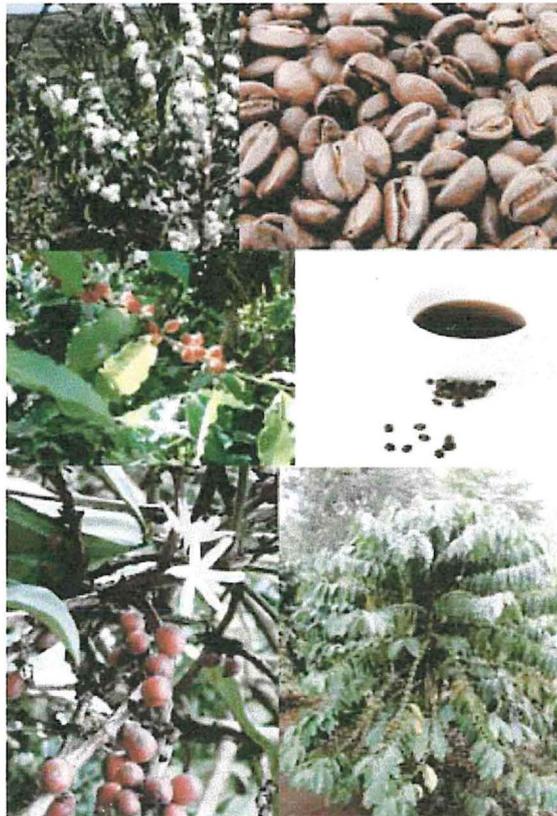




Claire Nodet
Master II Biotraçabilité, Biodétection, Biodiversité
Université Montpellier II, année 2008-2009

Effet de l'introgression sur les caractères aromatiques et organoleptiques de cultivars de « Coffea arabica ».



Stage du 23 mars au 25 septembre 2009



Département Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux (PERSYST)
UMR 95 QUALISUD - TA B-95/16 73 rue Jean-François Breton
34398 Montpellier Cedex 5

Directeurs de stage : Fabienne Ribeyre (maître de stage), Renaud Boulanger, Benoît Bertrand



Remerciements

Je souhaite remercier tout particulièrement Fabienne Ribeyre, Renaud Boulanger et Benoît Bertrand qui m'ont permis de réaliser ce stage dans les meilleures conditions : merci pour leur disponibilité, leur aide et leur patience.

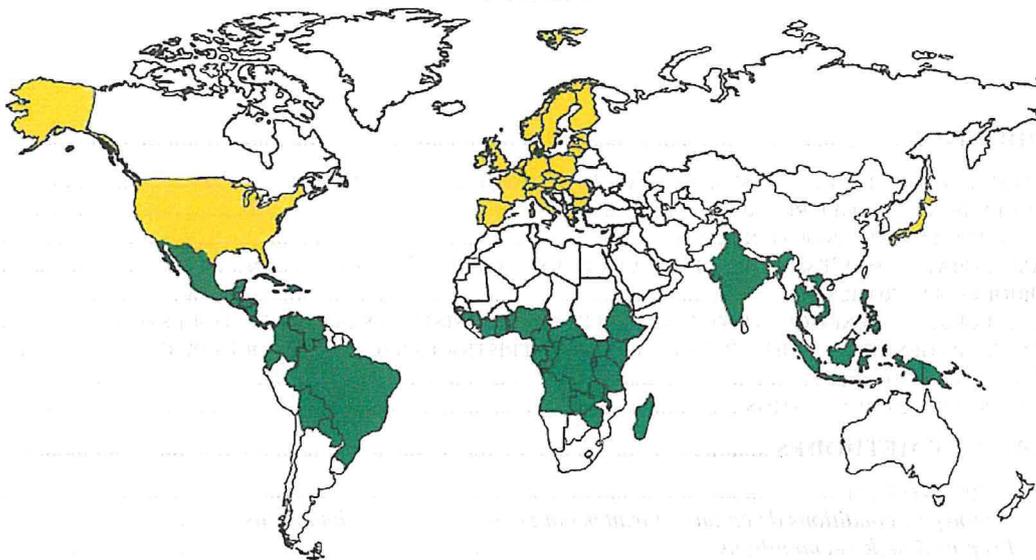
Je remercie également Laurent Berthiot de m'avoir initié à la dégustation du café et de m'avoir transmis ses connaissances et ses méthodes pour la réalisation de mes tests sensoriels.

Merci aussi à tous les membres de l'équipe café pour leur gentillesse, leurs conseils et leur bonne humeur.

Enfin, merci à mon collègue stagiaire, Angelo, pour son soutien quotidien durant ces six mois.

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	1
1.1	PRESENTATION DE L'ETABLISSEMENT D'ACCUEIL ET DE L'ENVIRONNEMENT D'ETUDE	1
1.2	LES ENJEUX DE LA FILIERE CAFE	1
1.3	PRINCIPALES ESPECES DU GENRE « COFFEA »	2
1.4	AMELIORATION DE L'ESPECE C. ARABICA PAR LA STRATEGIE D'INTROGRESSION	2
1.5	ORIGINE DES AROMES DU CAFE	3
1.6	FACTEURS NON-GENETIQUES INFLUENÇANT LES CARACTERISTIQUES ORGANOLEPTIQUES DU CAFE	3
1.7	FACTEURS GENETIQUES INFLUENÇANT LES CARACTERISTIQUES ORGANOLEPTIQUES DU CAFE.....	4
1.8	PROBLEMATIQUE	5
1.9	PROGRAMME ET REALISATION	6
2	MATERIEL ET METHODES	7
2.1	MATERIEL VEGETAL	7
2.1.1	<i>Génotypes, conditions de culture et traitement post-récolte des échantillons</i>	7
2.1.2	<i>Préparation des échantillons</i>	7
2.2	CARACTERISATION DES PROFILS ORGANOLEPTIQUES	8
2.2.1	<i>Sélection des échantillons et des descripteurs</i>	8
2.2.2	<i>Entraînement du panel</i>	8
2.2.3	<i>Analyses sensorielles</i>	9
2.3	CARACTERISATION DES PROFILS AROMATIQUES	9
2.3.1	<i>Micro-extraction sur phase solide des composés volatils de l'espace de tête des échantillons</i>	9
2.3.2	<i>Dosage des composés d'arômes par chromatographie en phase gazeuse et détecteur à ionisation de flamme</i>	10
2.3.3	<i>Identification des molécules chimiques par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectroscopie de masse</i>	11
2.4	TRAITEMENT STATISTIQUE.....	11
3	RESULTATS.....	12
3.1	PRESELECTION DES ECHANTILLONS	12
3.2	CARACTERISATION DES PROFILS SENSORIELS	12
3.2.1	<i>Performance du panel et significativité des descripteurs</i>	12
3.2.2	<i>Détection des échantillons ayant un défaut sensoriel issu des traitements post-récolte</i>	12
3.2.3	<i>Effets cultivar, période de récolte, et interaction cultivar*période de récolte</i>	14
3.2.4	<i>Effet introgression par ANOVA</i>	14
3.2.5	<i>Visualisation de l'effet introgression par représentation des échantillons selon leurs caractéristiques sensorielles grâce à une ACP</i>	14
3.2.6	<i>Classification des échantillons selon leur note de préférence</i>	15
3.3	CARACTERISATION DES PROFILS AROMATIQUES	16
3.3.1	<i>Quantification et identification des composés volatils</i>	16
3.3.2	<i>Effet période de récolte, cultivar et interaction cultivar/période de récolte</i>	16
3.3.3	<i>Effet introgression par ANOVA</i>	16
3.3.4	<i>Visualisation de l'effet introgression par représentation des échantillons selon leurs caractéristiques aromatiques grâce à une ACP</i>	17
3.4	RELATION DES CARACTERES SENSORIELS ET AROMATIQUES	17
4	DISCUSSION.....	18
5	CONCLUSION	21
6	WEBOGRAPHIE	22
7	BIBLIOGRAPHIE.....	23



Exporting Countries

Angola - Benin - Bolivia - Brazil - Burundi - Cameroon - Central African Republic - Colombia - Congo, Democratic Republic of - Congo, Republic of - Costa Rica - Côte d'Ivoire - Cuba - Dominican Republic - Ecuador - El Salvador - Ethiopia - Gabon - Ghana - Guatemala - Guinea - Haiti - Honduras - India - Indonesia - Jamaica - Kenya - Madagascar - Malawi - Mexico - Nicaragua - Nigeria - Panama - Papua New Guinea - Paraguay - Philippines - Rwanda - Tanzania - Thailand - Togo - Uganda - Venezuela, Bolivarian Republic of - Vietnam - Zambia - Zimbabwe

Importing Countries

European Community (*Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, United Kingdom*) - Japan - Norway - Switzerland - United States of America

Figure 1 - Pays exportateurs et importateurs de café.

Source : International Coffee Organization

1 Introduction

1.1 Présentation de l'établissement d'accueil et de l'environnement d'étude

Le CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement), organisme de recherche français a pour mission de contribuer au développement rural des pays tropicaux et subtropicaux par des actions de recherche, des réalisations expérimentales, des actions de formation (France et étranger) ou encore la diffusion d'information scientifique et technique. Etablissement public à caractère industriel et commercial, le CIRAD tire 2/3 de son financement du Budget Civil de Recherche et de Développement technologique et 1/3 de ressources contractuelles. Il emploie 1 800 personnes regroupées dans trois départements de recherche.

Ce stage a été effectué au sein du département PERSYST (Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux) et plus précisément dans l'UMR QUALISUD qui a pour objectif de développer une démarche intégrée pour la production et la préservation de produits et aliments de qualité organoleptique, sanitaire et nutritionnelle optimales. Les moyens techniques mis en œuvre pour la réalisation de cette étude ont été le laboratoire d'analyse des composés d'arômes (SPME, GC-FID, GC-MS) et le laboratoire d'analyses sensorielles.

1.2 Les enjeux de la filière café

Le café est la troisième boisson consommée dans le monde après l'eau et le thé. La production de café est la deuxième au monde après le pétrole (1) et la première ressource agricole échangée au monde, en valeur (2). Le café est exclusivement produit par les pays du Sud et essentiellement consommé par les pays du Nord, à l'exception du Brésil qui est le troisième consommateur après l'Europe, les Etats-Unis, et avant le Japon (3) (Figure 1). La caféiculture représente ainsi une source de revenus importante et vitale pour l'économie de plus de 60 pays en voie de développement d'Amérique Latine, d'Asie et d'Afrique. Elle génère effectivement plus de 120 millions d'emplois dans ces pays tropicaux, (4), et s'étend sur plus de 10 millions d'hectares (5), principalement dans le cadre de petites exploitations familiales (70% de la production < 5 hectares) (Bertrand B., 2008).

Une solution pour préserver les petits producteurs de la fluctuation des cours du café est d'améliorer les qualités organoleptiques de leur production pour leur permettre de s'insérer dans un marché plus haut de gamme, moins sujets aux fluctuations induites par les crises.

Tableau 1 - Caractérisation des deux principales espèces de caféier : *C. arabica* et *C. canephora*

Espèces	<i>C. arabica</i>	<i>C. canephora</i>
Caractéristiques		
<u>Origine géographique</u>	Ethiopie	Afrique centrale et occidentale
<u>Répartition géographique actuelle</u>	Afrique de l'Est, Amérique latine (notamment Brésil et Colombie), Amérique du Sud	Afrique centrale et occidentale, Brésil, Asie (Vietnam, Indonésie)
<u>Altitude et température de culture</u>	600 à 2000 mètres d'altitude, et températures entre 15 et 24°C	200 à 900 mètres d'altitude, et températures entre 24 et 29°C
<u>Mode de traitement post-récolte</u>	Voie humide (et voie sèche)	Voie sèche
<u>Nombre de chromosomes</u>	44	22
<u>Mode de reproduction</u>	Autofécondation	Allofécondation
<u>Aspect du grain</u>	Gros, allongé et plat avec une entaille incurvée	Petit et arrondi avec une entaille non incurvée
<u>Principales variétés cultivées</u>	Maragogype, Bourbon, Blue mountain, Caturra, Mondo Novo, typica	Robusta
<u>Caractéristiques sensorielles et chimiques</u>	Très aromatique, peu amère et teneur moyenne en caféine	Peu aromatique, amère, forte teneur en caféine
<u>Résistance</u>	Peu de gènes de résistance	Résistance à de nombreux parasites et particulièrement à <i>Hemileia vastarix</i>
<u>Part de marché</u>	60 %	40 %

1.3 Principales espèces du genre « coffea »

Les caféiers sont des arbustes de moins de 9 m de haut appartenant à plusieurs espèces du genre *Coffea* de la famille des Rubiales (ordre des Rubiacées). A ce jour, 126 espèces de café sont connues (Davis et al. 2006) mais la production est issue essentiellement de deux d'entre elles : *Coffea arabica* et *Coffea canephora* dont les différences sont répertoriées dans le tableau 1.

En raison de sa grande qualité à la tasse, *C. arabica* est l'espèce la plus cultivée avec 61.5% de la production mondiale en 2008 (Anthony et al. 2009). Cette espèce allotétraploïde ($2n = 44$) a hérité des génomes de deux ancêtres sauvages diploïdes : *C. canephora* et *C. eugenioides* (Lashermes et al. 1999). A cause de son mode de reproduction, *C. arabica* n'a pu bénéficier d'un brassage génétique (Lashermes et al. 1997) et elle est donc sensible à la plupart des maladies. Au contraire, *C. canephora* est une espèce diploïde ($2n = 22$) avec une variabilité génétique considérable (Charrier and Berthaud 1985; Lashermes et al. 1999) qui lui confère une résistance à plusieurs parasites et particulièrement au champignon *Hemileia vastarix*, responsable de la maladie des caféiers la plus répandue dans le monde : la rouille du café.

1.4 Amélioration de l'espèce *C. arabica* par la stratégie d'introgession

De manière à réunir dans une même plante les qualités des deux espèces (la rusticité, la productivité et la résistance à la rouille de *C. canephora* ainsi que la valeur organoleptique et la faible teneur en caféine de *C. arabica*), une stratégie d'introgession a été mise en place. Celle-ci consiste à introduire des gènes d'une espèce dans le génome d'une autre espèce grâce à des rétrocroisements successifs d'un hybride interspécifique avec l'un de ses parents (6). Ainsi, les gènes de *C. canephora* ont été introgressés dans les lignées cultivées de *C. arabica* par rétrocroisements successifs de celles-ci avec l'hybride de Timor, un hybride interspécifique naturel à $2n=44$ et résistant à la rouille (7). A l'issue de ces croisements des cultivars introgressés à 44 chromosomes ont été obtenus.

En opposition à une variété sauvage, un cultivar est une variété de plante obtenue en culture, généralement par sélection, pour ses caractéristiques réputées uniques. Les cultivars *C. arabica* introgressés *C. canephora* sont caractérisés par leur pourcentage d'introgession qui représente la part des gènes provenant de *C. canephora* contenue dans leur génome.

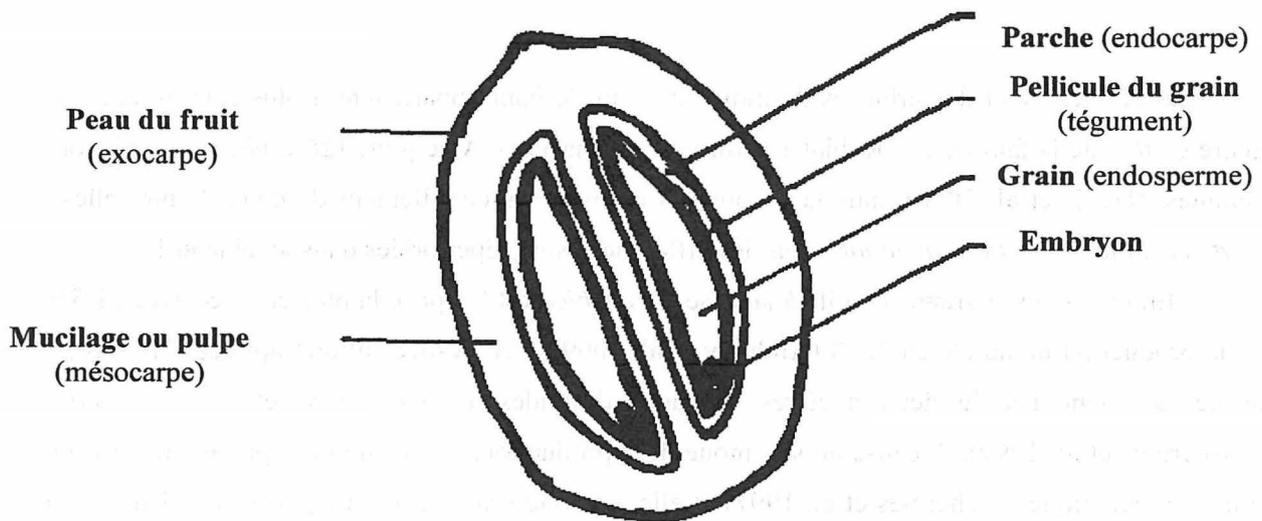


Figure 2 - Coupe d'une cerise de café.

