pour sa finesse à la tasse et *Coffea canephora* réputé pour sa nature complexe.

La situation de Madagascar dans la ceinture équatoriale lui est tout à fait favorable à la culture du caféier, particulièrement en la variété du robusta. D'ailleurs, incontestée pour la rusticité de la plante et sa forte productivité, cette dernière se catapulte en un produit phare de l'économie nationale. Et elle demeure convoitée tant à l'étranger que par la population nationale pour sa force et ses caractères indéniables.

Pourtant, la valorisation de ce potentiel s'enchaîne dès la récolte de cerises jusqu'à sa mode de préparation à la tasse. Ce sujet fait d'ailleurs l'objet d'un véritable challenge entre les opérateurs de la filière pour se démarquer de la concurrence. Mais, au niveau des consommateurs finaux, la sélection du café est le résultat conjoint de sa qualité organoleptique à la tasse et de la valeur marchande du produit. C'est pourquoi, pour rester compétitif, chaque torréfacteur se doit d'œuvrer dans la recherche des conditions optimales pour dévoiler cet attrait du café afin de mieux répondre aux exigences évolutives de ces consommateurs.

Et c'est dans ce sens que ce présent ouvrage tend à définir, en premier lieu, l'étendu du travail à travers la situation de l'étude et une synthèse bibliographique. La mise en place d'un système d'optimisation du processus de torréfaction sera traitée en second lieu afin de garantir la qualité sensorielle du café torréfié. L'évaluation des résultats ainsi que la discussion qu'elle engage poursuivra l'étude. Et finalement, des recommandations et de nouvelles perspectives seront émises pour achever la rédaction du rapport.

Partie 1 :

SITUATION DE L'ETUDE

1. Cadre de la recherche

1.1. Société d'accueil *Bio.Es.Oil of Madagascar*

Depuis ces dernières décennies, la filière huiles essentielles constitue, pour Madagascar, l'une des principales sources de devise de l'île. En effet, la qualité des essences en provenance du pays se fait largement reconnaître, à l'échelle mondiale, de leurs vertus ainsi que de la particularité des espèces floristiques d'origine.

Pourtant, le volume d'exportation de ces produits aromatiques et médicinaux n'est pas encore conséquent sur le débouché international.

Conscients de ce sérieux potentiel, deux Ingénieurs sortant de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, de la mention des Industries Agricoles et Alimentaires décident de s'engager dans l'exploitation de ces espèces végétales. Ils fondèrent en 2009, la société *Bio.Es.Oil of Madagascar*, aménagée d'un siège social sis à *Amboditsiry* au lot II A 14 AN et de deux unités de distillation localisées dans la région d'*Analamanga*, à *Antsapandrano Ilafy* et *Anjepy*.

1.2. Objectifs de l'entreprise

Depuis leur devise, *l'homme est responsable de son bien-être*, les fondateurs sont entièrement persuadés que le développement social et économique du pays dépend entièrement de la volonté d'agir de l'humanité.

C'est pour cette raison qu'ils aspirent à

- exploiter de manière rationnelle et responsable les terres et l'environnement malagasy pour promouvoir un vrai développement ;
- contribuer à la croissance économique basée sur les ressources naturelles uniques et sur la transformation des produits naturels ;
- créer des emplois directs et indirects à partir des activités de partenariat avec les paysans producteurs, permettant ainsi de nourrir des familles et de développer les régions d'installation ;
- lancer des recherches et développer de nouvelles technologies ;
- apporter des devises par la vente des huiles essentielles à l'export pour le développement durable de Madagascar.

1.3. Produits

La production de l'entreprise se rapporte à la demande de la clientèle. Les huiles essentielles issues des poivres, des écorces de cannelle, des girofles, des gingembres et des ylangs originaires des régions Est et Sud-Est de Madagascar constituent les produits phares de la société tandis que celles dérivant de géranium, de tagètes, de ravintsare, de *citriodora* et d'*eucalyptus* des hautes terres, représentent les produits secondaires.

La quasi-totalité des matières premières pour la production provient exclusivement des paysans producteurs. La société a, de ce fait, réalisé des partenariats avec des groupements de producteurs ou association *via* des ONG locales. Des contrats de partenariat assurent la pérennité des approvisionnements. Un encadrement et une formation des groupements de producteurs, sous l'assistance des ONG, sont effectués pour l'essor de la production.

1.4. Projet en-cours

Afin d'élargir ses activités, l'entreprise se projette dans la conception d'une nouvelle branche de production (SEAPROMA) spécialisée dans le conditionnement et la distribution de produits de première nécessité pour la vente locale.

Il s'agit de créer des lignes de conditionnement de riz, de sucre, d'huile alimentaire et, de chaînes de fabrication de vinaigre aromatisé et de café torréfié moulu. L'étude du processus à adopter pour ce dernier produit fait d'ailleurs l'objet de cette présente étude.

1.5. Impacts environnementaux des activités

Respectueuse de l'environnement et soucieux des dégâts que peuvent engendrer les aléas climatiques, l'activité en soi de l'entreprise consiste en la protection de l'environnement par l'augmentation de la surface verte obtenue des plantes aromatiques. Chaque plant ainsi mis en culture contribue à la séquestration du carbone à moyen et long terme et concourt à la protection du sol contre l'érosion.

En outre, afin de contrebalancer les activités nécessitant une grande quantité d'énergie dérivant des bois de chauffe (nécessaire pour la distillation et la torréfaction), *Bio.Es.Oil* entretient des campagnes de reboisement sur une superficie totale de 20 ha dispersée dans les zones géographiques d'*Antsirabe* et d'*Ambohimanga*.

Et sur le plan social, les drêches et résidus végétaux obtenus de l'exploitation des matières premières représentent 3% du chiffre d'affaire de la société. Ils sont consacrés à la fertilisation des zones d'exploitation et des cultures environnementales de la population locale.

2. Contexte de l'étude

1.1. Justification du thème

Selon BAREL et JACQUET (1994), la saveur ainsi que les arômes du café sont nettement caractéristiques de son terroir de plantation d'origine. Pourtant, PERRIOT et FABIENNE (2006) ont rapporté qu'à part la région de leur provenance, le café doit ses traits organoleptiques à une multitude de facteurs tels que les pratiques culturelles et traitements post-récolte effectués aux graines, le mélange de différentes origines, la méthode de torréfaction et encore la méthode d'extraction à la tasse. Un changement au niveau de cette chaîne complexe peut altérer les caractères distinctifs du produit final.

Pour le café robusta de Madagascar, l'attribution de ses propriétés sensorielles n'est que le résultat succinct de la torréfaction des graines. En effet, l'expression aromatique de la boisson ne se développe que sous l'action des températures élevées auxquelles sont soumises les graines. D'ailleurs, les soins apportés à la préparation et à l'usage jouent un rôle déterminant sur les caractères finaux.

1.2. Problématique

Plusieurs travaux antérieurs ont soutenu que la torréfaction est parfaitement en mesure de façonner la qualité finale du café. Ce processus constitue sans doute la phase la plus importante dans la révélation de la qualité organoleptique de la boisson.

Par ailleurs, le profil de torréfaction reste typique pour chaque industriel, faisant ainsi leur plus grande renommée. Et à Madagascar, ce savoir-faire se traduit par l'apport d'un café corsé, légèrement amer, nettement intensifié en odeur. C'est dans ce contexte de positionnement que la société *Bio.Es.Oil of Madagascar*, à travers sa branche SEAPROMA, se propose de produire un café torréfié moulu compétitif, adapté aux impératifs des consommateurs locaux.

1.3. But et objectifs

La présente étude vise alors à rechercher les conditions optimales de la torréfaction pour améliorer la qualité sensorielle perçue à la tasse.

Pour y parvenir, il est inévitable de (d')

- connaître le matériel végétal et comprendre les mécanismes réactionnels des précurseurs qu'il renferme pour développer les arômes ;
- identifier les facteurs compromettant la qualité et opérer sur le processus concerné par l'amélioration ;
- proposer un système de torréfaction adéquat pour maîtriser la qualité sensorielle du café.

1.4. Méthodologie déployée

Une approche globale de la filière, effectuée à travers une rigoureuse documentation et un sondage d'opinion des clients cibles amène en premier lieu à situer l'étude et à définir les objectifs à atteindre. Des entretiens menés auprès des personnes ressources ont complété les données.

Par la suite, une observation active faite sur les lieux de torréfaction a permis d'examiner les conditions existantes ainsi que les difficultés rencontrées au cours de la réalisation du processus. Emanant de ces constats, une expérimentation a fait l'objet de suggestion de conditions optimales de torréfaction du café. Et pour rationaliser tous les essais, un système de contrôle de la qualité du café marchand a été instauré pour un approvisionnement constant en café marchand de qualité avérée.

A l'issue de toutes les applications, des recommandations ainsi que des perspectives ont été fixées.

Finalement, les résultats approuvés ont été compilés moyennant des livrables scientifiques puis soutenus devant le membre de jury formé des enseignants chercheurs de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques et du responsable de la société *Bio.Es.Oil* avant sa publication.

Partie 2 :

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Importance économique du café

La culture du café se converge dans toute la zone intertropicale humide du globe mais dispersée selon les exigences écologiques de chaque plante. Le café arabica est essentiellement produit en Amérique (représente jusqu'à 70% de la production mondiale) tandis que le robusta se rencontre majoritairement en Afrique.

1.1. Production mondiale

Depuis 1990, la production mondiale du café s'était considérablement accrue de plus de 50% dans toutes les régions à l'exception de l'Afrique (JEGOU, 2006). En effet, entre les années 2015 et 2016, la production mondiale du café avait été évaluée à 6 700 000 tonnes (RANDRIANARISOA, 2016). Une progression spectaculaire a été remarquée en Asie, le Vietnam est passé d'une faible production de café à 27 millions de sacs de robusta soit l'équivalence de 18,82% de la production mondiale depuis plus de vingt années consécutives (de 2004 à 2016).

Toutefois, l'offre mondiale du café reste instable d'une année à l'autre par cause de la variation des périodes de récolte. Le Brésil reste tout de même le premier producteur de café au niveau international avec plus de 42 millions de sacs d'arabica durant les années 2015 et 2016. Quant à la demande, les pays du Nord dont les Etats-Unis et l'Europe figurent parmi les plus grands importateurs mondiaux.

1.2. Cours mondiaux

En termes de valeur d'échange, le cours du café arabica est fixé par la bourse de New York tandis que ce du robusta par la bourse de Londres.

Le prix mondial du café a été marqué par une tendance à la baisse depuis l'année 2011 jusqu'en 2016. Pour le robusta, le prix d'une tonne a été estimé à 2600 dollars en 2011 contre 1600 dollars en 2016. Concernant l'arabica, cette évolution ponctuait de 310 cents par lb en 2011 jusqu'à 120 cent par lb en 2016.

La volatilité accrue des prix reste plus tranchante durant l'année 2014 et a émergé un effritement des cours à la bourse. La fluctuation de l'offre constitue la raison principale de cette flambée. En effet, la sécheresse inédite qui s'était manifestée au Brésil, aggravée d'une épidémie de rouille sévissant l'Amérique centrale depuis 2011 et le prolongement de la durée du

phénomène El Niño dans les grands pays producteurs (Vietnam et Indonésie) ont réduit la force de récolte en ces périodes (JEGOU, 2006). Ce phénomène El Niño se traduit par des imprévisibles précipitations auxquelles s'ajoutent des phénomènes météorologiques extrêmes, bouleversant ainsi les stocks de café sur le marché de New York et de Londres.

1.3. Essor de la production du robusta en Afrique

Les dégâts engendrés par la rouille orangée du caféier de *C.arabica* ainsi que les difficultés de son acclimatation dans les régions africaines de basse altitude ont induit aux premières introductions d'autres espèces du genre *Coffea* en Afrique entre 1880 et 1900 (CHARRIER, 1982). Il s'agit de la mise en culture, en Afrique et à Java, de caféiers appartenant à l'espèce *C.canephora* dont la forme rustique la plus répandue était la variété du robusta.

Accentuée par l'apparition de deux nouveaux parasites du caféier, la production du robusta s'était intensifiée. Elle s'était imposée d'emblée dans l'aire géographique africaine. Ces maladies concernent le scolyte des graines dû à un insecte *Stephanoderes hampei* et la trachéomycose provoquée par le champignon *Fusarium xylaroïdes*. Aujourd'hui, cette variété est sélectionnée pour sa vigueur, sa productivité élevée, sa grande résistance aux maladies et son adaptation aux changements climatiques.

1.4. Production et prix du café à Madagascar

La part du café malagasy à l'offre mondiale a progressivement baissé de 0,97% à 0,25% durant les années 2013 à 2015. Un léger redressement de 0,4% était tout de même constaté en 2016, évalué à 28 000 tonnes.

Pourtant, le marché interne du café reste dynamique et suscite l'intérêt de plusieurs paysans par rapport à l'exportation. En effet, l'évolution permanente des exigences des demandeurs internationaux et la tombée incessante des prix ont incité un grand nombre d'exportateurs locaux à écouler leur produit au profit de la demande des Malagasy. Le café vert est ainsi vendu directement au niveau des ménages ou distribué auprès des torréfacteurs régionaux pour la vente en café torréfié moulu.

Au niveau des paysans producteurs, le prix du café vert stagnait de 4000 Ariary le kilogramme durant les quatre années précédentes. Ce prix a connu une hausse à partir de 2015, frôlant les 5000 Ariary et a même atteint les 6000 Ariary à la fin de l'année 2016 marquant la

plus grande inflation de l'histoire du café à Madagascar. Par contre, au niveau des grossistes et détaillants, le prix a grimpé jusqu'à 20 000 Ariary le kilogramme (constatation personnelle).

2. *Coffea canephora*

2.1. Description botanique

Autrefois classé dans la famille des Fusains, puis dans celle des Jasmins, le caféier a été intégré dans la famille des Rubiacées par Linné, à l'ordre des Rubiales pour ensuite appartenir au genre *Coffea* par Jussieu (VANIER, 1983; THORN, 2002 ; BRIDSON et VERCOURT, 1988). Ce genre comprend plusieurs espèces dont *Coffea arabica* Linné, tant apprécié par les amateurs de café pour son goût plus fin , et *Coffea canephora* Pierre dont la variété la plus connue est le robusta incontesté pour la rusticité de la plante, plutôt convoité pour son goût complexe et son amertume plus persistante en bouche (COSTE, 1989).

2.1.1. Les racines

Le système racinaire du caféier est doté d'un pivot de 50 à 70 cm de longueur, constituant l'organe de fixation de la plante. Des racines axiales partant du pivot assurent la nutrition en eau de la plante tandis qu'un réseau superficiel de racines latérales explore le sol sur une profondeur de 10 à 30 cm pour assurer la nutrition en minéraux (DENIS et BERNARD, 2003).

2.1.2. L'arbre

Pour la variété du robusta, l'arbre se distingue par la ramification du tronc en plusieurs tiges lui conférant son aspect buissonnant (figure 1). Les branches fruitières sont rigides, longues et vigoureuses. La plante se limite à trois mètre de hauteur dans une plantation pour faciliter son exploitation alors qu'elle peut atteindre les dix mètres à l'état sylvestre.



Figure 1 : Arbre du caféier de robusta

Source :dreamstime.com

La culture conventionnelle du café est effectuée sous ombrage mais la variété du robusta présente une particularité à supporter l'ensoleillement permettant ainsi de réaliser une culture en rangées plus serrées.

2.1.3. Les feuilles

Le système foliaire du café robusta se caractérise d'un emplacement symétrique des feuilles sur les ramifications secondaires de l'arbre.

Les feuilles sont de très grande taille (25cm x 12cm) et présentent une forme oblongue, gaufrée, légèrement ondulée sur les bords. Toujours coriaces et persistantes d'un vert luisant, elles sont pourvues d'un court pétiole (1cm) et leurs inflorescences sont accompagnées de bractées (figure 2).



Figure 2 : Feuille du caféier

Source : ethnoplants.com

2.1.4. Les fleurs

Le caféier se couvre de fleurs éphémères formées de cinq à six pétales blanches (figure 3) parfumées se rapprochant de l'odeur du jasmin.

Ses fleurs possèdent une corolle dont le tube atteint 1 cm et dont les lobes sont longs et étroits (FRANÇOIS et LEDREUX, 1929). Elles se regroupent par cyme à l'aisselle des feuilles pour former des verticilles de huit à quinze fleurs en moyenne, sous un aspect de glomérules floraux.



Figure 3 : Fleur du caféier

Source : cafes-lebonifieur.fr

2.1.5. Les fruits

Les cerises issues d'un même arbre n'atteignent pas les mêmes degrés de maturité ; d'autres peuvent mûrir plus tôt que certaines.

La cerise ou drupe d'abord vert (figure 4a), devenant jaune, puis d'un rouge cramoisi à maturité renferme deux amandes plan-convexes accolées par leur face plane (figure 4b). Leur forme rappelle celle d'un cube aux angles atténués. Des graines globuleuses dites *Caracolis*, issues du développement d'une seule graine par fruit sont en proportion de 20 à 30% chez le *robusta*.

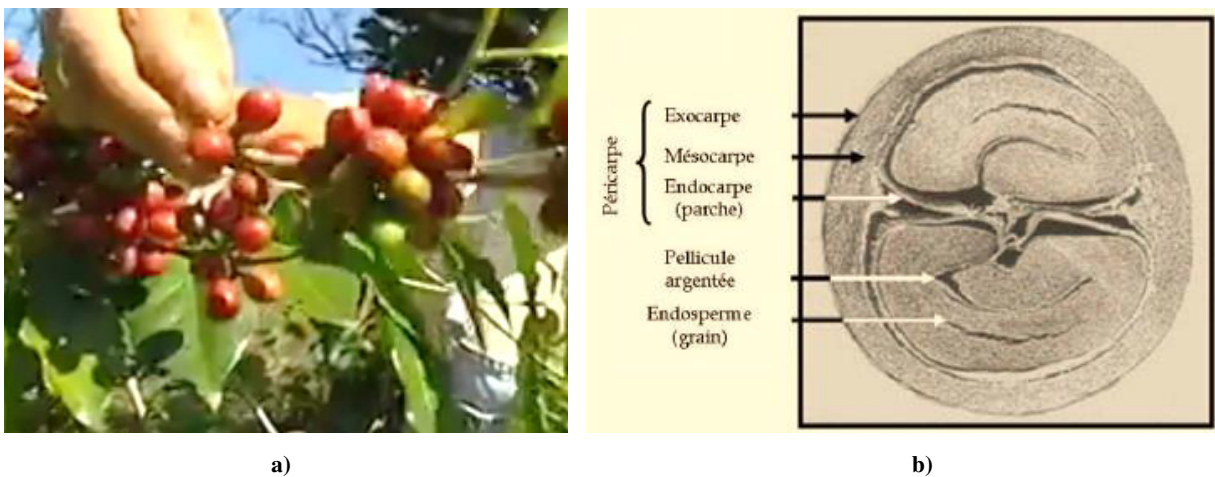


Figure 4 : a) Cerises du café ; b) Coupe transversale de la cerise de café (MARRACCINI, 2008)

Chaque graine est protégée par deux enveloppes (KOFFI, 2007). La première est l'endocarpe qui est mince, à structure scléreuse connue sous la dénomination de la parche ou parchemin. La seconde est le périsperme, une très fine membrane appelée pellicule argentée ou tégument séminale, plus ou moins adhérente et n'étant visible qu'après exemption de la parche (figure 4b).

Les graines sont d'un gris ardoisés au gris verdâtres, de forme irrégulière et arrondie, de petite taille (1 cm x 8 mm) dont leur poids oscille autour de 0,15 à 0,20 g (figure 5).



Figure 5 : Café vert de robusta

Source: diytrade.com

2.2. Ecologie du cafier du robusta

La caféiculture du robusta est propice dans un climat équatorial ou subéquatorial régit d'une saison chaude et humide presque toute l'année. Pour assurer son développement, l'arbre requiert une pluviométrie moyenne de 1300 à 2500 mm et une température comprise entre 20 à 25°C sans écart journalier marqué. Elle ne présente aucune exigence particulière mais peut facilement croître sur tous les types de sols à 1000 m d'altitude (MPAE, 2010).

2.3. Composants bioactifs des fèves du café

Les composés chimiques initialement présents dans les graines, étant principalement les sucres, les lipides, les protéines, les acides chlorogéniques et les méthylxanthines constituent les prédictors intrinsèques de la qualité du café.

2.3.1. Les sucres

Les glucides comptent plus de la moitié de la matière sèche des graines (COSTE, 1968 ; GUYOT *et al.*, 1984). Cette proportion regroupe 40 à 50% de polysaccharides et 3,4 à 6,1% de sucrose (tableau 1) dont le glucose et le fructose sont en proportion respective de 0,22 et 0,6% du poids sec (MURKOVIC et DERLER, 2006).

Tableau 1 : Variation de la teneur en sucrose selon les auteurs (CLIFFORD, 1985)

Auteurs	Année	Méthode	Teneur en sucre
TRESSL <i>et al.</i>	1982	CG après triméthylation	3,4 – 4,1%
TRUGO et MACRAE	1982	HPLC	3,4%
BARBIROLI	1965	Méthodes plus anciennes	6,1%
WOLFROM <i>et al.</i>	1960	Isolation directe du sucrose par une solution d'éthanol 80%	---

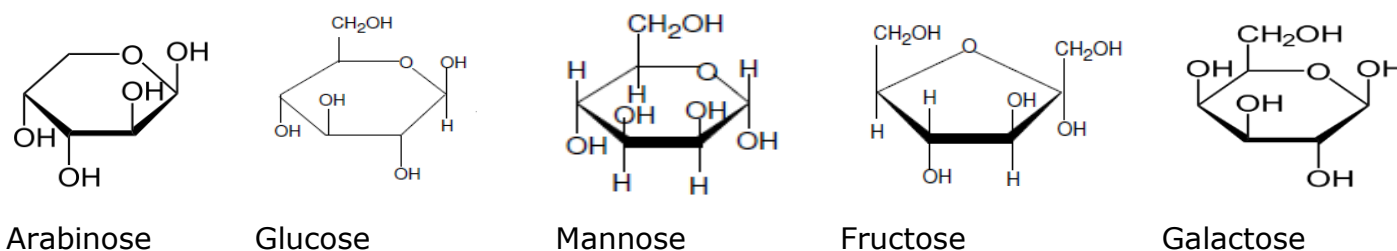


Figure 6 : Formules chimiques des sucres dans une graine de café vert

Ces glycans ou polysaccharides sont essentiellement composés de polymères de mannose (mannane) conférant à la graine sa dureté tandis que les sucres simples incluent les sucres réducteurs tels que l'arabinose et le galactose.

Le traitement thermique appliqué aux graines influe considérablement sur la concentration glucidique finale de ces dernières. Cette variation est due à la libération de monosaccharides pour participer aux réactions de Maillard (KY *et al.*, 2001; CAMPA *et al.*, 2004).

Les anhydrides de sucre et les autres composés ainsi formés réagissent avec les acides aminés libres ou dérivant du clivage thermique des protéines pour former des acides aliphatiques et des composés de type furfural, essentiels à la saveur et aux arômes du café à la tasse (DE MARIA *et al.*, 1994). En outre, ces sucres renforcent les propriétés gustatives du café en augmentant la viscosité de la boisson par la rétention des composés volatils. La graine verte, dure et sans goût devient alors une graine brune, friable à odeur et goût complexe.

2.3.2. Les protéines

Plusieurs auteurs ont rapporté l'importance des protéines de réserve et des acides aminés comme précurseurs d'arômes (AMORIM *et al.*, 1975). Dans les graines de café vert, les composés protéiques représentent les 7,8 % du poids sec (CLIFFORD, 1985) alors que les acides aminés libres sont de l'ordre de 0,3 à 0,6 %. L'acide glutamique et l'asparagine restent les plus abondants (à 40 %) et constituent les formes principales de transport d'azote dans la sève du caféier.

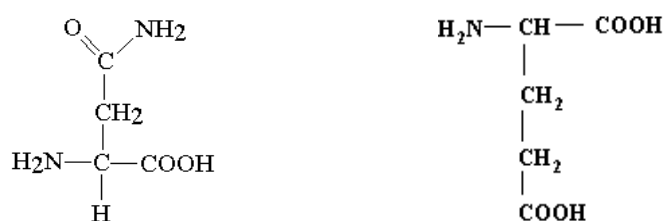


Figure 7 : Formules chimiques de l'asparagine et de l'acide glutamique

Au cours de la torréfaction, la majorité des protéines est dénaturée et complexée à des quinones pour former les mélanoidines, responsables de la coloration brune des graines torréfiées (MONTAVON *et al.*, 2003).

2.3.3. Les lipides

Les triglycérides et les diterpènes constituent les matières grasses présentes en quantité appréciables dans les graines, allant de 7 à 13% chez le robusta. Ces lipides sont localisés dans l'huile de café et se répartissent en acides gras saturés dont l'acide palmitique et stéarique, en acides gras insaturés formés des acides oléique et linoléique, en stérols dont le sitostérol, stigmatol, campésterol et en diterpènes de cafésterol et kahwéol.

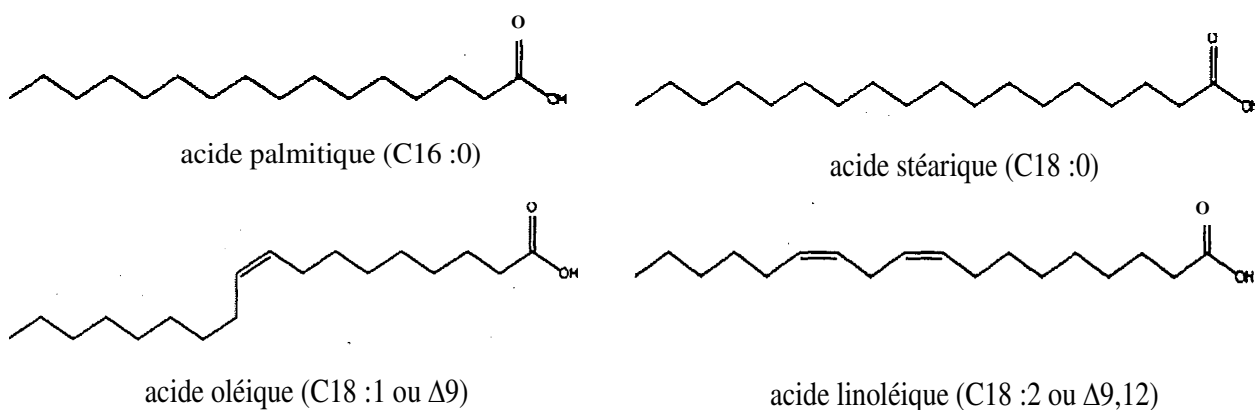


Figure 8 : Formules chimiques des acides gras du café vert

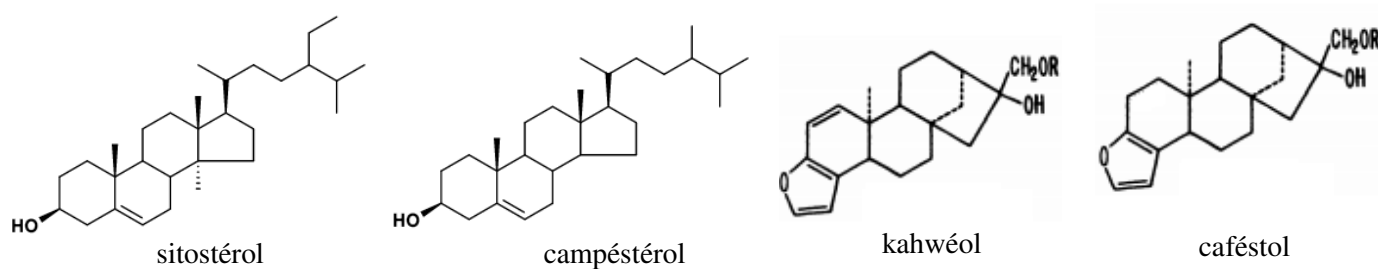


Figure 9 : Formules chimiques de quelques stérols rencontrés dans les graines de café vert

Après la torréfaction, les lipides procurent à la boisson son attribut visqueux. Mais ce traitement thermique n'exerce aucun effet sur la teneur en composés lipidiques des graines. Toutefois, la quantité de diterpène restant va dépendre des différentes manières de préparation de la tasse.