Source : <http://www.fao.org/Wairdocs/x5164F/X5164f9M.GIF>

Tableau 2 - Les facteurs non-génétiques et leurs manières d'influencer la qualité du breuvage

Facteurs	Modes ou paramètres	Conséquences sur le café
Environnement (température, altitude)	- altitudes élevées et faibles températures	- notes aromatiques fines favorisées (fruitées, florales) (Avelino et al, 2005)
	- basses altitudes et hautes températures	- amertume, corps importants et goût de bois favorisé
Culture	- culture avec ombrage	- grains gros, riches en fructose et glucose, pauvre en saccharose (Geromel et al, 2008) - meilleure qualité à la tasse (Vaast et al, 2006)
	- culture sans ombrage	- grains moins gros, moins riches en fructose et glucose, plus riche en saccharose (Geromel et al, 2008) - moins bonne qualité à la tasse (Vaast et al, 2006)
Récolte	- égrappage (mélange hétérogène cerises plus ou moins mûres)	- café plus acide (4)
	- récolte à la main (sélection des cerises mures rouge vif)	- café plus équilibré (8)

1.5 Origine des arômes du café

Le fruit du caféier, couramment appelé *cerise*, est classé parmi les drupes polyspermes, (figure 2). Le grain de café utilisé pour la boisson correspond à l'endosperme débarrassé du tégument (pellicule argentée). Il est composé d'eau, de produits du métabolisme primaire, qui sont des précurseurs d'arômes (polysaccharides, peptides, lipides, acides chlorogéniques etc.) et des composés volatils (terpénoïdes, composés aliphatiques et aromatiques de petite taille...) issus du métabolisme secondaire. L'ensemble des précurseurs d'arômes et des composés volatils est à l'origine de l'arôme du breuvage de café.

1.6 Facteurs non-génétiques influençant les caractéristiques organoleptiques du café

Les caractéristiques physiques et chimiques des grains de café varient sous l'influence de nombreux facteurs non génétiques : les paramètres environnementaux (altitude, climat etc.), les modes de culture, de récolte et de traitement post-récolte ainsi que les paramètres de torréfaction. L'influence des paramètres environnementaux, des modes de culture et des modes de récolte sur les caractéristiques des grains de café et sur le breuvage sont répertoriées dans le tableau 2.

Selon le type de traitement post-récolte appliqué, le café à la tasse sera différent. Les deux voies du traitement post-récolte, voie sèche et voie humide, sont détaillées dans la figure 3. Pendant la fermentation, deux processus distincts se développent: l'hydrolyse du mucilage associée à une acidification du milieu et la diffusion de composés vers l'extérieur de la fève (sucres et dans une moindre mesure, acides chlorogéniques et caféine), (Jacquet, 1996). Ainsi, les étapes de fermentation et de lavage de la voie humide rendent le café à la tasse plus acide, moins amer, moins astringent, et lui confèrent un goût plus fin (aromatique) que le traitement par voie sèche.

Le triage final des grains de café vert (nature ou lavé) est également une étape indispensable pour éliminer les grains responsables de certaines notes aromatiques défavorables (*off-flavours*) qui, pour la plupart, sont liées à des conditions post-récolte défectueuses (stockage inadéquat, vieillissement des grains, séchage insuffisant...) (Barel, et al, 1976). Généralement, ces grains responsables d'« *off-flavours* » sont caractérisés par leur forme et leur couleur par la norme ISO 10470.

Enfin, la torréfaction est une étape de transformation primordiale qui consiste à chauffer les fèves à haute température pendant quelques minutes dans un grilloir circulaire ou cylindrique, le torréfacteur. Les grains subissent une augmentation de volume (de 80 à 100%),

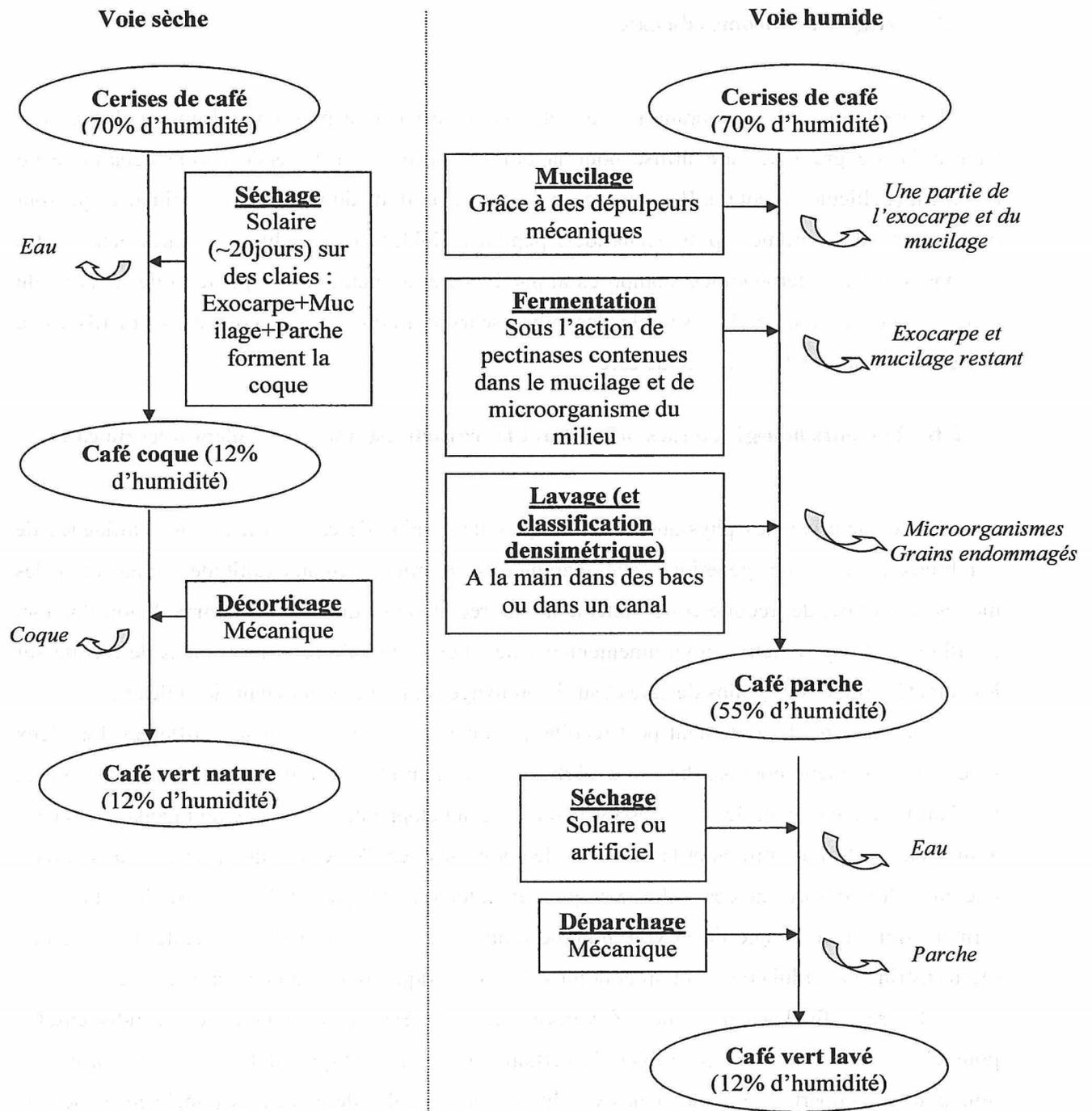


Figure 3 - Les deux voies du traitement post-récolte de la cerise de café : étapes et transformation

et une perte en poids due à la perte d'humidité (le café torréfié contient moins de 5% d'eau, selon la limite légale française) et de nombreux composés volatils néoformés.

Les réactions de Maillard, ou réactions de brunissement non enzymatiques, forment un ensemble complexe de réactions chimiques qui se déroulent en parallèle ou de manière consécutive. Elles sont initiées par la condensation d'un acide aminé avec un sucre réducteur et donnent au grain de café sa couleur brune et ses arômes fins (figure 4). A l'issue de ces réactions, sont formées de nombreuses molécules comme les pyrazines, les pyrroles, les furannes, les oxazoles qui apportent au café, suivant leur composition et leur concentration, les notes « cuit », « noisette », « grillé », « caramel » ou « terreux ». Ces réactions participent également à l'augmentation d'autres familles de composés volatils comme les aldéhydes, et les terpènes qui présentent des notes aromatiques spécifiques. La torréfaction induit également une diminution importante des alcools, des esters et des cétones qui apportent une partie des notes subtiles des cafés (fruitées, florales). Plus la torréfaction est courte, plus le café sera acide et pourra présenter ces notes subtiles. Par contre, plus la torréfaction dure, plus l'amertume se développe (et l'acidité diminue) pour donner un café corsé, amer et âpre avec un goût de brûlé.

Des indicateurs permettent d'évaluer l'intensité de la torréfaction ; parmi eux, la perte en poids des grains ainsi que la couleur du café moulu selon le système L*a*b. Le café couleur « robe de moine » est généralement caractérisé par une perte en poids entre 14 et 16%. Au-delà de ces valeurs, le café a des chances d'être sur-torréfié, et en deçà sous-torréfié. Plus le café est torréfié, plus il est sombre et plus la valeur du L du système L*a*b est faible.

1.7 Facteurs génétiques influençant les caractéristiques organoleptiques du café

Le café robusta (*C. canephora*) est, de l'avis général, reconnu comme ayant une qualité de breuvage généralement inférieure à celle de l'arabica. Cette différence pourrait être en partie expliquée par la composition en acides chlorogéniques qui sont responsables de l'amertume : *C. canephora* en contient 8-13% contre 7-8% pour arabica (Guerrero and Suarez, 2001). D'autres constituants biochimiques des grains varient également en fonction des espèces : plus de caféine pour *C. canephora* (2-4 %) que pour *C. arabica* (0,8-1,7%), et par contre moins de trigonelline, de sucres et de lipide. (Ky et al, 1999).

Sur le plan génétique, l'introgession de gènes provenant de *C. canephora* pourrait avoir un impact négatif sur la qualité du breuvage. En effet, comme l'introgession n'est pas limitée aux gènes de résistance de *C. canephora*, elle peut également engendrer l'acquisition de gènes

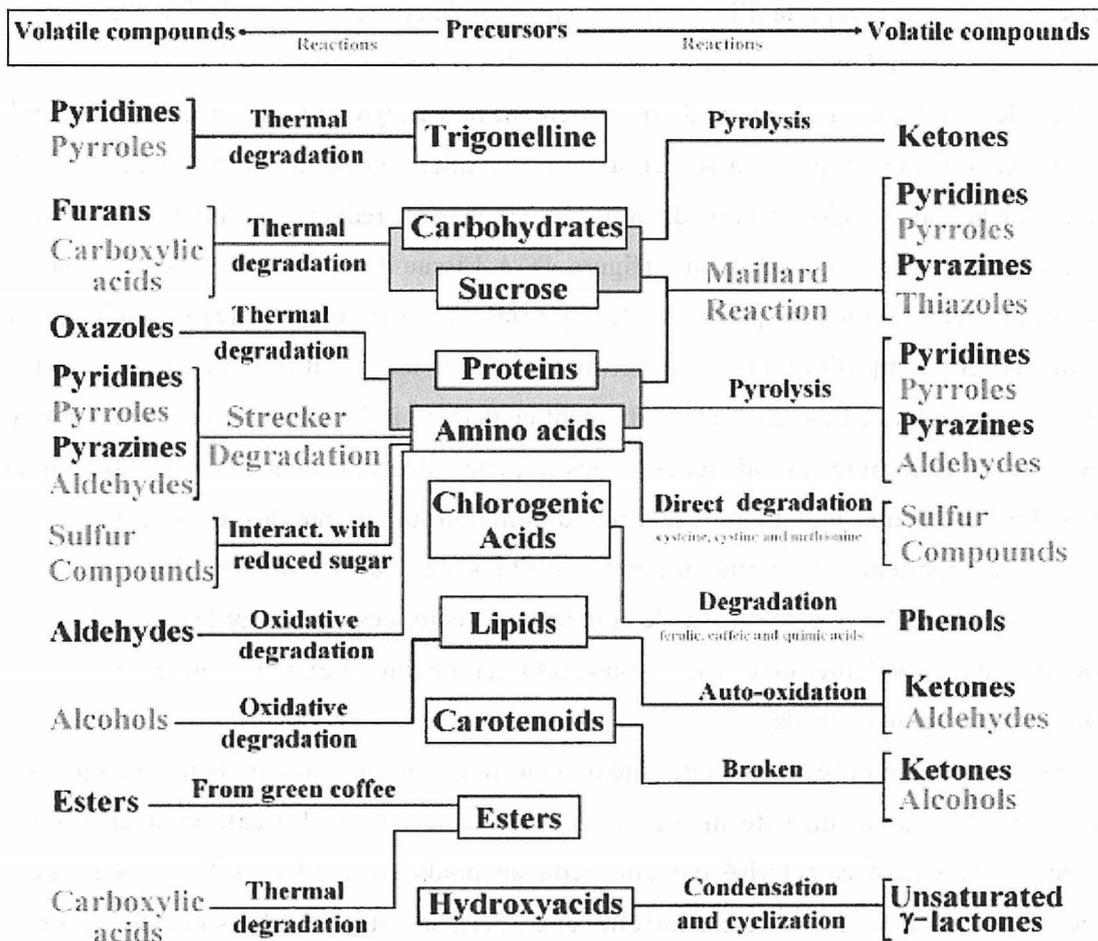


Figure 4 - Représentation schématique des réactions de formation des composés volatils durant la torréfaction. (Ribeiro et al, 2009)

responsables de caractéristiques organoleptiques négatives, ou bloquer les voies de biosynthèse des précurseurs d'arômes.

Plusieurs études par analyses sensorielles du café boisson ont montré que les lignées introgressées avaient les mêmes qualités de breuvage que les lignées pures dont elles étaient issues (Owuor 1988; Moreno et al., 1995; Puerta 1998; Puerta 2000).

En 2003, une étude de Bertrand et al., (2003) n'a trouvé aucune corrélation significative entre le pourcentage d'introgression de lignées *arabica* de référence par des gènes de *canephora* et les taux de sucre, d'acides chlorogéniques, de graisses et de caféine ainsi que sur les caractéristiques organoleptiques. En revanche, elle a mis en évidence des corrélations significatives entre qualité de la boisson des parents et leur capacité à se combiner pour donner des hybrides présentant une bonne qualité à la tasse.

Cependant, certains acheteurs prétendent que certains cultivars introgressés possèdent une moindre qualité du breuvage que les Caturra de référence.

En outre, en Amérique Centrale, en Ethiopie, en Colombie où sont produits des cafés parmi les meilleurs du monde, une tendance commence à apparaître. Il s'agit de planter des arbres sauvages provenant d'Ethiopie (aire d'origine de l'espèce). Selon certains acheteurs, ces nouvelles « variétés » présenteraient des arômes incomparables.

1.8 Problématique

Si les influences sur la qualité du breuvage, du climat, de certaines techniques culturales, de certaines techniques de transformation ont été relativement bien explorées, l'influence du génotype sur la qualité aromatique est encore largement méconnue.

De ce fait, à travers notre étude, nous avons cherché à mettre en évidence un éventuel effet de l'introgression, au sein de l'espèce *Coffea arabica*, sur les caractéristiques organoleptiques de la boisson. Pour cela, nous avons analysé et comparé les profils sensoriels du café boisson ainsi que les profils aromatiques des grains de café vert de plusieurs cultivars introgressés et du cultivar Caturra qui est le cultivar non-introgressé le plus cultivé en Amérique Latine. Par ailleurs, nous avons également comparé des origines sauvages provenant d'Ethiopie au cultivar Caturra et aux cultivars introgressés.

Ainsi, par cette première approche, nos objectifs sont de répondre aux questions suivantes. Existe-t-il des différences de profils aromatique et sensoriel entre les génotypes étudiés ? Quel est l'effet de l'introgression sur les caractères aromatiques et sensoriels des cafés ? L'utilisation de génotypes « sauvages » peut-elle améliorer le profil aromatique ? Enfin, une relation entre caractéristiques sensorielles des breuvages et caractéristiques aromatiques des cafés verts existe-t-elle ?

1.9 Programme et réalisation

Pour mener à bien cette étude, nous avons tenté de contrôler au mieux les variabilités dues au climat, aux conditions agronomiques et au traitement post-récolte : les échantillons étudiés proviennent d'arbres jeunes cultivés dans les mêmes conditions agronomiques et ont été traités de la même manière. De façon à prendre en compte un éventuel effet de la date de récolte sur les caractères étudiés, deux échantillons de chaque cultivar ont été récoltés à deux périodes différentes pendant le pic de maturité des cerises.