2.3.4. Les polyphénols

A l'intérieur des graines, les acides chlorogéniques (figure 10) constituent les polyphénols les plus abondants du robusta. Etant présents de l'ordre de 7 à 10% (CLIFFORD, 1985), ils sont à l'origine de la grande variabilité des antioxydants des graines (SVILAAS, 2004).

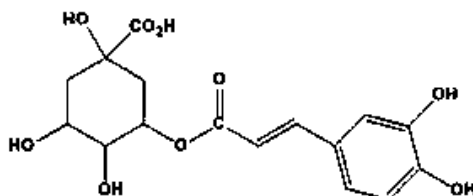
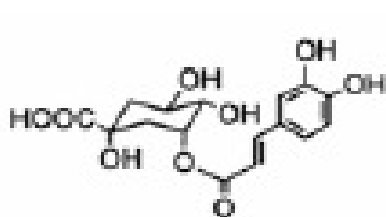
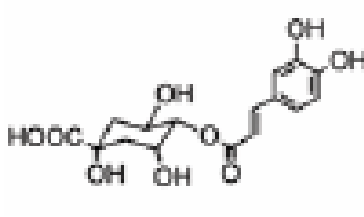


Figure 10 : Formule chimique de l'acide chlorogénique

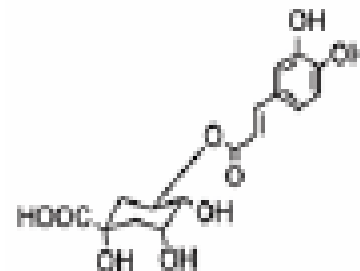
Ces polyphénols résultent de la combinaison de l'acide quinique avec l'acide hydroxycinnamique (acides coumarique, férulique, caféique) et de ses dérivés. Ce sont principalement les acides caféoylquiniques (CQA), les acides dicaféoylquinique (diCQA) et les acides féruloyquiniques (FQA) (FARAH et DONANGELO, 2006 ; STALMACH *et al.*, 2006).



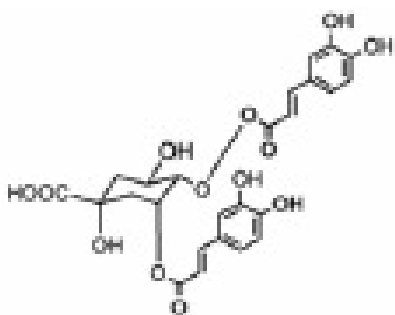
acide caféoyl-3-quinique
(3-CQA)



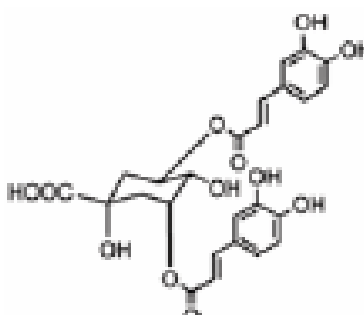
acide caféoyl-4-quinique
(4-CQA)



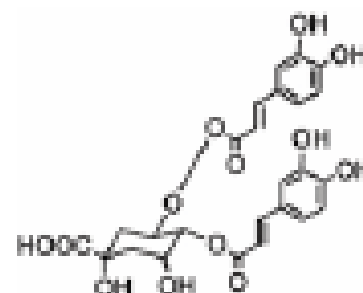
acide caféoyl-5-quinique
(5-CQA)



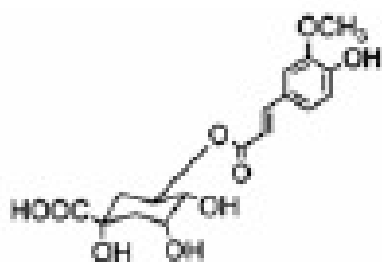
acide dicaféoyl-3,4-quinique
(3,4-diCQA)



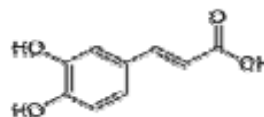
acide dicaféoyl-3,5-quinique
(3,5-diCQA)



acide dicaféoyl-4,5-quinique
(4,5-diCQA)



acide féruloyl-5-quinique
(5-FQA)



acide caféique

Figure 11 : Formules chimiques des dérivés d'acide chlorogénique

Ces acides peuvent être présents sous forme complexe avec la caféine ou sous forme libre (KOFFI, 2007).

Au cours de la torréfaction, la teneur en ces polyphénols régresse de façon notable à cause de leur instabilité thermique. Ils se transforment en quinolactones, ou se dégradent en dérivés phénoliques et en d'autres composés de faible poids moléculaire conférant une saveur acide à la boisson. Le contenu en acides chlorogéniques des graines torréfiées avoisine alors les 1 à 5%, soit une perte globale estimée de 20 à 50% par rapport au café vert.

Mais il est impératif de souligner que dans la pulpe, ces polyphénols sont présents sous forme de tanins condensés, de lignanes et d'anthocyanes, responsables de l'astringence et de l'amertume excessive de la boisson (AMORIM *et al.*, 1973 ; HASLAME, 1981).

2.3.5. Les alcaloïdes

Les alcaloïdes du café regroupent les xanthines ainsi que les trigonellines. Parmi ces xanthines, VOILLEY *et al.*, ont rapporté, en 1977, que la caféine ou 1,3,7-triméthylxanthine se trouve à une quantité importante de 1,5 à 2,9 % chez le robusta. Elle constitue un produit stimulant du système nerveux central et contribue à 10 % de l'amertume du café à la tasse. La théobromine et la théophylline (1,3-diméthylxanthine) y sont également présentes mais à de faible proportion.

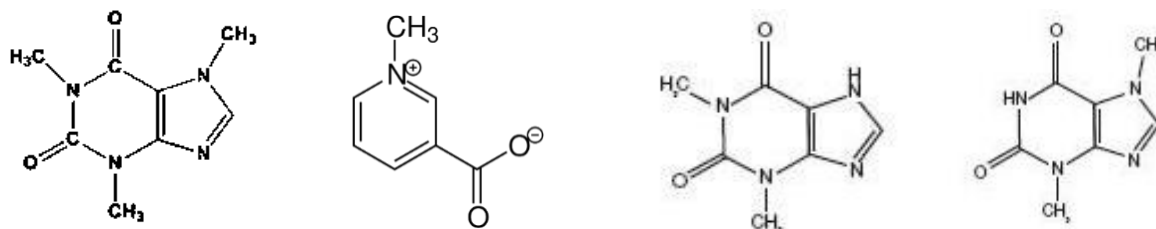


Figure 12 : Formules chimiques de la caféine, de la trigonelline, de la théophylline et de la théobromine

La trigonelline, tout comme la caféine, est un alcaloïde du café, mais présente en quantités plus faibles de 0,2 à 1 % (COSTE, 1989). Elle participe à l'amélioration de l'arôme du café. Elle est transformée, lors de la torréfaction, en d'autres composés secondaires, dont l'acide nicotinique, qui est assimilé par l'organisme sous forme de vitamine B.

2.3.6. Les vitamines et minéraux

Le café torréfié contient principalement du potassium (environ 55 à 65 mg par 100 ml d'infusion), du magnésium, du calcium, et du sodium ainsi que du fer, du zinc et du cuivre en plus faibles quantités. Ces minéraux, principalement le potassium, agissent en tant que catalyseurs des réactions lors du processus torréfaction.

Parmi les vitamines, la vitamine B3 y est abondant à raison de 400 à 1200 µg par tasse et on estime qu'un bol de café de 250 ml permettrait de couvrir jusqu'à 15 % des apports nutritionnels conseillés en vitamine B3 (16mg/jour). La même tasse contiendra également les vitamines B5 (environ 80 µg), B2 (2µg) et B6 (0,6µg). Toutefois, les vitamines B et C sont dégradées lors de la torréfaction.

3. Technologie du café torréfié moulu

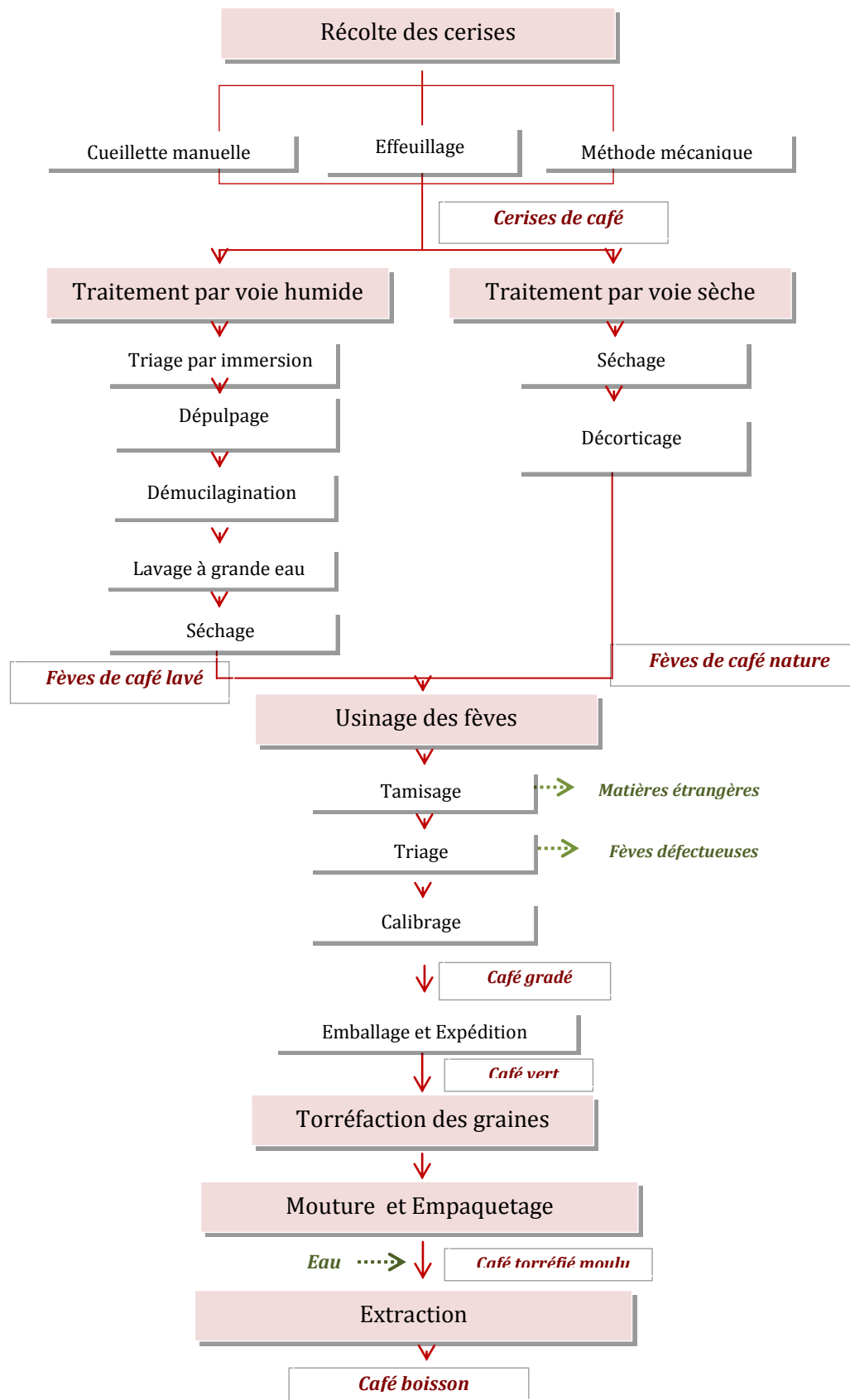


Figure 13 : Schéma récapitulatif de la transformation des cerises jusqu'à la tasse

3.1. De la cerise à l'obtention du café vert

3.1.1. Récolte des cerises

La période de la récolte du café varie d'un territoire à un autre. Au minimum, deux récoltes peuvent être effectuées sur un même arbre. La première récolte ou premier passage constitue la récolte principale reposant sur la récolte d'une quantité massive de fruits mûrs. La seconde, par contre, sert à récolter les fruits qui restent sur l'arbre non cueillis durant ce premier passage.

A Madagascar, les campagnes de récolte s'opèrent durant les mois de juillet à septembre et peuvent parfois s'attarder jusqu'au mois de décembre.

Par ailleurs, la culture du café est effectuée sous les tropiques, caractérisés par des saisons pas très bien marquées. Cela explique la cohabitation de cerises encore vertes, jaunes et rouges entièrement mûres sur une même branche. Pour ne pas alors endommager les grappes n'ayant pas encore atteint leur stade de maturité, trois principales techniques de récolte peuvent être entretenues pour la réalisation des cueillages des fruits.

3.1.1.1. La cueillette sélective

La méthode de cueillette ou *hand-pinking* est généralement réservée au café arabica, reposant sur une cueillette manuelle des cerises entièrement rouges pour assurer leur degré de maturité optimale. Cette opération exige plusieurs passages sur un même arbre et requiert une main d'œuvre onéreuse. Elle constitue une méthode sélective des cerises de café (figure 14a).

3.1.1.2. L'effeuillage

La pratique d'effeuillage ou *stripping* consiste par contre, à tenir l'extrémité de la branche d'une main, tout en glissant l'autre main le long de la branche pour arracher les cerises rouges, les cerises partiellement vertes et le feuillage en plusieurs passages (figure 14b). Celle-ci est surtout appliquée au Vietnam pour les variétés du robusta.

3.1.1.3. La méthode mécanique

Enfin, la méthode mécanique, sans doute la plus raisonnable en termes de coût, consiste à secouer les arbres pour faire tomber ses fruits. Elle est uniquement réservée aux terrains peu accidentés et dont les arbres sont disposés en rangée. Des bâches disposées au sol vont servir pour ramasser les fruits. Certes, ce procédé compromet la qualité du café car aucune sélection n'est faite et les cerises rouges et vertes y sont présentes à la fois (figure 14c).

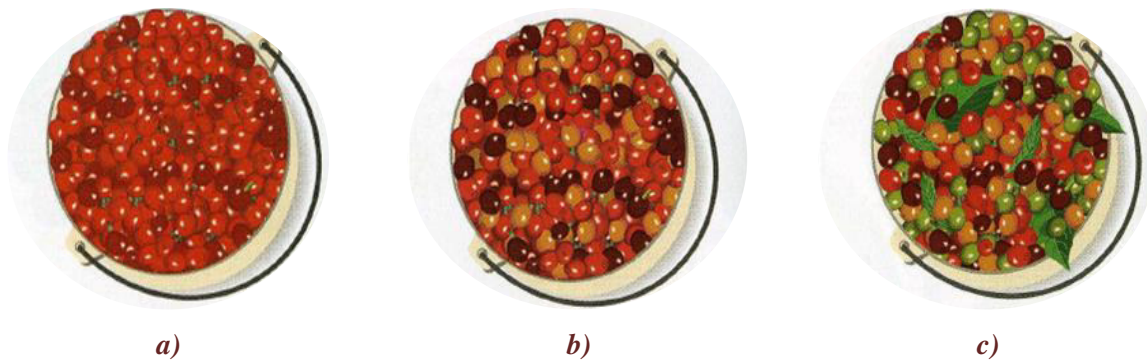


Figure 14 : Résultats des différentes méthodes de cueillage des cerises de café (IANNUZO, 2012)

Le café vert, usuellement appelé café marchand ne s'obtient qu'après élimination des enveloppes recouvrant les graines, à savoir la pulpe et les pellicules. L'extraction des graines peut être effectuée soit par la voie humide, soit par la voie sèche.

3.1.2. Traitement par voie humide

Les cerises récoltées sont triées par immersion dans des bacs remplis d'eau afin que les cerises surnageant et les débris soient éliminés (figure 15a). Ce trempage permet en amont de ramollir les fruits pour fondre la pulpe, facilitant ainsi son détachement aux graines lors du pressage.

L'élimination du mucilage enveloppant s'opère ensuite de façon biochimique par fermentation de douze à trente-six heures (figure 15b) ; de manière mécanique (par usage de presse); ou par des moyens chimiques (avec de chaux ou d'alcool, méthode peu répandue). Cette démucilagination est aussitôt suivie d'un lavage à grande eau, supprimant toute trace de mucilage (figure 15c). Il en résulte un café en parche pourvu de 50% d'humidité.

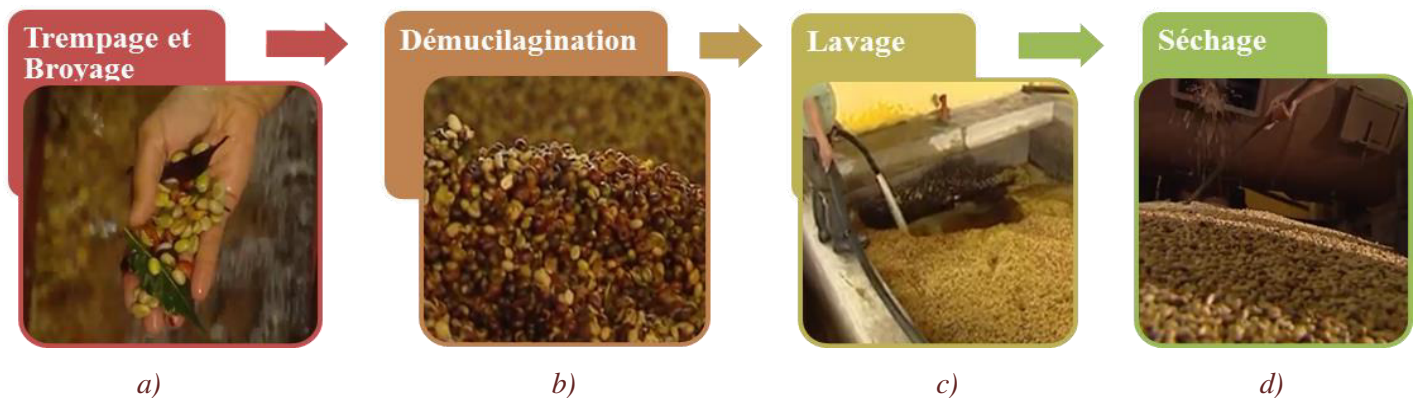


Figure 15 : Traitement par voie humide des graines de café

Source : france3.fr

Un séchage est à la fin, opéré pour évincer les parches de la graine. Pour ne pas dénaturer l'arôme du café, le séchage est modéré à travers un brassage à l'air chaud pendant une durée de trente-six heures (figure 15d). Cela va favoriser la réduction de la teneur en eau jusqu'à 12% pour diminuer ainsi les risques de développement des moisissures (PICCINO, 2011).

Ce type de traitement est généralement destiné au café de qualité supérieure, dont les arabicas le plus souvent pour donner des cafés dits « lavés » distinctifs d'une meilleure teneur en bouche et d'une moindre acidité. Le rendement du traitement est environ 18 à 19%.

3.1.3. Traitement par voie sèche

La voie sèche est particulièrement adaptée au café robusta. Cette pratique est courante dans les pays à climat chaud et à faible humidité. L'arabica issu de ce traitement est appelé arabica « dur », « naturel » ou « non lavé ». A l'inverse de la méthode humide, elle ne nécessite pas d'eau et est plus économique car ne consiste qu'à sécher et à décortiquer les cerises (figure 16).

Les cerises sont séchées sur des nattes ou des claies, progressivement au soleil ou par séchage artificiel. Elles sont par la suite brassées pour empêcher toute fermentation ou séchage excessif, assurant ainsi une teinte homogène à toutes les graines (CLARKE, 1985). Après 15 à 20 jours de séchage (CIRAD, 2006), les cerises séchées ou cafés coques poursuivent un décortiquage mécanique ou par un mortier. Le café issu de ce type de traitement fournit une boisson plus corsée, présentant moins de finesse.

La durée de séchage varie suivant les conditions climatiques de chaque pays. Mais pour ce type de traitement, le rendement reste aux alentours des 20% sans pour autant dépasser les 22%.



Figure 16 : Traitement par voie sèche des graines de café (CIRAD, 2006)

Il est à noter que l'opération du séchage, bien appliquée pour la méthode humide que la méthode sèche, est essentielle pour éviter la réhumidification des graines au cours de leur stockage.

La méthode humide et méthode sèche se rejoignent ensuite pour le tamisage (figure 17a), permettant d'enlever d'autres matières étrangères, suivi du triage (figure 17b) et du calibrage (figure 17c). Ces dernières étapes sont décisives du grade de cafés ainsi produits. Les normes régissant ces grades sont différentes suivant les pays mais le meilleur grade demeure les fèves de plus grosses tailles, présentant moins de défauts.

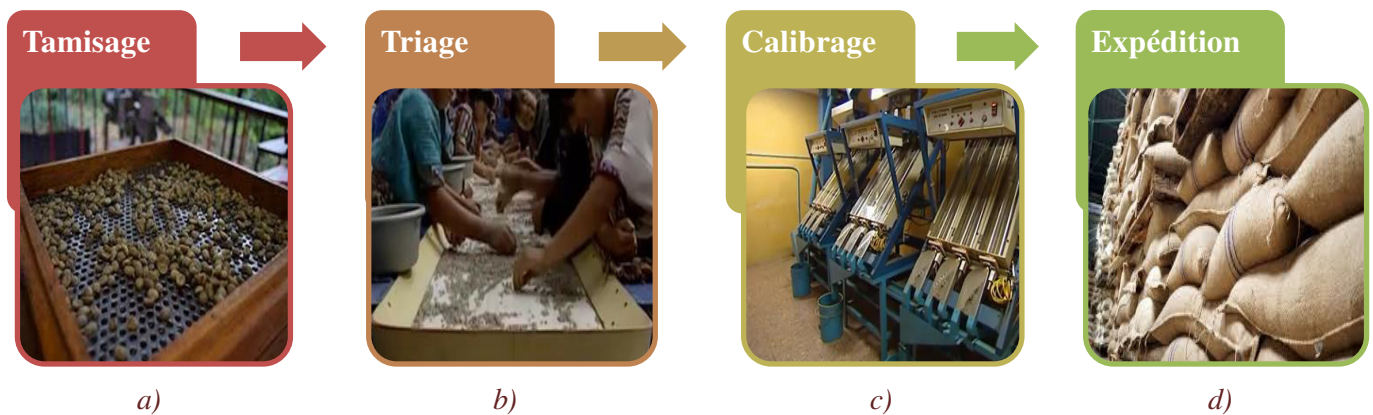


Figure 17 : Usinage des graines du café vert

Source : diytrade.com

Finalement, les graines sont emballées, le plus souvent dans des sacs en jute d'environ 60 kilogramme de contenance et s'appêtent à l'expédition (figure 17d).

3.2. Torréfaction des graines

La torréfaction constitue une opération unitaire résidant à griller les graines de café vert sous l'effet du couple associant un gradient de température au temps de torréfaction (PICCINO, 2011).

De manière générale, une torréfaction conventionnelle s'effectue dans une plage de température comprise entre 200 à 230°C, pendant 12 à 20 minutes (COSTE, 1968 ; MENDES *et al.*, 2001) afin de donner lieu à une série de réactions fondamentales aux changements importants de la texture et de la composition biochimique des graines.

3.2.1. Types de torréfaction

L'opération de la torréfaction peut être réalisée par trois différentes méthodes, correspondant chacune à des rendements technique et aromatique dissemblables évoqués dans le tableau 2 dans la page suivante.

Tableau 2 : Les différents types de torréfaction, selon GUYOT et al., 2013, MASSIA et al., 1995

Torréfaction	Durée	Température	Rendement	Arômes
Lente	10 à 20 minutes	100 à 230°C	72%	Fort
Rapide	4 à 10 minutes	500 à 800°C	150%	Moyen
Flash	90 secondes	800°C	400%	Faible

La torréfaction lente ou traditionnelle repose sur un temps de cuisson prolongé, pouvant atteindre les 20 minutes, pour que les réactions chimiques responsables de la formation des arômes puissent se manifester. Ce type de traitement présente un rendement technique assez modeste mais l'arôme de la boisson est entièrement développé.

Par contre, les torréfactions rapide et flash sont surtout recourues par les industriels à grande capacité de production et sont avantageées par des rendements techniques énormes. Ce phénomène s'explique par la restriction moins importante de l'eau favorisant ainsi un estimable gain de temps. Certes, les cafés torréfiés qui en résultent restent insuffisamment chargés d'arôme. En outre, l'intensité de la torréfaction varie d'une torréfaction légère à une torréfaction très poussée. Cependant, la charte de couleur établie par la *Speciality Coffee Association of America (SCAA)* permet d'uniformiser le langage suivant l'échelle colorimétrie de Agtron (annexe1).

3.2.2. Dispositifs

La majorité des fours de torréfaction utilisés par les industriels fonctionnent avec un courant d'air chaud, réchauffé par une flamme, souvent alimenté d'un gaz, et poussé par une soufflerie vers un cylindre contenant les graines (figure 18).

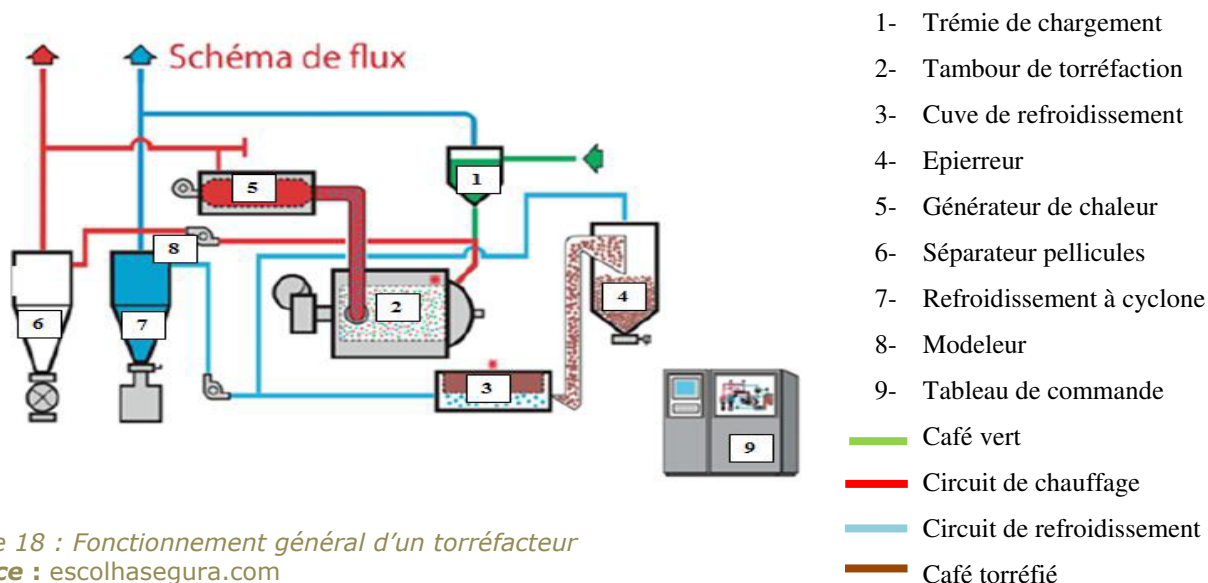


Figure 18 : Fonctionnement général d'un torréfacteur
Source : escolhasegura.com

Mais des méthodes plus simples sont également recourues dans la torréfaction du café. Ils s'agissent des procédés de chauffage direct du cylindre.

Dans la figure 18, le café est versé depuis une trémie (1) dans le tambour de torréfaction ou cylindre rotatif (2). Ce dernier comporte d'ailettes internes assurant un bon brassage pour un transfert de chaleur adéquat aux grains. Le tambour métallique est porté à haute température par rotation continue au-dessus du brûleur (conduction) ou par compression d'air chaude (convection) (5). La température à l'intérieur de la cuve chute à l'arrivée des grains et remonte progressivement jusqu'à 230°C. Au cours la torréfaction, un séparateur de pellicules à cyclone élimine les restes de parches et d'enveloppes adhérant aux grains (6). Tout le système est réglé à travers un moniteur programmable (9). A la fin du processus, le café est expulsé du cylindre pour passer dans la cuve de refroidissement (3) puis épierré pour écarter les matières étrangères à haute densité (4).