Les profils aromatiques ont été établis grâce à l'extraction des composés volatils par SPME, puis quantifiés par GC-FID et identifiés par GC-MS (Gonzalez-Rios et al, 2007). Les profils sensoriels, quant-à eux, ont été établis par des analyses sensorielles descriptives. Pour chacun des échantillons, les analyses chimiques et sensorielles ont été répétées trois fois de manière à contrôler la répétabilité des méthodes.

Enfin l'effet génotypique, et plus précisément l'effet de l'introgression, a été analysé grâce à des méthodes statistiques.

Tableau 3 – Description des échantillons et des cultivars dont ils sont issus

Identifiant échantillon	Période de récolte	Type cultivar	Nom cultivar	Code cultivar	Description	Origine et résistance
cat-nov	novembre	cultivé	Caturra	Caturra	Variété naine	Mutant de la population Bourbon
cat-déc	décembre					
41-nov	novembre	Ethiopien	T4900	41	Sauvage, port-haut	Collecté par la prospection FAO 1965
41-déc	décembre					
46-nov	novembre	Ethiopien	T16713	46	Sauvage, port-haut	Collecté par la prospection ORSTOM 1967
46-déc	décembre					
51-nov	novembre	Ethiopien	T2724	51	Sauvage, port-haut	Rume Sudan, collecté par Thomas 1942
51-déc	décembre					
45-nov	novembre	Ethiopien	T16690	45	Sauvage, port-haut	Collecté par la prospection ORSTOM 1967
45-déc	décembre					
40-nov	novembre	Ethiopien	T4816	40	Sauvage, port-haut	Collecté par la prospection ORSTOM 1967
40-déc	décembre					
21-nov	novembre	Introgressé	IAPAR59	21	Variété naine	Sarchimor dérivé de l'Hybride de Timor, cultivé au Brésil, résistant à la rouille et au nématode <i>M. exigua</i>
21-déc	décembre					
15-nov	novembre	Introgressé	T18130	15	Variété naine	Catimor, dérivé de l'Hybride de Timor, résistant à la rouille et au nématode <i>M. exigua</i> . En cours de sélection
15-déc	décembre					
18-déc	décembre	Introgressé	T17931	18	Variété naine	Catimor dérivé de l'Hybride de Timor, issu de la variété multilignée « <i>Colombia</i> », sensible à la rouille et à <i>M. exigua</i> , en cours de diffusion « <i>Narvelis</i> »
115-nov	novembre	Introgressé	T18140	115	Variété naine	Catimor, dérivé de l'Hybride de Timor, résistant à la rouille et au CBD, en cours de diffusion « <i>Marsellesa</i> »
115-déc	décembre					
12-nov	novembre	Introgressé	T18123	12	Variété naine	Catimor, dérivé de l'Hybride de Timor, résistant à la rouille et au nématode <i>M. exigua</i> . En cours de sélection
12-déc	décembre					
8-nov	novembre	Introgressé	T17934	8	Variété naine	Catimor, dérivé de l'Hybride de Timor, issu de la variété multilignée « <i>Colombia</i> », résistant à la rouille. En cours de sélection
8-déc	décembre					

2 Matériel et méthodes

2.1 Matériel végétal

2.1.1 Génotypes, conditions de culture et traitement post-récolte des échantillons

Les échantillons sont issus de 5 variétés sauvages d’Ethiopie, d’un cultivar Caturra et de 5 cultivars introgressés (tableau 3). Les cultivars introgressés sont dérivés de l’hybride de Timor. Celui-ci a été croisé puis rétro-croisé avec la variété naine Caturra. De ce fait, tous les introgressés étudiés ici sont de ‘port nain’ et leur pourcentage d’introgression, plus ou moins important, s’élève jusqu’à 30%. La sélection a consisté à essayer d’éliminer les gènes de *C. canephora* indésirables pour ne conserver que les gènes de résistance.

Les caféiers ont été cultivés au Nicaragua sous ombrage, à une altitude de 1070 m dans une parcelle nouvellement mise en culture qui bénéficie d’un sol fertile (humus forestier abondant). Les pratiques culturales utilisées permettent d’assurer des rendements de 1000 kg en moyenne de café vert par ha. Cette productivité moyenne est la plus apte à conférer une qualité optimale au café. En effet, dans ces conditions optimales, le rapport feuilles/fruits est maintenu à un niveau très favorable pendant tout le cycle de production.

Pour chaque cultivar, deux récoltes ont été faites durant le pic de maturité : la première en novembre 2008 et la seconde en décembre 2008.

Seules les cerises saines et mures ont été cueillies durant les pics de maturité. Pour chaque échantillon, 1 kg de cerises de café a été récolté et rapidement traité par voie humide (dépulpage, fermentation et séchage) pour obtenir approximativement 500 g de café vert. Après élimination des fèves défectueuses, les grains ont été tamisés suivant les normes admises pour l’exportation des cafés d’Amérique Centrale (élimination des grains inférieurs au tamis 16), avant d’être conditionnés et expédiés en France.

A la réception, les échantillons dont l’emballage était endommagé ont été écartés de l’étude (8-nov et 40-nov).

2.1.2 Préparation des échantillons

Chaque échantillon de café vert a été divisé en deux lots : l’un a été transformé en poudre de café vert pour réaliser les analyses chimiques, et l’autre en café torréfié moulu pour les analyses sensorielles. Les protocoles de préparation sont décrits sur la figure 5. Jusqu’aux analyses et entre chacune d’elles, la poudre de café vert a été stockée dans des pots en verre à -80°C tandis que le café torréfié moulu, conditionné sous vide, a été congelé à -20°C.

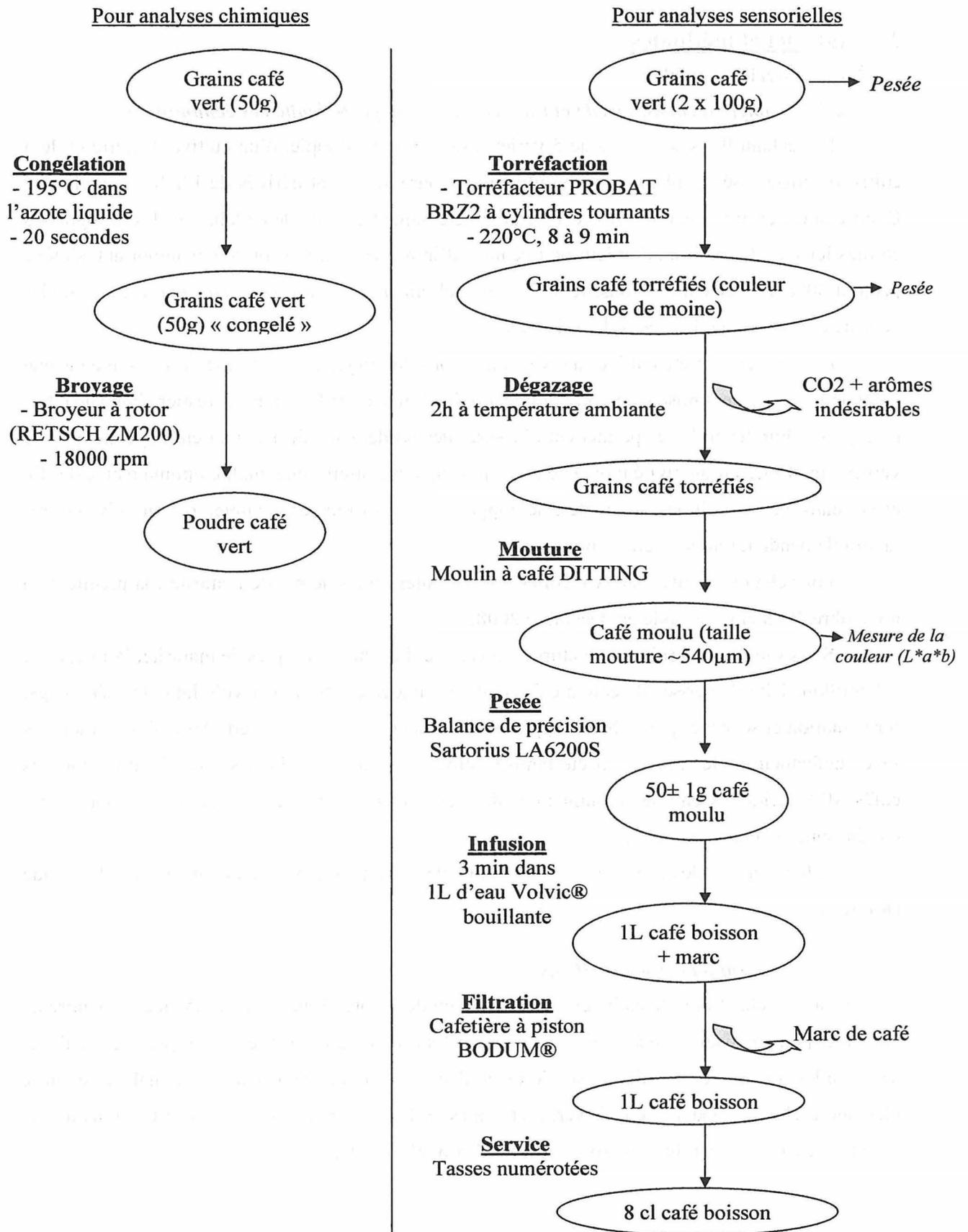


Figure 5 – Préparation des échantillons pour analyses

2.2 Caractérisation des profils organoleptiques

Les profils organoleptiques des échantillons ont été caractérisées par des analyses sensorielles descriptives : celles-ci sont utilisées pour décrire et évaluer en intensité un ensemble de caractéristiques sensorielles appelées descripteurs ou critères. Ces analyses ont été réalisées grâce à un jury (ou panel) de dégustation qualifié café, sélectionné selon la norme ISO NF 8586-1.

2.2.1 Sélection des échantillons et des descripteurs

Une première dégustation de l'ensemble des échantillons a été réalisée par un jury restreint (3 membres, sélectionnés pour leur habitude à déguster les cafés du Nicaragua). Cette première étape a permis dans un premier temps d'éliminer les cafés fermentés ou brûlés qui témoignent de défauts liés au traitement, plus précisément à des problèmes de fermentation, de séchage ou de torréfaction.

Dans un second temps, elle a permis de détecter la typicité de chaque échantillon et de déterminer une liste de descripteurs adaptés à la caractérisation des profils sensoriels : l'ensemble des descripteurs choisis doit en effet permettre de différencier les échantillons entre eux et de caractériser au mieux chacun d'eux, et cela de manière à la fois positive et négative. Sont dites positives les caractéristiques sensorielles recherchées chez le café (notes florales et fruitées par exemple), en opposition aux caractéristiques négatives (*off-flavours*) telles que les notes terreuses, brûlées ou fermentées par exemple. Les descripteurs retenus ont enfin été définis (tableau 4) et transmis au panel.

2.2.2 Entraînement du panel

Une stratégie d'entraînement du jury a été mise au point. Bien que qualifiés pour la dégustation café, les membres du jury doivent être entraînés à juger les descripteurs dont ils n'ont pas l'habitude, à savoir l'odeur florale, l'odeur fruitée, l'odeur verte et le goût de beurre. Pour cela, un exercice d'olfaction a été mis en place : 14 flacons d'arômes numérotés (de la mallette « Les arômes et senteurs dans les vins » aux éditions ARSAN) devaient être classés dans les catégories adéquates selon l'odeur qu'ils dégageaient : floral, fruité, vert ou beurre selon le tableau 5. L'exercice a été répété trois fois sur deux semaines pour permettre à chaque juge de mémoriser les caractéristiques spécifiques de chaque flaveur.

Tableau 4 – Descripteurs utilisés pour les analyses sensorielles et leur définition

Intensité odeur	force de l'odeur qu'elle soit agréable ou non
Intensité odeur florale	force de l'odeur de fleur (fleur d'oranger, jasmin par exemple)
Intensité odeur fruitée	force de l'odeur de fruit (abricot, agrumes, fruits rouges par exemple)
Intensité odeur verte	force de l'odeur de végétaux fraîchement coupés (herbe, feuille) ou de légumes verts
Qualité odeur	importance de la note caractéristique de l'odeur de café
Corps	puissance de la saveur et consistance (épaisseur en bouche, viscosité)
Acide	qualifie la saveur élémentaire provoquée par des solutions aqueuses diluées de la plupart des corps acides (tels que l'acide citrique ou l'acide tartrique)
Amer	qualifie la saveur élémentaire provoquée par des solutions aqueuses diluées de diverses substances telles que la quinine et la caféine
Astringent	qualifie la sensation complexe résultant de la contraction de la surface des muqueuses de la bouche, produite par des substances telles que les tanins du kaki et de la prunelle : sensation d'assèchement
Aigre	qualifie la sensation complexe olfacto-gustative généralement due à la présence de composés acides
Fruité	goût de fruits murs et parfumés (agrumes, fruits rouges, confiture d'abricot)
Apré	qualifie la sensation de rugosité sur la langue lorsque le café est en bouche
Vert	goût d'herbe fraîchement coupée, de poivron vert, petits pois ou autres légumes verts
Terreux	goût de terre ou de poussière caractéristiques
Brûlé	goût rappelant le charbon de bois souvent lié à une torréfaction poussée.
Puant	goût de fruits en décomposition, fermenté
Beurre	goût de beurre frais ou rance souvent associé à un produit gras et visqueux
Préférence	jugement global du café, tient compte de tous les éléments sensoriels, de la présence de saveurs atypiques, de leur importance et des caractéristiques particulières

Tableau 5 – Solution du test olfactif mis en place pour l'entraînement du panel

N° de flacon	Catégorie de flaveur	Floral	Fruité	Vert	Beurre
1			Citron		
2					Beurre rance
3		Violette			
4			Orange		
5			Cassis		
6			Abricot frais		
7		Jasmin			
8				Herbe	
9			Cerise		
10		Fleur d'oranger			
11			Pamplemousse		
12					Beurre frais
13			Abricot confit		
14		Muguet			

2.2.3 Analyses sensorielles

Par convention, les analyses sensorielles sur café sont toujours effectuées le matin de manière à éviter aux juges toute incommodation éventuelle due à la caféine. Le jury est toujours composé de douze juges identifiés par un code mais peut varier d'une dégustation à l'autre selon les disponibilités de chacun.

Le logiciel Tastel® (logiciel d'assistance pour les analyses sensorielles) permet de générer les fiches d'évaluation à partir des paramètres suivants : la liste des descripteurs, l'échelle de notation (de 0 à 10), le nombre de juges (12), le nombre de produits à déguster (3 ou 4) ainsi que leur nom et enfin l'ordre de distribution des produits : le carré latin. Celui-ci permet de s'affranchir des effets liés à l'ordre de dégustation.

Chaque juge dispose d'un box individuel équipé d'un crachoir et d'un ordinateur où se trouvent affichées les feuilles d'évaluations de chaque produit. Les tasses de cafés numérotées de façon aléatoire (avec un code à trois chiffres) sont disposées en ligne selon l'ordre imposé par le carré latin.

La dégustation s'effectue à une température comprise entre 55°C et 60°C.

Chaque échantillon a été analysé trois fois de manière à contrôler la reproductibilité du panel.

2.3 Caractérisation des profils aromatiques

2.3.1 Micro-extraction sur phase solide des composés volatils des échantillons

Les composés volatils ont été extraits à partir de la poudre de café vert grâce à la micro-extraction en phase solide (SPME, *Solid phase microextraction*). Cette technique repose sur l'adsorption des composés chimiques volatils situés dans l'espace de tête (phase gazeuse située au dessus de l'échantillon) sur une phase polymérique supportée par une fibre en silice.

Pour ce faire, une masse de $2 \pm 0,05$ g de café vert broyé et 50 μ L de solution étalon de butan-1-ol (à 50 μ g/L) ont été introduits dans un flacon en verre de 10 mL lequel a été serti par un bouchon à septum. La fibre SPME (SUPELCO) est une carboxen-PDMS (75 μ m). Avant utilisation, les fibres ont été conditionnées 1h à 270°C.

Tableau 6 – Paramètres d'intégration des chromatogrammes avec le logiciel HPchem

Event	Value	Time
Initial Area Reject	1000	Initial
Initial Peak Width	0.1	Initial
Initial Shoulders	OFF	Initial
Initial Threshold	5	Initial
Threshold	7	58
Peak Width	0.3	58

Les conditions HS-SPME utilisées sont les suivantes : avant chaque injection, nettoyage de la fibre par désorption thermique pendant 10 minutes à 250 °C, mise à l'équilibre de l'échantillon de café vert pendant 15 minutes à 50°C, exposition de la fibre dans la phase gazeuse pendant 45 minutes à 50°C et enfin désorption thermique dans l'injecteur du chromatographe pendant 4 minutes à 250°C.

2.3.2 Dosage des composés d'arômes par chromatographie en phase gazeuse et détecteur à ionisation de flamme

La chromatographie en phase gazeuse (GC) permet de séparer et de quantifier les composés volatils.

L'analyse a été réalisée sur un appareil HP 5890 série II équipé d'un détecteur FID et d'un injecteur split/splitless. Une colonne capillaire de silice fondue de type DBWAX (J&W Scientific, Folsom, CA) de 60 m * 0.32 mm d.i., 0.25 µm d'épaisseur du film a été utilisée. La programmation de température utilisée a été la suivante : un isotherme de 5 minutes à 40°C suivi d'une augmentation de température de 2°C/min jusqu'à 140°C puis d'une seconde montée en température à 6°C/min jusqu'à 210°C permettant d'éluer la totalité des composés. Le temps total de la programmation est de 67 minutes.

Le gaz vecteur est de l'hélium à un débit de 1,9 mL/min et le gaz auxiliaire de l'hélium à 30 mL/min. Les gaz utilisés au niveau du détecteur FID sont l'hydrogène à 30 mL/min, l'air à 300 mL/min et de l'hélium (gaz modérateur) à 30 mL/min. L'injecteur chauffé à 250°C a été utilisé en mode splitless, et le détecteur chauffé à 250°C.

Les données chromatographiques sont intégrées via le logiciel HPchem selon les paramètres d'intégration répertoriés dans le tableau 6. Les aires relatives de chaque pic sont calculées ainsi : $A_x/A_{\text{étalon interne}} \times 100$. Chaque échantillon a été analysé trois fois de manière à calculer les moyennes, les écarts types et les coefficients de variations des quantités relatives. Les coefficients de variation inférieurs à 20% témoignent d'une répétition correcte.

2.3.3 Identification des molécules chimiques par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectroscopie de masse

Les spectres de masses en impact électronique ont été obtenus avec un chromatographe Agilent 6980 couplé à un spectromètre de masse Agilent 5973N équipé d'une colonne DB-WAX ayant les mêmes caractéristiques que celle utilisée précédemment. La ligne de transfert et l'injecteur était respectivement à 260°C et 250°C. Le débit du gaz vecteur est de 1.2 ml/min. la programmation est la même que celle décrite pour l'analyse GC-FID. La température de la source est de 230 °C. L'énergie d'ionisation est de 70 eV et les paramètres d'acquisition des spectres sont les suivants : de 40 à 350 uma pour la gamme de masse et 2.89scans/seconde.

L'identification des composés d'arôme a été effectuée par comparaison des indices de rétention linéaire et des spectres de masse par rapport à ceux de composés de référence trouvés dans la banque de données « Wiley mass spectral data » ou dans la littérature (9 ; 10 ; 11). Les indices de rétention linéaire ont été déterminés en utilisant une solution d'hydrocarbure standard de C8 à C20.

Dans le but de sélectionner les molécules odorantes parmi l'ensemble des composés volatils identifiés, les descriptions des odeurs de chacun d'eux ont été répertoriées grâce aux données bibliographiques (12 ; 13)

2.4 Traitement statistique

Le logiciel XLSTAT® (versions 2007 et 2009) a été utilisé pour effectuer l'intégralité des analyses statistiques. Des analyses de variances (ANOVA) suivies de tests de comparaisons multiples (test de Fisher avec $P \leq 0.05$) sont utilisées pour expliquer les résultats sensoriels et chimiques. Ensuite, des analyses en composantes principales (ACP) sont appliquées aux données sensorielles et aux données chimiques. Enfin une analyse factorielle multiple (AFM) a été réalisée pour détecter d'éventuelles relations entre les composés volatils et les caractéristiques sensorielles.

Tableau 7- Moyennes des notes obtenues par chacun des échantillons analysés pour les descripteurs sélectionnés

identifiant	int. odeur	int. od fruité	int. od verte	qualité odeur	corps	acide	amer	aigre	fruité	âpre	vert	terreux	brulé	puant	préférence
12-déc	4.27	0.81	1.34	3.66	4.70	4.31	4.01	0.94	1.15	0.78	1.31	0.24	0.43	0.63	3.90
12-nov	4.83	1.06	1.80	3.70	4.67	4.89	3.90	0.53	1.30	0.93	1.53	0.36	0.38	0.39	4.38
(15-nov)	5.26	1.19	1.01	3.46	5.27	3.29	5.14	0.37	0.89	1.67	0.46	1.17	1.28	0.42	3.83
18-déc	5.09	1.55	1.76	4.06	4.38	4.06	3.86	0.55	1.30	0.78	1.37	0.41	0.26	0.01	4.45
21-nov	4.52	0.75	0.86	4.13	4.40	4.63	3.39	0.50	1.30	0.76	0.90	0.22	0.32	0.12	4.51
40-déc	4.38	1.06	0.91	4.21	4.18	4.40	3.62	0.29	1.06	1.10	0.93	0.15	0.44	0.13	4.40
(41-déc)	4.68	0.79	0.81	3.49	4.51	3.43	4.31	0.32	0.80	1.70	0.59	0.44	0.87	0.22	3.91
41-nov	4.52	1.58	1.12	4.18	4.07	4.35	3.25	0.39	2.20	0.74	0.82	0.19	0.28	0.21	4.56
45-déc	4.39	1.36	0.63	4.26	4.21	4.42	3.43	0.17	1.87	0.35	0.69	0.22	0.39	0.17	4.68
45-nov	4.69	0.93	0.94	3.70	4.13	4.12	3.70	0.74	0.94	0.92	1.20	0.48	0.39	0.04	4.12
46-déc	4.63	1.01	0.86	4.08	4.39	4.48	3.57	0.70	1.56	0.68	0.76	0.30	0.66	0.39	4.43
(46-nov)	5.05	0.55	1.29	3.15	5.42	3.11	5.47	0.16	0.70	1.71	0.79	1.22	1.87	0.59	3.05
51-déc	4.19	1.16	1.29	4.03	4.42	4.60	3.14	0.62	1.46	1.03	0.87	0.26	0.37	0.21	4.16
51-nov	4.62	0.55	1.08	3.73	4.21	4.43	3.57	0.44	1.27	0.93	0.94	0.35	0.45	0.28	4.14
(115-déc)	4.32	1.21	0.81	3.68	4.42	4.82	3.14	0.97	1.55	0.69	1.09	0.30	0.28	1.08	3.82
115-nov	4.37	1.47	1.47	4.09	4.27	4.47	3.59	0.50	1.65	0.69	1.12	0.25	0.52	0.07	4.41
(cat-déc)	4.25	1.23	1.24	4.07	3.88	4.62	3.09	0.52	1.49	0.55	1.92	0.18	0.43	0.36	4.10
cat-nov	4.46	0.78	1.24	4.26	4.62	3.69	4.30	0.27	0.94	1.24	1.04	0.15	0.71	0.18	4.44
moyennes	4.58	1.06	1.14	3.89	4.45	4.23	3.80	0.50	1.30	0.96	1.02	0.38	0.57	0.31	4.18

En vert, les échantillons de cultivars introgressés.

Entre parenthèses, les échantillons exclus du traitement des données.

3 Résultats

3.1 Présélection des échantillons

Afin d'éliminer les échantillons mal préparés, une dégustation avec trois dégustateurs expérimentés a été réalisée. Elle a permis d'éliminer deux échantillons ayant des notes très fermentées : le 21-déc, et le 8-déc et un échantillon avec un léger goût de moisi : le 15-déc. De plus, deux échantillons ont été décrits comme potentiellement brûlés (46-nov et 15-nov) et deux légèrement fermentés (115-déc et 12-déc). Ces échantillons ont néanmoins été évalués par le panel de manière à confirmer ces défauts.

3.2 Caractérisation des profils sensoriels

La caractérisation des profils sensoriels des 18 échantillons conservés a donné lieu à 14 séances de dégustation au cours desquelles chaque échantillon a été évalué trois fois.

3.2.1 Performance du panel et significativité des descripteurs

Une ANOVA sur les répétitions des notes du panel comprenant les facteurs « juge » et « café » détecte trois descripteurs non-significatifs : « intensité odeur florale », « astringent » et « beurre » (annexe 1). L'ANOVA sur les répétitions des notes de chaque juge, avec le facteur « café », montre que pour ces descripteurs, trop peu de juges sont discriminants et reproductibles (annexe 2) ces trois critères d'évaluation sont donc exclus du traitement des données.

3.2.2 Détection des échantillons ayant un défaut sensoriel issu des traitements post-récolte

A partir des résultats des dégustations, des ANOVA par cultivar avec le facteur période de récolte permettent de mettre en évidence les descripteurs pour lesquels il y a une différence significative entre les deux échantillons d'un même cultivar. Les moyennes centrées par juge (pour tenir compte de l'effet juge) permettent de décrire ces écarts. Les moyennes des notes centrées par juges pour chaque échantillon analysé et pour les descripteurs sélectionnés sont répertoriés dans le tableau 7. Les résultats d'ANOVA significatifs (>0.05) et les moyennes sont répertoriées dans le tableau 8. Ainsi les différences de profils dues à un défaut de torréfaction (profil sur torréfié ou sous torréfié) ou à un problème de séchage (profil fermenté) sont détectés. De plus, la perte en poids des grains torréfiés et la clarté des moutures peuvent indiquer des différences de torréfaction. Les valeurs de ces mesures sont répertoriées en annexe 3.

Tableau 8 – Descripteurs pour lesquels l'effet « période de récolte » est significatif (P(Pr>F)<0,05) par cultivar

Cultivars	Descripteurs	Pr>F	Moyennes nov	Moyennes déc	Tendance
12	<i>acide</i>	0.003	5.0	4.3	nov>déc
51	<i>amer</i>	0.006	3.7	3.1	nov>déc
45	<i>aigre</i>	0.046	0.8	0.3	nov>déc
41	<i>intensité odeur fruitée</i>	0.018	1.5	0.7	nov>déc
	<i>acide</i>	0.005	4.4	3.4	nov>déc
	<i>amer</i>	0.000	3.2	4.3	déc>nov
	<i>fruité</i>	0.010	2.5	1.0	nov>déc
	<i>âpre</i>	0.004	0.9	1.8	déc>nov
	<i>brûlé</i>	0.003	0.3	0.8	déc>nov
46	<i>qualité odeur</i>	0.009	3.2	4.2	déc>nov
	<i>corps</i>	0.000	5.3	4.4	nov>déc
	<i>acide</i>	0.002	3.1	4.3	déc>nov
	<i>amer</i>	<0.0001	5.4	3.4	nov>déc
	<i>brûlé</i>	0.050	2.0	1.0	nov>déc
	<i>préférence</i>	0.000	3.0	4.5	déc>nov
115	<i>aigre</i>	0.006	0.5	1.2	déc>nov
	<i>puant</i>	0.000	0.0	1.3	déc>nov
	<i>préférence</i>	0.001	4.4	3.3	nov>déc
caturra	<i>corps</i>	0.001	4.7	3.9	nov>déc
	<i>acide</i>	0.024	3.9	4.7	déc>nov
	<i>amer</i>	0.001	4.1	3.1	nov>déc
	<i>vert</i>	0.003	0.8	2.0	déc>nov
	<i>brûlé</i>	0.008	0.8	0.4	nov>déc

Concernant le cultivar 41, l'échantillon de décembre présente un profil sur-torréfié (différence qu'on ne perçoit pas avec les mesures de la couleur selon le système L*a*b.) ; en effet, ses notes « amer », « âpre » et « brûlé » sont significativement supérieures à celles de l'échantillon de novembre, et ses notes « intensité odeur fruitée », « acide » et « fruité » significativement plus faibles.

De la même façon pour le cultivar 46, l'échantillon de novembre présente un profil sur-torréfié avec des notes de « corps », « amer » et « brûlé » significativement supérieures à celles de l'échantillon de décembre, et des notes significativement plus faibles pour l'« acide ». Ce phénomène de sur-torréfaction aboutit également, pour les variables subjectives « qualité odeur » et « préférence », à des notes plus faible pour l'échantillon sur-torréfié.

L'échantillon de décembre du cultivar 115 présente un profil de café fermenté : effectivement il se différencie de l'échantillon de novembre par des notes plus élevées en « puant » et « aigre » qui caractérisent un café mal séché. Ce profil spécifique est confirmé par la moyenne des notes de la préférence qui est significativement plus forte pour l'échantillon de novembre.

Concernant le cultivar caturra, l'échantillon de décembre se différencie du second par des notes plus élevées en « acide » et « vert » et des notes plus faibles pour le « corps », l'« amer » et le « brûlé » qui traduisent au final un profil de café légèrement sous-torréfié. Cette spécificité est confirmée par les mesures de la couleur : la valeur du L de l'échantillon de novembre s'élève à 25.2, ce qui témoigne d'une torréfaction correcte tandis que la valeur du L de l'échantillon de décembre (28.9) traduit une torréfaction très claire.

Pour les cultivars 12, 45 et 51, une différence significative entre leurs échantillons respectifs est observée sur un seul descripteur : « acide », « amer », « aigre », respectivement. Ces faibles différences entre échantillons indiquent que les traitements post-récolte sont relativement identiques pour les deux dates de récolte.

L'analyse des résultats des tests sensoriels nous amène à écarter quatre échantillons présentant des défauts liés au traitement post-récolte, confirmant ainsi, pour deux d'entre eux (46-nov et 115-déc), les conclusions de la toute première dégustation. Lors de celle-ci, un troisième échantillon, le 15-nov, avait été suspecté brûlé mais son profil sensoriel ne peut être comparé au 15-déc puisque celui-ci a été éliminé. Néanmoins, ses notes de « corps », « amer », « âpre » et « brûlé » sont les plus élevées après celles de l'échantillon 46-nov, qui présente les notes « brûlé » les plus intenses. On élimine donc également cet échantillon.

Tableau 9 - Probabilité associée au F du test de Fisher ($Pr > F$) pour l'analyse par descripteur des effets « cultivar », « période de récolte » et « interaction cultivar*période de récolte » (En gras les effets significatifs > 0.05).

Descripteurs	Int. odeur	Int. odeur fruitée	Int. odeur verte	Qualité	Corps	Acide	Amer	Aigre	Fruité	Âpre	Vert	Terreux	Préférence
Cultivar	0.033	0.033	0.003	0.821	0.007	0.093	0.006	0.29	0.003	0.174	0.034	0.808	0.55
Période de récolte	0.017	0.167	0.429	0.387	0.396	0.991	0.144	0.976	0.069	0.145	0.161	0.093	0.404
Interaction cultivar*période de récolte	0.896	0.2	0.451	0.006	0.906	0.008	0.273	0.087	0.036	0.32	0.528	0.917	0.034

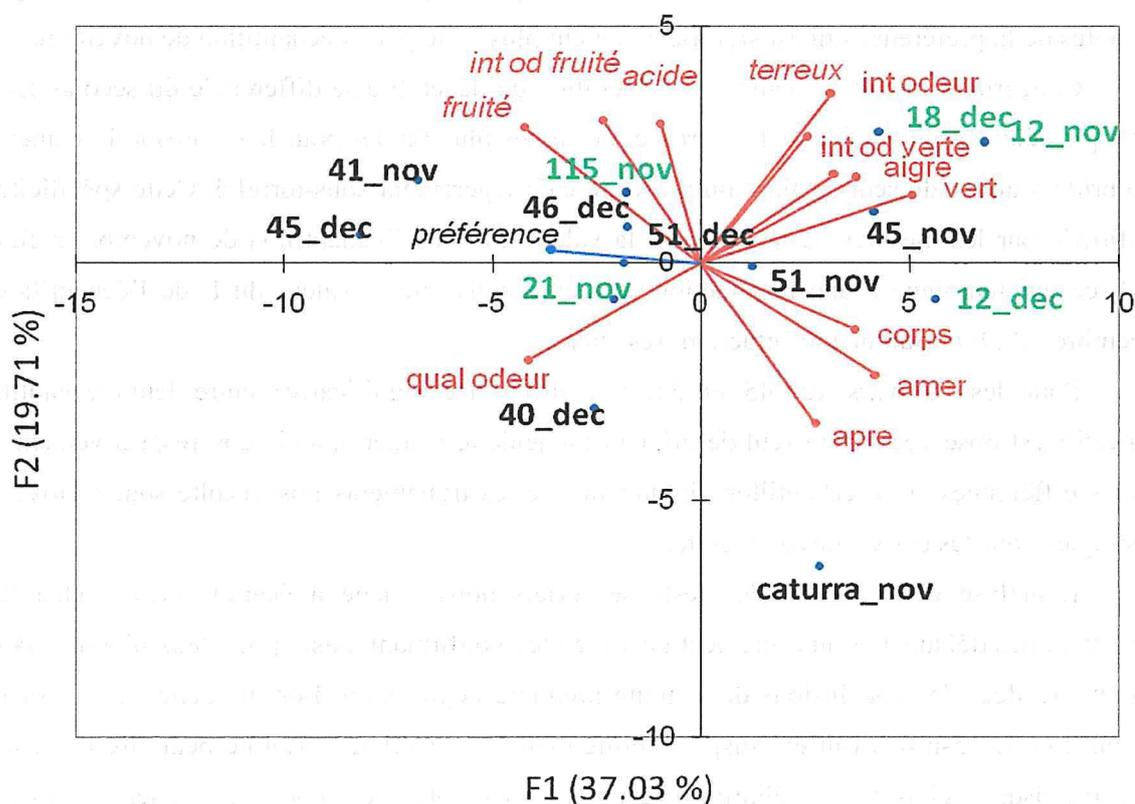


Figure 6 – Représentation des échantillons selon le plan 1-2 (56,74%) de l'ACP sur les données sensorielles (en vert, les échantillons de cultivars introgressés).