3.2.3. Conduite de la torréfaction

Un cycle de torréfaction correspond à la succession des trois phases fondamentales dont la phase de séchage, la phase de cuisson ou torréfaction au sens stricte et la phase de refroidissement (figure 19).

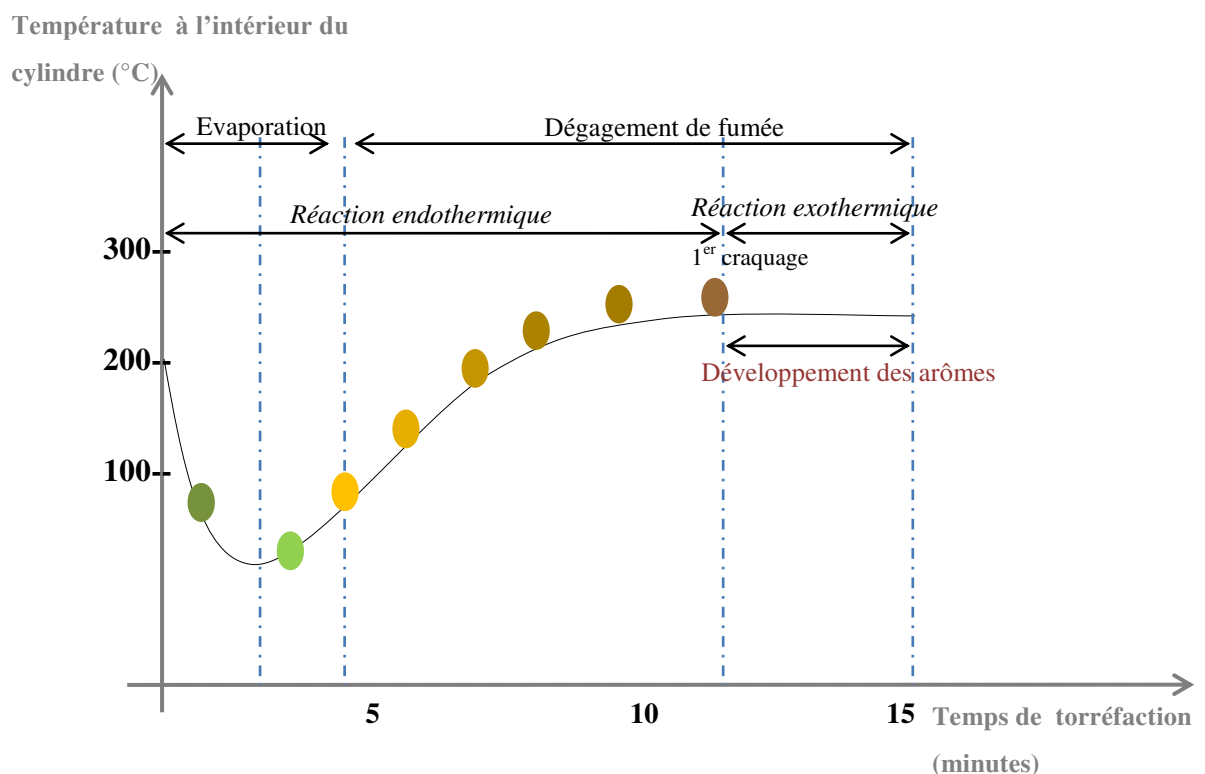


Figure 19 : Courbe d'évolution de la teinte des grains au cours de la torréfaction

3.2.3.1. Phase de séchage

Durant les premières minutes de la torréfaction, les graines sont soumises à des réactions dites endothermiques. En effet, lorsque la température à l'intérieur du torréfacteur atteint les 100°C, les graines initialement de couleur verte, commencent à virer au jaune pâle (figure 18). Cette dessiccation se traduit par un dégagement de vapeur d'eau accompagné d'une odeur de pain grillé. La teneur en eau régresse graduellement, passant de 12% à environ 5%. La variation de la teinte vers le châtain se poursuit et s'accroît vers les nuances brunes plus ou moins foncées au-dessus de 120 à 130°C (PICCINO, 2011).

3.2.3.2. Phase de cuisson

La torréfaction proprement dite ne se réalise qu'au voisinage de 150°C. A ce stade, l'odeur de graines grillées s'intensifie mais l'arôme caractéristique du café ne se décèle qu'aux 180°C, allant de pair avec un dégagement de gaz de combustion (dioxyde de carbone).

Un premier craquage s'opère à 205°C, et marque le début de la réaction exothermique. Les réactions non-enzymatiques se concrétisent pour conférer la couleur brune presque noire aux graines. Durant cette étape, les graines augmentent graduellement en volume. Le dégagement de gaz est de plus en plus abondant vers une nuance plus foncée ; l'arôme atteint son plein développement.

Vers 234 °C, un second craquage à courte durée des graines se produit, mais difficile à identifier que le précédent. Généralement, les torréfacteurs interrompent le processus bien avant que ce second craquage ne surgisse. Mais dans le cas adverse, les graines poursuivent leur augmentation en volume. Lorsque la température atteint les 245°C, les graines crépitent et un exsudant brillant, plus ou moins abondant, apparaît à leur surface. Franchissant les 270°C, le dégagement des fumées s'atténue, les graines noircissent sans plus gagner en volume. A 300°C, les graines de café sont carbonisées et définitivement noires exemptes d'arôme (COSTE, 1968).

3.2.3.3. Phase de refroidissement

Cette étape termine le cycle de torréfaction. Le refroidissement des graines est opéré pendant une courte durée, environ trois minutes, pour éviter la poursuite de la torréfaction et la carbonisation des graines.

3.2.4. Formation des arômes au cours de la torréfaction

2.2.5.1. Réaction de Maillard

La réaction de Maillard ou brunissement non-enzymatique constitue un ensemble d'interactions de sucres réducteurs avec un groupement aminé pour conférer l'odeur, les arômes et pigments spécifiques aux aliments cuits.

Elle peut se dérouler en quatre étapes distinctes (RAZAFIMBELO, 2015) dont la première correspond à la formation réversible de glycosylamine selon les réarrangements d'Amadori et de Heyns. La seconde étape se traduit notamment par la formation des composés hétérocycliques issus de la dégradation des produits de réarrangement. La phase avancée correspond à la dégradation de Strecker et la dernière étape se rapporte à la polymérisation d'intermédiaires réactionnels produits lors des deux précédentes étapes.

• Phase initiale

A 200°C, la réaction de Maillard est débutée par des réactions carbonyles-amines, par couplage de la forme ouverte d'un sucre réducteur et du groupe amine d'un acide aminé pour former la base de Schiff existant en équilibre avec un acide glycosylaminé (HODGE, 1953). Le ϵ -amine de la lysine ainsi que la fonction amine de l'asparagine et de la glutamine sont les plus réactifs.

Cette base de Schiff se réarrange lentement en un produit dérivé stable. Sous l'action des acides fournis par des acides aminés, des réactions de transformation d'un aldose en cétose et *vice versa* se produisent. En effet, les aldoses se réarrangent d'Amadori pour donner les 1-amino-1-désoxy-2-cétooses (figure 20) alors que les cétooses poursuivent un réarrangement de Heyns pour produire des 2-amino-2-désoxy-1-aldoses (figure 21 à la page suivante).

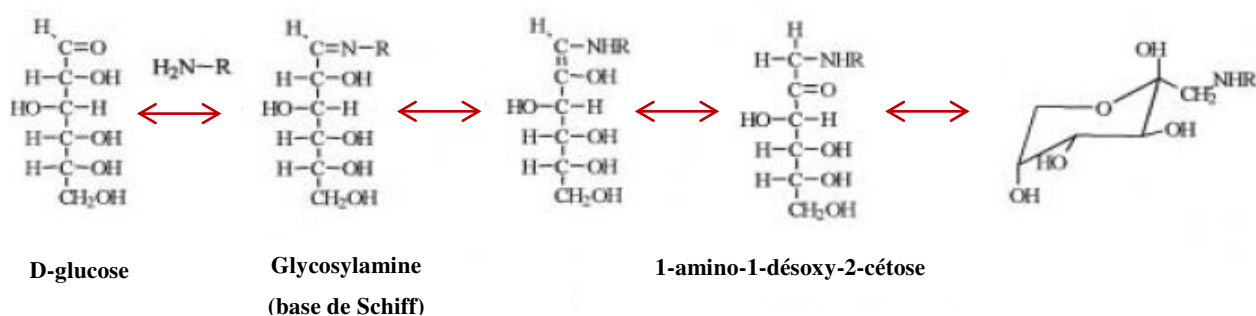


Figure 20 : Mécanisme de formation des produits d'Amadori (MACHIELS et ISTASSE, 2002)

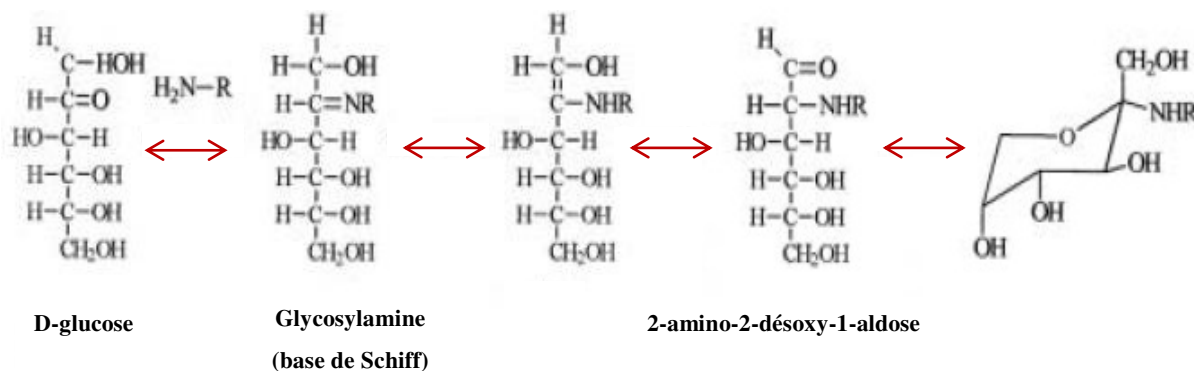


Figure 21 : Mécanisme de formation des produits de Heyns (MACHIELS et ISTASSE, 2002)

Ces produits ainsi formés réduisent la disponibilité d'acides aminés essentiels.

- *Phase de propagation*

Une des particularités des produits d'Amadori est leur tendance à former des énols (figure 22). En effet, à des pH faibles et pH neutre, la dégradation se fait par énoylation 1-2 tandis qu'à pH élevé, l'énoylation 2-3 est plus favorisée (MARTINSet *al.*, 2001).

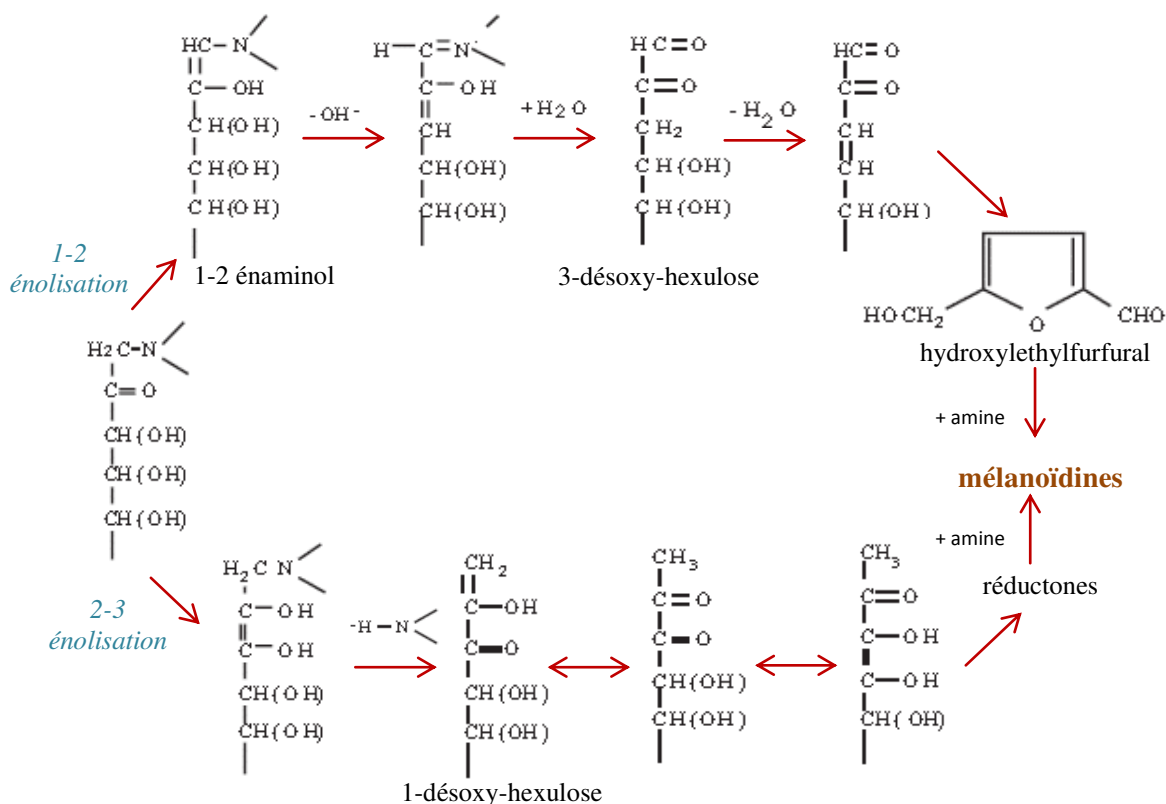


Figure 22 : Enolisation 1-2 et 2-3 des composés de Amadori et de Heyns pour aboutir à la formation de mélanoïdines

Pour le premier cas, la décomposition se traduit par l'élimination du groupe hydroxyle en C3 pour créer une double liaison entre C2 et C3. Cela favorise la rupture de la liaison entre le sucre et le résidu acido-aminé pour former le 3-désoxy-hexulose. La réaction se poursuit par déshydratations successives et par le déplacement de la double liaison pour donner de l'hydroxyméthylfurfural.

Pour le second cas, un ènediol est formé entre C2 et C3. La double liaison facilite l'élimination du groupement résiduel acido-aminé et conduit à la formation de 1-désoxy-hexulose qui se décompose, lors des étapes ultérieures en hydroxylethylfurfural.

• Phase avancée

La dégradation de Strecker implique une désamination oxydative et une décarboxylation d'un acide-aminé en présence d'un dicarbonyl (MACHIELS *et al.*, 2000). Cette réaction engendre la formation d'un aldéhyde correspondant à l'acide aminé de départ avec un carbone de moins et à une α -amino-cétone. Ces aldéhydes de Strecker constituent des intermédiaires importants dans la formation des mélanoïdines. La condensation de deux α -amino-cétone peut conduire à des pyrazines, composés odorants, caractéristiques du café torréfié (figure 23). Par contre, leurs produits de dégradation interagissent avec d'autres composants pour former des hétérocycles à de faible concentration responsables des arômes caractéristiques de grains grillés ou rôtis.

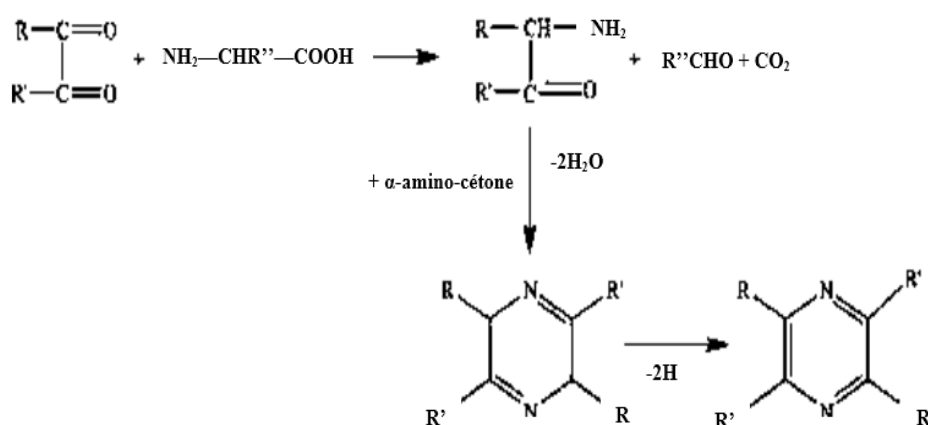


Figure 23 : Formation des pyrazines lors de la dégradation de Strecker (PICCINO, 2011)

• Phase terminale

Des composés carbonylés insaturés et le furfural peuvent se polymériser, en présence d'amines, afin de former les pigments bruns appelés mélanoïdines. Ils sont caractéristiques de la tonalité brune des fèves torréfiées. C'est un polymère de haut poids moléculaire contenant des

furanes et de l'azote et également des groupes carbonyle, carboxyle, anhydride, éther, méthyle et/ou hydroxyles (LEDL et SCHLEIDER, 1990).

2.2.5.2. Dégradation de la trigonelline

La dégradation thermique de la trigonelline s'entame à partir de 180°C de la torréfaction. Elle conduit à la formation de l'acide nicotinique par décarboxylation suivie d'isomérisations (voie A de la figure 24) et de composés pyridiniques par N-déméthylation (voie B de la figure 24).

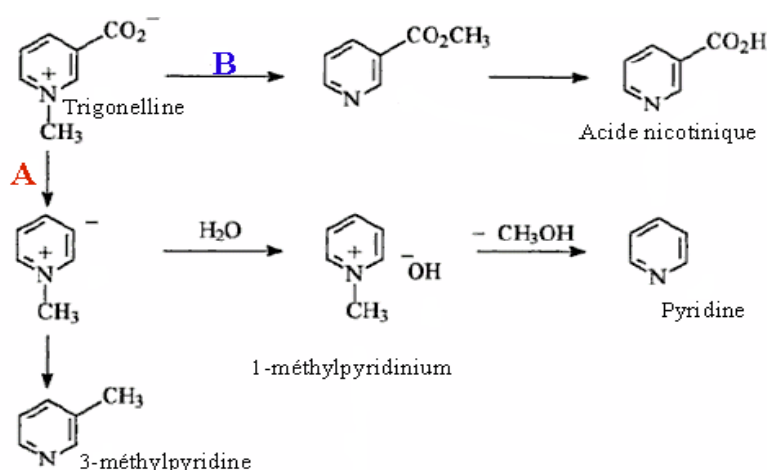


Figure 24 : Schéma simplifié de la formation de composés aromatique issus de la trigonelline

Le café torréfié peut contenir entre 0,2 à 1,7% de trigonelline suivant la composition d'origine des fèves. La dégradation de ce composé contribue à l'amertume du café.

2.2.5.3. Dégradations des acides chlorogéniques

Au cours de la torréfaction du café, les acides chlorogéniques subissent des réactions d'isomérisation, d'hydrolyse et de dégradation thermique pour former des composés volatils.

L'isomérisation conduit à la réduction des acides chlorogéniques portant l'acide quinique en position 5 d'où une augmentation de ceux en position 3 et 4. Puis, ces acides sont hydrolysés en acide quinique et acide caféique (figure 25) qui sont à leur tour hydrolysés, décarboxylés et dégradés en des composés phénoliques volatils mais également en des furanes (NEBESNY *et al.*, 2007; MOON *et al.*, 2010).

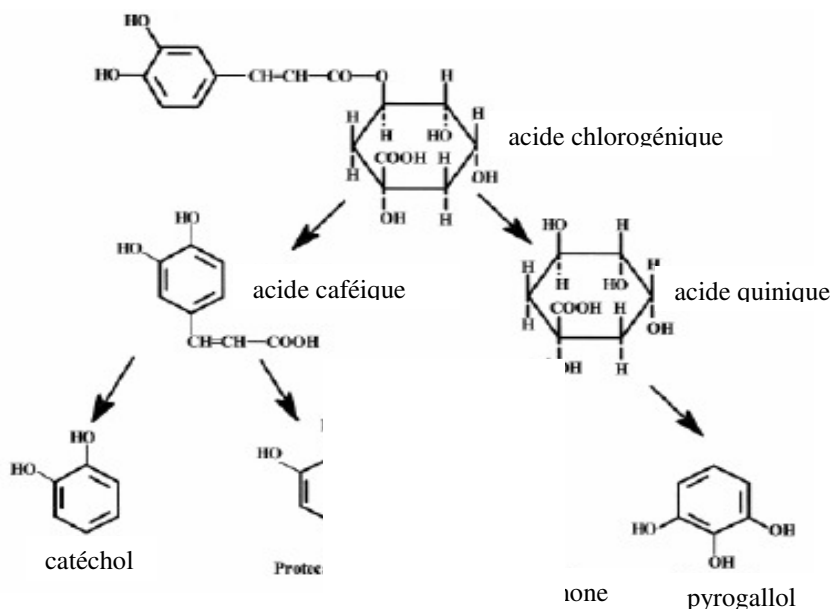


Figure 25 : Voie de décomposition de l'acide chlorogénique lors de la torréfaction du café (DUARTE et LAIRES)

D'ailleurs, une partie des acides chlorogéniques, tout particulièrement le 3-caféoylquinique et le 4-caféoylquinique est déshydratée en quinolactones tandis qu'une autre partie se dégrade, sous l'action de la chaleur, pour former les mélanoïdines. (BEKEDAM *et al.*, 2008; DELGADO-ANDRADE et MORALES, 2005).

3.3. Mouture des graines

La libération des principes aromatiques responsables de la saveur caractéristique du breuvage ne se produise qu'après la mouture des graines à une granulométrie précise et homogène. Le degré de finesse de la mouture est spécifique à chaque type de préparation.

De manière générale, une mouture moyenne de 0,3 mm est utilisée pour les cafetières à filtre (KU MADIHAH *et al.*, 2013), une mouture fine est réservée aux appareils à dépression, une mouture encore plus fine et tassée pour les percolateurs (café *espresso*), tandis qu'une mouture ultrafine pour le café à la turque (les types de préparation du café sont développés en annexe 2).

Conclusion partielle 1

Les conditions climatiques et écologiques régissant les zones Sud-Est de Madagascar font, de ces entités géographiques, les premières régions génératrices de café de toute l'Ile. La caféiculture de la variété du robusta y reste particulièrement abondante et constitue incontestablement une activité source de revenus de plusieurs milliers de ménages de la localité.

Plusieurs modes d'utilisation du café sont dès lors connus jusqu' à présent mais la préparation en infusion reste la plus répandue. Mais avant d'arriver à la tasse, les cerises sont d'abords cueillies sur l'arbre pour ensuite en extraire les graines. Ces dernières subissent une opération de torréfaction suivie d'une mouture pour obtenir un café torréfié moulu s'appêtant à la dégustation à la tasse.

La course vers la qualité constitue depuis ces dernières décennies un facteur concurrentiel au sein du marché de café. L'élaboration de cette qualité porte alors une attention particulière dans la maîtrise du processus de torréfaction des graines.

Partie 3 :

MATERIELS ET METHODES

1. Zones d'intervention

1.1. Région Sud-Est de Madagascar

A l'instar de toutes les régions Est de Madagascar, la région Sud-Est est reconnue propice à la caféiculture du robusta pour son climat chaud et humide durant toute l'année. Régie d'une température moyenne d'environ 22°C, avec une humidité comprise entre 1723 à 2500 mm de pluie font, de manière générale, de la région génératrice de revenue en termes de culture de rente de café.

Par ailleurs, depuis le dernier recensement effectué en 2005 par l'INSTAT, la superficie totale engagée par la caféiculture est estimée à 23 402 ha soit 60 à 80% des zones cultivées. Elle se converge surtout dans les districts de *Farafangana*, *Vangaindrano* et *Vondrozo*.

En outre, le programme de formation en culture de rente mené par le CNCC, initie les paysans producteurs de cette région à produire du café de bonne qualité (ANDRIANTSILEFERINTSOA, 2010)

1.2. Partenaires de l'étude

L'épreuve descriptive de l'évaluation sensorielle a été réalisée au sein du Laboratoire d'Analyse Sensorielle (LAS) du Département de Recherche Technologiques (DRT) du FOFIFA à *Ambatobe*. Ce laboratoire est doté d'une salle de préparation des échantillons ; d'une salle de réunion ; et d'une salle de séance d'analyses sensorielles aménagée en plusieurs cabines individuelles conformément à la Norme Française AFNOR 2002, normes ISO.

2. Matériels biologiques

Le matériel végétal utilisé au cours de toute l'expérimentation est exclusivement de la variété de robusta en provenance du collecteur Jean Reydellet RAMANANA, et cultivée dans le district de *Farafangana*.

Afin de s'assurer de la qualité des graines livrées, ce collecteur rassemble plusieurs petits exploitants locaux tout en les assistant sur les pratiques post-récolte. Chaque exploitant dispose d'une parcelle dont les techniques culturales sont contrôlées de près par des responsables du collecteur.

3. Mise en place d'un système d'optimisation de processus

L'optimisation d'un processus constitue une méthode d'exploitation rationnelle des ressources disponibles, pour réduire les pertes engendrées par les différentes formes de gaspillage rencontré dans une chaîne de fabrication. Elle tend, en permanence, vers la production constante d'un produit irréprochable à des prix assez compétitifs, conforme aux impératifs des consommateurs.

3.1. Principe

L'optimisation s'appuie souvent sur de nouvelles technologies de fabrication ou instaure uniquement des changements mineurs pour assurer une amélioration continue dans le temps. Il s'agit d'opérer sur le processus-clé de la ligne de production, générant plus de valeur ajoutée et où la rentabilité technique et/ou financière reste la plus évidente (GRANT, 2014).

3.2. Structure d'une optimisation

Mettre en œuvre une optimisation définit en premier lieu les raisons pour lesquelles il est important d'optimiser. Ces raisons peuvent être d'ordre qualitative (concernant le produit lui-même) ou quantitative (au niveau du rendement). Une évaluation préalable du procédé à améliorer sera donc accomplie. Puis, les facteurs influençant ou intervenant sur le processus compromettant ainsi la qualité du produit seront listés.

A partir des facteurs retenus, une ébauche de solution concrète et exhaustive sera émise selon les moyens matériels, humains, financiers et temporels existant. Des tests d'application seront ainsi effectués pour considérer l'efficacité, la faisabilité, la limite et encore la rentabilité des solutions suggérées.

Les résultats d'optimisation seront enfin comparés à ceux d'avant pour dégager les impacts de l'intervention sur le procédé révisé, sur la technologie, sur les rendements qualitatif et quantitatif. Une évaluation technique sur l'estimation de profits conclura l'étude pour valider les mesures d'optimisation et de standardiser le procédé ainsi amélioré (RAZAFINDRAJONA, 2015).

3.3. Optimisation du processus par la méthode de Six Sigma

Parmi les nombreux outils d'amélioration continue les plus recourus, la démarche du Six Sigma constitue un récent concept et novateur tendant à augmenter la performance d'un processus tout en améliorant la qualité des produits (BELGRAND, 2013). La méthode vise, en effet à ce que le processus puisse être maîtrisé de manière statistique, ou dans le cas adverse, permet d'optimiser le processus par la réduction de sa variabilité.

Cette démarche de résolution de problème constitue une méthode qui se rapproche et complète le fondement de l'amélioration continue du PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) ou Roue de Deming suivant cinq étapes structurée de DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve and Control*) ou Définir, Mesurer, Analyser, Améliorer et Maîtriser (FANNY, 2011). L'agencement de ces cinq phases de l'acronyme est illustré sur la figure 26.