En conclusion, pour ne conserver que les différences dues au génotype de chaque cultivar, les échantillons 46-nov, 15-nov, 115-déc, 41-déc, et caturra-déc ont été exclus du traitement des résultats sensoriels. Dans la mesure où les échantillons à défauts de torréfaction et de séchage ont été discriminés, les descripteurs « puant » et « brûlés » n'avaient plus lieu d'être et ont alors été écartés du traitement des données.

3.2.3 Effets cultivar, période de récolte, et interaction cultivar*période de récolte

Pour expliquer les différences de profils sensoriels entre les produits, une ANOVA a été réalisée sur l'ensemble des résultats prenant en compte les cultivars, les deux périodes de récolte, et en vérifiant si une interaction entre ces deux paramètres était observée (tableau 9). Aucun effet significatif n'est noté sur les descripteurs « aigre », « âpre » et « terreux ». En revanche, pour les critères « intensité odeur fruitée », « intensité odeur verte », « corps », « amer », et « vert » un effet cultivar, ou génotypique, est observé. Des effets période de récolte et/ou interactions cultivar*période significatifs sont observés sur les critères suivants : « intensité odeur », « qualité odeur », « acide », « fruité », et « préférence ». Cela signifie que les profils varient en fonction de la période de récolte, pour ces descripteurs. Pour les analyses suivantes, les résultats de novembre et de décembre ont donc été traités séparément pour ces critères.

3.2.4 Effet introgression par ANOVA

Pour savoir quels sont les effets de l'introgression sur les caractéristiques sensorielles du café, des ANOVA, avec le facteur type (« introgressé » ou « non-introgressé »), ont été réalisées. Quelle que soit la date de récolte, les cultivars introgressés présentent des notes significativement plus élevées que les cultivars non-introgressés concernant les descripteurs « intensité odeur verte » (avec $Pr>F= 0.022$) et « vert » (avec $Pr>F= 0.012$). En décembre uniquement, ils sont aussi significativement plus acides (avec $Pr>F = 0,048$).

3.2.5 Visualisation de l'effet introgression par représentation des échantillons selon leurs caractéristiques sensorielles grâce à une ACP

L'ACP est une méthode de projection qui permet de projeter les observations depuis l'espace à p dimensions de p variables vers un espace à k dimensions ($k < p$) tel qu'un maximum d'information soit regroupé sur les premières dimensions. Une ACP sur les résultats de l'analyse sensorielle a été réalisée.

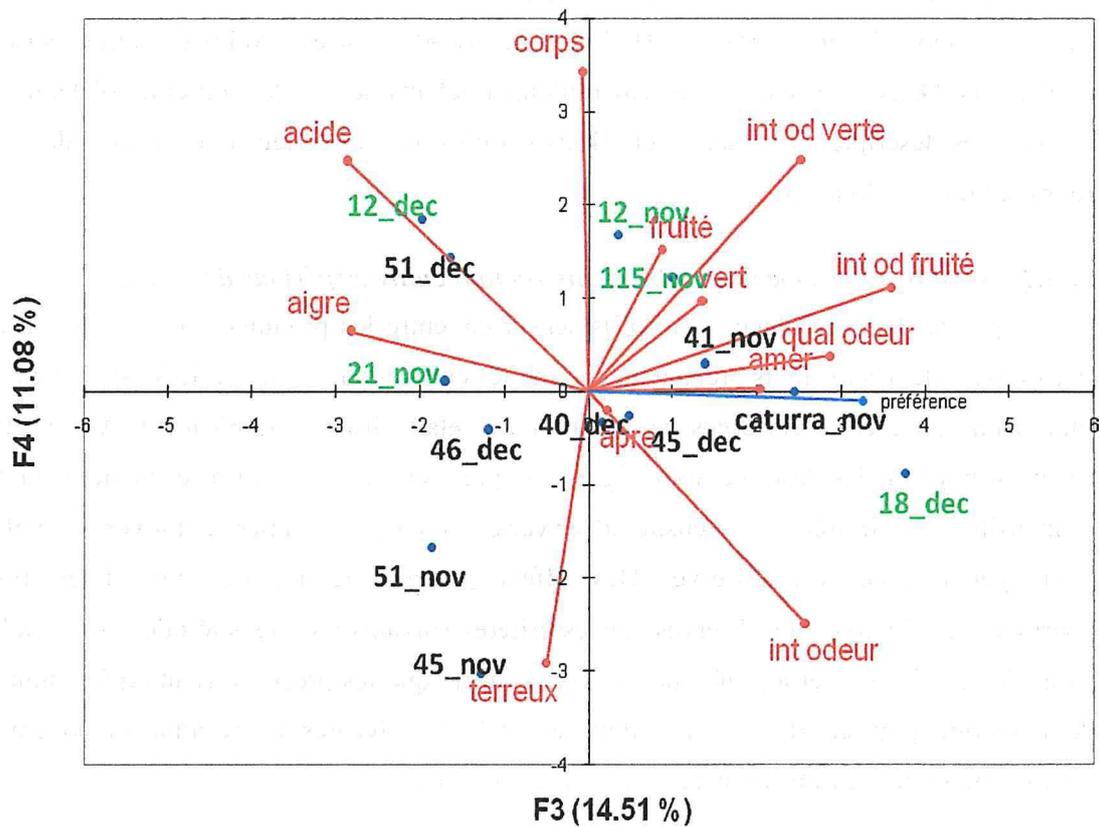


Figure 7 – Représentation des échantillons selon le plan 3-4 (25,59%) de l'ACP sur les données sensorielles (en vert les échantillons de cultivars introgressés)

Tableau 10 - Classification ascendante hiérarchique des échantillons (CAH) selon leur note moyenne de préférence

Classe 1		Classe 2		Classe 3	
Echantillon	Moyenne préférence	Echantillon	Moyenne préférence	Echantillon	Moyenne préférence
51-déc	4,16	18-déc	4,45	45-déc	4,68
51-nov	4,14	cat-nov	4,44	41-nov	4,56
45-nov	4,12	46-déc	4,43	21-nov	4,51
12-déc	3,90	115-nov	4,41		
		40-déc	4,40		
		12-nov	4,38		

Les 4 premiers axes représentent 82 % de l'information initiale (F1 : 37 %, F2 : 19,7, F3 : 14,5, F4 : 11,1). L'axe 1 est corrélé positivement aux notes « vert », « amer », « corps », « intensité odeur verte » et « aigre » et négativement aux notes « fruité », « qualité odeur » et « préférence ». L'axe 2 est corrélé positivement aux notes « terreux » et « acide », et négativement au critère « âpre ». L'axe 3 est corrélé positivement aux notes « intensité odeur fruité », « qualité odeur » et « préférence » et négativement au « terreux ». L'axe 4 est corrélé positivement au « corps » et négativement aux notes « acide » et « aigre ». Aucun axe ne permet de discriminer les échantillons en fonction du paramètre de l'introggression des cultivars. La représentation graphique du plan 1-2 (figure 6), permet toutefois de caractériser trois des échantillons de cultivars introgressés (12-nov, 12-déc et 18-déc) par leurs notes « vert », « amer », « corps » et « intensité odeur verte », en opposition à la préférence. Trois échantillons de novembre provenant de cultivars non-introggressés sont également caractérisés ainsi, de manière moins forte cependant. Les deux autres échantillons de cultivars introgressés (115-nov et 21-nov) sont regroupés avec la majorité des non-introggressés. Ils sont positionnés sur la partie négative de l'axe 1, indiquant des caractéristiques sensorielles plus élevées en « fruité », « qualité odeur » et « préférence ». La représentation graphique du plan 3-4 (figure 7) apporte peu d'informations supplémentaires mis à part que l'axe 3 caractérise l'échantillon introgressé 18-déc par des notes élevées d' « intensité odeur fruité », « qualité de l'odeur » et « préférence ».

3.2.6 Classification des échantillons selon leur note de préférence

Pour comparer la qualité globale des cafés provenant des cultivars introgressés avec celle du Caturra et celles des variétés d'Ethiopie, une classification hiérarchique sur le critère de la préférence a été établie. On obtient trois classes. La première représentant les cafés les moins appréciés est composée d'un introgressé, le 12-déc, et de trois non-introggressés 51-déc, 51-nov, 45-nov. La deuxième classe, composée de cafés légèrement moins appréciés, comprend 3 introgressés 18-déc, 115-nov et 12-nov et trois non-introggressés : cat-nov, 46-déc, et 40-déc. Enfin, la troisième représentant les cafés les plus appréciés regroupe deux échantillons non-introggressés : 45-déc, 41-nov, et un introgressé : 21-nov.

Tableau 11 - Quantités relatives moyennes des composés d'arômes par échantillon

Identifiant	12- déc	12- nov	15- nov	18- déc	21- nov	40- déc	41- déc	41- nov	45- déc	45- nov	46- déc	46- nov	51- déc	51- nov	115- nov	cat- déc	cat- nov
Composés d'arômes																	
éthanal (<i>éther</i>)	25	77	8	18	10	26	11	10	34	10	7	44	9	11	23	12	8
2-méthylpropanal (<i>épicé</i>)	10	23	23	22	11	11	6	6	15	8	10	9	11	18	21	10	12
butanal (<i>chocolat</i>)	9	16	15	12	14	18	9	16	13	13	8	13	12	16	14	12	11
pentanal (<i>fermenté</i>)	44	41	33	33	23	32	12	22	21	19	12	27	22	30	36	24	28
hexanal (<i>vert</i>)	21	45	35	15	21	24	7	14	16	9	14	11	58	13	47	20	13
3-méthylbut-2-éanal (<i>fruit</i>)	2	6	7	4	7	6	2	2	3	4	5	4	5	3	14	1	3
benzaldéhyde (<i>fruit</i>)	3	4	6	4	6	4	3	4	4	3	4	4	5	5	5	4	4
propan-2-ol (<i>alcool</i>)	16	23	22	32	16	23	19	21	21	18	21	23	34	22	18	33	23
propan-1-ol (<i>alcool</i>)	22	13	28	32	14	21	11	13	16	13	18	15	26	17	13	20	14
2-méthylpropan-1-ol (<i>éther</i>)	18	24	35	51	19	16	16	8	19	13	18	15	26	18	17	21	14
pentan-2-ol (<i>fermenté</i>)	3	4	17	19	7	4	3	1	4	2	10	4	24	2	8	7	2
3-méthylbutan-1-ol (<i>fermenté</i>)	37	31	63	111	32	33	28	13	35	21	44	24	63	27	33	42	23
3-méthylbut-2-èn-1-ol (<i>fruit</i>)	3	5	2	3	5	1	1	2	1	1	2	2	2	2	13	1	3
hexan-1-ol (<i>herbe</i>)	5	11	25	18	13	18	9	9	12	9	15	10	21	13	10	12	8
2-éthylhexan-1-ol (<i>citron</i>)	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
butan-2,3-diol (<i>fruit</i>)	14	12	30	19	17	45	15	9	18	7	15	13	25	14	13	14	17
2-furanméthanol (<i>pain</i>)	3	4	10	8	12	8	7	7	7	5	7	4	10	6	6	4	3
alcool benzylique (<i>fleur</i>)	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	3	1	1	1
2-phényléthanol (<i>fleur</i>)	0	1	1	2	1	1	1	0	1	0	1	1	1	6	1	0	1
butan-2-one (<i>éther</i>)	7	15	13	10	22	20	5	10	11	8	9	12	12	10	17	9	8
3-hydroxybutan-2-one (<i>beurre</i>)	3	4	7	2	4	7	2	3	3	2	2	4	2	4	4	2	4
acétophénone (<i>fleur</i>)	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
acide acétique (<i>acide</i>)	31	39	61	65	38	40	48	23	38	30	49	31	63	31	24	42	23
acide propanoïque (<i>acide</i>)	2	2	2	2	3	3	2	2	2	1	2	2	2	1	3	2	2
acide butanoïque (<i>fromage</i>)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
acide 3-méthylbutanoïque (<i>fromage</i>)	11	14	23	26	15	16	24	10	15	13	29	15	34	12	10	13	8
acide pentanoïque (<i>fromage</i>)	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0
acide 3-méthylbut-2-énoïque (<i>épicé</i>)	0	1	1	3	1	1	1	1	2	2	3	2	4	1	1	1	1
acide hexanoïque (<i>gras</i>)	1	2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	3	1	2	1	1
diméthylsulfure (<i>soufre</i>)	61	107	41	34	44	7	3	42	10	10	4	62	26	79	101	16	40
acétate de méthyle (<i>éther</i>)	30	50	37	38	43	45	27	27	33	27	32	36	50	33	37	43	36
acétate d'éthyle (<i>éther</i>)	2	6	3	2	2	2	1	0	1	1	0	2	3	0	2	1	2
3-méthylbutanoate de méthyle (<i>fruit</i>)	9	9	15	11	6	9	5	6	5	5	8	11	14	8	7	9	6
3-méthylbutanoate d'éthyle (<i>fruit</i>)	4	0	6	5	0	0	0	0	0	0	1	0	3	1	0	0	0
phényléthanoate de méthyle (<i>miel</i>)	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
2-méthylfuranne (<i>chimique</i>)	9	15	17	16	24	21	7	9	9	10	12	13	21	10	13	11	7
3-méthylfuranne (-)	8	13	13	21	12	13	5	6	9	7	8	9	21	9	15	10	8
2-éthylfuranne (<i>chimique</i>)	14	12	8	13	4	7	6	12	8	7	4	6	10	9	7	7	12
furfural (<i>pain</i>)	1	2	4	0	4	3	1	1	0	1	3	1	2	1	3	1	1
gamma-valérolactone (<i>herbe</i>)	3	2	5	5	4	6	3	4	3	2	5	3	7	2	3	6	4
gamma-butyrolactone (<i>crème</i>)	5	3	4	7	4	4	5	2	3	2	4	2	7	2	3	2	2
gamma-hexalactone (<i>tonka</i>)	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
pyridine (<i>poisson</i>)	2	2	2	2	2	9	1	1	3	2	4	2	4	1	2	1	1
2-méthoxy-3(2-méthyl propyl)pyrazine (<i>vert</i>)	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
limonène (<i>citron</i>)	1	1	3	2	3	9	2	2	5	4	4	1	6	2	2	1	1

3.3 Caractérisation des profils aromatiques

3.3.1 Quantification et identification des composés volatils

L'analyse des composés volatils extraits par SPME et analysés en GC-FID ou en GC-MS a permis de quantifier et d'identifier 61 composés volatils classés dans 10 principales familles chimiques (annexe 4) : les alcools (16 composés), les aldéhydes (8), les acides carboxyliques (7), les esters (5), les cétones, les furannes (4), les aldéhydes (3), les lactones (3), les composés azotés (2) et les composés soufrés (1). La quasi-totalité des molécules a été identifiée dans tous les échantillons, cependant des différences quantitatives sont notables en fonction des échantillons.

Pour la suite des analyses, certains composés non-odorants, ne participant pas à la caractérisation aromatique des cafés, ont été écartés du traitement des résultats ; de même que les molécules co-éluées non quantifiables par l'analyse FID et certains solvants dont le seuil de détection est très élevé. Par ailleurs, l'échantillon 115-déc a été exclu puisqu'il est fermenté.

Les quantités relatives moyennes des molécules aromatiques sélectionnées pour chacun des échantillons conservés pour le traitement sont répertoriées dans le tableau 11.

3.3.2 Effet période de récolte, cultivar et interaction cultivar/période de récolte

L'analyse par ANOVA des résultats des molécules aromatiques indique un effet cultivar seul, pour les composés volatils suivants : 2-éthylfuranne, 3-méthylbutanoate de méthyle, furfural, acétophénone et 2-furanméthanol. Concernant toutes les autres molécules chimiques identifiées, les effets cultivars sont associés à des effets période de récolte et à des interactions cultivar* période de récolte significatifs. Seules les quantités de phényléthanoate de méthyle ne présentent aucun effet. Afin de ne pas fausser l'analyse par des interactions, les résultats des deux périodes de récolte ont alors été traités séparément pour observer l'effet relatif à l'introgession, excepté pour les composés chimiques présentant un effet cultivar, seul.

3.3.3 Effet introgression par ANOVA

Afin de déterminer si l'introgession avait un impact sur la composition en composés volatils, des ANOVA par ce facteur ont été réalisées. Pour les composés présentant un effet période de récolte, les échantillons de novembre et décembre, sont traités séparément. Pour les autres, l'ANOVA est réalisée sur l'ensemble des échantillons. De manière générale, les cultivars introgressés ont des teneurs en acétophénone plus importantes. En novembre, les cultivars introgressés présentent des quantités plus importantes que les non-introgessés concernant les teneurs en 2-méthylpropanal, acétate de méthyle, 2-méthylfuranne, 3-méthylfuranne, butan-2-one,

Tableau 12 - Probabilité associée au F du test de Fisher (Pr>F) pour l'analyse par composé aromatique des effets cultivar, période de récolte et interaction cultivar* période de récolte

Composés d'arômes	Cultivar	Période	Interaction	Composés d'arômes	Cultivar	Période	Interaction
éthanal	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	3-méthylbut-2-ène-1-ol	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
diméthylsulfure	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	hexan-1-ol	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
2-méthylpropanal	< 0.0001	0,001	< 0.0001	acide acétique	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
acétate de méthyle	0,004	0,687	0,001	furfural	< 0.0001	0,238	0,016
2-méthylfuran	< 0.0001	0,362	< 0.0001	2-éthylhexan-1-ol	< 0.0001	0,467	0,033
butanal	< 0.0001	< 0.0001	0,001	benzaldéhyde	< 0.0001	0,049	< 0.0001
acétate d'éthyle	< 0.0001	0,006	< 0.0001	2-méthoxy-3-(2-méthylpropyl)-pyrazine	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
3-méthylfuran	< 0.0001	0,014	< 0.0001	acide propanoïque	0,004	0,026	0,029
butan-2-one	< 0.0001	0,020	0,000	butan-2,3-diol	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
propan-2-ol	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	gamma valérolactone	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
2-éthylfuranne	0,001	0,246	0,209	gamma butyrolactone	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
pentanal	< 0.0001	0,000	0,002	acide butanoïque	0,134	0,039	0,003
méthyl 3-méthylbutanoate	< 0.0001	0,308	0,069	acétophénone	< 0.0001	0,344	0,068
propan-1-ol	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	2-furanméthanol	0,001	0,061	0,546
éthyl 3-méthylbutanoate	< 0.0001	0,042	0,006	acide 3-méthylbutanoïque	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
hexanal	< 0.0001	0,000	< 0.0001	gamma hexalactone	< 0.0001	0,005	< 0.0001
2-méthylpropan-1-ol	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	acide pentanoïque	< 0.0001	0,002	0,001
pentan-2-ol	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	phényl éthanoate de méthyle	0,405	0,610	0,176
limonène	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	acide 3-méthylbut-2-énoïque	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
pyridine	< 0.0001	0,006	< 0.0001	acide hexanoïque	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
3-méthylbut-2-èneal	< 0.0001	0,075	0,001	alcool benzylique	< 0.0001	0,000	0,001
3-méthylbutan-1-ol	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	2-phényléthanol	< 0.0001	0,003	0,000
3-hydroxybutan-2-one	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001				

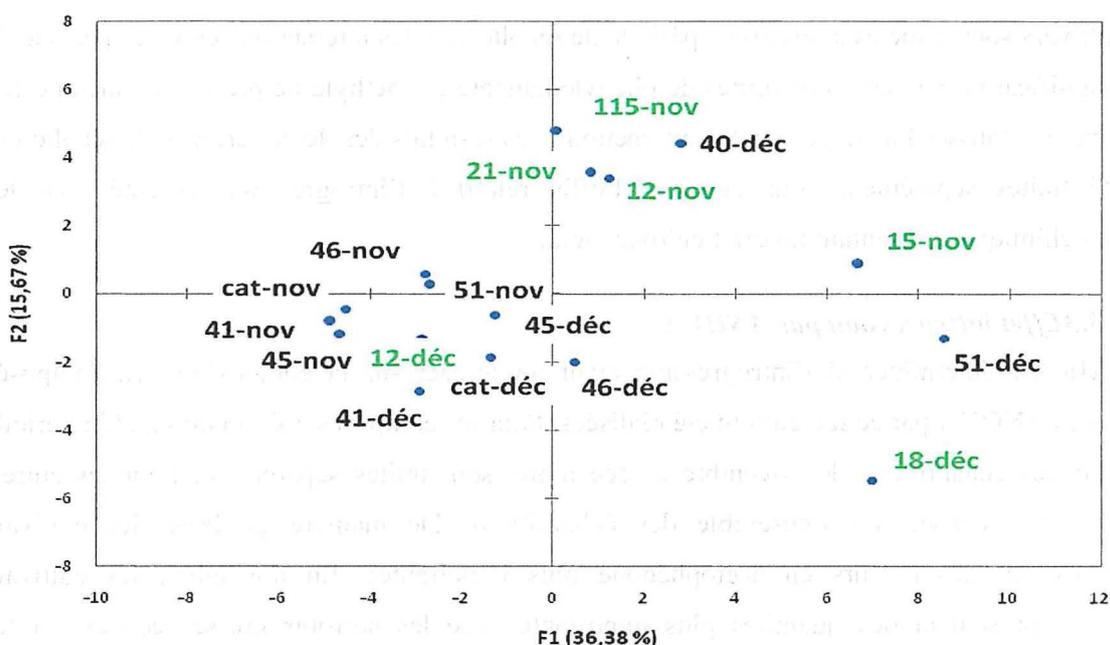


Figure 8 – Représentation des échantillons selon le plan 1-2 (52,06%) de l'ACP sur les données chimiques (en vert, les échantillons de cultivars introgressés).

hexanal, 2-méthylpropan-1-ol, pentan-2-ol, 3-méthylbut-2-ène, 3-méthylbutan-1-ol, 2-éthylhexan-1-ol, acide propanoïque, gamma-butyrolactone, acide butanoïque, acide pentanoïque, acide hexanoïque, alcool benzylique, 2-phényléthanol, diméthylsulfure. En décembre, les cultivars introgressés présentent des quantités plus importantes en composés suivants : pentanal, 3-méthylbutanoate d'éthyle et 3-méthylbut-2-ène-1-ol. A l'inverse, les cultivars introgressés présentent une quantité moins importante en acide butanoïque en décembre.

L'introgession semble avoir eu un rôle bien plus prédominant lors de la récolte de novembre. En effet, les effets de celle-ci sur les teneurs en composés volatils sur la récolte de décembre s'avèrent très réduits, seules les teneurs de 4 composés peuvent être reliées à ce paramètre contre 19 pour la récolte de novembre.

3.3.4 Visualisation de l'effet introgression par représentation des échantillons selon leurs caractéristiques aromatiques grâce à une ACP

Pour visualiser l'effet de l'introgession sur la composition des cafés, une ACP des résultats chimiques a été réalisée. Les trois premiers axes portent 65,67 % de l'information totale (F1 : 36.38%, F2 : 15.67%, F3 : 13.62%). Aucun axe ne permet de discriminer l'ensemble des échantillons des cafés introgressés de l'ensemble de ceux non-introgressés. Cependant, sur le plan 1-2 (figure 8), les introgressés (hormis l'échantillon 12-déc) semblent distincts de la plupart des non-introgressés. Ces derniers s'avèrent bien plus homogènes que les introgressés. Sur le plan 1-3 (figure 9), la discrimination des introgressés est réalisée principalement par l'axe 3. L'axe 1 est positivement corrélé au pentan-2-ol, 3-méthylbutan-1-ol, hexan-1-ol, alcool benzylique, acide acétique, acide hexanoïque, 3-méthylbutanoate de méthyle, 3-méthylfuranne, propan-1-ol, 2-méthylpropan-1-ol et acide pentanoïque (annexe 5). L'axe 2 est corrélé positivement au butan-2-one, et 3-hydroxybutan-2-one (annexe 5), tandis que l'axe 3 est lié positivement au pentanal, et au diméthylsulfure (annexe 6). Par conséquent, la discrimination entre variétés introgressées et non-introgressées semble se faire sur les teneurs plus fortes en ces composés.

3.4 Relation des caractères sensoriels et aromatiques

L'AFM permet de relier des variables hétérogènes issus de tableaux différents et donc de synthétiser les informations de nos deux ACP. Ainsi, nous avons tenté de relier les caractéristiques sensorielles et aromatiques de nos échantillons. Les données sont représentées sur deux axes décrivant 44.8% de l'information initiale. Le tableau de variables sensorielles et celui des variables chimiques ne partagent que 38 % de l'information. En effet, l'axe 1 est construit principalement par les données sensorielles (à 72.1%) et l'axe 2 par les données chimiques (à 82.4 %). Dans notre analyse, les données sensorielles et chimiques ne sont donc que très peu reliées.

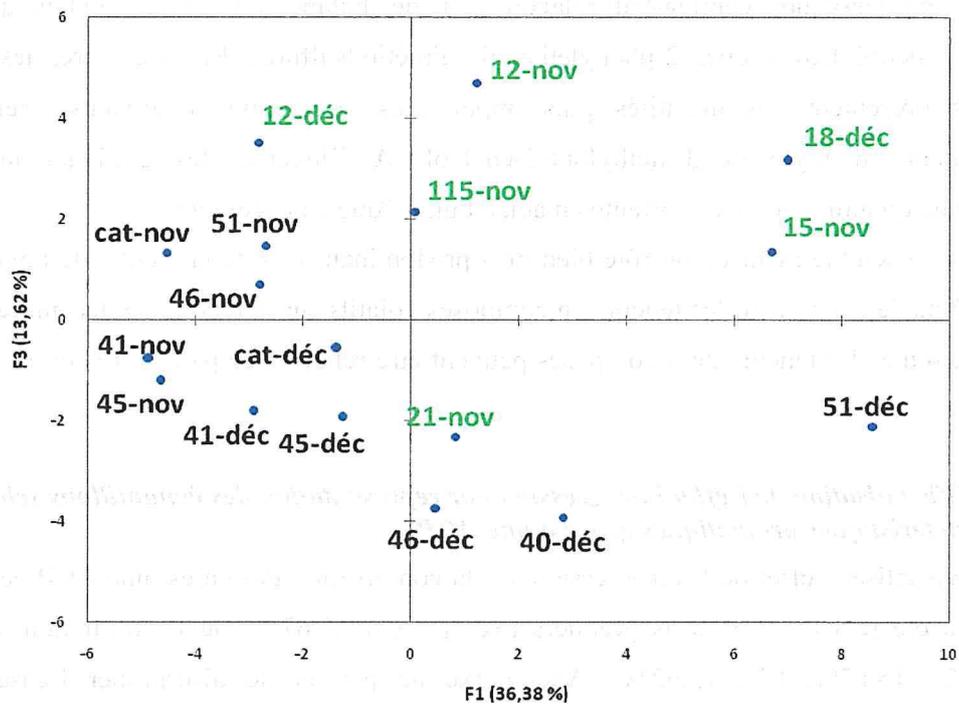


Figure 9 – Représentation des échantillons selon le plan 1-3 (50%) de l'ACP sur les données chimiques (en vert, les échantillons de cultivars introgressés).

4 **Discussion**

Les profils aromatiques et sensoriels établis par nos analyses ainsi que les traitements statistiques réalisés nous donnent un certain nombre d'informations concernant l'effet de l'introggression.

Nous avons tout d'abord mis en évidence des différences significatives entre les génotypes étudiés, tant au niveau des caractères organoleptiques qu'au niveau des caractères aromatiques. Cependant, il apparaît également que la période de récolte a une influence sur ces caractères, parfois même plus importante que l'effet génotype, et le plus souvent ces effets interagissent. Nos résultats ont également révélé une forte variabilité des profils organoleptiques au sein des deux groupes génotypiques (introggressés et non-introggressés) (tableau 7 et figures 6, 7), et une variabilité des profils aromatiques plus importante chez les cultivars introggressés (tableau 11 et figures 8, 9).

Malgré cette variabilité au sein de chaque groupe génotypique, nous avons ensuite pu mettre en évidence des effets de l'introggression.

Du point de vue organoleptique, il semble que celle-ci se traduise par des notes « vert » et « intensité odeur verte » plus élevées (cf. paragraphe 3.2.4), sauf pour l'échantillon de cultivar introggressé, 21-nov, caractérisé principalement par les notes « fruité », « qualité de l'odeur » et « préférence », et qui ne présente pas cet aspect vert. Malgré leurs notes élevées pour les critères « vert » et « intensité odeur verte », les échantillons introggressés 18-déc et 115-nov, sont également bien caractérisés par les critères « fruité », « intensité de l'odeur fruité », « qualité de l'odeur » et « préférence ».

D'un point de vue chimique, l'introggression semble induire des teneurs plus fortes en de nombreux composés, 19 sont significativement plus présents en novembre, et 3 en décembre. Ces composés discriminants, déterminés par ANOVA (cf. paragraphe 3.3.3), ne sont pas les mêmes en novembre et décembre, ce qui souligne l'effet de l'interaction période de récolte*génotype sur la composition aromatique des cafés.

Le recouplement des résultats des ANOVA (cf. paragraphe 1.3.3), des ACP (1.3.4) et des quantités relatives des composés aromatiques (tableau 11), aide à définir les différences de profils aromatiques présentées par les échantillons introggressés. Ainsi, les 15-nov et 18-déc (ainsi que l'échantillon non-introggressé 51-déc) sont caractérisés par de fortes teneurs en pentan-2-ol (odeur « fermenté »), 3-méthylbutan-1-ol (« fermenté »), hexan-1-ol (« herbe »), acide acétique (« acide »),

3-méthylbutanoate de méthyle (« fruité »), 3-méthylfuranne (?), propan-1-ol (« alcool »), 2-méthylpropan-1-ol (« éther »). Les échantillons introgressés 115-nov, 21-nov, 12-nov et le non-introgressés 40-déc sont décrits par des teneurs plus fortes en butan-2-one (« éther »), 3-hydroxybutan-2-one (« beurre »). L'ensemble des échantillons introgressés sauf le 21-nov (ainsi que les non-introgressés 51-nov, cat-nov) sont décrits par de fortes quantités en pentanal (« fermenté ») et diméthylsulfure (« soufre »). Tous les échantillons introgressés et les non-introgressés 51-nov, et 40-déc présentent également des teneurs plus élevées en hexanal (« vert »).

Les échantillons de cultivars non-introgressés, quant-à eux, ne sont caractérisés par aucun composé d'arôme en particulier (exceptés les échantillons 40-déc et 51-nov cités précédemment).

L'ensemble de ces composés volatils plus importants chez les introgressés que chez les non-introgressés pourraient être responsables de notes aromatiques non recherchées dans le café (fermenté, alcool, éther, soufre, vert) excepté le « fruité » du 3-méthylbutanoate de méthyle. Il semblerait donc que l'introgession favorise plutôt la biosynthèse de certains composés volatils indésirables.

Ainsi, l'hexan-1-ol et l'hexanal pourraient participer aux notes vertes des échantillons introgressés, et le 3-méthylbutanoate de méthyle pourrait participer aux notes fruitées élevées des échantillons 18-déc et 51-déc. Pour le reste des composés d'arômes, il est difficile d'émettre d'autres hypothèses sur d'éventuelles relations avec les critères sensoriels, ceux-ci n'étant pas aussi variés que les composés d'arômes identifiés.

Les composés volatils caractéristiques des échantillons introgressés appartiennent à plusieurs familles chimiques : alcools, cétones, aldéhydes, acides, furannes, et composés soufrés. De ce fait, ils ne correspondent à aucune voie de biosynthèse spécifique sur laquelle les gènes introgressés auraient pu intervenir. Nos résultats ne suffisent donc pas à comprendre l'action des gènes introgressés sur la composition aromatique de nos cultivars.

Concernant les qualités sensorielles globales des échantillons, nos résultats ont montré que, malgré un aspect « vert » plus prononcé chez la majorité d'entre eux, les échantillons de génotypes introgressés, ne sont pas forcément moins appréciés que ceux des non-introgressés (cf. paragraphe 3.1.6). Les échantillons 21 et 18, présentant des profils particulièrement intéressants, moyennement fruités, ont même été mieux appréciés que le cultivar Caturra et la majorité des Ethiopiens. Cependant, l'effet de la période de récolte n'est pas négligeable, comme l'illustre bien le cultivar 45 dont l'échantillon de décembre est préféré à tous les autres, alors que l'échantillon de novembre fait partie des moins appréciés ; indiquant donc qu'une généralisation des résultats n'est pas possible.

Toutefois, nos résultats sur ces derniers échantillons (18 et 21) sont confirmés par ceux obtenus pour ces mêmes cultivars sur les deux périodes de récolte précédentes (2007, 2008). Effectivement, ils montrent que le cultivar introgressés 18 avait été préféré à tous les cafés et que le cultivar 21 se trouvait dans la classe intermédiaire.

Ces résultats préalables confirment également l'importance de la période de récolte sur les caractéristiques organoleptiques du café et témoignent aussi d'une variabilité des profils organoleptiques, tant chez les génotypes introgressés que chez les Ethiopiens. Par conséquent, il semble que l'introgression ne se traduit pas toujours par des qualités de breuvage moindre, et que l'utilisation des variétés sauvages d'Ethiopie ne permet pas d'obtenir des qualités supérieures de café dans tous les cas.