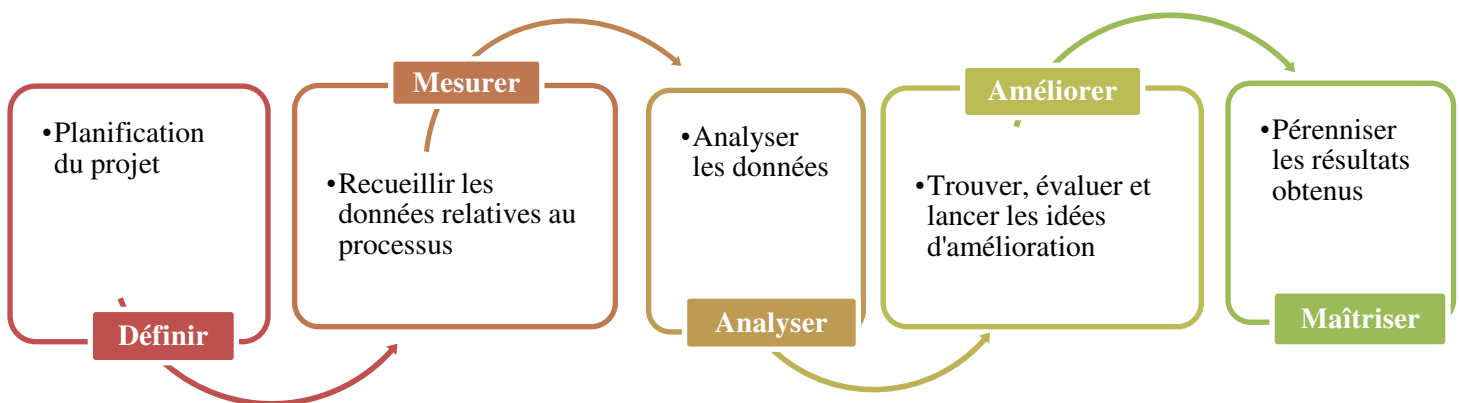


Figure 26 : Démarche structurée de DMAIC

Source : frechtconseil.com

– Phase de définition ou *Define* : la première étape consiste à définir les enjeux de l'étude. Il s'agit d'élaborer la charte du projet à travers les objectifs opérationnels à atteindre, la désignation de l'équipe du projet et la planification des actions à entreprendre. Cette phase est essentiellement basée sur les besoins des clients ;

– Phase de mesure ou *Measure* : la situation actuelle est par la suite, modélisée à travers des indicateurs de performance mesurables pour appréhender le degré d'amélioration à entreprendre.

- Phase d’analyse ou *Analys* : il convient d’interpréter et de diagnostiquer les résultats de l’évaluation. C’est à partir de cette étape que les sources potentielles génératrices de défaillances sont décryptées et hiérarchisées ;
- Phase d’amélioration ou *Improve* : après avoir identifié les causes de dispersion, des solutions adéquates sont lancées et sélectionnées à travers des tests d’application ;
- Phase de maîtrise ou *Control* : une vérification finale est opérée pour garantir la pérennité des améliorations et de s’assurer que le processus ne se dégrade au fil du temps. Elle s’opère par la validation des actions mises en place et de leur standardisation moyennant des documents et des formations (CHOWDHURY, 2004).

3.4. Outils associés à la démarche d’optimisation

3.4.1. La méthode des 6 questions QQOQCP

Désignée sous l’acronyme de Qui, Quoi, Où, Quand, Comment et Pourquoi, cette méthode constitue une technique de questionnement systématique décrivant de manière exhaustive une problématique posée (BELGRAND, 2013). Cette méthode est appliquée dans la phase de définition de la démarche du DMAIC afin de délimiter le paramètre de l’étude.

- *Qui* ? Définit les personnes concernées c’est-à-dire les personnes responsables et bénéficiaires du projet ;
- *Quoi* ? Concerne le processus à optimiser, les opérations caractéristiques ainsi que les observations liées au processus ;
- *Où* ? Retracer le lieu d’apparition du problème ;
- *Quand* ? Relatif au temps pendant lequel le problème survient (fréquence) ;
- *Comment* ? Décrit les conditions de la réalisation et pouvant se rapporter aux dispositifs de torréfaction et ainsi qu’aux procédures d’application ;
- *Pourquoi* ? Relate les suggestions d’amélioration et l’importance de la mise en place de nouvelles conditions de réalisation.

3.4.2. Cartographie des données

La cartographie des résultats constitue une manière graphique pour diagnostiquer les besoins des consommateurs ainsi que de visualiser les situations courantes relatives à l'étude (JEAN-PIERRE, 2014). La reproduction des données qualitatives et quantitatives sous forme de radar, d'histogramme et d'anneau était de ce fait effectuée à partir du logiciel Excel de Microsoft Office 2007.

3.4.3. *Brainstorming* ou remue-ménages

Le *brainstorming* peut être mis en œuvre à chaque étape de la démarche. Il consiste à organiser une rencontre avec les responsables et un spécialiste afin de rechercher un maximum d'idée originale pour procéder à l'amélioration du processus.

3.4.4. Enquête et expérimentation

3.4.4.1. Enquête et descente sur terrain

L'enquête constitue une technique objective de collecte d'informations accomplie à travers une interrogation systématique des sujets pour une population déterminée, dans l'ultime but de décrire, de comparer ou d'expliquer des faits (RAZAFIMBELO, 2016).

Elle se concrétise par une étude documentaire moyennant des documents officiels, statistiques ou iconographiques, et des interviews auprès des personnes ressources. Puis, l'évaluation et vérification de la situation actuelle passe par une observation directe en se rendant sur le terrain.

3.4.4.2. Expérimentation

Par ailleurs, la méthode expérimentale tente d'observer les phénomènes et de vérifier les hypothèses posées. Il s'agit d'observer l'effet produit par la modification intentionnelle d'un facteur manipulé par l'expérimentateur.

3.4.4.3. Diagramme d'Ishikawa

Le diagramme de causes-effet ou diagramme en arête de poisson (figure 27) repose sur une méthode de résolution de problème par identification des causes potentielles d'une situation constatée (RASOARAHONA, 2015).

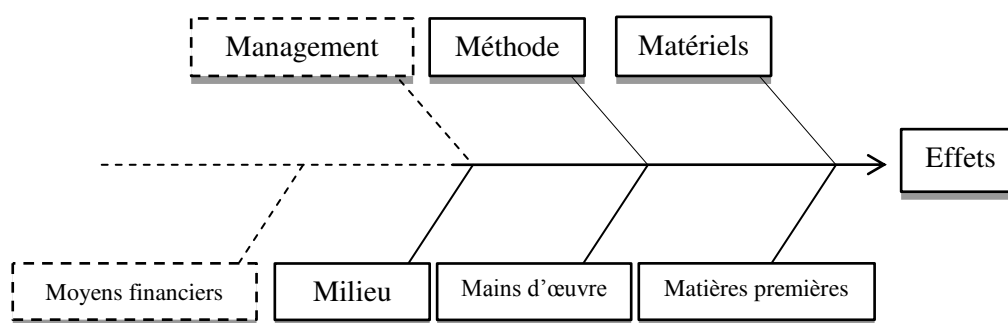


Figure 27 : Diagramme d'Ishikawa ou méthode des 7M

Les sources de dispersion peuvent être classées en sept catégories dont (FANNY, 2009)

- M₁ ou Matière première : la qualité finale du café torréfié va nettement dépendre de la qualité initiale des fèves de café réceptionnées à l'usine. C'est alors de la teneur en eau des graines, du nombre de défauts présents dans les lots, de la réussite du stockage ainsi que de la torréfaction des graines que va dépendre la qualité finale du café torréfié ;
- M₂ ou Matériels : les équipements de torréfaction peuvent également générer plusieurs défauts par l'insuffisance en nombre des torréfacteurs, leur obsolescence et incapacité à atteindre les objectifs visés par l'étude ;
- M₃ ou Méthode : les failles peuvent également être liées à la procédure de torréfaction ainsi qu'aux modes opératoires transmises au niveau des ouvriers torréfacteurs ;
- M₄ ou Main d'œuvre : l'incompétence, le défaut en nombre et le manque de motivation du personnel peuvent en outre générer une perturbation du système déjà mis en place ;
- M₅ ou Milieu : il se rapporte à l'environnement matériel et à l'ambiance du travail ;
- M₆ ou Management : l'insuffisance d'encadrement et d'organisation peut dérouter les fonctions des ouvriers ;
- M₇ ou Moyen financier : les frais d'acquisition des équipements de production sophistiqués importés de l'extérieur (torréfacteur industriel) restent onéreux par rapport aux

simples dispositifs existant chez les fournisseurs locaux. C'est pourquoi, il s'avère optimale d'adapter ces matériels aux attentes de l'étude.

3.4.4.4. Diagramme de Gantt

La planification des tâches est modélisée à travers un diagramme tenant compte de la durée respective de la réalisation. Ce diagramme permet de visualiser le chemin critique et l'ordonnancement des tâches si nécessaire (JULES, 2013).

4. Méthode d'analyse de la qualité du café

4.1. Notion de la qualité dans la filière café

Selon sa définition officielle, la qualité est l'aptitude d'un ensemble de caractéristiques intrinsèques à satisfaire des besoins *exprimés ou implicites de tous les utilisateurs* (RASOARAHONA, 2014).

Pour le café, cette perception de la qualité décline pour chaque intervenant de la chaîne de commercialisation du café (ICO, 2002) :

- pour le producteur, la qualité se rapporte au rendement, aux coûts de production et au prix de vente de la matière première ;
- pour les opérateurs (importateur et exportateur), les normes éditées s'intéressent à la taille des graines et à l'absence de défauts dans les lots. Ils tiennent également compte de la régularité des cours mondiaux, des approvisionnements et de la disponibilité des stocks ;
- pour les industriels, la qualité du café se réfère à la traçabilité et au prix, à la teneur en eau, à la qualité organoleptique à la tasse et aux principes actifs des graines ;
- pour les consommateurs, la qualité est un compromis entre le prix, la saveur, les effets sur la santé, la sécurité du produit et éventuellement son origine géographique.

Mais suivant la tendance actuelle du marché, la reconnaissance de la qualité se matérialise par des aspects génériques (tenant compte de la teneur en OTA), des aspects spécifiques (des cafés labélisés par l'*Agriculture Biologique*, l'*Appellation d'Origine Contrôlée*...), ou des aspects sociétaux. Ce dernier tend à répondre à de nouvelles attentes d'une partie des consommateurs soucieux de connecter la qualité alimentaire à une approche sociale (respect de l'environnement, respect de la biodiversité, du bien-être animal, du travail des enfants...).

4.2. Méthode de contrôle de la norme du café

4.2.1. Qualité commerciale du café

Les normes nationales du café demeurent spécifiques d'un pays à un autre. Mais, l'Organisation Internationale du Café (OIC) classe le café en fonction de la granulométrie des fèves, le nombre de défauts inventoriés dans un échantillon évalué, la teneur en eau et l'homogénéité des graines.

4.2.1.1. Classement par granulométrie

La granulométrie des graines est déterminée par tamisage des fèves suivant des cribles exprimées en 1/64 de pouce (norme ISO 4150). Ce type de classification convient à calibrer les fèves suivant leur grade (tableau 3).

Tableau 3 : Classement granulométrique des fèves

Grade de café	Fèves passant au crible	Fèves retenues au crible	Fèves tolérées retenues au crible	Fèves tolérées passant au crible
Grade 0	-	18	Crible 16 = 6% Crible 14 = 1%	Crible 18 = 6% Crible 16 = 1%
Grade I	18	16	Crible 18 = 20% Crible 14 = 6% Crible 12 = 1%	Crible 16 = 6% Crible 14 = 1%
Grade II	16	14	Crible 16 = 20% Crible 12 = 6% Crible 10 = 1%	Crible 14 = 6% Crible 12 = 1%
Grade III	14	12	Crible 14 = 20%	Crible 10 = 6% Tamis de base = 1%
Grade IV	12	10	Crible 12 = 20%	Tamis de base = 6%

Source : Décret n° 2012-1 012 du 17 octobre 2012 fixant les modalités de conditionnement des cafés verts à l'exportation, Côte d'Ivoire.

Par exemple, le Grade 0 concerne les graines de café retenues en crible 18 avec une tolérance de 6% de graines passant au crible 18 mais retenues au crible 16, et 1% passant au crible 16 mais retenues au crible 14. Il en est de même pour la lecture de tout le tableau.

La dimension des tamis peut être exprimée en des valeurs métriques telles qu'elles sont indiquées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Dimension métrique des cribles

Cible	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Dimensions ISO (mm)	4,00	4,75	5,00	5,60	6,00	6,30	6,70	7,10	7,50	8,00

Source : Guide de l'exportation de café

Une importante qualification est apportée aux graines de grandes dimensions car les défauts sont plus fréquents au fur et à mesure que les graines soient de petite taille.

4.2.1.2. Classement suivant le nombre de défauts

Pour signaler la qualité marchande du café, l'importance de l'échantillon à évaluer varie en fonction du grade de café concerné (tableau 5).

Tableau 5 : Echantillons d'évaluation pour chaque grade de café

Grade du café	Echantillon à évaluer (g)
Grade 0	400
Grade I	360
Grade II	300
Grade III	230
Grade IV	180
Hors normes	100

Source : Décret n° 2012-1 012 du 17 octobre 2012 fixant les modalités de conditionnement des cafés verts à l'exportation, Côte d'Ivoire.

A l'issue des défauts dénombrés dans les échantillons, ces cafés gradés sont classés en cinq catégories dont les critères excellence, extra-prima, prima, supérieur et courant. Pour Madagascar, les normes sont conformes aux exigences de la destination (France, Maroc, Egypte et Belgique) et se résument au classement énoncé dans le tableau 7 dans la page suivante.

Tableau 6 : Classification malagasy du café

Classification	Couleur	Nombre de défauts
----------------	---------	-------------------

Extra-prima	Homogène	≤ 15 dont 5 brisures
Prima	Homogène	≤ 30 (exempts de graines noires)
Supérieur	Aspect général homogène	≤ 80 (exempts de graines noires)
Courant	-	≤ 90 (exempts de graines noires)
Limite	-	≤ 240 (exempts de graines noires)

Source : Statdoc

4.2.2. Exigence de la qualité à l'entrée de l'usine

Plusieurs indicateurs permettent d'évaluer la qualité de chaque produit livré.

4.2.2.1. Principe d'échantillonnage

Se rapportant à la norme ISO 4072, un sondage sur au moins 10% des sacs constituant un lot fait l'objet d'échantillon d'analyse avec une prise de 30 g chacun. Mais dans le cas où les lots sont inférieurs à 10 sacs, le prélèvement de 300 à 500 g s'effectue sur tous les sacs.

4.2.2.2. Teneur en eau

La teneur en eau des fèves de café exerce un rôle important dans la conservation ainsi que dans la durée de torréfaction des graines. Il est alors capital de veiller à la conformité du café vis-à-vis de son humidité.

La norme ISO 6673 stipule que l'humidité des fèves doit être comprise entre 8 à 12,5% pour éviter que les fèves blanchissent et que les moisissures se développent.

4.2.2.3. Grainage

Le grainage consiste à juger l'aspect visuel des graines et d'évaluer leur taille. Cette qualité visuelle se traduit par une présentation homogène des fèves. Cette uniformité leur revient grâce à la réussite des traitements effectués au niveau des petits exploitants. En effet, une bonne conduite de séchage et de stockage évite que le café ne moisisse ni soit endommagé par des insectes. En plus, un excellent décorticage dispensera la présence de cerise coque dans le produit final.

Mais le grainage s'agit entre autre de dénombrer les défauts présents dans un lot expédié. Il est fortement possible qu'au cours des traitements post-récolte, les graines s'incorporent de matières étrangères dont les plus souvent sont des petits cailloux, des brindilles de bois et de la

poussière. L'opération de grainage permet de ce fait, d'avoir une idée sur les dimensions des fèves présentes dans un lot expédié et de compter les défauts qu'il renferme.

4.2.2.4. Traçabilité

L'assurance de la qualité découle de la suivie de la matière première depuis sa zone de plantation jusqu'au stade final de sa fabrication. Il s'agit d'un control permanent pour établir l'identité ainsi que l'historique du produit.

4.3. Méthode de contrôle de la qualité gustative

Signaler la qualité du café prend en compte la valeur gustative de la boisson à la tasse. Pour cela, il est indispensable de recourir à une technique de mesure fiable et efficace.

4.3.1. Principe d'échantillonnage

Pour la sélection des échantillons élémentaires, la technique du quartage a été appliquée pour que chaque prise puisse être représentative de l'échantillon global. Ils ont été par la suite moulus moyennant un pilon pour atteindre la norme de mouture réservée au café filtre.

4.3.2. Analyse sensorielle

La verbalisation détaillée et précise de la qualité organoleptique d'un produit ouvre la voie à des évaluations sensorielles ou métrologies sensorielles, faisant recours aux cinq organes de sens humains comme instrument de mesure (RANDRIANTINA, 2015). Il s'agit de caractériser de manière plus objective les propriétés tangibles et valeurs gustatives d'un aliment, et pouvant même aller jusqu'à déterminer le plaisir qu'il procure au consommateur (LEFEBVRE, 2003).

La description sensorielle est structurée en cinq gestes explicites suivant une base temporelle établie de la manière suivante (THUILLIER *et al.*, 2015) :

- l'**observation** est une phase exclusivement visuelle pour apprécier la tonalité foncée du café marquée d'une nuance de brune vers une teinte presque noire ;
- le **flairage** s'appuie sur l'identification des composés odorants reconnaissables perçus par le nez ;
- la **mise en bouche** ou **attaque** discerne les caractéristiques tactiles, gustatives et des perceptions olfactives durant les premières secondes d'absorption. Quelques caractères peuvent être mis à l'évidence, en l'occurrence la saveur singulière de la boisson se traduisant par une sensation d'amertume, et le corps, dévoilé par une impression de viscosité en bouche ;

- la *tenue en bouche* ou le *développement en bouches* agit des perceptions gustative et retro-nasale se traduisant par la complexité remplissant des arômes liée au mélange avec la salive ;
- la phase *finale* se rapporte également à des sensations gustatives combinées à des perceptions olfactives retro-nasales, qui se manifestent par un goût persistant.

Une seule gorgée peut être décisive à la description de la totalité d'une tasse. Mais bien souvent, la qualification peut inclure un jugement, portant sur une acceptation ou une préférence du produit pour se résoudre à une prochaine consommation.

5. Application sur le processus de torréfaction

5.1. Matériel biologique

La totalité des lots utilisés provient de la collecte effectuée durant la campagne du mois de janvier 2016, du district de *Farafangana*.

Afin d'uniformiser le travail, les petits exploitants ont été accompagnés par le personnel du collecteur dans les modes de récolte et dans les techniques de séchage des graines. Seules les cerises rouges ont été cueillies et séchées pendant une période de quatre jours pour faire l'objet des essais de torréfaction.

5.2. Enquêtes

Des entrevues personnelles effectuées auprès de 42 personnes rapportées en annexe 4 ont été accomplies pour évaluer leurs principales attentes vis-à-vis d'un café. La consultation a été effectuée dans les lieux de travail ou à domicile selon la disponibilité de la population interrogée.

Puis, des descentes sur terrains auprès des partenaires d'approvisionnement locaux ont été menées pour visualiser de près les activités effectuées par les petits exploitants facilitant ainsi la suivie de la matière première.

5.3. Expérimentation

5.3.1. Protocole expérimental

L'élaboration d'un protocole expérimental est fondamentale pour planifier les expériences à entreprendre car il fera preuve d'unanimité dans le fondement d'une recherche scientifique.

Cela implique donc une rédaction d'un document dont le contenu définit toute la démarche de l'expérience. Six points sont inévitablement spécifiés dans cette pièce à savoir les objectifs et les conditions opératoires, les facteurs considérés, le dispositif expérimental, les observations faites, et un canevas de l'analyse des résultats. Chaque stade de la réalisation est complémentaire pour l'établissement du rapport.

5.3.2. Objectifs de l'expérience

La connaissance précise du processus à améliorer résulte d'une considérable recherche bibliographique, des prospections menées sur le terrain et des enquêtes pilotes auprès des consommateurs cibles et des personnes ressources.

Ici, un café témoin a été sélectionné pour ses propriétés organoleptiques qui lui sont attribuées par les consommateurs. L'expérience s'intéresse alors dans la recherche des paramètres optimaux conduisant à un produit de qualité sensorielle presque analogue à ce produit de référence avec un meilleur rendement de torréfaction.

5.3.3. Facteurs constants

Les facteurs constants ou non contrôlés sont des facteurs aléatoires sur lesquels il est pratiquement impossible d'agir.

5.3.3.1. Températures

La bibliographie faite, confirmée par des tentatives effectuées sur le terrain, ont montré que pour un système de torréfaction artisanale, usant d'un tambour rotatif, la température à l'intérieur du cylindre est copieusement dictée par l'intensité du feu d'alimentation du foyer. De ce fait, une seule prise de température peut être accomplie pour ne pas interrompre le processus en cours. Il s'agit de la température d'introduction des graines dans le cylindre débutant chaque cycle de torréfaction. La cinétique de la température durant tout le processus ne sera pas donc étudiée dans ce présent ouvrage.

5.3.3.2. Teneur en eau des graines

L'humidité relative des graines est imposée par leurs techniques post-récolte effectuées auprès de chaque exploitant. Il est quasiment impossible d'essayer de la modifier mais pour en assurer la qualité, elle ne doit pas dépasser les 12,5%.

5.3.3.3. Taux de remplissage ou charge du cylindre

Pour mieux favoriser un transfert de chaleur au niveau des graines, le taux de remplissage du cylindre a été fixé à 10 % de la capacité du cylindre soit 10 kg par torréfaction.

5.3.3.4. Vitesse de rotation du cylindre

Pour que toutes les graines puissent atteindre un même degré de torréfaction, il faut que chacune d'elles entre en contact avec la paroi du cylindre pour favoriser ainsi le transfert de chaleur par conduction. Cela tient compte de leur mode d'écoulement résultant de la vitesse de rotation du cylindre. Pourtant, le cylindre est porté en rotation grâce au mouvement effectué par les ouvriers depuis la manivelle. Dans ce système non-automatisé, le nombre de tours effectué en une minute de rotation été alors compté toutes les deux minutes durant chaque cycle pour en dégager la valeur moyenne.

5.3.4. Facteurs contrôlés

S'opposant aux facteurs non contrôlés, les facteurs maîtrisés sont les facteurs pouvant être retenus pour étudier la variation des observations ainsi que d'approuver les hypothèses posées par l'étude.

5.3.4.1. Temps

Chaque série de torréfaction a été effectuée à des jours différents pour essayer de reproduire les mêmes conditions de réalisation à l'échelle productive. Deux principales observations caractérisent l'étude. La première représentait une observation préliminaire, et consistait à effectués trois essais de torréfactions à double répétition pendant des durées respectives de 17, 20 et 22 minutes.

Pour la seconde observation, les conditions imposées ressortent des résultats retenus des expériences précédentes (des 3 x 2 essais). Les durées de torréfaction ont alors été fixées à 20, 19 et 20 minutes, intégrant chacune 5 minutes de torréfaction à vide achevant la torréfaction (voir section 5.3.7).

5.3.5. Matériels d'essai

La société entretenait un système de torréfaction artisanale faisant usage d'un torréfacteur muni de trois dispositifs tels qu'un cylindre rotatif, un foyer (figure 28) et une claie de refroidissement.



Figure 28 : Dispositif de torréfaction

Cliché : auteur, 2016

Le cylindre est fait d'un fût métallique de 100 kg de capacité, comportant des pales à l'intérieur pour assurer le brassage et la répartition des graines. Il est raccroché temporairement sur le foyer grâce à son axe portant la manivelle. Une cavité, couverte d'un volet métallique coulissant, lui servira d'ouverture pour le remplir et le vider de café.

Des pelles métalliques, pour remuer les graines afin de faciliter leur refroidissement sur les claies, des bacs en plastique pour le transvasement des graines à l'intérieur du cylindre, des sacs en plastique ont été également utilisés.

5.3.6. Matériels de mesure

La réalisation des essais de torréfaction requière les matériels d'analyse qui sont les suivant :

- balance numérique pour estimer la valeur pondérale des graines à torréfier ainsi que les cafés torréfiés pour effectuer le bilan de la torréfaction ;
- humidimètre portable ;
- thermomètre avec une portée de 300°C pour les prélèvements de la température ;
- chronomètre pour déterminer la durée totale de torréfaction ;
- tamis à crible 15 ;

5.3.7. Conduite de torréfaction

12 essais répartis en 4 séries de 3 séquences étaient alors menés tels qu'ils sont indiqués dans le tableau 7. Les série 1 et série 3 concernaient des essais d'observation tandis que les séries 2 et série 4, des tests de répétabilité. Chaque séquence de la série a été agencée de la même manière et précédée d'un préchauffage de 15 minutes pour mieux se rapprocher des modes de fonctionnement des torréfacteurs industriels (principe du double feu).

Tableau 7 : Description des essais de torréfaction

	Série 1			Série 2			Série 3			Série 4		
Café	<i>T11</i>	<i>T12</i>	<i>T13</i>	<i>T21</i>	<i>T22</i>	<i>T23</i>	<i>T31</i>	<i>T32</i>	<i>T33</i>	<i>T41</i>	<i>T42</i>	<i>T43</i>
Préchauffage (min)	15	0	0	15	0	0	15	0	0	15	0	0
Temps (min)	17	22	20	17	22	13	20	19	20	20	19	20
Température (°C)	98	163	155	86	136	117	93	166	131	90	158	215

Source : auteur, 2017

Exemple : dans la première série de torréfaction du tableau 7, les trois essais sont ordonnés de la manière suivante :

- préchauffage de 15 minutes du foyer et du cylindre ;
- torréfaction de T11 pendant 17 minutes après quoi les graines sont évacuées du cylindre et refroidies pendant 3 minutes sur la claie.
- torréfaction de T12 aussitôt que le T11 soit entièrement évacué. Le traitement thermique dure 22 minutes après quoi les graines sont évacuées du cylindre et refroidies pendant 3 minutes sur la claie.
- torréfaction de T13 aussitôt que le T12 soit entièrement évacué. Le traitement thermique dure 20 minutes après quoi les graines sont évacuées du cylindre et refroidies pendant 3 minutes sur la claie.

5.3.8. Evaluation technique

Il s'agit d'interpréter les rendements massiques découlant de l'expérimentation. Le rendement massique des essais a été obtenu par le rapport massique de café vert au café torréfié moulu multiplié par 100.

$$\text{Rendement massique (\%)} = \frac{\text{masse de café vert (kg)}}{\text{masse de café torréfié (kg)}} \times 100$$

5.4. Evaluation sensorielle

Le profil sensoriel du café obtenu sera établi à l'aide d'une épreuve descriptive consistant à le comparer avec d'autres cafés standards présents sur le marché local. Puis, un test de préférence complètera l'épreuve pour anticiper l'attitude des consommateurs vis-à-vis du produit.

5.4.1. Epreuve descriptive

Dans ce présent rapport, la méthode descriptive repose sur l'application de la méthode du Profile pivot®, développé en 2015 par THUILLIER *et al.*, pour une description précise et complète possible des échantillons à tester.

Il s'agit d'une nouvelle méthode de libre description de produits basé sur la collection d'un maximum de descripteurs attribués par les juges. Cette technique consiste à confronter chaque produit cible à un produit pivot constituant le produit de référence.

5.4.1.1. Panelistes

Vingt et un sujets ont participé à l'évaluation sensorielle dont six hommes et quinze femmes.

5.4.1.2. Echantillon à évaluer

Les enquêtes préalablement effectuées auprès des consommateurs cibles ont déduit que deux principaux cafés commerciaux sont reconnus et très prisés par la population. Cela nous avait conduit à leur sélection pour faire l'objet d'une étude comparative avec deux cafés torréfiés résultant des opérations d'optimisation. Les deux cafés commerciaux ont alors été dénommés café S1 (dont son code à trois chiffres correspondait à 815) et café S3 (dont son code à trois chiffres correspondait à 562) alors que l'un des cafés obtenus durant les essais a été retenu comme étant le pivot et l'autre a été désigné par café S2 (dont son code à trois chiffres correspondait à 278).

5.4.1.3. Préparation de la boisson

Pour tous les échantillons à tester, 100 g de café en poudre est nécessaire pour préparer 1 litre de boisson. L'eau a été portée à 98°C pour effectuer l'extraction pendant 4 minutes avec un filtre en tissu dont la porosité ne laisse traverser aucune mouture. La boisson ainsi filtrée est versée dans une bouteille isolante pour préserver la chaleur et éviter la perte des arômes. Le café n'est finalement versé dans un gobelet de 30 ml qu'au cours de sa dégustation et peut être à tout moment servi aux sujets suivant leur demande. Pour cette épreuve, chaque café a été dégusté nature pour que les panelistes puissent détecter toute moindre différence.

5.4.1.4. Elaboration du questionnaire

Le questionnaire du PP comporte un tableau (annexe 5) permettant de caractériser les produits à évaluer par rapport au produit de référence appelé « Pivot ». La comparaison est effectuée par rapport au « moins » et « plus » en termes d'intensité.

5.4.1.5. Séance de dégustation

L'épreuve s'est déroulée en deux étapes dont :

- la formation des sujets effectuée au niveau de la salle de réunion afin de leur expliquer le but et le principe de l'épreuve. Cela a été accompagnée d'une petite simulation pour rendre explicite le travail attendu ;
- l'accomplissement du test par les sujets dans des cabines respectifs. Les questionnaires ont été distribués par cabine avec les échantillons (les échantillons codés à trois chiffres en simultané avec le produit de référence) à déguster par ordre de présentation du Carré Latin de William.

5.4.1.6. Traitement des données

Une liste de descripteurs considérés par chaque juge a été dressée ; les descripteurs indiquant les mêmes fonctions ont été regroupés dans un seul champ lexical (*exemple* : savoureux, goût café, délicieux ont été regroupé dans la sémantique de la qualité aromatique). Au final, douze (12) groupes de descripteurs ont été retenus.

Le nombre de parution de chaque descripteur au niveau de la fréquence négative (moins... que le pivot) et de la fréquence positive (plus... que le pivot) a été recensé ainsi que le nombre de juge ayant noté ce descripteur.

Puis, les fréquences négatives ont été soustraites des fréquences positives pour évoquer la pertinence de la sensation perçue par les juges.

Pour chaque échantillon considéré, le descripteur ayant le plus de « plus...que le pivot » emporte sur l'intensité prépondérante de ce produit. Dans le cas où le nombre de « plus...que le pivot » et « moins...que le pivot » d'un descripteur coïncide, le produit sera tenu compte comme étant similaire au pivot au profit de ce descripteur.

Ce sont les valeurs obtenues de la différence des fréquences additionnées à la valeur minimale rencontrée dans cette même colonne (-13) qui seront transcrites dans l'ACP (Analyse de Composant Principal) afin d'interpréter les résultats de la comparaison (annexe 6).

5.4.2. Epreuve hédonique

L'épreuve de notation hédonique, comportant une échelle de 1 (je déteste) à 9 (j'adore), consiste à demander aux sujets leur appréciation du café concernant les attributs de la couleur, odeur, flaveur et amertume du café. L'évaluation a été réalisée de manière porte-à-porte auprès des sujets, dans la matinée pour mieux se rapprocher des conditions réelles de consommation du café.

5.4.2.1. Panélistes

100 sujets, regroupant 60 hommes et 40 femmes correspondant à un large profil social, éparpillés dans des zones urbaines et rurales de la Capitale ont été sélectionnés pour participer à l'analyse hédonique. La répartition par âge de ces sujets est montrée dans le tableau 8.

Tableau 8 : Répartition par âge des sujets ayant participé aux tests de consommateurs

Tranche d'âge	[18 – 25[	[25 – 35[	[35- 45[	≥45
Effectif	48	19	21	12

5.4.2.2. Echantillon à tester

A l'issu des résultats de l'analyse descriptive, le café S3 a été sélectionné pour se confronter avec le café pivot de l'épreuve afin d'évaluer la préférence des juges. Cette fois-ci, les échantillons ont été légèrement sucrés.

5.4.2.3. Elaboration du questionnaire

Le questionnaire comporte un bref renseignement sur l'objectif de l'évaluation ainsi que des indications sur le travail attendu du dégustateur (annexe 7).

L'appréciation globale est demandée en début de questionnaire pour se rapprocher au maximum des conditions réelles d'achat et éviter que le consommateur ne décompose les sensations. Des informations supplémentaires concernant le profil socio-démographique ont été également demandées pour essayer de justifier les perceptions des juges.

5.4.2.4. Séance de dégustation

L'épreuve a été précédée d'une instruction verbale des sujets pour expliquer la procédure du test sans révéler le contenu de chaque produit à déguster. Les produits ont été présentés de manière monadique devant chaque sujet.

5.4.2.5. Traitement des données

Afin d'évaluer l'indépendance des variables et des observations, un test de Khi-deux a permis de vérifier si l'appréciation globale de la boisson pouvait être liée à l'âge, au sexe, à la fréquence de consommation et à la zone de dégustation. Un test de Student a été par contre effectué pour comparer deux à deux les moyennes (seuil $\alpha = 5\%$).

Conclusion partielle 2

La qualité sensorielle du café est relative aux traitements post-récoltesubis par les graines. La cueillette permet déjà de cueillir les cerises entièrement mûres pour éviter une perception astringente au niveau de la tasse. Le séchage et le triage constituent également des paramètres influents de la qualité car les graines peuvent à tout moment s'incorporer de matières étrangères au cours de ces opérations.

Mais ce n'est qu'au cours de la torréfaction que la qualité finale se façonne. C'est pourquoi, une séance de remue-méninges effectuée avec les responsables de la société a permis d'orienter nos travaux de recherche afin de mieux prévoir les essais à entreprendre.

Partie 4 :

RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. Résultats des applications sur la torréfaction du café

La dernière partie de ce rapport décrit les résultats obtenus par la méthode du Six Sigma utilisée dans l'optimisation du processus de torréfaction du café.

1.1. Résultats de la phase de définition

Les descriptions précises du projet d'optimisation du processus de torréfaction ainsi que les objectifs de l'amélioration de la qualité sensorielle du café ont été largement développées dans la partie 1 de la situation de l'étude. Mais dans cette rubrique des résultats, l'analyse sera étroitement orientée vers l'évaluation des besoins des consommateurs.

1.1.1. Situation actuelle de la consommation du café

Lors du sondage d'opinion préalablement effectué auprès de la population sélectionnée, on a pu établir que deux cafés torréfiés moulus commerciaux locaux sont reconnus et très prisés par les consommateurs. Il s'agit du café *Tsy lefy* de la société TAF et du café *Tsy resy* (figure 29).

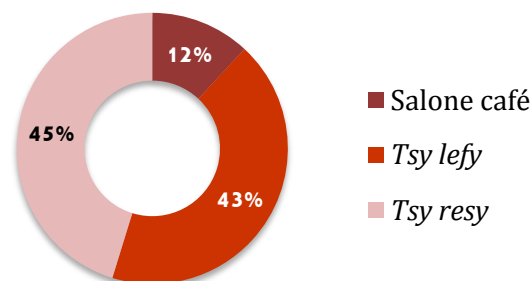


Figure 29 : Les trois cafés les plus prisés par la population enquêtée

Cette préférence a été nettement justifiée pour certains, par le prix et le goût du produit tandis que la disponibilité constante sur le marché ainsi que le format et la praticité de l'emballage constituent pour d'autres, les facteurs de sélection (annexe 8). Malgré que l'image perçue de la marque puisse être classée en dernier lieu, elle reste tout même un facteur décisif pour les clients les plus fidèles.

Dans la figure 30 dans la page suivante, la population interrogée a été essentiellement composée de buveur journalier de café (69%). Pour la plupart d'entre eux, le café est toujours présent dans toutes activités journalières depuis le petit-déjeuner (rituel) jusqu'à la pause de

l'après-midi (moment de détente). Boire du café est presque ainsi une habitude à laquelle il devient pratiquement impossible de s'en passer.

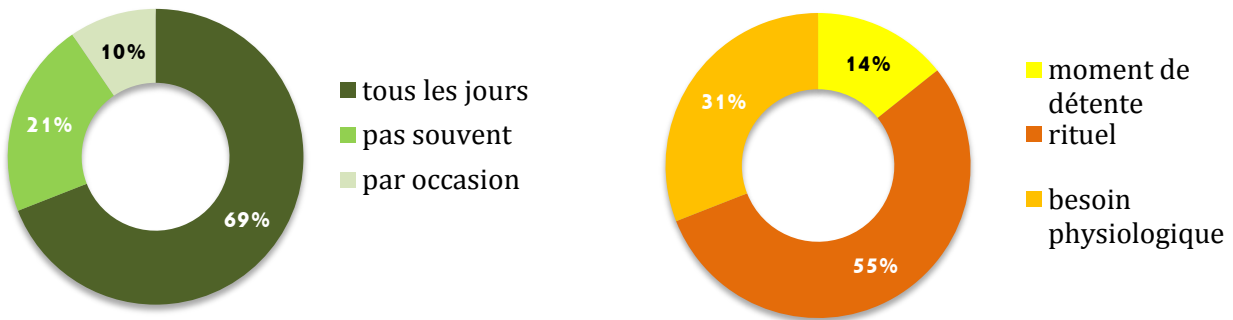


Figure 30 : a) Répartition de la population suivant leur fréquence et b) raison de la consommation du café

Pourtant, cette attitude n'est pas remarquée chez d'autres, car certains éprouvent une exigence particulière de la boisson et n'en boivent qu'occasionnellement (figure 30b) afin de répondre à des besoins strictement physiologiques (55%).

1.1.2. Attentes des consommateurs du café

Malgré cette différenciation, les attentes sont presque les mêmes. En effet, la mention de l'authenticité d'une tasse, caractérisée d'un goût relevé du café et recélant sa senteur, constitue davantage un critère de motivation et d'incitation des consommateurs.

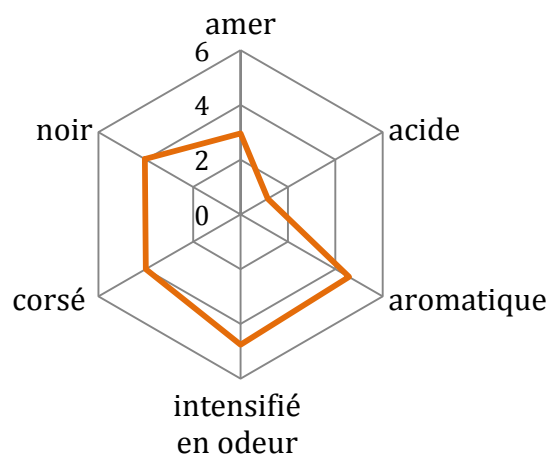


Figure 31 : Cartographie du profil sensoriel d'un bon café selon la population enquêtée

D'ailleurs, pour cette population, un bon café se traduit par un café offrant la complexité des arômes, noir et corsé, peu acide et modérément amer ; où l'odeur caractéristique est fortement présente (figure 31). Les données utilisées dans la représentation de la figure apparaissent en annexe 7.

1.1.3. Formation de l'équipe d'études

Suite à la séance de *brainstorming* effectuée au sein de la société, l'équipe chargée de la mise en vigueur de la démarche a été constituée. En premier lieu, le directeur de la société est impliqué dans toutes les prises de décision ainsi que dans l'orientation des stratégies à développer. L'encadrant pédagogique entre également dans l'apport de connaissances et l'approbation des suggestions d'amélioration. Un spécialiste externe à la société, le promoteur du projet, le responsable de production et les ouvriers torréfaction vont finalement former avec les personnes susmentionnées le groupe de l'étude.

1.1.4. Organisation des opérations respectives

Le tableau 9 illustre l'agencement des activités effectuées pour la réalisation du projet d'optimisation.

Tableau 9 : Chronogramme de GANTT

Activités	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct
Planning du travail												
Recherche bibliographique												
Observations sur terrain												
Enquêtes et interview												
Suivi des traitements post-récolte des graines												
Essais de torréfaction												
Analyse sensorielle												
Analyse des données												

1.2. Résultats de la phase de mesure

La phase de mesure consistait à recueillir les données concernant les situations actuelles issues des observations factuelles menées sur le terrain. Elle convenait alors à identifier tous les paramètres influençant la qualité à savoir la matière première et le processus de création de valeur.

1.2.1. Traitements post-récolte des graines

La première série de données relate la constatation des résultats de traitements post-récolte des graines de café entrepris au niveau des exploitants agricoles.

1.2.1.1. Récolte des cerises

Au niveau de chaque exploitant, la cueillette est menée de manière manuelle moyennant des paniers en pailles, des seaux en plastiques et des sacs tissés. La récolte des fruits sur un même arbre est effectuée en deux passages, en l'espace de quatre jours, pour obtenir à la fin de la cueillette 2 kg de fruits mûrs.

1.2.1.2. Séchage et décortilage

Les cerises obtenues sont acheminées vers les aires de séchage où elles sont amassées sur les lieux d'entreposage, au voisinage des locaux d'habitation. Le séchage débute le jour même de la cueillette. Au cours de cette étape, les cerises sont exposées sur des nattes en plastiques et des bâches en raison de 4 kg par mètre carré tout en subissant deux brassages durant la journée, un vers 10 h du matin tandis qu'un autre vers 15 h de l'après-midi. Ces brassages sont effectués à l'aide d'un râteau. Le séchage est effectué au cours de quatre jours.

Le décortilage des graines est opéré au niveau des unités de décortilage chinoises de la région pour extraire les graines de manière mécanique.

Les informations issues de ces traitements sont répertoriées dans un cahier de charge pour assurer la traçabilité de la matière.

1.2.1.3. Triage

A la fin du séchage, les fèves de café sont remballées puis transportées vers le collecteur pour en négocier le prix. Ces dernières subissent un contrôle effectué par le collecteur afin de les

répartir suivant leur aspect visuel. Ce sont les graines de gros calibres qui seront pesées puis expédiées vers l'usine de torréfaction.

1.2.2. Structure de la collecte du café

Le collecteur constitue un relais entre les producteurs et l'usine de torréfaction. Il assure dorénavant une sélection primaire du café avant leur expédition vers les destinataires. Plusieurs petits exploitants sont regroupés puis encadrés dans les techniques post-récolte des graines.

Le collecteur conserve une relation strictement marchande avec les exploitants car il peut à tout moment négocier le prix d'achat du café et accorder des primes d'incitation pour les exploitants offrant des cafés de gros calibres et exempts de défauts. Cela impliquerait donc un effort de la part des exploitants pour assurer la qualité de la matière mise à la vente.

En outre, le collecteur entretient un système d'entraide, d'échange d'informations, et même de solidarité envers les exploitants pour faire base de relation durable pour les deux parties.

Le choix des exploitants se fait selon un arbitrage prenant en considération certains paramètres à savoir la quantité du lot livré, la dimension des graines et le nombre de défauts présents dans le lot.

1.2.3. Qualité marchande des fèves livrées

L'attribution de la qualité commerciale du café est faite grâce à la sélection effectuée par le collecteur. Mais dès son arrivée à l'usine, cette analyse est infailliblement secondée par le personnel de la société du *Bio.Es.Oil*.

1.2.3.1. Humidité relative des graines

La teneur en eau des fèves actuelles variait entre 10,6 % à 11,7 % telles qu'elles sont rapportées dans le tableau 10.

Tableau 10 : Humidité relative des graines de café expédiées à l'usine en janvier et février

Lot expédié au mois de	Humidité actuelle (%)	Humidité exigée (%)
Janvier	10,6	< 12,5
	11,1	< 12,5
	10,9	< 12,5
Février	11,7	< 12,5

Dans ce tableau, la teneur en eau des graines livrées durant les mois de janvier et de février présentait un léger écart de 1,7%.

1.2.3.2. Grainage

Le calibrage a indiqué 61 % des graines retenues sur le crible 15 et 49 % traversant les mailles du tamis.

Par contre, les défauts recensés au cours du dénombrement représentaient des parches, des graines noires, des fèves brisées, des cerises coques, des grosses peaux et des petits cailloux.

1.2.4. Situation actuelle de la torréfaction

Au niveau de l'unité de torréfaction, l'observation reposait sur le prélèvement de tous les stades afin de décomposer le processus en un maximum d'étapes élémentaires pour mieux l'optimiser (figure 32).

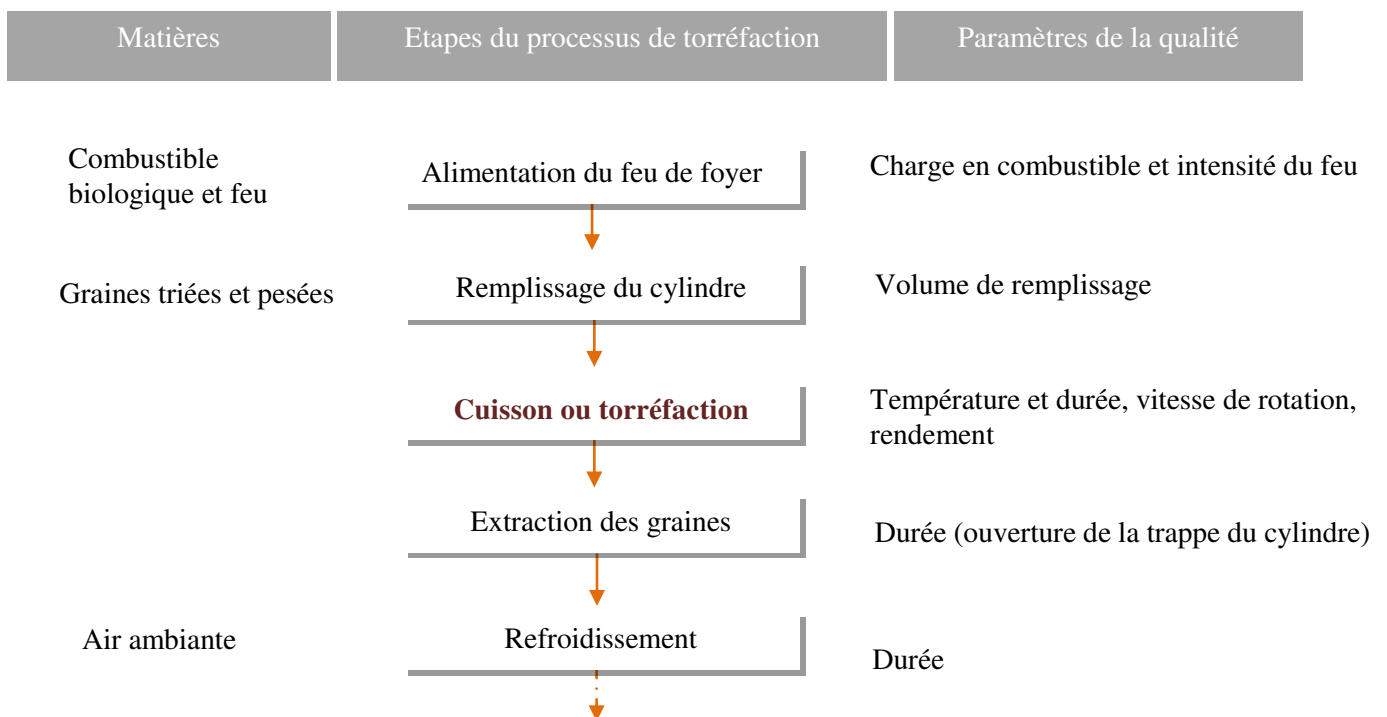


Figure 32 : Cartographie du processus à optimiser

Les dispositifs utilisés ont été ceux rapportés dans la rubrique des matériels et méthodes : cylindre rotatif, foyer, pelle métallique et claie de refroidissement.

Pour le premier cycle de torréfaction, aucun préchauffage du cylindre n'a été effectué et la durée de cuisson de 25 kg de café se prolongeait sur une durée de 40 minutes. Par contre, les séquences de torréfaction suivantes n'ont pas excédé les 20 minutes de la torréfaction.

Concernant les conditions opératoires, un dégagement excessif de fumée blanche ainsi qu'une forte odeur de graines grillées sont retenus décisifs pour arrêter le processus. L'alimentation du foyer a été ajustée suivant une intensité constante du feu. Quant à la vitesse de rotation du cylindre, elle échelonnait entre les 32 à 42 tr/min suivant les ouvriers.

1.3. Résultats de la phase analyse

Signalons que l'évaluation des causes génératrices de défauts dérive du diagnostic des 7 M dont :

- M₁ ou matière première
- M₂ ou matériels
- M₃ ou méthodes
- M₄ ou main d'œuvre
- M₅ ou milieu
- M₆ ou management
- M₇ ou moyens financiers

1.3.1. Défauts générés par la matière première

1.3.1.1. Teneur en eau des fèves

La qualité finale des fèves est fortement liée aux traitements de récolte, de séchage et de décorticage des cerises.

En effet, la cueillette manuelle des cerises constitue déjà une sélection des cerises entièrement mûres ayant atteint les mêmes degrés de maturité. Les cerises concernées détiennent alors le même âge.

Au niveau des exploitants, le séchage débute aussitôt que les cerises sont parvenues sur les aires de séchage. Cette pratique est bien conforme à la norme car selon les résultats publiés par ILLY et VIANI (1996), VINCENT *et al.*, (1975), CROSET *et al.*, (1979), et GUYOT *et al.*, (1982) la contamination au développement fongique s'accroît considérablement lorsque la durée de la

mise en séchage des cerises après la récolte se prolonge. Cela s'explique par la fermentation des baies favorisant la destruction de leur paroi, facilitant ainsi l'entrée des espèces fongiques.

Mais au cours du séchage, l'étalage au soleil s'est limité en quatre jours alors qu'au seuil de cinq jours, des risques de contamination peuvent surgir dans le cas où les cerises ne sont pas encore parvenues à une teneur en eau inférieure à 13%. Ceci se rencontre en cas d'ensoleillement déficient.

Concernant l'humidité des graines livrées, elle variait de 10,6 à 11,7 %. Ces valeurs ne sont pas alarmantes car se situe au-dessous de l'exigence fixée à 12,5 %.

1.3.1.2. Grainage et nombre de défauts

En se rapportant au grainage, le calibrage a indiqué 61 % des graines retenues en crible 15 et 49 % traversant les mailles du tamis. Le nombre de défauts inventoriés a par contre été récapitulé en tableau 11 selon le barème de calcul développé dans l'annexe 9.

Tableau 11 : Défauts recensés dans 300 g d'échantillon de café vert

Défauts	Nombre
Fèves en cerises	4
Fèves en parches	5
Brisures	11
Fèves scolytées	3
Petites peaux	3
Grosses peaux ou coques	15
Fèves noires	4

Au total, le nombre de défauts répertorié a été au nombre de 45 soit largement inférieur à la norme de 120 défauts.

La valeur pondérale des matières étrangères comprenant les brindilles de bois et les petits cailloux a été estimée à 0,4 g dans l'échantillon d'analyse de 300 g, soit inférieur à la norme de 0,2 %. Le café livré est alors de qualité standard (par rapport au marché local) mais déclassée à cause de la présence de fèves noires (par rapport à l'exportation).

1.3.2. Défauts générés par les matériels de torréfaction

Le torréfacteur artisanal à la disposition de la société est pratiquement difficile à manipuler. La complication réside dans l'extraction des graines de café torréfiées. D'ailleurs, il est

impossible de jauger le feu d'alimentation du foyer en usant de combustibles organiques ; seule une maîtrise approximative sera effectuée pour que le feu ne soit ni trop intense ni trop faible.

1.3.3. Défauts générés par la méthode de torréfaction

Comme étant déjà mentionnée dans la phase de mesure, aucune précision n'a été fixée sur la méthode entreprise. Ceci a été source de dispersion des facteurs opératoires ainsi que des résultats de torréfaction.

1.3.4. Défauts générés par la main d'œuvre

La relève des ouvriers pendant la réalisation d'un cycle de torréfaction a conduit à une distribution hétérogène des graines torréfiées. En effet, la vitesse de rotation du cylindre évoluait suivant chaque ouvrier. Cela amène alors à l'obtention de cafés moyennement torréfiés et de cafés à torréfaction très poussée allant même jusqu'à la carbonisation de ces derniers.

1.3.5. Défauts générés par le milieu ou l'environnement du travail

La direction de l'implantation de la torréfaction se trouve sous le vent pour mieux gérer l'intensité du feu du foyer. Pourtant, l'installation du dispositif au sein d'une espace couverte munie d'une toiture métallique accentue la perception de la chaleur due au feu d'alimentation du foyer ainsi qu'à l'ensoleillement. D'ailleurs, la dissipation violente de fumée blanche marquant la fin du processus affecte tous les lieux et demeure une nuisance au bien-être des ouvriers.

1.3.6. Défauts générés par les moyens financiers

S'agissant d'une étude basée sur l'optimisation de processus, la notion du coût reste fondamentale et constitue un grand facteur de blocage pour le développement de la production. En effet, le défi réside dans l'atteinte de la qualité à un coût assez modéré. Cela explique la raison pour laquelle il est impératif pour la société de démarrer ses activités moyennant les dispositifs en leur disposition avant de se propulser dans l'utilisation de torréfacteur industriel sophistiqué.

1.3.7. Défauts générés par le management ou le mode de gestion

Le manque d'encadrement des ouvriers ainsi que le défaut de communication constituent un facteur limitant à la mise en place de la qualité au sein de l'usine. Cela est d'ailleurs accentué par le déficit en personnel chargé d'assurer le contrôle des activités.

1.4. Résultats de la phase d'amélioration

Améliorer le processus sans substituer les matériels de torréfaction instaurés ni les paramètres considérés conduit à modifier les conditions opératoires du système. Les tests d'application effectués ont alors abouti aux résultats dissemblables qui seront développés dans les paragraphes qui suivent.

1.4.1. Rendements de torréfaction

Les pertes en masse entraînées par le processus échelonnaient de 25 à 43%. La plus grande perte est remarquée au cours de la série de réobservation ou série 3 torréfiant les T31, T32 et T33, présentant des rendements respectifs de 60, 57 et 59% (figure 33 dans la page suivante).

Pour les deux premières séries d'essai, les mêmes conditions de réalisation n'ont pas donné des résultats similaires. En effet, le rendement de la torréfaction à 17 minutes de T11 avec une vitesse de rotation de 33 tr/min (figure 35) s'est ramené à 66% alors que la reproduction des mêmes conditions avec T21, mais à une vitesse de 52tr/ minute a abouti à un rendement de 74%. En revanche, les rendements des seconds cycles de torréfaction de 22 minutes de T12 et de T22 effectuées avec des vitesses respectives de 33 et 53 tr/min se coïncident à 72%.

Pour les deux dernières séries, intégrant les séries 3 et 4, aucune similitude des rendements n'a été observée.

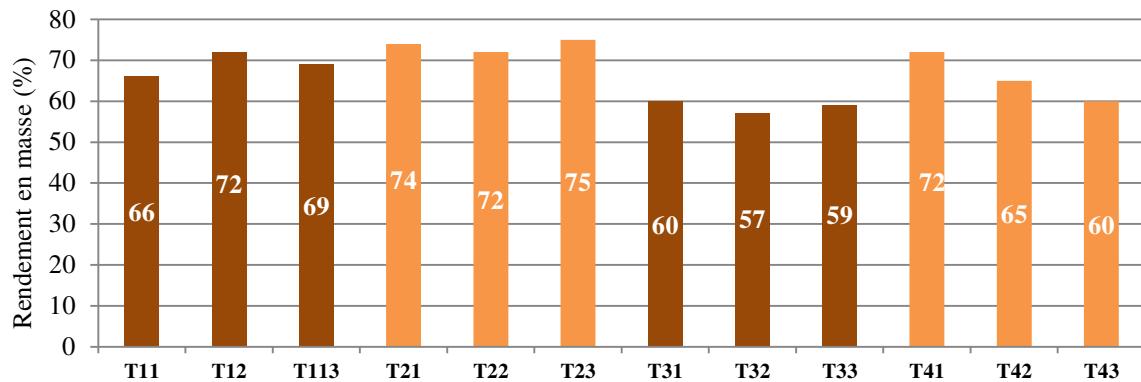


Figure 33 : Rendements de torréfaction du café

1.4.2. Première série de torréfaction

La première série de torréfaction a été marquée par l'abondance de grains carbonisés ; leur taux a frôlé la moitié des grains. Ces derniers sont respectivement estimés à 3,9 kg et 3,4 kg pour T11 et T12. Le rendement de 72% de T12 lui revient par la présence d'une grande quantité de café non-torréfié estimé à 1,4 kg (figure 34).

1.4.3. Deuxième série de torréfaction

La répétition de la première série a abouti à un rendement de torréfaction de T23 évalué à 75% conduisant à des cafés sous-torréfiés présentant une nuance de vert et jaune. Cela était le résultat d'une ouverture accidentelle du couvercle du cylindre à la 13^{ème} minute de la torréfaction d'où l'interruption immédiate du processus.