Enfin, de manière globale, nos résultats n'ont pas permis d'établir de relations entre caractéristiques sensorielles et composés d'arôme (cf. paragraphe 3.4)

Cet échec peut s'expliquer en partie par le nombre limité d'informations à exploiter : peu d'échantillons ont pu être pris en compte pour ce traitement (seulement 13 échantillons dont 6 issus du même cultivar uniquement), à cause des nombreux défauts de traitement détectés. Pour garantir un plus grand nombre d'échantillons à analyser, les étapes de séchage et de torréfaction devraient être gérées comme des points critiques du process post-récolte. Le traitement global des résultats des trois années de récolte, comprenant chacune deux périodes, devrait permettre une vision plus exacte des profils sensoriels et aromatiques de chaque cultivar, et une relation entre ces caractères serait peut-être identifiable. Une telle analyse s'avère être néanmoins complexe dans la mesure où les effets de la période de récolte, mis en évidence ici, devraient être pris en compte.

En outre, un facteur d'importance n'a pas été pris en considération dans notre analyse ; il s'agit du seuil de détection de l'odeur des composés d'aromes identifiés dans le café. En effet, la perception des composés volatils dépend aussi de leur seuil de détection : si celui-ci n'est pas atteint, le composé d'arôme n'est pas perçu même s'il est présent en grande quantité, alors qu'un autre, présent en petite quantité, mais possédant un seuil de détection faible sera très important pour la qualité aromatique. C'est pourquoi, éliminer les molécules avec un seuil de détection plus bas que leur quantité nous aurait peut-être permis de relier les molécules restantes avec des critères sensoriels. Malheureusement, les recherches bibliographiques ne nous ont pas permis d'en répertorier suffisamment.

5 Conclusion

La comparaison des profils sensoriels des cultivars introgressés avec ceux du Caturra et des variétés cultivées d’Ethiopie a montré une grande variabilité des caractères sensoriels tant au sein des géotypes introgressés que non-introgressés. Néanmoins, les échantillons provenant de cultivars introgressés présentaient une odeur verte plus intense et un goût vert plus soutenu que les échantillons de cultivars non-introgressés (Caturra et Ethiopiens). Sachant que la maturation des baies de *C. canephora* est plus longue (+ 3-50 jours) que celles des baies d’Arabica, il y a peut-être là une piste à explorer dans le domaine de la régulation des phases de maturation. Effectivement, dans les années 1980, certains producteurs traitaient les fruits de caféiers avec l’éthylène, hormone de la maturation. Ils obtenaient des baies bien rouges mais des graines incomplètement mûres au goût de vert très prononcé. Chez les fruits climactériques, le développement du fruit est sous contrôle d’hormones dont le lieu de synthèse principal est la graine. Dans le cas de certains caféiers introgressés, il y aurait peut-être un mauvais couplage hormonal entre la maturation de la pulpe et celle de la graine. Nous pensons que cette piste devrait être explorée.

L’introgression apparaît comme responsable de l’augmentation des teneurs de nombreux composés volatils, différents selon les dates de récolte et les géotypes. Cependant, la diversité des classes chimiques auxquelles ces composés appartiennent ne nous permet pas de mettre en évidence des voies de biosynthèse particulières qui pourraient révéler des expressions différentielles de gènes spécifiques.

Nos résultats ont également montré que les cultivars introgressés ne sont pas toujours moins appréciés que le Caturra de référence et que les cafés sauvages éthiopiens ne sont pas forcément les meilleurs. De plus, deux échantillons provenant des cultivars introgressés 21 et 18, ont été particulièrement appréciés par le jury, ce que confirment les résultats obtenus sur les récoltes des deux années précédentes.

Enfin, aucune relation entre composés volatils et critères sensoriel n’a pu être établie, de manière globale, à partir de nos résultats. Cependant, nous avons pu suggérer des relations ponctuelles, par exemple entre les notes vertes et les composés d’arômes hexan-1-ol et hexanal présents chez les cultivars introgressés. Compte tenu de l’influence majeure de la torréfaction sur la composition aromatique du café, il nous semble intéressant de vérifier si les composés que nous avons identifiés comme caractéristiques de l’introgression se retrouvent dans le café torréfié.

6 Webographie

- 1- <http://www.planetoscope.com/agriculture-alimentation/boisson>
- 2- <http://www.ico.org/>
- 3- <http://www.ico.org/documents/cmr-0209-f.pdf>
- 4- <http://www.cirad.fr/fr/dossier/cafe.html>
- 5- <http://www.delaplanete.org/Pourquoi-votre-dose-quotidienne-de.html>
- 6- <http://www.thefreedictionary.com/introgression>
- 7- <http://www.ico.org/botanical.asp>
- 8- <http://www.museum.agropolis.fr/pages/savoirs/cafe/index.htm>
- 9- <http://www.flavornet.org/flavornet.html>
- 10- <http://www.odour.org.uk/Iriindex.html>
- 11- <http://www.pherobase.com/database/kovats/kovats-index.php>
- 12- <http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-flav/details.html?lang=fr&flavId=6617>
- 13- <http://www.thegoodscentcompany.com/rawmatex.html>

7 Bibliographie

- Anthony, F., Bertrand, B., Etienne, H., Lashermes, P. (2009). Wild coffee (*Coffea* L. and *Psilanthus* Hook.f.) genetic and genomic resources. In : volume 9 "Wild Relatives of Plantations and Ornamental Crops"-chapter X.
- Avelino, J., Barboza, B., Araya, J.C., Fonseca, C., Davrieux, F., Guyot, B., Cilas, C. (2005). Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitude terroirs of Costa Rica, Orosi and Santa Maria de Dota. *Journal of the science of food and agriculture* 85, 1869-1876.
- Barel, M., Challot, F., Vincent J.C. (1976). Contribution a l'étude des feves de café defectueuses. *Café Cacao Thé*. 20:129-134.
- Bertrand B. (2009). Bilan annuel de l'activité sur le café au CIRAD en 2008 (Rapport interne du CIRAD)
- Bertrand, B., Guyot, B., Anthony, F., Lashermes, P., (2003). Impact of the *coffea canephora* gene introgression on beverage quality of C-arabica. *Theoretical and Applied Genetics* 107, 387-394.
- Charrier, A., Berthaud, J. (1985) Botanical classification of coffee. In : Clifford MN, Wilson KC, (eds) *Coffee : botany, biochemistry and productions of beans and beverage*. Croom Helm, London, pp 305-374.
- Davis, A.P., Govaerts, R., Bridson, D. M. and Stoffelen, P. (2006). An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 152, 465-512.
- Geromel, C., Ferreira, L.P., Davrieux, F., Guyot, B., Ribeyre F., Dos Santos Scholz, M.B., Protasio Pereira, L.F., Vaast, P., Pot, D., Leroy, T., Androcioli, Filho A., Gonzaga Esteves Vieira, L., Mazzafera P., Marraccini P (2008). Effects of shade on the development and sugar metabolism of coffee (*Coffea arabica* L.) fruits. *Plant Physiology and Biochemistry* 46, 569-579
- Gonzalez Rios, O., Suarez Quiroz, M.L., Boulanger, R., Barel, M., Guyot B., Guiraud, J.P., Schorr-Galindo, S. (2007). Impact of "ecological" post-harvest processing on the volatile fraction of coffee beans : I. Green coffee. *Journal of food composition and analysis* 20, 289-296.
- Guerrero, G., Suarez, M. (2001). Chlorogenic acids as a potential criterion in coffee genotype selections. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49, 2454-2458.
- Jacquet M. (1996). La fermentation du café. In : Bourgeois C.M (ed.), Larpent J.P. (ed.). *Microbiologie alimentaire. Tome 2 : aliments fermentés et fermentation alimentaires*. Paris : Technique et documentation Lavoisier, p.287-298.
- Ky, C.L., Louarn, J., Guyot, B., Charrier, A., Hamon, S., Noirot, M. (1999) Relations between and inheritance of chlorogenic acid contents in an interspecific cross between *Coffea pseudozanguebariae* and *Coffea liberica* var. 'dewevrei'. *Theoretical Applied Genetics* 98, 628-637

Lashermes, P., Combes, M.C., Robert, J., Trouslot, P., D'Hont, A., Anthony, F., Charrier, A. (1999). Molecular characterisation and origin of the *Coffea arabica* L. genome. *Molecular Genetics and Genomics* 261, 259-266.

Lashermes, P., Combes, M.C., Trouslot, P., Charrier, A. (1997). Phylogenetic relationships of coffee-tree species (*Coffea* L.) as inferred from ITS sequences of nuclear ribosomal DNA. *Theoretical and Applied Genetics* 94, 947-955.

Moreno, G., Moreno, E., Cadena, G. (1995). Bean characteristics and cup quality of the Colombia variety (*Coffea arabica*) as judged by international tasting panels. In: 16th International Conference on Coffee Science, Kyoto, pp 574-583.

Owuor (1988). An assessment of the cup quality of the new disease resistant *Coffea arabica* cultivar RUIRU11 in Kenya. *Kenya Coffee* 53, 333-336.

Puerta, G.I. (1998) Calidad en taza de las variedades de *Coffea arabica* L. cultivadas en Colombia. *Cenicafé* 49, 265-278.

Puerta, G.I. (2000) Calidad en taza de algunas mezclas de variedades de café de la especie *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 51, 5-19.

Ribeiro, J.S., Augusto, F., Salva, T.J.G. (2009) Prediction of sensory properties of Brazilian Arabica roasted coffees by headspace solid phase microextraction-gas chromatography and partial least squares. *Analytica Chimica Acta* 634, 172-179.

Vaast, P., Bertrand, B., Perriot, J.J., Guyot, B., Génard, M. (2006). Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86, 197-204.

Annexe 1

Probabilités associées au F de Fisher pour l'effet « café » (« identifiant ») sur chaque descripteur utilisé pour les analyses sensorielles (orange quand >0,05)

<u>Descripteur</u>	<u>Pr > F</u>	<u>Descripteur</u>	<u>Pr > F</u>
<i>Intensité odeur</i>	< 0,0001	<i>Aigre</i>	0.000
<i>Intensité odeur florale</i>	0.605	<i>Fruité</i>	< 0.0001
<i>Intensité odeur fruitée</i>	0.014	<i>Apre</i>	< 0.0001
<i>Intensité odeur verte</i>	0.013	<i>Vert</i>	< 0.0001
<i>Qualité odeur</i>	0.024	<i>Terreux</i>	< 0.0001
<i>Corps</i>	< 0.0001	<i>Brûlé</i>	< 0.0001
<i>Acide</i>	< 0.0001	<i>Puant</i>	< 0.0001
<i>Amer</i>	< 0.0001	<i>Beurre</i>	0.101
<i>Astringent</i>	0.120	<i>Préférence</i>	< 0.0001

Annexe 2

Probabilité associée au F du test de Fisher ($Pr > F$) pour l'analyse par juge de l'effet « café » (« identifiant ») sur chaque descripteur utilisé pour les analyses sensorielles

Descripteurs	Juges	1	2	4	5	6	7	8	10	11	13	14	44	46	90	91	92
<i>Intensité odeur</i>		0.49	0.08	0.06	0.95	0.17	0.68	0.91	0.49	0.78	0.28	0.12	0.21	0.38	0.68	0.29	0.89
<i>Intensité odeur florale</i>		0.72	0.29	0.28	0.84	0.67	0.67	0.11	0.90	0.00	0.67	0.89	0.80	0.44	0.94	0.82	0.98
<i>Intensité odeur fruitée</i>		0.22	0.00	0.43	0.61	0.20	0.34	0.02	0.00	1.00	0.38	0.85	0.10	0.31	0.48	0.29	0.54
<i>Intensité odeur verte</i>		0.50	0.83	0.36	0.07	0.01	0.12	0.36	0.82	0.24	0.03	0.00	1.00	0.28	0.22	0.23	0.32
<i>Qualité odeur</i>		0.27	0.02	0.03	0.65	0.42	0.11	0.22	0.60	0.92	0.49	0.44	0.16	0.64	1.00	0.00	0.00
<i>Corps</i>		0.12	0.01	0.30	0.55	0.47	0.00	0.36	0.15	0.20	0.15	0.61	0.07	0.36	0.13	0.05	0.18
<i>Acide</i>		0.14	0.06	0.56	0.76	0.21	0.19	0.49	0.06	0.64	0.69	0.02	0.05	0.66	0.32	0.00	0.01
<i>Amer</i>		0.00	0.03	0.01	0.58	0.10	0.00	0.01	0.01	0.20	0.01	0.11	0.17	0.09	0.08	0.00	0.85
<i>Astringent</i>		0.00	0.52	0.03	0.80	0.53	0.70	0.49	0.49	0.93	0.50	0.20	0.22	0.73	0.94	0.38	0.01
<i>Aigre</i>		0.21	0.52	1.00	1.00	0.78	0.82	1.00	0.17	0.00	0.86	0.05	0.54	0.06	0.54	0.01	0.48
<i>Fruité</i>		0.01	0.11	0.27	0.24	0.69	0.03	0.78	0.34	0.25	0.89	0.48	0.53	0.34	0.71	0.00	0.94
<i>Apre</i>		0.04	0.03	0.00	0.67	1.00	0.69	0.88	0.87	0.32	0.38	0.46	0.82	0.53	0.42	0.00	0.93
<i>Vert</i>		0.38	0.43	0.26	0.19	0.04	0.10	0.86	0.53	0.55	0.94	0.93	0.00	0.56	0.02	0.00	0.13
<i>Terreux</i>		0.75	0.04	0.94	0.41	0.00	0.94	1.00	0.53	0.91	0.71	0.59	0.83	1.00	0.26	0.00	0.67
<i>Brulé</i>		0.06	0.79	0.91	0.01	0.74	0.31	1.00	0.01	0.91	0.54	0.00	0.69	0.89	0.95	0.01	0.00
<i>Puant</i>		0.15	0.00	1.00	0.55	1.00	0.40	0.46	0.41	0.91	0.81	0.55	0.01	1.00	0.77	0.00	0.72
<i>Beurre</i>		0.10	0.14	0.84	0.88	1.00	0.75	1.00	0.73	0.91	0.99	0.82	0.02	0.88	0.96	0.60	0.62
<i>Préférence</i>		0.03	0.02	0.05	0.28	0.14	0.28	0.33	0.09	0.44	0.33	0.12	0.23	0.43	0.37	0.00	0.00

Annexe 3

Perte en poids des échantillons torréfiés et clarté de la mouture (valeur du L* du système L*a*b)

Identifiant	Perte en poids (%)	L*
08-déc	14	24,8
12-nov	13	25,9
12-déc	11	27,4
15-nov	16	24,7
15-déc	24	26,4
18-déc	17	25,7
21-nov	13	26,8
21-déc	13	25,6
115-nov	13	24,4
115-déc	12	26,7
40-déc	14	26,6
41-déc	16	25,1
41-nov	13	25,4
45-déc	14	28,2
45-nov	13	26,3
46-déc	14	26,2
46-nov	15	23,2
51-déc	15	28,4
51-nov	13	29,0
cat-déc	13	28,9
cat-nov	14	25,2

Annexe 4

Composés volatils identifiés, pour les échantillons de novembre et décembre du cultivar 51, à titre d'exemple.

- temps de rétention (Tr)
- quantité relative moyenne (Quant. Moy.)
- coefficient de variation (Co. de Var.)
- indice de rétention linéaire théorique (LRI lit.)
- indice de rétention linéaire calculé (LRI cal.)