Seuls, les résultats de torréfaction de T21 et T22 ont été considérés. Les deux cafés présentaient des quantités presque similaires de cafés carbonisés (2,9 kg et 2,8 kg) mais T21 contenait plus de grains sous-torréfiés (2,3 kg) que T22 (1,6 kg).

1.4.4. Troisième série de torréfaction

Parmi toutes les séquences de torréfaction, T32 et T33 présentaient le plus de grains carbonisés avec plus de 4,1 kg chacun.

1.4.5. Quatrième série de torréfaction

La dernière série est marquée par un degré de torréfaction homogène des graines. Mais l'écart du rendement réside dans l'intensité de torréfaction, allant de moyenne (T41) à très poussée (T43).

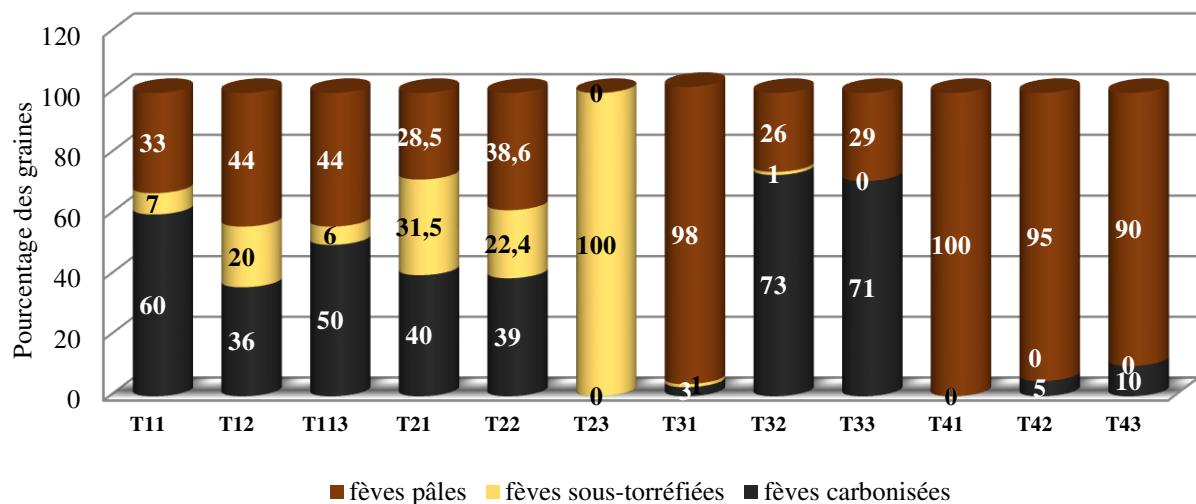


Figure 34 : Répartition du degré de torréfaction des graines

Discussion

En se tenant à l'histogramme de rendement de torréfaction des cafés (figure 34), on constate une distribution dissemblable des résultats illustrés. Pour les deux premières séries de torréfaction, considérant les cafés torréfiés de T11 à T23, les valeurs observées représentent une répétabilité insatisfaisante. Par contre, pour les deux dernières séries d'essai, seules les deux premières séquences de chaque série étaient convenables (résultats jugés par l'uniformité de la teinte des graines illustrée par la figure 34).

Deux hypothèses peuvent être alors émises pour tenter d'expliquer ces faits. On peut dire que le rendement qualitatif de la torréfaction (homogénéité de la teinte des graines) est fonction de l'irrégularité l'intensité du feu d'alimentation du foyer associée à la vitesse de rotation du cylindre.

La proportion excessive en fèves carbonisées dans les cafés T11, T32 et T33 a été probablement due à une forte intensité du feu du foyer.

D'ailleurs, la succession des ouvriers n'a pas permis une reproduction exacte de la vitesse de rotation du cylindre. La valeur transcrite variait alors de 30 à 53 tr/min telle qu'elle est illustrée dans la figure 35.

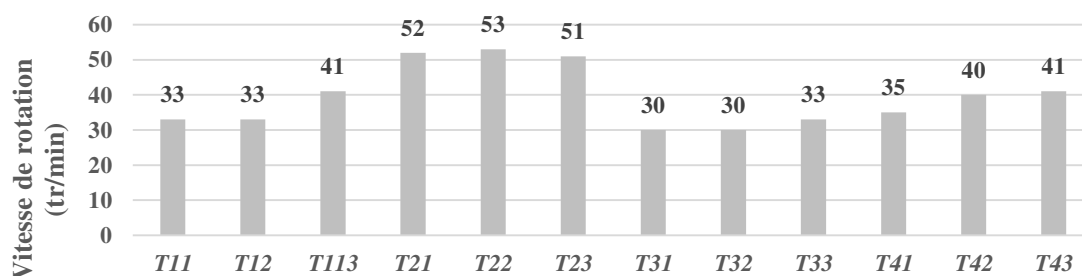


Figure 35 : Vitesse moyenne de rotation du cylindre pour chaque cycle de torréfaction

L'ensemble de figures illustré dans la figure 36 semble expliquer cette variation.

A une vitesse de rotation élevée du cylindre (jugée au voisinage de 55 tr/min), les graines de café quittent la couche passive pour entrer dans la couche dite active de la surface du lit pour graviter sur le talus. La rotation les emmène par la suite à réincorporer la couche passive. C'est uniquement la couche passive qui reste adhérente à la paroi (figure 37a). Cela peut être à l'origine de la forte proportion en fèves sous-torréfiées dans les cafés T21 et T22.

Mais à une faible vitesse (inférieure à 20 tr/min) de rotation, seules les graines en mouvement entrent en contact avec la paroi du cylindre (figure 36c). Ce cas n'a pas été constaté dans cet ouvrage.

Ce n'est qu'à une vitesse moyenne de rotation estimée à 30 tr/min que toutes les surfaces des graines touchent l'intérieur du cylindre et favorisant ainsi un transfert de chaleur optimal (figure 37b). Cela pourrait expliquer l'homogénéité des graines issues de T31 et de T41.

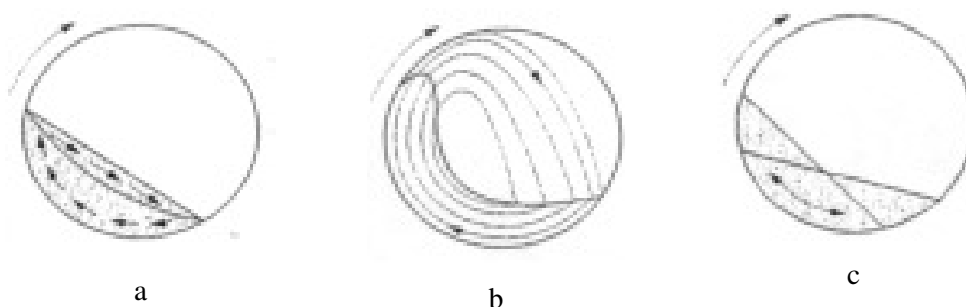


Figure 36 : Comportements des graines dans le cylindre a) à une vitesse élevée; b) à une vitesse moyenne ; c) à une faible vitesse

1.5. Résultats de phase de maîtrise

Depuis les résultats d'optimisation, les graines de café de T31 et T41 ont été sélectionnées pour faire l'objet de l'analyse sensorielle. Au cours de l'épreuve descriptive, T41 a été retenu en tant que pivot et T31 désigné par café S2 tandis qu'à l'épreuve hédonique, il a été codé par E2.

1.5.1. Epreuve descriptive

Les informations fournies par l'ACP peuvent être extraites à partir des deux graphiques étant le cercle de corrélations et le graphique des observations.

Sur le cercle de corrélations (figure 37a), les 12 attributs sont projetés vers le bord du cercle. Cela affirme que chaque attribut a bien été représenté dans l'ACP. Sur ce graphique, deux attributs séparés d'un angle aigu sont corrélés positivement (de façon linéaire). Nous voyant par exemple dans le cercle de corrélations que la saveur plate et l'odeur fermentée sont corrélées positivement. Les attributs formant par contre un angle droit ou opposé montrent une indépendance. Par exemple, la saveur plate est corrélée négativement à la qualité aromatique. Mais aucune conclusion particulière ne peut être tirée sans avoir examiné l'allure des nuages de corrélation.

A 100% de variance, le graphique des observations (figure 37b) affichent les attributs du café sur les mêmes dimensions de l'ACP. En se rapportant à une comparaison qualitative avec le pivot, il apparaît que les caractères du café S1 s'opposent à ceux des deux autres cafés (S3 et S2). En effet, le café S1 a été décrit acide et à saveur plate. D'ailleurs, l'odeur de la boisson a été caractérisée par une odeur de moisi.

L'amertume et la persistance en bouche étaient particulièrement palpables au niveau du palais pour le café S2 que pour le pivot. D'ailleurs, cet échantillon a été considéré plus corsé et plus aromatique que ce dernier. Pourtant, il semble avoir gagné en odeur de brûlé.

L'odeur caractéristique et la tonalité noire du café à la tasse n'ont été, en outre, recélées que dans le café S3. Il a même suscité la préférence des juges. Cependant, la boisson a été qualifiée plus astringente que le pivot.

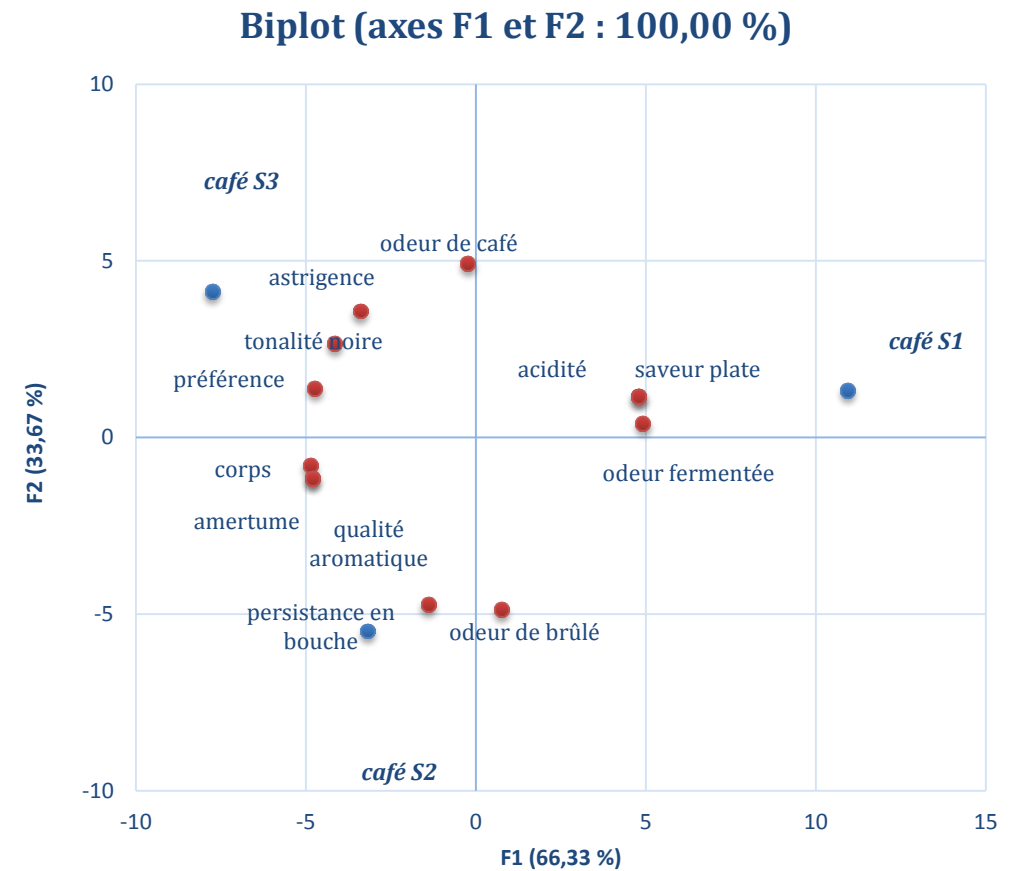
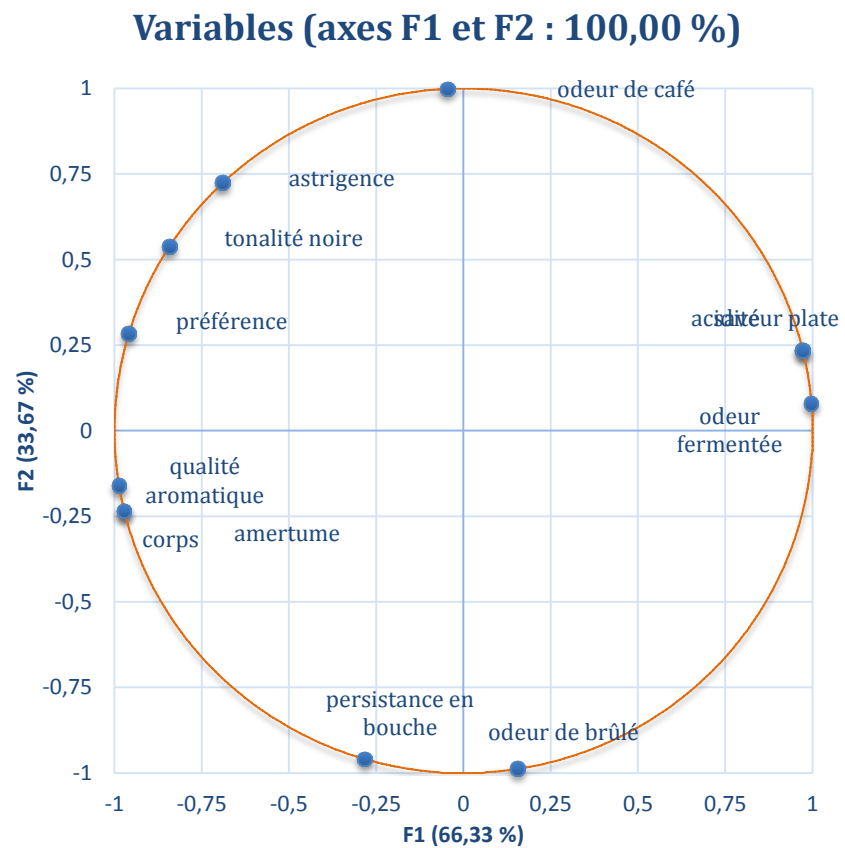


Figure 37 : Représentation en ACP des résultats du Pivot profiles ® a) Graphique de cercle de corrélations ; b) Graphique des observations

1.5.2. Epreuve hédonique

A l'issue de ces résultats d'analyse précédents, 100 nouveaux sujets ont accompli l'épreuve hédonique comparant le café S3 au pivot. Cette fois-ci, l'effectif fait figurer de sujets naïfs et la comparaison s'intéresse uniquement à leur préférence vis-à-vis des attributs de la couleur, de l'odeur, de l'amertume et de flaveur des deux cafés considérés.

Afin de garder l'anonymat de chaque produit à tester, les deux cafés ont été recodés de sorte que le café S3 soit le café E1 tandis que le pivot soit le café E2.

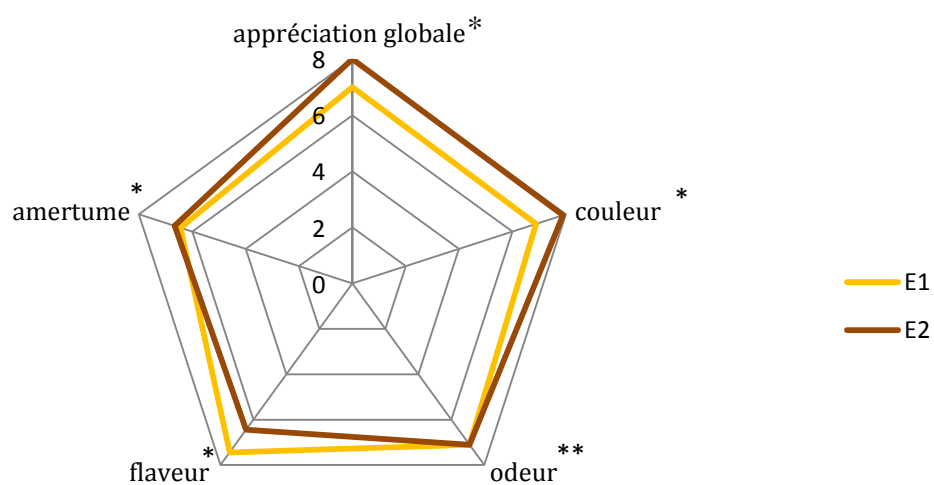


Figure 38 : Appréciation globale des deux cafés

* : différence significative

** : différence non-significative

Pour les sujets ayant participé à l'épreuve hédonique, sur une échelle de 1 à 9, les deux cafés E1 et E2 sont tout à fait appréciés par les sujets. Cette préférence a été justifiée pour E1 de sa flaveur et de son odeur tandis qu'E2 a été favorisé par sa tonalité noire et son amertume en bouche (figure 38).

Et, depuis le test de Student, on a pu affirmer pour chaque attribut : flaveur, couleur, appréciation globale et amertume, la différence des moyennes est significative (mode de calcul en annexe 3).

Mais essayons de déterminer si ces appréciations sont fonctions du profil sociodémographique des juges correspondant.

1.5.2.1. Appréciation liée au sexe

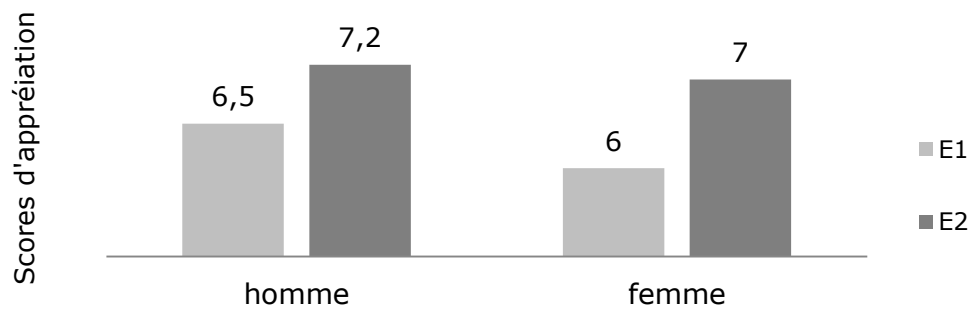


Figure 39 : Histogramme d'appréciation liée au sexe

Dans la figure 39, on constate une répartition équitable des hommes et des femmes ayant mentionné leur appréciation pour les deux cafés.

Suite au calcul de khi-deux effectué avec une seuil d'erreur de 5%, et correspondant à un degré de liberté évalué à 1, la valeur calculée de χ^2 a été de 3,61 soit inférieure à la valeur théorique de χ^2 de 3,84. Les deux cafés E1 et E2 peuvent être alors aussi appréciés par les hommes que par les femmes.

1.5.2.2. Appréciation liée à l'âge

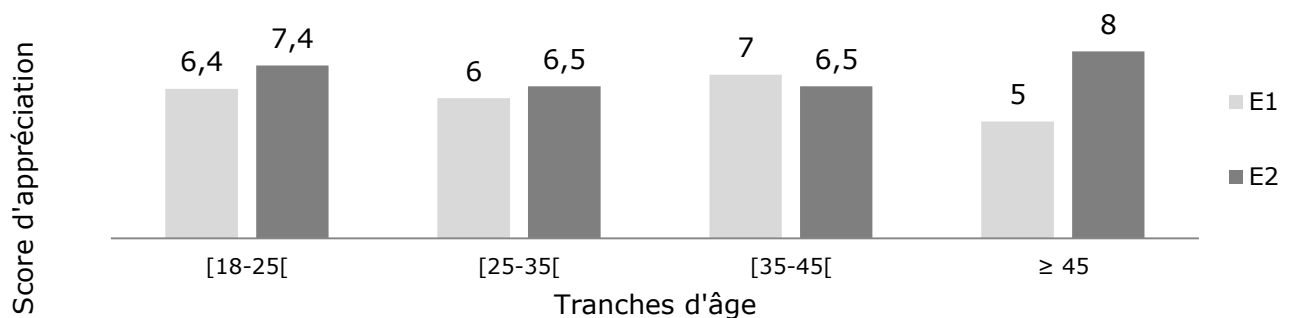


Figure 40 : Histogramme des appréciations liées à l'âge

Dans la figure 40, les sujets compris entre 18 et 24 ont préféré le café E2. Pour ceux intégrant les 25 à 35 ans, le choix se penchait pour le café E2. Au niveau de 35 à 44 ans, le niveau d'appréciation a été quasiment semblable. Et, au-delà de 45 ans, les sujets ont opté pour E2.

Suite au calcul de khi-deux effectué avec une seuil d'erreur de 5%, et correspondant à un degré de liberté évaluée à 3, la valeur calculée de χ^2 a été de 6,2 soit inférieure à la valeur théorique de χ^2 de 7,8.

Les deux cafés E1 et E2 peuvent être alors autant appréciés par toutes les populations d'âges différents.

1.5.2.3. Appréciation liée à la fréquence de consommation

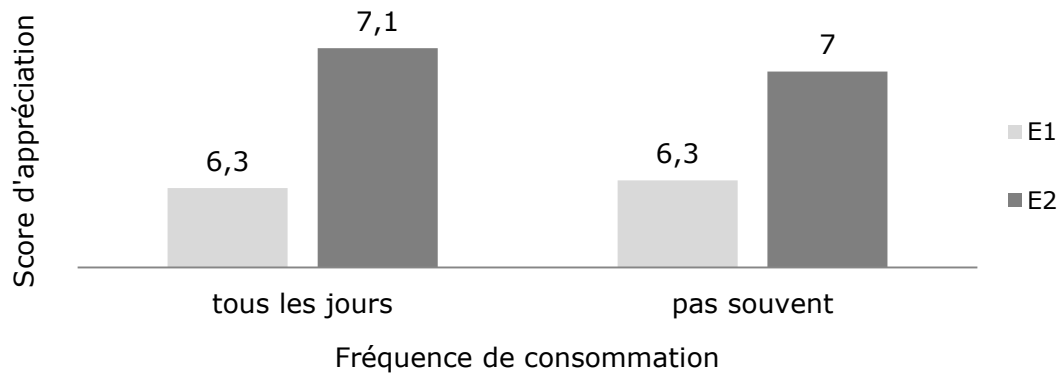


Figure 41 : Histogramme d'appréciation liée à la fréquence de consommation

Pour les sujets ne consommant pas trop souvent du café, E1 et E2 ont été appréciés de la même manière ; il en était de même pour les buveurs quotidiens de la boisson (figure 41).

Suite au calcul de khi-deux effectué avec une seuil d'erreur de 5%, et correspondant à un degré de liberté évaluée à 1, la valeur calculée de χ^2 a été de 0,6 soit inférieure à la valeur théorique de χ^2 de 3,8.

Les deux cafés E1 et E2 peuvent être alors appréciés selon la fréquence de consommation du café des sujets.

1.5.2.4. Appréciation liée à la zone de dégustation

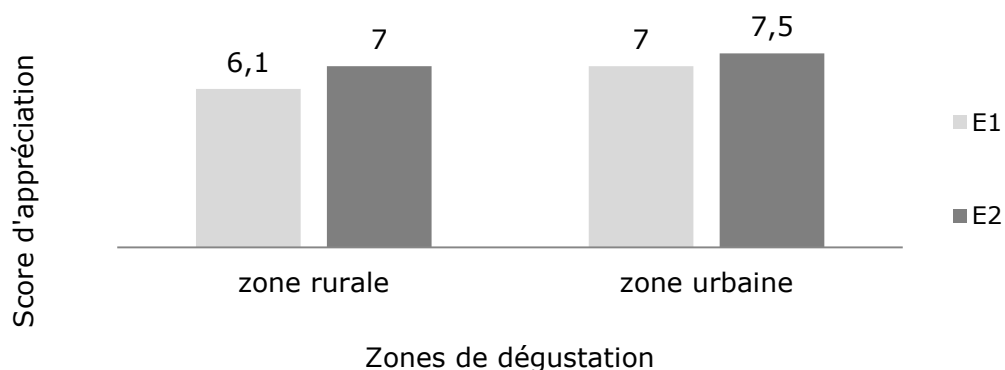


Figure 42 : Histogramme d'appréciation liée à la zone de dégustation

Dans les zones rurales, le café E2 paraissait plus apprécié que le café E1. Il en était de même dans les zones urbaines (figure 42).

Mais suite au calcul de khi-deux effectué, présentant un seuil d'erreur de 5%, et correspondant à un degré de liberté évalué à 1, la valeur calculée de χ^2 a été de 2,3 soit inférieure à la valeur théorique de χ^2 de 3,8.

Les deux cafés E1 et E2 peuvent être donc appréciés de la même manière que ce soit dans les zones urbaines ou dans les zones rurales.

Discussion

La prédominance des fèves carbonisées dans les deux premières séries de torréfaction (de T11 à T22) a effectivement écarté les résultats issus de ces traitements. Il en était de même pour les T32 et T33. Et pour la torréfaction de T23, aucune précision de mesure n'a été retenue.

Selon la norme de référence utilisée, une proportion de 0,6% de fèves carbonisées est admise pour assurer la qualité organoleptique de la boisson ainsi que l'innocuité du produit. Seule, la torréfaction à 20 minutes des graines (T41) convenait à cette exigence. Mais la décision des conditions de traitement reposait sur les résultats de l'évaluation sensorielle.

Lors de l'analyse comparative de T31 (café S2) avec le pivot (T41) par l'épreuve du Pivot profile®, T31 a été qualifié trop amer et présentant une odeur de brûlée par rapport à T41. Cette qualification a été certainement due à la présence du taux élevé de fèves carbonisées évalué à 3%. Mais par rapport aux deux autres cafés commerciaux (café S3 et café S1), le café S2 a présenté plus de goût du café, une bonne longueur en bouche et la force appréciée de la boisson. Pourtant, force est de constater que la préférence s'était penchée pour le café S3.

Afin de mettre en évidence cette préférence, ce café S3 (E1) était jugé avec le café de T41 (E2) suivant l'épreuve de l'hédonique. Suivant les scores d'appréciation attribués (de 1 à 9), E2 était le plus apprécié pour sa tonalité moins foncée et son amertume modéré.

Suggestion des conditions optimales de torréfaction

Les conditions opératoires de torréfaction de T41 ont donc été retenues comme condition optimale de torréfaction du café. Ces dernières incluent un préchauffage du cylindre de 15 minutes, un temps de remplissage de 2 minutes, une durée de cuisson de 20 (intégrant 5 minutes de torréfaction à vide), une durée d'évacuation des graines de 2 minutes et un temps de refroidissement de 2 minutes. Les vitesses moyennes de torréfaction doivent être comprises entre 33 à 36 tr/min.

Pour que la reproduction des résultats soit similaire à ceux de T41, il est impératif de bien veiller à maîtriser le feu (ni trop intense ni trop doux).

Les ouvriers doivent alors se tenir aux protocoles établis par la société pour assurer la qualité du produit. Cela favorise d'une part à l'assurance de la qualité gustative du produit et d'autre part à la réduction de la proportion excessive de graines carbonisées nuisant à la qualité sanitaire du produit (risque de formation des HAP).

La réalisation des opérations vadans ce sens mobiliser deux équipes de trois ouvriers usant des deux torréfacteurs, pendant une durée de 8 heures pour assurer une production journalière de 160 kg de café torréfié moulu.

2. Recommandations et perspectives d'avenir

2.1. Amélioration de la qualité au niveau de la matière première

2.1.1. Amélioration des infrastructures de récolte

Le défaut en nombre des matériels de récolte constitue un grand problème chez les petits exploitants agricoles. Pourtant, un minime investissement peut avérer significatif sur la production. Ces matériels peuvent regrouper les bacs de récolte, les bâches de séchage, les râteaux de brassage.

La recherche de meilleures conditions de stockage des graines avant leur expédition est également sollicitée pour que ces dernières ne périssent facilement. Cela amène à une vulgarisation de l'utilisation efficace des greniers villageois par exemple.

2.1.2. Bonnes pratiques post-récolte

Au niveau de traitements post-récolte, la détérioration de la qualité peut se traduire par diverses contaminations affectant les cerises de café. En effet, les fèves de café restent de loin victimes des oiseaux et des rongeurs durant leur culture et encore moins des ravageurs et insectes lors de leur stockage. D'ailleurs, la forme assez réfrangible des carbones associés au contenu phénolique des graines assure une protection contre toutes les contaminations fongiques fréquentes des fèves.

Pourtant, la composition biochimique des graines reste favorable au développement de champignons et de bactéries. En effet, les toxines produites par les champignons peuvent survivre après la torréfaction des graines. C'est le cas de l'aflatoxine produite par des variétés de champignon *Aspergillus*. Ce n'est uniquement pas sa valeur gustative qui est mise en jeu mais surtout sa qualité sanitaire. D'ailleurs, certains travaux ont déjà montré le pouvoir cancérigène de l'OTA chez l'animal mais les preuves restent encore insuffisantes chez l'homme (RASOARAHONA, 2016).

Les contaminations ont lieu dès la plantation, durant les traitements ou pendant les manutentions des cerises. Pour le premier cas, la contamination s'opère par introduction dans la fleur (aucun signe d'infection) ou par introduction de spores par le scolyte des baies (*Hypothenemus hampei*). Mais pour le second cas, les fruits plus mûrs et plus secs restent les plus sensibles.

Durant la récolte

Il est alors fortement recommandé

- qu'avant d'opérer la récolte, il est important d'encourager les exploitants à ramasser les broussailles, les cerises tombées et les mauvaises herbes de la plantation épargnant ainsi les cerises saines au cours du glanage et facilitant l'opération de cueillette. Cela implique à jeter les cerises étant restées plus longtemps que les délais préconisés sur le sol ;
- que pour rester rentables, débutez la cueillette dès que les cerises mûres sont en quantité importante sur l'arbre ;
- de ne cueillir que les fruits mûrs et sains, effectuer des triages manuels pour éliminer les défauts donnés durant les consignes;
- qu'après l'opération de séchage, les matériels utilisés soient nettoyés et rangés à l'abri d'humidité et de poussière (bac de cueillette, bâches et nattes de séchage, râdeaux de brassage). Et bien avant la remise en service, ces matériels doivent être vérifiés. La coordination des opérations liées à la récolte ainsi qu'à la disponibilité des infrastructures de séchage doit être sérieusement considérée pour assurer un traitement aussitôt que possibles des baies. Il faut que les temps d'attente soient réduits ou même supprimés, et que les cerises ainsi cueillies passent immédiatement au traitement ultérieur (séchage).

Durant le séchage

La contamination croisée ainsi que la reprise de l'humidité des graines restent les points critiques à surmonter après le séchage. Il est alors important que

- l'épandage des cerises soit effectué en fonction de la condition climatique de la région, en cas de fort ensoleillement. La charge maximale doit correspondre à 25 kg/m^2 tandis qu'à un temps plus nuageux et humide, cette charge doit être de 35 kg/m^2 . Cela aboutit à des couches plus minces à des épaisseurs respectives de 3 à 5 cm ;
- un ratissage ou brassage d'au moins 4 fois par jour soit opéré pour réduire la formation d'une couverture de moisissures sur les cafés non-remués ;
- l'infestation des insectes responsables des scolytes des baies puisse être prévenue par l'utilisation des pièges à alcool ;
- une évaluation régulière de la teneur en eau des graines soit faite pour se rendre à la conformité de l'humidité vis-à-vis du produit.

2.1.3. Amélioration des compétences des producteurs

Une formation et assistance techniques exploitants sont également conseillées pour assurer la qualité de la matière première. En effet, aucune mesure d'amélioration ne peut être effectuée sans être communiquée auprès de ces exploitants exécutifs. Il est alors indispensable de leur sensibiliser à quel point il est judicieux de suivre toutes les consignes fournies par les responsables.

2.1.4. Certifications et labels qualité

Actuellement, les diverses certifications de la production se situent au centre de préoccupation des industries agroalimentaires. Elle s'opère tout au long de la chaîne de production de valeur, allant de la matière première jusqu'au produit fini.

Pour cela, plusieurs certifications de la qualité sont à pourvoir dont label *Agriculture Biologique* par exemple.

2.2. Bonne pratique de torréfaction

Les suggestions d'amélioration de la qualité de la matière première amènent à effectuer une bonne pratique de torréfaction pour qu'elle ne puisse se détériorer au cours du processus.

La surveillance de cette bonne pratique doit être élaborée à travers la mise en place d'un système HACCP. Ceci sera effectué dans le but de prévenir les risques pouvant survenir au cours du processus et même dans toute la chaîne de fabrication.

2.3. Projet à long terme

A grande échelle, la conception des locaux respectant les normes et réglementations régissant la construction d'une usine agroalimentaire (traitement thermique) est fortement recommandée pour assurer la bonne pratique de fabrication.

Cela permet d'une certaine manière à participer au développement durable à travers les trois dimensions étant l'équité sociale, le développement économique et la préservation de l'environnement.

Et, dans les prochaines années qui suivent, pour assurer un approvisionnement constant en matière première, la société doit absolument envisager de s'octroyer de terres de culture pour en

pratiquer une caféiculture de robusta dans le Grand Sud-Est de Madagascar. Cela permettra en effet de faire face à la fluctuation courante du prix de la matière première sur le marché, renforcée également par son enfouissement permanent.

En outre, c'est un autre moyen pour augmenter la surface verte afin de séquestrer le carbone généré par les activités polluantes (torréfaction).

Conclusion partielle 3

L'environnement actuel de consommation du café s'intègre dans une ambiance concurrentielle orientée vers la qualité. Pourtant, malgré cette tendance, le prix reste un premier critère de sélection sur le marché.

Pour ainsi rester compétitif, les attitudes des consommateurs constituent l'enjeu global de tous travaux d'optimisation. Leurs attentes seront mises au point de mire pour que toute application d'optimisation puisse être une garantie de qualité constante du produit fini à fournir aux clients.

Par ailleurs, il a été abordé que seule le paramètre temporel pouvait être manipulé au cours d'une torréfaction artisanale. Suivant un modèle de torréfaction établi, les analyses sensorielles ont pu décrire et envisager les comportements des clients face à ce produit. Il semble alors qu'un café ayant subi un traitement thermique prolongé de 20 minutes réponde aux attentes d'un café noir et un peu plus corsé avec perception modeste de l'amertume.

CONCLUSION GENERALE

Malgré que les producteurs puissent être les défenseurs fervents de la qualité de leur café, les consommateurs constituent les décideurs finaux du produit. Par conséquent, les opérateurs détiennent un rôle majeur dans la manifestation de cet attrait particulier pour la boisson.

Il s'avère alors d'une grande importance d'optimiser le processus de sa transformation afin de s'assurer que les caractéristiques organoleptiques convoités ressortent. D'ailleurs, cette démarche n'est palpable que dans la mesure où elle s'opère sur le processus au cours duquel les qualités gustatives du café se révèlent.

La torréfaction réside, incontestablement, l'étape la plus décisive de cette qualité finale de la boisson. Dans la pratique, la maîtrise de la durée de séjour des graines ainsi que de la vitesse de rotation du cylindre influe considérablement sur les propriétés sensorielles du café torréfié qui en résulte. Les évaluations sensorielles effectuées auprès des sujets ont d'ailleurs témoigné de cette préférence. Par ailleurs, l'étude comparative considérant les cafés commerciaux locaux a fait l'objet de la préférence des sujets se penchant vers le café torréfié légèrement amer, à arôme complexe et où l'odeur caractéristique de la boisson y est nettement présente. Quant à la méthode adoptée, elle se rapporte à la méthode débouchant au café répondant excellemment aux attentes mentionnées ci-dessus. Il s'agit de la technique présentant un temps de torréfaction se prolongeant sur une durée de 20 minutes à feu moyen, et intégrant une torréfaction à vide de 5 minutes pour homogénéiser la cuisson des graines.

En outre, la qualité constitue un critère de valorisation du café depuis sa culture jusqu'aux étapes de sa transformation. La garantie de cette qualité débute dorénavant de la connaissance du potentiel génétique de chaque variété. Afin de pérenniser la méthode de torréfaction suggérée, il est alors indispensable d'instaurer une démarche qualité au niveau des traitements post-récolte des graines et dans l'avenir, créer une unité semi-industrielle suivant les normes exigées par l'IAA.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- AMORIM H. V., MALAVOLTA E., TEIXEIRA A. A., CRUZ V. F., MELO M., GUERCIO M. A., FOSSA E., BREVIGLIERI O., FERRARI S. E., SILVA D.M., 1973, Proc. 6th Coll. ASIC, 113 – 127 pp
- 2- ANDRIANTSILEFERINTSOA J.A., 2010, *Le café et les échanges internationaux*, Mémoire de Maîtrise ès Sciences Economiques, Faculté de Droit, d'Economie, de Gestion et de Sociologie (DEGS), Département Economie, Université d'Antananarivo, 21-22 pp
- 3- BAREL M., JACQUET M., 1994, *La qualité du café : ses causes, son appréciation, son amélioration*, Ed. France, vol n°1, 4-13 pp
- 4- BEKEDAM E.K., LOOTS M.J., SHOLS H.A., VAN BOEKEL M.A.J.S., SMIT G., 2008, *Incorporation of chlorogenic acids in coffee brew melanoidins*, J. Agric. Food Chem., 56, 2055-2063 pp
- 5- BELGRAND M., 2013, *Application de la méthode DMAIC à l'amélioration du rendement de fabrication d'un comprimé bicouche*, Thèse de Doctorat en Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Université de Nantes, 1 – 110 pp
- 6- BRIDSON et VERDCOURT, 1988, *Coffea*. **In**: Polhill (ed) Flora of Tropical East Africa, *Rubiaceae* (Part 2) *Coffea*, Balkema, Rotterdam; brDAVIS A.P., GOVAERTS R., BRIDSON D.M., STOFFELEN P., 2006, *An annotated taxonomic conspectus of genus Coffea (Rubiaceae)*, Bot J Linn Socl 52: 465 -512 pp
- 7- CAMPA C., BALLESTER J.F., DOULBEAU S., DUSSERT S., HAMPE O.N.S., NOIROT M., 2004, *Trigonelline and sucrose diversity in wild Coffea species*, Food Chem 88: 39-44 pp
- 8- CHARRIER A., 1982, *L'amélioration génétique des cafés*, La recherche, volume 13, 136 : 1-12 pp
- 9- CLIFFORD M. N., 1985, *Chlorogenic acids*, **In** : CLARKE R. J. and MACRAE R. (Eds.). : *Coffee Chemistry*, Vol 1, Elsevier Applied Science Publishers, London and New-York : 153 – 202 pp
- 10- COSTE R., 1968, *Le caféier*, Collection Techniques agricoles et productions tropicales, Éditions G.-P. Maisonneuve & Larose, Paris, 1-310 GUYOT B., PICARD H., VINCENT J.C., 1984, *Etude des composés stéroliques du café (C. canephora)* ; Café, Cacao, Thé, Paris, vol 28 (4) : 47 – 62 pp

- 11- COSTE R., 1989, *Caféiers et Cafés dans le monde*, Ed. GP. Maisonneuve et Larose, 1- 11pp
- 12- DE MARIA C. A. B. et TRUGO L. C., 1996, *Composition of green coffee water-soluble fractions and identification of volatiles formed during roasting*, Food Chemistry 55(3): 203-207 pp
- 13- DELGADO-ANDRADE C., MORALES F.J., 2005, *Unraveling the contribution of melanoidines to the antioxidant activity of coffee brews*, L. Agric. Food Chem, 53, 1403- 1407 pp
- 14- DENIS D. et BERNARD F., 2003, *Le café, des terroirs et des hommes*, CIRAD. 1, 1 – 4pp
- 15- DUARTE M.P. et LAIRES A., *Genotoxicity of instant coffee : possible involvement of phenolic compounds*, Mutation Research, 442, 43 – 51 pp
- 16- FABRICE M., 2010, *Le test d'indépendance du Khi-carré de Pearson*, Glossaire de statistique descriptive, 1-7 pp
- 17- FANNY O., 2009, *L'approche Lean : méthodes et outils appliqués aux ateliers de production pharmaceutique*, Sciences pharmaceutique, <dumas-00592326>, 1- 136 pp
- 18- FARAH A. et DONANGELO C. M., 2006, *Phenolic compounds in coffee*, Braz. J. Plant Physiol.,(1), 1-18 pp
- 19- FRANÇOIS E. et LEDREUX A., 1929, *La culture des Caféiers à Madagascar*, **In** : Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale, 9^{ème} année, bulletin n°92, 241-249 pp
- 20- GRANT T., 2014, *La performance par l'optimisation des processus*, Regards, Lettre d'information, Edition n°5, 11 : 1 – 16 pp
- 21- HASLAM E., 1981, **In** Biochemistry of Plants : *A comprehensive Treatise*, Vol 7, Secondary Plant Products, Ed. P. K. Stumpf and E. E. Conn, Academic Press, London, 527 – 556 pp
- 22- HODGE J.E., 1953, *Chemistry of browning reactions in model systems*, J. Agric. Food Chem., 1, 928-943 pp
- 23- IANNUZO J., 2012, *La botanique du café*, 1-2 pp
- 24- ICO, 2002, *Coffee quality*, Improvement programme - Implementation, ICC Resolution , n° 407, 1-3 pp
- 25- JEAN-PIERRE, 2014, *Amélioration des processus avec la méthode Six Sigma*, Mémoire d'Intelligence Méthodologique, Université de Technologie Compiègne, 21 – 22 pp

- 26- JEGOU C., 2006, *Perception et valorisation du café dans la restauration : comment concevoir et mettre à disposition une offre à forte valeur ajoutée*, Thèse de Doctorat en Sciences économiques, Université de Grenoble, 1 – 255 pp
- 27- JULES P., 2013, *La méthodologie Lean Six Sigma au service de la qualité dans une unité de production de formes sèches et effervescentes*, Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université de Nantes, 1-144 pp
- 28- KU MADIHAH K.Y., ZAIBUNNISA A.H., NORASHIKIN S., ROZITA O. and MISNAWI J., 2013, *Optimization of roasting conditions for high-quality Arabica coffee*, International Food Research Journal 20 (4): 1623 – 1627 pp
- 29- KOFFI J. H., 2007, *Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le café : mise au point de méthodes analytiques et étude de l'étape de torréfaction*. Thèse de doctorat, École Doctorale ABIES, Laboratoire de Chimie Analytique, Paris, 1-186 pp
- 30- KY C.L., LOUARN J., DUSSERT S., GUYOT B., HAMON S., NOIROT M., 2001, *Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild Coffea arabica L. and C. canephora P*, accessions, Food Chem 75: 223-230 pp
- 31- LEDL F. et SCHLEIDER E., 1990, *New aspects of the Maillard reaction in foods and in the human body*, Angew. Chem., 29, 565-594 pp
- 32- LEFEBVRE A., 2003, *L'analyse sensorielle, une méthode de mesure au service des acteurs de la conception : ses avantages, ses limites, ses voies d'amélioration*. Application aux emballages, 10^{ème} séminaire CONFERE, Belfort-France, 9, 3-11pp
- 33- MACHIELS D., CLINQUART A., EPPE G., DOTREPPE O., DE PAUW E., ISTASSE L., 2000, *Caractéristiques et techniques d'analyse des odeurs de la viande cuite*, Ann.Méd. Vét., 144, 279-287 pp
- 34- MACHIELS S.D. et ISTASSE L., 2002, *La réaction de Maillard : importance et applications en chimie des aliments*, Ann. Méd. Vét., 146, 347-352 pp
- 35- MARRACCINI P., 2008, *Biologie et physiologie moléculaire du développement du fruit de caféier*, Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Paris-Sud (XI), 1-70 pp
- 36- MARTINS S.I.F.S., JONGEN W.M.F., VAN BOEKEL M.A.J.S., 2001, *A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modeling*, Trends Food Sci.Technol., 11, 364-373 pp
- 37- MENDES L.C., MENEZES H.C., APARECIDA M., DA SILVA A.P., 2001, *Optimization of the roasting of robusta coffee (C.canephora conillon) using acceptability tests and RSM*, Food Quality and Preference, 12, 153-162 pp

- 38- MONTAVON P., MAURON A.F., DURUZ E., 2003, *Changes in green coffee protein profiles during roasting*, J Agric Food Chem 51: 2335-2343 pp
- 39- MOON J.K. et SHIBAMOTO T., 2010, *Formation of volatile chemical from thermal degradation of less volatile coffee components: Quinic acid, caffeic acid, and chlorogenic acid*, J. Agric. Food Chem., 58, 5465-5470 pp
- 40- MPAE, 2004, *Filière café*, Fiche n°102, 1 -11 pp
- 41- MURKOVIC M., DERLER K., 2006, *Analysis of amino acids and carbohydrates in green coffee*, J. Biochem. Biophys. Methods, 69, 25-32 pp
- 42- NEBESNY E., BUDRYN G., KULA J., MADJA T., 2007, *The effect of roasting method on headspace composition of robusta coffee bean aroma*, Eur. Food Res. Technol., 225, 9-19 pp
- 43- PICCINO S., 2011, *Rôles des constituants chimiques du café vert, du terroir et des traitements post-récolte sur la qualité aromatique du « Bourdon Pointu »*, Thèse de Doctorat en Chimie, Université de la Réunion, 1- 191 pp
- 44- PIERROT J.J. et FABIENNE R., 2006, *L'analyse sensorielle du café : un outil pour la filière, des producteurs aux torréfacteurs*, **In** : Recherche caféiculture, Montpellier : CIRAD - cp, 13-16 pp
- 45- RANDRIANARISOA M., 2016, *Le secteur café*, Examen National de l'Export Vert (ENEV) de Madagascar, 1^{er} atelier national, Hôtel Carlton, Antananarivo, 1-21pp
- 46- STALMACH A., MULLEN W., NAGAI C., CROZIER A., 2006, *On-line HPLC analysis of the antioxidant activity of phenolic compounds in brewed, paper-filtered coffee*. Braz. J. Plant Physiol., (1), 1-18 pp
- 47- SVILAAS A., 2004, *Intakes of Antioxidants in Coffee, Wine and Vegetables are correlated with plasma carotenoids in Humans*, Journal of Nutrition, Vol 134, 562 – 567pp
- 48- THORN J., 2002, *Le Café, le guide du connaisseur*, Modus Vivendi, Canada
- 49- THRUILLIER B., VALENTIN D., MARCHAL R., DACREMONT C., 2015, *Pivot Profile : A new descriptive method based on free description*, Food Quality and Preference, 42, 66 – 77 pp
- 50- TRUGO L. C., 1985, *Carbohydrates*, **In**: CLARKE R. J., and MACRAE R. (Eds.). : *Coffee Chemistry*, Vol 1, Elsevier Applied Science Publishers, London and New-York : 83 – 114 pp
- 51- TRUGO L.C., MACRAE R., DICK J.J., 1983, Sci. Fd Agric., 34, 300 – 306 pp

52- VOILLEY A., SAUVAGEOT F., DURAND D., 1977, Proc. 8th Coll. ASIC, 251 – 259 pp

WEBOGRAPHIE

- 53- CIRAD, 2006, *Le café: récolte, transformation, amélioration*, disponible sur [https://la.ambafrance.org/-Agronomie-Environnement-/le-café:récolte,transformation,amélioration\[Cirad-CP, 2000\]](https://la.ambafrance.org/-Agronomie-Environnement-/le-café:récolte,transformation,amélioration[Cirad-CP, 2000]), consulté le 08/08/17
- 54- FRECHET C., Lean management et démarche DMAIC, disponible sur <http://www.frechetconseil.com>, consulté le 02/08/17
- 55- FREDERIC C., BERNARD G., JAMY G., Le magazine de la découverte et de la science, disponible sur <https://www.france3.fr>, consulté le 21/07/17
- 56- <http://cafe-ma-passion.eklablog.com/recolte-et-torrefaction-p1116154> consulté le 02/09/17
- 57- <http://escolhasegura.com.br/wp-content/uploads/2015/06/cafeteira-italiana-bialetti.png> consulté le 02/09/17
- 58- <http://img.21food.com/simg/product/2013/9/5/greenrevolution-17420070.jpg> consulté le 02/09/17
- 59- http://img.diytrade.com/smimg/2249295/42312924-3029277-0/BEST_PRICE_HIGH_QUALITY_Vietnam ROBUSTA COFFEE BEANS/3ac3.jpg consulté le 02/09/17
- 60- <http://www.home-boulevard.com/17184-13637-thickbox/cafetiere-filtre-en-email-1-5-l-vache.jpg> consulté le 02/09/17
- 61- http://www.machineacafe.net/wp-content/uploads/2016/05/vonshef_cafetiere_italienne_moka_express_systeme.jpg http://www.chocolat-prestige.com/img/produits/cafetiere_2_grandes_tasses-20101114182827.jpg consulté le 02/09/17
- 62- <http://www.saggieassaggi.it/blog/wp-content/uploads/2013/09/caff%C3%A81.jpg> consulté le 02/09/17
- 63- <https://agoodkeensavage.files.wordpress.com/2011/06/brazil-ny-23.jpg> consulté le 02/09/17
- 64- <https://i2.cdscdn.com/pdt2/3/0/7/1/300x300/bes8712184047307/rw/cafetiere-bestron-acm100re.jpg> consulté le 02/09/17

- 65- <https://sc01.alicdn.com/kf/UT8Q70MXqpaXXagOFbXN/BULK-GREEN-COFFEE-ROBUSTA-COFFEE-GREEN-COFFEE.jpg> consulté le 02/09/17
- 66- <https://www.cafes-lebonifieur.fr/img/cms/cafe-origine-costa-rica/fleur-cafe-arabica-costa-rica.jpg> consulté le 02/09/17
- 67- <https://www.hausbrandt.com/wp-content/uploads/2014/08/09-chicchi1.jpg> consulté le 02/09/17
- 68- <https://www.maxicoffee.com/images/products/normal/cafetiere-napolitaine-acier-inoxydable-ilsa-1tasse.jpg> consulté le 02/09/17

SUPPORTS DE COURS

- 69- RANDRIANTINA R. ; 2015 ; Cours d'*Evaluation sensorielle*; UE 8 : Evaluation de la Qualité I; Semestre 8 ; Parcours : Génie des Procédés et Technologie de Transformation ; Master I ; Mention Industries Agricoles et Alimentaires ; Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques ; Université d'Antananarivo
- 70- RAONIZAFINIMANANA B., 2015, Cours de Synthèse bibliographique, UE 7 : Méthodologie de recherche I, Semestre 7, Parcours : Génie des Procédés et Technologie de Transformation ; Master I ; Mention Industries Agricoles et Alimentaires ; Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques ; Université d'Antananarivo
- 71- RASOARAHONA F. ; 2016 ; Cours de *Toxicologie*; UE 9 : Sciences des aliments II; Semestre 9 ; Parcours : Génie des Procédés et Technologie de Transformation; Master II ; Mention Industries Agricoles et Alimentaires ; Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques ; Université d'Antananarivo
- 72- RASOARAHONA J. ; 2016 ; Cours de *Gestion de la qualité* ; UE 9 : Evaluation de la qualité ; Semestre 9 ; Parcours : Développement de Projets, Innovation et Qualité ; Master II ; Mention Industries Agricoles et Alimentaires ; Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques ; Université d'Antananarivo
- 73- RAZAFIMBELO F. ; 2016 ; Cours d'*Enquête et expérimentation* ; UE 9 : Méthodologie de recherche 2 ; Semestre 9 ; Parcours : Génie des Procédés et Technologie de Transformation ; Master II, Mention Industries Agricoles et Alimentaires ; Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques ; Université d'Antananarivo

74- RAZAFIMBELO F. ; 2016 ; Cours de *Chimie et Biochimie Alimentaire II* ; UE 9 : Sciences des aliments ; Semestre 9 ; Parcours : Génie des Procédés et Technologie de Transformation ; Master II ; Mention Industries Agricoles et Alimentaires ; Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques ; Université d'Antananarivo

ANNEXES

Annexe 1 : Echelle colorimétrique de Agtron



Source : eklablog.com

Annexe 2 : Différentes modes de préparation du café

La libération des principes aromatiques responsables de la saveur caractéristique du breuvage ne se produise qu'après la mouture des grains à une granulométrie précise et homogène. Le degré de finesse de la mouture est spécifique à chaque type de préparation.

De manière générale, une mouture moyenne est utilisée pour les cafetières à filtre, une mouture fine pour les appareils à dépression, une mouture plus fine et tassée pour les percolateurs (café *espresso*), et une mouture ultrafine pour le café *à la turque*.

1. Filtration

La filtration constitue la méthode de préparation la plus commune. Le modèle de cafetière à filtre utilisé est celui inventé au XVIII^{ème} siècle par Du Belloy. Elle comporte deux cellules étagées dont la partie supérieure porte un tamis ou un disque percé de petits trous lui servant de filtre, sur lequel le café grossièrement moulu est déposé. Cette partie est faite en acier inoxydable, en papier spécial, en nylon ou en plastique.



Figure 43 : Cafetière à filtre

Source : home-boulevard.com

La partie inférieure quant à elle constitue un récipient de recueil de la boisson obtenue appelée également verseuse.

Le principe est simple, il suffit de verser de l'eau porté à la limite de l'ébullition sur le café puis de le laisser filtrer à peu près dix minutes ; 10 à 12 g de café moulu est utilisé pour faire une tasse de café.

2. Ebullition

Dans les pays scandinave, la préparation la plus prisée consiste à verser le café moulu directement dans l'eau bouillante pour être maintenue à l'ébullition pendant une à deux minutes puis finalement filtré.

3. Infusion

La préparation d'une infusion de café requiert l'usage d'une cafetière à piston, inventée par l'italien Caliman en 1933.

La cafetière renferme un filtre à forme de piston qui permet la séparation du marc de la boisson en l'isolant au fond du récipient. De l'eau frémissante est versée sur le café moulu déposé au fond du récipient puis laissée reposer environ de deux minutes (10 g de café pour une tasse). La boisson s'obtient par pression du filtre jusqu'au bas séparant ainsi le café du marc.



Figure 44 : Cafetière à piston

Source : chocolat-prestige.com

4. Percolation

Le procédé de la percolation fut inventé par le Français Louis-Bernard Rabaud en 1822, usant d'une cafetière dite napolitaine.



Figure 45 : Cafetière napolitaine

Source : maxicoffee.com

Cette dernière comporte deux compartiments superposés, séparés d'un porte-filtre métallique renfermant la dose de café (mouture fine) à préparer. L'eau est placée dans le compartiment inférieur ; elle bout puis s'évapore lors du chauffage.

La vapeur sous pression ainsi formée fait remonter l'eau, traversant la mouture avant de monter dans la cheminée, pour retomber finalement dans la verseuse. Le café ainsi obtenu est dénommé *café à l'italienne* (ou *café moka* ou *café napolitaine*).

5. Dissolution

Dans le cas particulier du café instantané, la boisson est préparée en mélangeant simplement du café soluble avec de l'eau bouillante.

6. Percolation sous haute pression

Un café express ou espresso (de l'italien *espresso*, extrait par pression ou à grande vitesse) est un café très corsé à fort arôme, obtenu après passage rapide de l'eau chaude sous une pression de 9 bars à travers un café torréfié finement moulu. Cette opération est effectuée à l'aide d'une cafetière à espresso, permettant à l'eau et à la mouture d'avoir un contact minimum, évitant ainsi la dilution de saveur et d'arômes.



Figure 46 : Machine à espresso

Source : machineacafe.net

En général on utilise, pour une tasse de 35-67 ml, 14 à 17 g de café avec une eau de 88-95°C sous une pression minimum de 9 bars et un temps de passage de 22-28 secondes.

7. Décoction

Il s'agit de la plus ancienne méthode de préparation de café. Dans cette technique, le café très finement moulu est déversé dans l'eau bouillante déjà sucrée (dans une cafetière arabe ou tout autre récipient allant directement sur le feu). Après trois courtes ébullitions, le café est versé sans filtration préalable pour donner un café *turc* (ou café *grec*) qui est nécessaire à boire lentement pour éviter de prendre le marc restant au fond de la tasse.