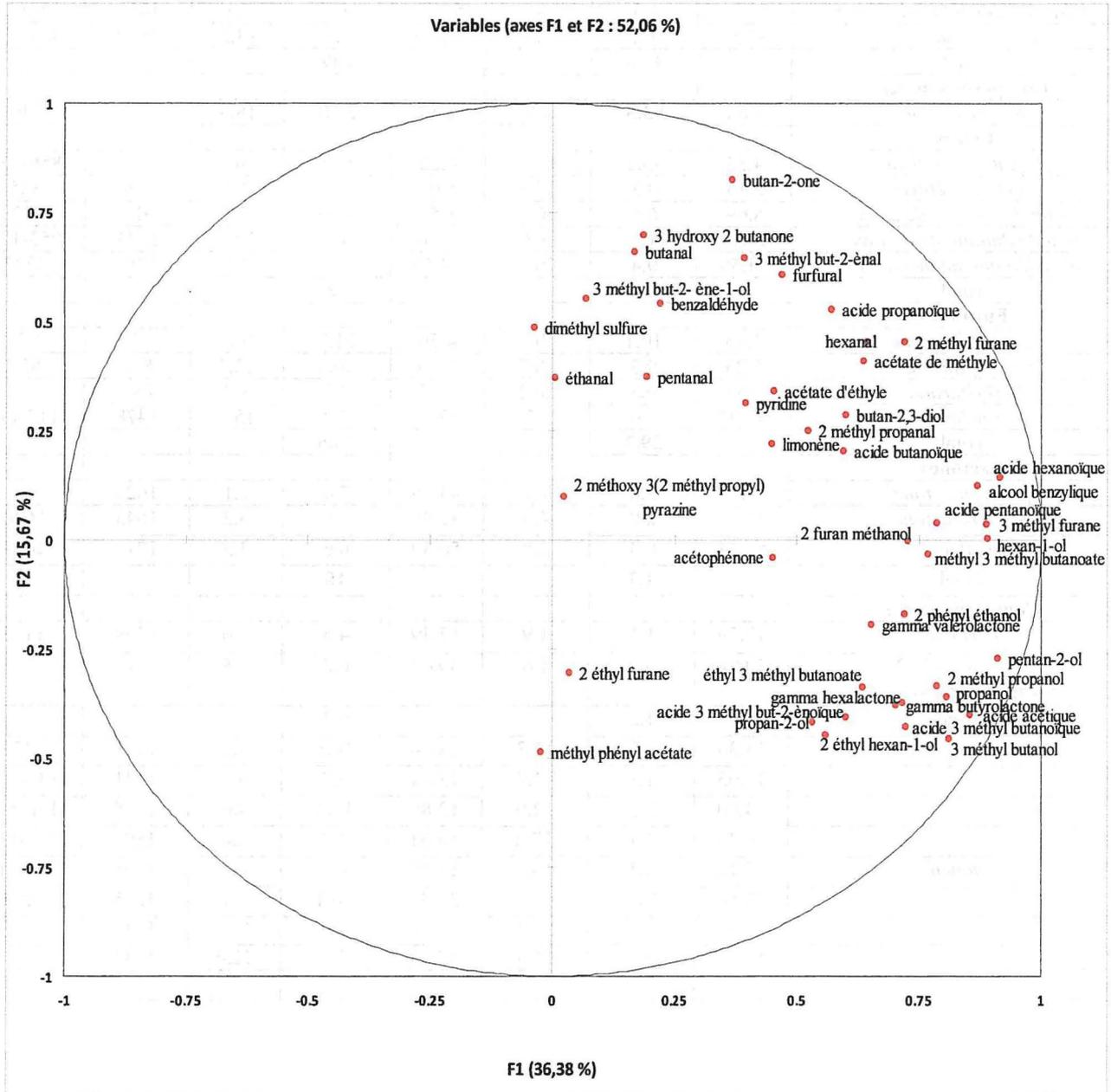
En orange, les molécules exclues du traitement des données : composés co-élués, solvants avec des seuils de détection élevés et composés non-aromatiques.

Composés chimiques	Cultivar 51, récolte de novembre			Cultivar 51, récolte de décembre			LRI cal.	LRI lit.
	Tr	Quant. Moy.	Co. de var	Tr	Quant. Moy.	Co. de var		
Hydrocarbures								
<i>Pentane</i>	3.07	31.0	14.4	2.98	21.1	10.1	-	500
<i>2-méthylpentane</i>	3.12	24.3	3.3	3.04	20.7	22.4	-	-
<i>Hexane</i>	3.17	16.2	15.3	3.06	29.1	15.5	-	600
Total		71.5			70.9			
Aldéhydes								
<i>Ethanal</i>	3.45	12.9	10.2	3.36	9.4	13.0	-	-
<i>2-méthylpropanal</i>	4.16	17.6	16.2	4.04	10.8	7.2	-	611
<i>Butanal</i>	4.94	15.7	8.2	4.81	12.4	10.4	800	832
<i>2-méthylbutanal, 3-méthylbutanal (+méthanol)</i>	5.52	764.2	26.5	5.41	588.1	29.7	829	864 / 912
<i>Pentanal</i>	7.34	30.3	4.8	7.15	22.4	8.1	902	935
<i>Hexanal</i>	11.44	12.7	2.0	11.23	57.7	14.7	1099	1067-1093
<i>3-méthylbut-2-énal</i>	18.33	3.1	12.5	18.08	5.5	2.0	1218	1233
<i>Benzaldéhyde</i>	39.39	4.2	8.5	39.10	4.9	8.0	1530	1513-1538
Total		96.5			123.1			
Alcools								
<i>Propan-2-ol</i>	6.23	22.3	2.9	6.13	34.3	5.2	859	912
<i>Ethanol</i>	6.40	170.3	12.1	6.31	283.3	6.1	868	925
<i>Butan-2-ol (+ toluène)</i>	9.44	12.5	12.2	9.30	25.2	8.3	1018	1022
<i>Propan-1-ol</i>	10.02	16.7	12.0	9.89	26.3	10.9	1045	1038-1045
<i>2-méthylpropan-1-ol</i>	12.83	18.0	3.0	12.65	25.7	5.1	1127	1185-1125
<i>Pentan-2-ol</i>	14.34	2.0	11.9	14.16	23.8	7.2	1154	1116-1130
<i>3-méthylbutan-1-ol</i>	19.52	26.8	2.2	19.31	63.4	8.3	1237	1204-1206
<i>Pentanol (+styrène)</i>	22.36	24.6	13.1	22.14	46.7	5.3	1279	1247-1256
<i>3-méthylbut-2-èn-1-ol</i>	27.15	1.7	7.9	26.90	2.0	6.0	1350	1313
<i>Hexan-1-ol</i>	29.22	12.7	5.2	28.96	21.2	8.1	1379	1352-1371
<i>Cyclohexan-1-ol</i>	32.46	0.4	3.3	32.19	0.6	16.7	1428	1403
<i>2-éthylhexan-1-ol</i>	38.11	0.2	18.2	37.84	0.5	20.9	1513	1473-1494
<i>Butan-2,3-diol</i>	44.48	13.8	4.9	44.02	24.8	6.2	1613	1523-1582
<i>2-furanméthanol</i>	48.99	6.2	57.8	48.64	8.0	3.8	1687	1661-1669
<i>Alcool benzylique</i>	59.81	1.5	4.8	59.54	2.5	14.4	1898	1865
<i>2-phényléthanol</i>	61.05	0.6	29.3	60.80	1.1	14.4	1927	1939
Total		293.2			515.8			
Cétones								
<i>Acetone</i>	4.22	95.1	24.2	4.11	48.8	10.1	-	814-845
<i>Butan-2-one</i>	5.43	10.2	20.5	5.27	11.8	7.9	821	875
<i>3-hydroxybutan-2-one</i>	24.22	4.0	5.7	24.0	2.0	8.9	1308	1286
<i>Acétophénone</i>	47.23	1.2	2.2	46.91	1.4	9.8	1659	1655

Total		110.5			64			
Acides								
<i>Acide acétique</i>	35.46	30.5	10.7	35.18	63.5	7.9	1473	1435-1477
<i>Acide propanoïque</i>	41.10	1.3	7.5	40.83	2.5	20.8	1560	1531
<i>Acide butanoïque</i>	46.64	0.7	8.2	46.34	1.0	12.3	1648	1630
<i>Acide 3-méthylbutanoïque</i>	49.10	12.0	27.2	48.80	34.2	3.8	1689	1686-1691
<i>Acide pentanoïque</i>	53.12	0.6	20.1	52.80	0.8	2.6	1758	-
<i>Acide 3-méthylbut-2-énoïque</i>	56.31	1.3	18.0	56.02	4.1	7.3	1818	1802
<i>Acide hexanoïque</i>	58.54	1.2	5.2	58.29	2.9	12.3	1869	1863-1872
Total		47.6			109			
Composés soufrés								
<i>Diméthylsulfure</i>	3.68	93.5	7.8	3.58	25.8	18.3	-	716
Esters								
<i>Acétate de méthyle</i>	4.33	33.2	19.3	4.22	50.5	20.8	/	856-863
<i>Acétate d'éthyle</i>	5.13	0.3	15.3	5.03	2.8	3.3	809	885
<i>3-méthylbutanoate de méthyle</i>	8.69	6.5	10.1	8.50	13.9	7.2	974	1022 ?
<i>3-méthylbutanoate d'éthyle</i>	10.74	1.9	5.8	10.61	4.5	10.6	1073	1053-1082
<i>phényléthanoate de méthyle</i>	54.50	0.4	76.4	54.59	0.3	4.1	1786	1747
Total		42.3			72			
Furannes								
<i>2-méthylfuranne</i>	4.83	10.1	19.8	4.70	21.0	10.0	/	877
<i>3-méthylfuranne</i>	5.23	9.3	18.7	5.09	20.6	12.5	812	853
<i>2-éthylfuranne</i>	6.87	9.3	20.2	6.73	9.7	3.7	887	/
<i>Furfural</i>	35.94	1.0	3.7	35.70	2.2	15.2	1478	1447-1466
Total		29.7			53.5			
Lactones								
<i>γ-valérolactone</i>	45.22	2.0	1.1	44.86	7.4	7.1	1626	/
<i>γ-butyrolactone</i>	46.24	2.0	4.0	45.89	7.0	6.2	1643	1640
<i>γ-hexalactone</i>	50.74	0.3	2.8	50.39	0.6	3.3	1718	1694
Total		4.3			15			
Composés azotés								
<i>Pyridine</i>	17.79	1.1	1.9	17.39	4.5	3.0	1209	1193
<i>2-méthoxy-3-(2-méthylpropyl)pyrazine</i>	39.94	0.2	1.6	39.52	0.8	2.5	1541	/
Autres		1.3			5.3			
<i>éthylbenzène</i>	13.34	1.7	17.3	13.08	10.1	3.2	1131	1122
<i>p-xylène</i>	13.63	1.1	11.4	13.44	6.7	6.6	1141	1132-1156
<i>m-xylène</i>	14.00	3.3	12.9	13.85	13.3	4.6	1145	1138-1158
<i>o-xylène</i>	16.49	1.1	17.2	16.64	3.2	6.4	1190	1169-1183
<i>limonène</i>	17.18	2.1	13.2	17.05	6.3	4.2	1198	1192-1198
<i>styrène</i>	21.60	20.7	10.0	21.31	80.1	7.7	1265	1241
<i>1,4-dichlorobenzène</i>	33.95	4.4	20.1	33.62	7.9	26.6	1449	1450
<i>Méthylnaphtalène</i>	57.68	1.7	55.3	57.37	2.6	22.4	1848	/

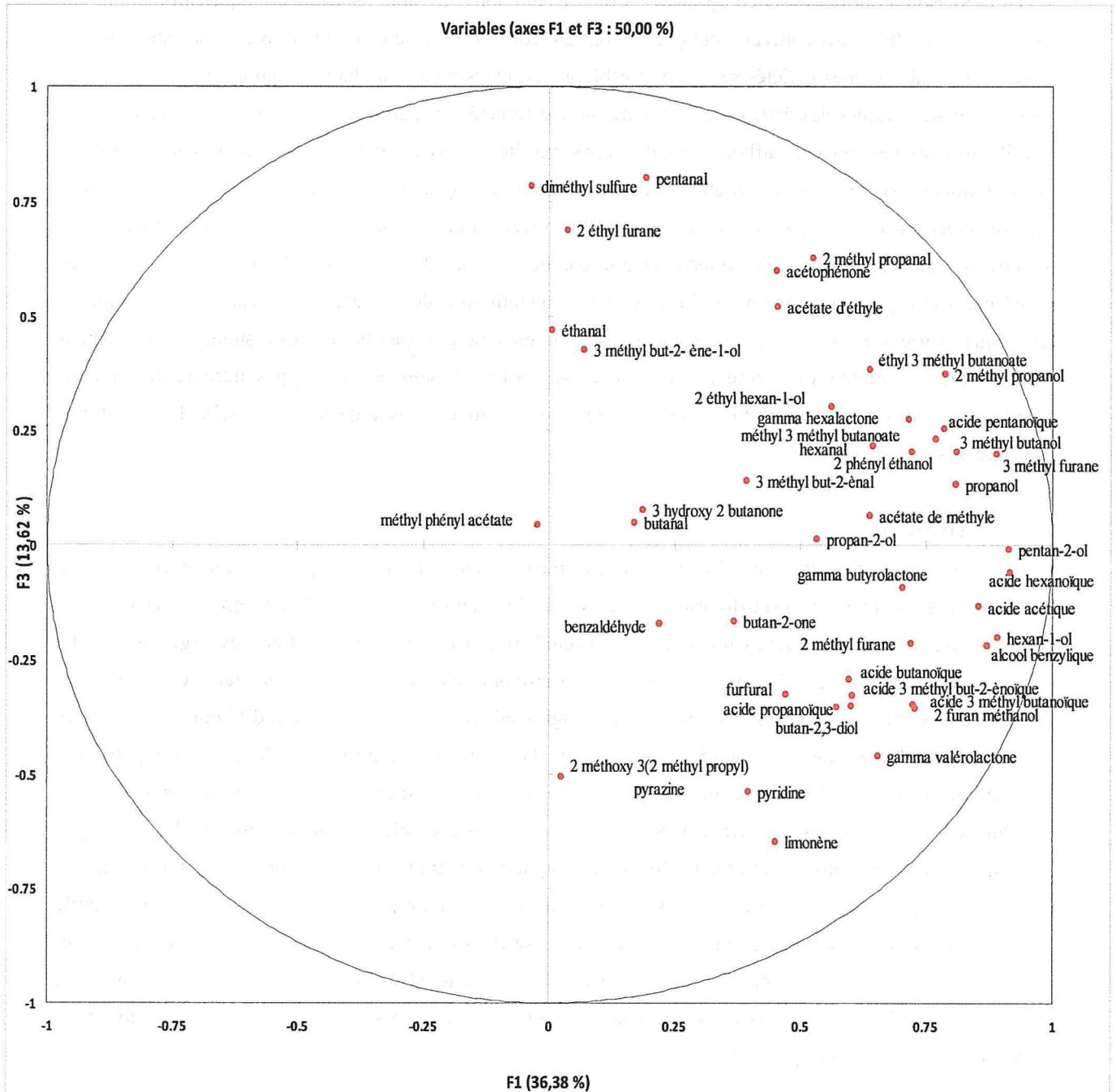
Annexe 5

Cercle des corrélations des composés aromatiques selon les axes 1 et 2 de l'ACP sur les données chimiques



Annexe 6

Cercle des corrélations des composés aromatiques selon les axes 1 et 3 de l'ACP sur les données chimiques



Résumé

Des cultivars de *Coffea arabica* ont été introgressés par des gènes de *C. canephora* par rétrocroisements de l'Hybride de Timor (hybride entre *C. arabica* et *C. Canephora*). L'introgression permet d'introduire des gènes de résistance mais peut-être considérée comme une source de diminution de la qualité du café-boisson. Pour définir et comprendre l'effet de cette introgression, les caractéristiques aromatiques et sensorielles de différents cultivars introgressés ont été comparées avec ceux de cultivars non-introgressés : un Caturra et différentes variétés sauvages d'Ethiopie, réputées pour leurs hautes qualités aromatiques. Les profils organoleptiques des échantillons de café ont été caractérisés par analyse sensorielle descriptive. Les profils aromatiques des échantillons de cafés verts ont été établis en extrayant les composés volatils par microextraction en phase solide, et en les analysant par chromatographie gazeuse et spectrométrie de masse. Les résultats ont montré que, sur les caractères sensoriels, l'introgression se traduit surtout par des notes « vertes », sans entraîner systématiquement une qualité moindre de la boisson. Au niveau des composés d'arôme, l'introgression conduit à l'augmentation quantitative de molécules de classes de composés chimiques variées et qui ne favorisent aucune voie de biosynthèse spécifique. Les résultats ont également montré une importante variabilité des caractères sensoriels au sein des génotypes introgressés et non-introgressés, ainsi qu'une variabilité des caractères aromatiques plus importante au sein des génotypes introgressés.

Abstract

Cultivars of *Coffea arabica* have been introgressed with *C. canephora* genetic material by backcrossing the Timor Hybrid (hybrid between *C. arabica* and *C. canephora*). Introgression enables the introduction of resistance genes but is also suspected of causing a drop in coffee beverage quality. To describe and explain the effect of introgression, the aromatic and organoleptic characteristics of different introgressed cultivars were compared with non-introgressed cultivars: a Caturra and different wild varieties from Ethiopia, known for their high beverage quality. The organoleptic profiles of the coffee samples were characterized by descriptive sensory analysis. The aromatic profiles of green coffee samples were established by extracting volatile compounds with solid phase microextraction and analysed by gas chromatography and mass spectrometry. In terms of organoleptic traits, the results showed that introgression induced "green" notes and was not always responsible for a drop in beverage quality. For volatile compounds, introgression induced a quantitative increase in different chemical molecules, which could not be linked to any specific biosynthesis pathway. The results also showed substantial variability in organoleptic traits within introgressed and non-introgressed genotypes, as well as greater variability in aromatic traits within introgressed genotypes.

Keywords: *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, introgression, sensory analysis, HS-SPME/GC-MS