Annexe 3 : Test de Student

$$Moyenne = \frac{\sum x_1}{N}$$

$$\delta^2(ecart - type) = \sqrt{\frac{\sum (x_1 - moyenne)^2}{N - 1}}$$

$$S^2(variance) = \frac{(N_1 \times \delta_1^2) + (N_2 \times \delta_2^2)}{(N_1 + N_2) - 2}$$

$$t = \frac{|moyenne_1 - moyenne_2|}{S \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}}$$

Principe :

- Si t calculé est supérieur au t de la table, il existe une différence significative
- Si t calculé est inférieur au t de la table, il n'existe pas de différence significative

	Appréciation globale		Couleur		Odeur		Flaveur		Amertume	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
Moyennes	6,3	7,1	6,2	7,1	6,4	6,4	6,7	5,8	5,8	6
Variance carré	2,3		3,0		2,9		2,8		3,0	
Variance	1,53		1,75		1,73		1,68		1,73	
t	0,0735		0,0723		0		0,0755		0,0162	

Annexe 4 : Profil social de la population d'enquête

	sexe	âge	fonction	lieu d'entretien
P1	homme	[45-55[	directeur de société	suburbain
P2	femme	[35-45[	enseignante (CEG)	urbain
P3	homme	[35-45[	maçon	suburbain
P4	femme	≥45	retraité	urbain
P5	homme	[25-35[	chauffeur particulier	urbain
P6	homme	[35-45[	pâtissier	suburbain
P7	homme	[35-45[	enseignant (Lycée)	suburbain
P8	femme	[18-25[	étudiante en médecine	suburbain
P9	femme	[18-25[	technicienne de surface	urbain
P10	femme	[35-45[	secrétaire de bureau	urbain
P11	homme	[25-35[	étudiant en économie	urbain
P12	homme	[45-55[	comptable	urbain
P13	femme	[25-35[	bibliothécaire	urbain
P14	femme	[35-45[	caissière	urbain
P15	femme	[25-35[	gargotier	suburbain
P16	homme	[35-45[	doctorant	urbain
P17	homme	[25-35[	ouvrier d'entreprise	suburbain
P18	homme	[45-55[	chef de production	suburbain
P19	femme	[25-35[	femme au foyer	urbain
P20	femme	[35-45[	consultant de projet	urbain
P21	homme	[18-25[	<i>bar man</i>	urbain
P22	homme	[18-25[	élève ingénieur	suburbain
P23	femme	[35-45[	rédactrice de magazine	urbain
P24	homme	[25-35[	chauffeur d'une coopérative de voyage	suburbain
P25	femme	[45-55[	conseillère administrative	urbain
P26	homme	[25-35[	aviculteur	suburbain
P27	homme	[35-45[	médecin	urbain
P28	homme	[25-35[	mécanicien	suburbain
P29	femme	[35-45[	assistante de direction d'une agence de voyage	urbain
P30	femme	[25-35[	photographe	urbain
P31	femme	[45-55[	directrice d'une école	urbain
P32	homme	[25-35[	téléopérateur	urbain
P33	homme	[35-45[	responsable maintenance d'une usine	suburbain
P34	femme	[18-25[	rédactrice web	urbain
P35	femme	[18-25[	étudiante en faculté des sciences	suburbain
P36	femme	[35-45[	pharmacienne	suburbain
P37	homme	[35-45[	coordinateur de projet	urbain
P38	homme	[25-35[	stagiaire en paramédicale	suburbain
P39	homme	≥45	collecteur laitier	suburbain
P40	femme	≥45	avocate	urbain
P41	femme	[45-55[	cadre d'une société	urbain
P42	homme	[35-45[	commerçant	urbain

Annexe 5 : Formulaire Pivot profile ®

Date (*Daty*) :

Sexe (*Mahalahy/Mahavavy*): M (*Lahy*) ☐ F (*Vavy*) ☐

Tranche d'âge (*Sokajitaona*) : [18-25[☐ [25-35[☐ [35-45[☐ 45 ≤ ☐

Evaluation sensorielle du *Bio.Es.Kafe* (*Refy ara-pahatsapana ny Bio.Es.Kafe*)

Tableau 120 : Formulaire Pivot Profile ®

Echantillon (<i>Santionany</i>)	<i>L'échantillon est moins.... que</i> <i>le témoin T</i> (<i>Io santionany io dia... latsaka</i> <i>noho ny T</i>)	<i>L'échantillon est plus.... que le</i> <i>témoin T</i> (<i>Io santionany io dia... bebe</i> <i>kokoa noho ny T</i>)

Annexe 6 : Données statistiques du Pivot profile ®

		odeur de brûlé	odeur fermentée	odeur de café	qualité aromatique	corps	savoir plate	astringence	acidité	tonalité noire	persistance en bouche	préférence	amertume
TSY LEFY café S1 815	fréquence positive	0	6	9	3	4	3	0	5	10	0	5	2
	fréquence négative	0	0	12	14	9	0	0	0	10	4	8	4
	différence	0	6	-3	-11	-5	3	0	5	0	-4	-3	-2
	fréquence transcrites	13	19	10	2	8	16	13	18	13	9	10	11
BIOES. KAFE café S2 278	fréquence positive	8	1	3	6	9	0	0	0	5	7	8	11
	fréquence négative	0	0	16	6	10	0	0	0	4	7	7	10
	différence	8	1	-13	0	-1	0	0	0	1	0	1	1
	fréquence transcrites	21	14	0	13	12	13	13	13	14	13	14	14
TSY RESY café S3 562	fréquence positive	0	0	13	9	5	0	3	0	11	3	10	9
	fréquence négative	6	0	8	8	6	0	0	0	7	7	5	8
	différence	-6	0	5	1	-1	0	3	0	4	-4	5	1
	fréquence transcrites	7	13	18	14	12	13	16	13	17	9	18	14

Annexe 7 : Formule de l'épreuve hédonique

Nous testons actuellement des cafés pour mieux satisfaire vos attentes. Nous vous proposons alors de déguster deux cafés différents et de nous donner votre avis sur leur qualité gustative selon votre préférence.

Travail à faire : Sur une échelle de 1 (je déteste) à 9 (j'adore), veuillez cocher votre niveau d'appréciation sur les produits qui vous sont présentés.

Echantillon n°

a) Appréciation globale

1 2 3 4 5 6 7 8 9

b) Couleur

1 2 3 4 5 6 7 8 9

c) Odeur

1 2 3 4 5 6 7 8 9

d) Flaveur

1 2 3 4 5 6 7 8 9

e) Amertume

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Echantillon n°

a) Appréciation globale

1 2 3 4 5 6 7 8 9

b) Couleur

1 2 3 4 5 6 7 8 9

c) Odeur

1 2 3 4 5 6 7 8 9

d) Flaveur

1 2 3 4 5 6 7 8 9

e) Amertume

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Veuillez nous préciser

Lieu de la dégustation

Homme ☐

Femme ☐

Age : [18-25[☐

[25-30[☐

[30-35[☐

[35-40[☐

[40-45[☐

<45 ☐

Prenez-vous du café : tous les jours ☐

pas trop souvent ☐

Mba ho famaliana bebe kokoa ny filanao mpanjifa kafe eto an-toerana dia indro izahay manolotra santionana kafe roa samy hafa hoandramanao ary hoo faritanao araka izay fankafizanao azy tsirairay avy.

Asa andrasana : Miainga amin'ny maridrefy 1 (tsy tiako mihitsy) hatramin'ny 9 (tiako be), farito araka ny fankafizanao azy ny toetran'ireto kafe ampanandramana anao ireto.

Santionany laharana faha

a) Fankafizana amin'ny ankapobeny

1 2 3 4 5 6 7 8 9

b) Loko

1 2 3 4 5 6 7 8 9

d) Fofona

1 2 3 4 5 6 7 8 9

e) Tsiro

1 2 3 4 5 6 7 8 9

f) Ngidy

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Santionany laharana faha

a) Fankafizana amin'ny ankapobeny

1 2 3 4 5 6 7 8 9

b) Loko

1 2 3 4 5 6 7 8 9

d) Fofona

1 2 3 4 5 6 7 8 9

e) Tsiro

1 2 3 4 5 6 7 8 9

f) Ngidy

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Fanamarinana

Toerana nanaovana ny fanandramana

Lahy ☐

Vavy ☐

Sokajin-taona : [18-25[☐

[25-30[☐

[30-35[☐

[35-40[☐

[40-45[☐

<45 ☐

Misotro kafe : isan'andro ☐ tsv matetika loatra ☐ ve ianao ?

Annexe 7 : Données des attentes des consommateurs

attributs	amer	acide	aromatique	intensifié en odeur	corsé	noir
P1	5	1	5	5	3	5
P2	2	1	4	5	3	4
P3	3	1	5	5	4	5
P4	3	2	5	5	4	3
P5	4	1	5	5	4	4
P6	2	1	4	4	5	5
P7	2	1	5	5	5	3
P8	2	1	5	5	5	5
P9	5	1	4	5	5	4
P10	5	1	4	5	5	4
P11	5	1	4	4	3	4
P12	2	2	4	4	4	3
P13	2	1	5	4	3	5
P14	1	1	5	5	3	4
P15	1	1	5	5	3	4
P16	3	1	4	5	4	3
P17	2	1	3	5	3	4
P18	5	1	5	5	4	3
P19	4	1	5	4	4	5
P20	2	2	5	5	5	4
P21	2	1	5	5	5	4
P22	5	1	5	5	3	5
P23	3	1	5	5	4	5
P24	2	1	4	4	5	5
P25	3	2	5	5	4	3
P26	5	1	4	5	5	4
P27	2	1	4	5	3	4
P28	5	1	4	5	5	4
P29	2	2	4	4	4	3
P30	2	2	5	5	5	4
P31	4	1	5	4	4	5
P32	5	1	5	5	4	3
P33	2	1	5	5	5	5
P34	1	1	5	5	3	4
P35	2	1	5	5	5	3
P36	1	1	5	5	3	4
P37	5	1	4	4	3	4
P38	3	1	4	5	4	3
P39	4	1	5	5	4	4
P40	2	1	3	5	3	4
P41	2	1	5	4	3	5
P42	2	1	5	5	5	4
Notes	2,95238095	1,14285714	4,57142857	4,76190476	4	4,04761905

Annexe 9 : Barème de calcul des défauts

	Défauts		Défauts
1 fève avariée sèche	2	5 fèves indésirables	1
1 fève en cerise	1	5 coquilles	1
1 fève noire	1	5 brisures	1
1 fève sure	1	10 fèves piquées ou scolytées	1
2 fèves en parche	1	1 grosse peau ou coque	1
2 fèves demi-noires	1	3 petites peaux ou parches	1
5 fèves blanches spongieuses	1	1 gros bois	2
5 fèves sèches	1	1 bois moyen	1
5 fèves immatures	1	3 petits bois	1
5 fèves blanches	1		

Source : juridoc.gouv

Annexe 10 : Description des défauts du café vert

Dénomination des défauts	Description
<i>Fève avariée sèche</i>	fève moussue ou fève verte de gris
<i>Fève en cerise</i>	fruit desséché comportant tout ou partie de ses enveloppes externes avec sa ou ses graines
<i>Fève noire</i>	fève dont la moitié ou plus, est de couleur noire, extérieurement ou intérieurement
<i>Fève sure</i>	fève pouvant être d'aspect cireux, de couleur brun rougeâtre et dégageant à la coupe récente une légère odeur désagréable et étrangère à celle du café sain
<i>Fève en parche</i>	fève enveloppée entièrement ou partiellement dans sa parche
<i>Fève demi-noire</i>	fève dont moins de la moitié est de couleur noire, extérieurement ou intérieurement
<i>Fève blanche spongieuse</i>	fève de couleur blanche ou blanchâtre et de consistance spongieuse analogue à celle du liège, c'est-à-dire dont les tissus peuvent s'enfoncer sous une faible pression de l'ongle
<i>Fève sèche</i>	fève ridée et légère, de couleur grisâtre ou noirâtre

<i>Fève immature</i>	fève non mûre, de couleur verdâtre ou grisâtre et en général à la surface ridée
<i>Fève blanche</i>	fève de couleur blanche, très légère, de densité très inférieure à celle d'une fève saine de même format
<i>Fève indésirable</i>	fève mal venue ou altérée intérieurement
<i>Fève piquée ou scolytée</i>	fève attaquée par des insectes, présentant au moins : <ul style="list-style-type: none"> – soit deux petits trous ou des galeries causées par le scolyte du grain (<i>Stephanoderes</i>) ou tout parasite ; – soit un grand trou causé par brucge (<i>Araecerus</i>)
<i>Coquille (dite « Oreille »)</i>	fève mal formée présentant une cavité ou partie extérieure d'une fève évidée
<i>Brisure</i>	partie de fève d'un volume inférieur à celui d'une demi-fève de même format
<i>Grosse peau ou coque</i>	fragment de l'enveloppe extérieure du fruit
<i>Petite peau ou parche</i>	fragment de l'enveloppe de la fève
<i>Gros bois</i>	brindille d'environ 3 cm de longueur
<i>Bois moyen</i>	brindille d'environ 1 cm de longueur
<i>Petit bois</i>	brindille d'environ un demi-cm de longueur

Annexe 10 : Formulaire d'enquête

Renseignement signalétique

Sexe : M ☐ F ☐

Age : [18-25[☐ [25-35[☐ [35-45[☐ [45-55[☐ ≥55 ☐

Lieu d'enquête : zone urbaine ☐ zone suburbaine ☐

1-) Pour vous, boire du café se rapporte-t-il souvent à

- ☐ un moment de détente
- ☐ un rituel
- ☐ une réponse à des besoins physiologiques

2-) Et vous en buvez

- ☐ tous les jours
- ☐ pas trop souvent
- ☐ par occasion

3-) Selon votre fréquence de consommation, où avez-vous l'habitude de prendre votre café ?

- ☐ à domicile
- ☐ au petit cafier
- ☐ autres

4-) Si vous deviez classer par ordre d'importance les critères de sélection d'un café, comment procéderiez-vous ?

- ☐ goût
- ☐ prix
- ☐ format
- ☐ disponibilité
- ☐ marque commerciale
- ☐ emballage

5-) Et, concernant la tasse, comment qualifieriez-vous un bon café sur une échelle de 1 à 5

Amer	1	2	3	4	5
Acide	1	2	3	4	5
Aromatique	1	2	3	4	5
Intensifié en odeur	1	2	3	4	5
Corsé	1	2	3	4	5
Noir	1	2	3	4	5

6-) A l'heure actuelle, plusieurs cafés issus des fabricants locaux sont distribués et vendus sur le marché. Parmi ces produits, quelques-uns ont été listés par notre équipe, dont nous vous prions de mentionner le(s)quel(s) vous reconnaissez. Et parmi ceux énumérés, le quel vous en prenez le plus souvent ?

- ☐ Café *Tsy lefy*
- ☐ Café *Tsy resy*
- ☐ Salone café
- ☐ Autres (à préciser)

7-) Existe-t-il une ou des raisons particulières pour la(les)quelle(s) vous avez choisi ce café ?

.....

.....

.....

Nous vous remercions vivement de votre contribution!!!

Annexe 11 : Résultats des critères d'achat d'un café

critère	prix	goût	emballage	disponibilité	format	marque commerciale
P1	1	2	6	5	3	4
P2	2	1	5	4	6	3
P3	2	1	6	5	4	3
P4	1	2	6	3	5	4
P5	2	1	3	4	5	6
P6	1	2	3	4	5	6
P7	1	2	6	3	5	4
P8	1	2	5	3	4	6
P9	2	1	6	4	3	5
P10	2	1	4	3	5	6
P11	2	1	6	5	4	3
P12	2	1	4	3	5	6
P13	1	2	4	3	5	6
P14	1	2	5	6	3	4
P15	2	1	5	3	6	5
P16	1	2	5	4	6	3
P17	2	1	4	3	5	6
P18	1	2	4	3	6	5
P19	1	2	4	3	5	6
P20	2	1	4	5	3	6
P21	1	2	6	4	3	5
P22	1	2	6	4	3	5
P23	2	1	4	5	3	6
P24	1	2	4	3	5	6
P25	1	2	4	3	6	5
P26	2	1	4	3	5	6
P27	1	2	5	4	6	3
P28	2	1	5	3	6	5
P29	1	2	5	6	3	4
P30	1	2	4	3	5	6
P31	2	1	4	3	5	6
P32	2	1	6	5	4	3
P33	2	1	4	3	5	6
P34	2	1	6	4	3	5
P35	1	2	6	3	5	4
P36	2	1	6	5	4	3
P37	2	1	5	4	6	3
P38	1	2	6	5	3	4
P39	1	2	5	3	4	6
P40	1	2	6	3	5	4
P41	1	2	3	4	5	6
P42	2	1	3	4	5	6
Rang moyen	1,47619048	1,52380952	4,80952381	3,80952381	4,57142857	4,85714286
Classement	1	2	5	3	4	6

Annexe 12 : Résultats des essais de torréfaction(kg)

café torréfié	graines carbonisées	graines sous-torréfiées	graines torréfiées
T11	3,9	0,4	2,1
T12	2,5	1,4	3,1
T13	3,4	0,4	3,0
T21	2,9	2,3	2,1
T22	2,8	1,6	2,7
T23	0	7,5	0
T31	3,4	0,0	2,5
T32	4,1	0,0	1,4
T33	4,1	0	1,7
T41	0	0	7,2
T42	0,3	0	6,1
T43	0,6	0	5,4

Annexe 13 : Test de dépendance du Khi-carré

1. Principe

Le test de dépendance du Khi-carré sert à apprécier l'existence ou non d'une relation entre deux caractères au sein d'une population (FABRICE, 2010).

Le premier caractère (variables), désigné de X est un caractère qualitatif ou quantitatif comportant des catégories (ou classes) notées A_1, \dots, A_L ; tandis que le second caractère (observations), désigné de Y comporte les catégories (ou classes) notées B_1, \dots, B_C . Dans ces conditions, l'effectif n de la population se distribue dans un tableau croisé appelé table de contingence.

		Catégories du caractère Y						Total
		B ₁	B ₂	. . .	B _j	. . .	B _c	
Catégories du caractère X	A ₁	n ₁₁			n _{1j}		n _{1c}	
	A ₂	n ₂₁						
	.							
	.							
	A _i	n _{i1}			n _{ij}		n _{ic}	L _i
	.							
	A _l	n _{l1}			n _{lj}			
Total					C _j			n

Figure 47 : Table de contingence

Si la valeur du khi-carré calculé infère à celle du khi-carré théorique, il n'existe aucune dépendance entre les variables étudiées et les observations. Mais dans le cas adverse, si la valeur de khi-carré théorique infère celle du khi-carré calculé, les observations dépendent des variables.

La valeur du khi-carré calculé est exprimée par

$$\chi^2_{\text{calculé}} = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^c \frac{(n_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}} \quad \text{avec} \quad e_{ij} = \frac{L_i C_j}{n}$$

La valeur théorique du khi-carré résulte par ailleurs, de la lecture de la valeur correspondant à son degré de liberté.

$$\text{Degré de liberté} = (\text{Nombre de catégories de X} - 1) \times (\text{Nombre de catégories de Y} - 1)$$

Degrés de liberté	P=0,05	P=0,01	P=0,001	Degrés de liberté	P=0,05	P=0,01	P=0,001
1	3.84	6.64	10.83	50	67.51	76.15	88.66
2	5.99	9.21	13.82	51	68.67	77.39	89.97
3	7.82	11.35	16.27	52	69.83	78.62	91.27
4	9.49	13.28	18.47	53	70.99	79.84	92.57
5	11.07	15.09	20.52	54	72.15	81.07	93.88
6	12.59	16.81	22.46	55	73.31	82.29	95.17
7	14.07	18.48	24.32	56	74.47	83.52	96.47
8	15.51	20.09	26.13	57	75.62	84.73	97.75
9	16.92	21.67	27.88	58	76.78	85.95	99.03
10	18.31	23.21	29.59	59	77.93	87.17	99.34
11	19.68	24.73	31.26	60	79.08	88.38	99.62
12	21.03	26.22	32.91	61	80.23	89.59	100.88
13	22.36	27.69	34.53	62	81.38	90.80	102.15
14	23.68	29.14	36.12	63	82.53	92.01	103.46
15	25.00	30.58	37.70	64	83.68	93.22	104.72
16	26.30	32.00	39.25	65	84.82	94.42	105.97
17	27.59	33.41	40.79	66	85.97	95.63	107.26
18	28.87	34.81	42.31	67	87.11	96.83	108.54
19	30.14	36.19	43.82	68	88.25	98.03	109.79
20	31.41	37.57	45.32	69	89.39	99.23	111.06
21	32.67	38.93	46.80	70	90.53	100.42	112.31
22	33.92	40.29	48.27	71	91.67	101.62	113.56
23	35.17	41.64	49.73	72	92.81	102.82	114.84
24	36.42	42.98	51.18	73	93.95	104.01	116.08
25	37.65	44.31	52.62	74	95.08	105.20	117.35
26	38.89	45.64	54.05	75	96.22	106.39	118.60
27	40.11	46.96	55.48	76	97.35	107.58	119.85
28	41.34	48.28	56.89	77	98.49	108.77	121.11
29	42.56	49.59	58.30	78	99.62	109.96	122.36
30	43.77	50.89	59.70	79	100.75	111.15	123.60
31	44.99	52.19	61.10	80	101.88	112.33	124.84
32	46.19	53.49	62.49	81	103.01	113.51	126.09
33	47.40	54.78	63.87	82	104.14	114.70	127.33
34	48.60	56.06	65.25	83	105.27	115.88	128.57
35	49.80	57.34	66.62	84	106.40	117.06	129.80
36	51.00	58.62	67.99	85	107.52	118.24	131.04
37	52.19	59.89	69.35	86	108.65	119.41	132.28
38	53.38	61.16	70.71	87	109.77	120.59	133.51
39	54.57	62.43	72.06	88	110.90	121.77	134.74
40	55.76	63.69	73.41	89	112.02	122.94	135.96
41	56.94	64.95	74.75	90	113.15	124.12	137.19
42	58.12	66.21	76.09	91	114.27	125.29	138.45
43	59.30	67.46	77.42	92	115.39	126.46	139.68
44	60.48	68.71	78.75	93	116.51	127.63	140.90
45	61.66	69.96	80.08	94	117.63	128.80	142.12
46	62.83	71.20	81.40	95	118.75	129.97	143.32
47	64.00	72.44	82.72	96	119.87	131.14	144.55
48	65.17	73.68	84.03	97	120.99	132.31	145.78
49	66.34	74.92	85.35	98	122.11	133.47	146.99
50	67.51	76.15	86.66	99	123.23	134.64	148.21
				100	124.34	135.81	149.48

2. Valeurs calculées de χ^2

2.1. Appréciation liée au sexe

Caractères	x1	x2	y1	y2
Modalités	homme	femme	E1	E2

	n _{ij}			e _{ij}		n _{ij} - e _{ij}		(n _{ij} - e _{ij}) ² /e _{ij}		χ ² calculé
	y1	y2	total	y1	y2	y1	y2	y1	y2	
x1	32	28	60	29,4	30,6	2,6	-2,6	0,22993197	0,22091503	1,12711751
x2	17	23	40	19,6	20,4	-2,6	2,6	0,34489796	0,33137255	

2.2. Appréciation liée à l'âge

Caractères	x1	x2	x3	x4	y1	y2
Modalités	[18-25[	[25-35[	[35-45[	≥45	E1	E2

	n _{ij}			e _{ij}		n _{ij} - e _{ij}		(n _{ij} - e _{ij}) ² /e _{ij}		χ ² calculé
	y1	y2	total	y1	y2	y1	y2	y1	y2	
x1	31	17	48	27,84	20,16	3,16	-3,16	0,35867816	0,49531746	4,72190842
x2	7	12	19	11,02	7,98	-4,02	4,02	1,46646098	2,02511278	
x3	12	9	21	12,18	8,82	-0,18	0,18	0,0026601	0,00367347	
x4	8	4	12	6,96	5,04	1,04	-1,04	0,1554023	0,21460317	

2.3. Appréciation liée aux types de consommateurs

Caractères	x1	x2	y1	y2
Modalités	Pas souvent	Tous les jours	E1	E2

	n _{ij}			e _{ij}		n _{ij} - e _{ij}		(n _{ij} - e _{ij}) ² /e _{ij}		χ ² calculé
	y1	y2	total	y1	y2	y1	y2	y1	y2	
x1	17	14	31	15,19	15,81	1,81	-1,81	0,21567479	0,20721695	0,61288658
x2	32	37	69	33,81	35,19	-1,81	1,81	0,09689737	0,09309747	

2.4. Appréciation liée aux zones de dégustations

Caractères	x1	x2	y1	y2
Modalités	Zone rurale	Zone urbaine	E1	E2

	n _{ij}			e _{ij}		n _{ij} - e _{ij}		(n _{ij} - e _{ij}) ² /e _{ij}		χ ² calculé
	y1	y2	total	y1	y2	y1	y2	y1	y2	
x1	36	30	66	32,34	33,66	3,66	-3,66	0,4142115	0,39796791	2,38876299
x2	13	21	34	16,66	17,34	-3,66	3,66	0,80405762	0,77252595	

Annexe 14 : Différences entre arabica et robusta

<i>Espèce</i>	<i>Arabica</i>	<i>Canephora</i>
Variété	Bourdon, Moka, Maragogype, etc.	Robusta, Kouilou, Conilon
Région de prédominance	Amérique latine, Afrique de l'Est	Asie du Sud-Est, Afrique de l'Ouest
Hauteur en croissance libre	4 à 6 mètres	10 à 12 mètres
Reproduction	Autogame (autopollinisation, 44 chromosomes), semis	Allogame (autostérile, 22 chromosomes), bouture
Maturité des cerises après floraison	6 à 9 mois	9 à 11 mois
Longueur des cerises	12 à 18 mm	8 à 16 mm
Forme de la fève	Fine et allongée	Ronde et plus petite
Altitude	Moyenne à élevée (400 à 2000 m)	Niveau de la mer à 1000 m
Pluviométrie	1500 mm/an minimum	2000 mm/an minimum
Température	18 à 22°C en moyenne, pas de gel	22 à 26 °C, pas moins de 10°C
Plants par ha	1300 à 2000	1100 à 1400
Caractéristiques sensorielles	Aromatique, acide	Complexe, amer
Teneur en caféine	0,8 à 1,7 %	1,5 à 4 %

Annexe 15 : Effets du café sur la santé

Selon la recommandation de l’OMS, une quantité journalière de 300 mg (équivalent à 4 tasses de café) est admise pour que le café soit bénéfique pour la santé. A cette proportion, la caféine contenue dans la boisson joue le rôle de psychostimulant en accélérant le rythme cardiaque. La sensation de réveil qui en résulte favorise l’éveil et stimule le travail intellectuel.

En outre, la contraction des vaisseaux sanguins entraînant cette accélération du rythme cardiaque favorise également une prévention contre la migraine.

Mais au-delà de 400 mg par jour, le consommateur augmente les risques de s’exposer aux maladies de Parkinson se traduisant par des mauvaises coordinations des mouvements, des insomnies et nervosités et finalement une hypertension transitoire.

Annexe 16 : Pays membres de l'ICO en 2008

<i>Pays exportateurs</i>	<i>Pays importateurs</i>
Angola	Autriche
Bénin	Belgique
Bolivie	Bulgarie
Brésil	Chypre
Burundi	Danemark
Cameroun	Espagne
Colombie	Estonie
Costa Rica	Etats-Unis
Côte d'Ivoire	Finlande
Cuba	France
Equateur	Allemagne
Ethiopie	Grèce
Gabon	Hongrie
Ghana	Irlande
Guatemala	Italie
Guinée	Japon
Haïti	Lettonie
Honduras	Lituanie
Inde	Luxembourg
Indonésie	Malte
Jamaïque	Norvège
Kenya	Pays-Bas
Madagascar	Pologne
Malawi	Portugal
Mexico	République tchèque
Nicaragua	Roumanie
Nigeria	Royaume-Uni
Ouganda	Slovaquie
Panamà	Slovénie
Papouasie-Nouvelle-Guinée	Suède
Paraguay	Suisse
Philippines	
République centrafricaine	
République démocratique du Congo	
République du Congo	
République Dominicaine	
Rwanda	
Salvador	
Tanzanie	
Togo	
Venezuela	
Vietnam	
Zambie	
Zimbabwe	

Annexe 17 : Flow-sheet de la réalisation

